



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Erick Mauricio Martínez López

**Dimensionamiento de un sistema
aislado de generación fotovoltaica
para el suministro de un sistema de
iluminación basado en tecnología led**

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Eléctrico



**Escuela de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería**

Valparaíso, 30 de mayo de 2018



Dimensionamiento de un sistema aislado de generación fotovoltaica para el suministro de un sistema de iluminación basado en tecnología led

Erick Mauricio Martínez Lopéz

Informe Final para optar al título de Ingeniero Eléctrico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Facultad de Ingeniería de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Miguel López Gonzalez

Profesor Guía

Sr. Jorge Mendoza Baeza.

Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, 20 de agosto de 2018

Dedicado a mi familia que siempre me apoyaron en todo el

Camino para llegar a mis metas personales.



Agradecimientos

A mi familia y amigos en especial a Roberto Astorga C. por su ayuda y guía durante los últimos años de carrera universitaria.

Valparaíso, 20 de agosto de 2018

Erick Mauricio Martínez López

Resumen

El objetivo principal del siguiente trabajo es el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo el cual se está proyectando en las instalaciones del Servicio Nacional de Aduanas en la región de Valparaíso en el marco de la política energética llevada a cabo a nivel nacional. (Energía 2050 es uno de los programas que se pretenden a largo plazo, para ello todas las empresas, tanto del sector público como privados deben estar comprometidas con el cambio tecnológico se acerca).

La metodología que se utilizó fue la siguiente: En primer lugar se definió el marco teórico, tanto para el tema de ingeniería de iluminación como el tema de dimensionamiento fotovoltaico. El tema de ingeniería de iluminación se encuentra incluido debido a que al realizar un recambio a iluminarias led, ellas deben seguir cumpliendo la normativa en cuanto a los niveles de iluminación en los puestos de trabajo. Luego de ello se analiza la normativa vigente con respecto a las políticas que incentivan el uso de energías renovables no convencionales, como son la ley 20.571 o NetBilling. Dentro del marco teórico de instalaciones fotovoltaicas se comienza estudiando el átomo de Silicio para finalizar con el estudio de los paneles fotovoltaicos. A continuación se estudia el comportamiento de las celdas ante factores externos como lo son la temperatura y la cantidad de radiación presente.

Una vez obtenidos los planos de las instalaciones por parte de la empresa, se procede a modelar mediante la herramienta de simulación DiaLux, el cual permite el cálculo de los niveles de iluminación en todo tipo de superficies asegurando así el cumplimiento de la normativa. A continuación se realiza la simulación del dimensionado a través de la herramienta PVSYSST llegando a la conclusión de que el sistema es poco confiable, por lo que se redimensiona toda la instalación. Si bien el redimensionamiento cumple con requisito de entrega continúa durante el año, por otro lado el costo de la inversión inicial es elevado en comparación al diseño realizado y el proyecto no será rentable. Por último se estudia la evaluación económica del sistema anterior y se concluye que el sistema implementado es económicamente factible, queda a criterio de la empresa la selección de la configuración a realizar.

Palabras claves: Dimensionado fotovoltaico, Normativa, ERNC y evaluación económica.

Abstract

The main objective of the following work is the dimensioning of an autonomous photovoltaic system which is being projected in the facilities of the National Customs Service in the Valparaíso region within the framework of the energy policy carried out at the national level. (Energy 2050 is one of the programs that are intended for the long term, for this all companies, both public and private sector must be committed to technological change is approaching).

The methodology used was the following: First, the theoretical framework was defined, both for the subject of lighting engineering and the subject of photovoltaic sizing. The subject of lighting engineering is included because when making a replacement for LED lighting, they must continue to comply with the regulations regarding the lighting levels in the workstations. After that, the current regulations are analyzed with respect to the policies that encourage the use of non-conventional renewable energies, such as Law 20,571 or NetBilling. Within the theoretical framework of photovoltaic installations, we start by studying the sackcloth atom to finish with the study of photovoltaic panels. Next, the behavior of the cells is studied before external factors such as the temperature and the amount of radiation present.

Once the plans of the installations have been obtained by the company, they are modeled using the DiaLux simulation tool, which allows the calculation of lighting levels in all types of surfaces, thus ensuring compliance with the regulations. Next, the simulation of the dimensioning is carried out through the PVSYST tool, concluding that the system is unreliable, so the entire installation is resized. Although resizing complies with the delivery requirement continues throughout the year, on the other hand the cost of the initial investment is high compared to the design made and the project will not be profitable. Finally, the economic evaluation of the previous system is studied and it is concluded that the implemented system is economically feasible, it is up to the company to select the configuration to be carried out.

Keywords: Photovoltaic sizing, Regulation, NCRE and economic evaluation.

Índice general

Introducción	1
Objetivos Generales.....	2
Objetivos Específicos.....	2
1 Eficiencia Energética	3
1.1 Definición de eficiencia energética	3
1.2 Situación energética global de los recursos energéticos	4
1.2.1 Agotamiento de los recursos No Renovables.....	4
1.2.2 Efecto invernadero.....	5
1.3 Protocolo de Kioto	5
1.4 Acuerdo de Paris	5
2 ERNC y Normativa.....	7
2.1 Ley N° 20.257 (2008) Obligatoriedad en la participación de ERNC.....	8
2.2 Ley 20.698(2013) Ampliación de la matriz energética	8
2.3 Ley 20.571 Ley de generación distribuida	8
Radiación solar	9
2.4 Recurso solar	9
2.4.1 Ángulo óptimo de un panel solar	9
2.4.2 Radiación	11
2.4.3 Radiación total	12
3 Marco teórico para instalaciones PV.....	15
3.1 Materiales Semiconductores y Características Eléctricas.....	15
3.1.1 Principio de funcionamiento.....	18
3.2 Circuito equivalente para una celda fotovoltaica	19
3.3 Desde la celda al módulo, desde el módulo al arreglo	21
3.4 Desde la celda al módulo	21
3.5 Desde el módulo al arreglo	22
3.6 Curva I-V bajo condiciones estándares.....	23
3.7 Impacto de la temperatura e insolación en la curva I – V.	23
3.8 Impacto de las sombras	24

3.9 Componentes de un sistema fotovoltaico Autónomo.....	25
3.9.1 Clasificación de Paneles Solares.....	25
3.9.2 Sistema de almacenamiento.....	26
3.9.3 Regulador de carga.....	27
3.9.4 El Inversor	27
4 Conceptos de luz e Iluminación LED.....	29
4.1 Conceptos generales en Ing. De iluminación.....	29
5 Desarrollo de cálculo de niveles de iluminación.....	34
5.1 Definir área de análisis.....	34
5.2 Reducción de potencia consumida	35
5.3 Diseño mediante DiaLux	36
5.4 Resultados	40
6 Pre-Simulación	41
6.1 Ubicación Proyecto	41
6.2 Componentes de un sistema Off-Grid	42
6.3 Costos de los Componentes del Sistema Fotovoltaico	42
6.3.1 Componentes Fijos.....	42
6.3.2 Componentes Variables	43
6.3.3 Configuración.....	43
6.3.4 Cotización.....	48
7 Simulación de Resultados.....	50
7.1 Diseño del Proyecto.....	50
7.2 Datos de entrada.....	51
7.2.1 Orientación.....	51
7.2.2 Necesidades del Usuario.....	51
7.2.3 Sistema	52
7.3 Resultados de la simulación del Sistema	54
8 Re-dimensionado PV.....	56
9 Evaluación Económica y de Gestión	59
9.1 Formato de un proyecto	59
9.1.1 Definición del proyecto.....	59
9.1.2 Formulacion de objetivos	59
9.1.3 Búsqueda de información.....	59
9.1.4 Contextualización del proyecto.....	59
9.1.5 Elaboración del presupuesto	59
9.1.6 Definición de mecanismos de evaluación	60
9.2 Evaluación del proyecto.....	60
9.2.1 Definición del proyecto.....	60

9.2.2 Formulacion de objetivos	60
9.2.3 Busqueda de información.....	60
9.2.4 Contextualización del proyecto.....	61
9.2.5 Elaboración del presupuesto	61
9.2.6 Definición de mecanismos de evaluación	61
9.3 Elaboración del Presupuesto.....	61
9.3.1 Inversion inicial.....	61
9.3.2 Ingresos	62
9.4 Fundamentos Económicos.....	63
9.4.1 Valor Actulizado Neto (VAN)	63
9.5 Análisis Económico	64
9.5.1 Análisis Económico del proyecto dimensionado con el promedio anual de radiación	67
Discusión y conclusiones.....	69
Bibliografía.....	70

Introducción

El tema energético fue uno de los más sensibles para Chile durante el 2008. Los temores sobre un posible racionamiento, producto de las restricciones de gas natural desde Argentina, el alto precio de los hidrocarburos y los bajos niveles de los embalses para generación por las escasas lluvias, mantuvieron al país en un escenario de incertidumbre y preocupación permanente. [1]

Desde hace tiempo, el mundo se está viendo enfrentado a problemas energéticos, debido al agotamiento de las reservas mundiales de los recursos naturales, como el petróleo, el cual es utilizado como fuente directa de energía o bien para que a través de él se generen otras energías (eléctrica), este fenómeno irreversible ha sido denominado como “Crisis Energética”. Las razones pueden ser variadas: aumento del consumo de energía eléctrica debido al constante crecimiento de la población, tanto del sector residencial, como del sector industrial, quienes son los que demandan la mayor cantidad de energía, aumento del parque automotriz, etc.

Por lo anterior, la vulnerabilidad eléctrica de Chile es un tema que ocupa la agenda de autoridades. La importancia de proteger este recurso, utilizarlo de forma responsable y estudiar alternativas para ampliar la matriz energética han sido asuntos recurrentes en diferentes debates y foros, así como también en las campañas del Gobierno.

Es por lo anterior que nace en Chile la política Energética 2050, que incluyó a los actores relevantes del sector público y privado, gremios y universidades en su creación de medidas de acción. Dentro de sus lineamientos generales se encuentra ser una política sostenible, inclusiva, competitiva y confiable. Para alcanzar dichas metas, la política energética se basa en cuatro pilares fundamentales y ellos son seguridad y calidad de suministro, energía como motor de desarrollo, energía compatible con el medio ambiente y finalmente eficiencia y educación energética. En esta política se proponen metas desde el inicio de la puesta en marcha hasta dos años claves, el año 2035 y 2050. Para el año 2035 se espera que al menos el 60% de la generación eléctrica sea proveniente de energías renovables no convencionales (ERNC) para el 2050 llegar a una meta del 70%.

El Servicio Nacional de Aduanas al ser un servicio público, está comprometido con el cumplimiento de lo establecido por gobierno de disminuir un 5% del consumo energético y es por ello que nace la necesidad de fuentes de abastecimiento para sus instalaciones eléctricas independientes de la red y que su origen sea de fuentes renovables no convencionales.

Si bien el servicio ha avanzado en temas de eficiencia energética instalando fuentes de energías renovables como Paneles Solares en algunas de sus instalaciones y realizando recambio tecnológico asociado a la tecnología led, en el presente informe se realiza el dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaica autónomo para el suministro a sus instalaciones independiente de la red en el edificio Tomás Ramos de la Región de Valparaíso.

En el dimensionamiento de los componentes se considera que las instalaciones a alimentar serán solo los circuitos de iluminación, ya que en éstos se instalaran focos del tipo led para así bajar el consumo energético. Una vez obtenido el valor de la carga a alimentar se utilizarán los datos de la radiación presente en el lugar definida en el marco teórico en capítulos previos y se obtendrá el número de paneles fotovoltaicos a instalar.

Un aspecto importante que se define además del dimensionamiento de la cantidad de paneles fotovoltaicos, son la iluminación del recinto el cual tiene que cumplir con el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, y para ello se utiliza el software de simulación DiaLux Evo.

Objetivos Generales

- Dimensionar un sistema de generación basado en producción Solar Fotovoltaica, para una parte del sistema de iluminación del edificio Tomás Ramos de la Aduana de Chile.
- Validar por simulación la correcta operación del sistema.

Objetivos Específicos

- Dimensionar el sistema de iluminación de las instalaciones tomando en consideración el reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.
- Realiza la evaluación económica del proyecto para la toma de decisión de factibilidad.

1 Eficiencia Energética

1.1 Definición de eficiencia energética

La eficiencia energética (EE) de un proceso se refiere al cociente entre la cantidad de energía efectivamente aprovechada y la energía consumida para el efecto buscado. La optimización de la eficiencia energética se refiere al conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos, sin sacrificar la producción, la calidad o los niveles de confort. Dicho de otra forma, la EE corresponde a “hacer más con menos”. [2].

El uso eficiente de la energía se plantea a nivel mundial, como uno de los pilares de las políticas energéticas, debido a que promueven el crecimiento económico y desarrollo de un país y al mismo tiempo permiten aumentar la seguridad energética, reducir la dependencia de energéticos importados, aumentar la equidad en el acceso a la energía y obtener reducciones de contaminantes atmosféricos y de emisiones de gases de efecto invernadero. [2]

Existen básicamente dos tipos de medidas de promover eficiencia energética:

1. Las *medidas operacionales*, que consisten en modificar las formas de operar un equipo o sistema, por ejemplo sustituir las fuentes de abastecimiento energético por ERNC (solar, eólica, mareomotriz, etc.);
2. Y las medidas de *recambio tecnológico*, que contemplan el reemplazo de un equipo o sistema por uno optimizado, como por ejemplo la tecnología Led. [2]

¿Eficiencia Energética según la Agencia Chilena de Eficiencia Energética ACHEE?

Gran parte de la energía que usamos se desperdicia por diversas razones. Usar la energía de manera eficiente nos permite realizar todas nuestras actividades y ahorrar dinero. La escala de eficiencia es una medida para tener en cuenta el consumo de un determinado producto. Figura 1-1.

- Permite Ahorrar Dinero: Reduce el consumo de combustible en el transporte en general, tanto privado como público. Reduce los costos de producción u operación de las empresas, mejorando la competitividad de las empresas. Reduce los gastos de energía en los hogares, lo que es especialmente relevante para las familias de más bajos ingresos,

porque ellas gastan un porcentaje mayor de sus ingresos en energía que las demás familias. [2]

- **Ayuda al Medio Ambiente:** Disminuye el consumo de recursos naturales y disminuye la emisión de gases contaminantes. Reduce el deterioro al medio ambiente asociado a la explotación de recursos y reduce el impacto de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), lo que significa menores daños a la salud. Reduce el daño ambiental y la contaminación, disminuyendo el aporte a los cambios climáticos. [2]
- **Beneficia al País:** Disminuye la vulnerabilidad del país por dependencia de fuentes energéticas externas. Aumenta la seguridad del abastecimiento de energía. Mejora la imagen del país en el exterior, lo que podría disminuir las barreras de exportación y fomentar el turismo ecológico. Genera empleo y oportunidades de aprendizaje tecnológico, en los nuevos mercados de bienes y servicios que se crearán para los diferentes sectores. [2]



Figura 1-1: Escala de eficiencia energética [2]

1.2 Situación energética global de los recursos energéticos

1.2.1 Agotamiento de los recursos No Renovables

En la actualidad el petróleo y el gas natural proveen cerca del 70% de la energía primaria en el mundo. Se espera que esta combinación cubra más del 85% de las necesidades energéticas globales en el año 2030. Según estimaciones del departamento de energía de estados unidos, las reservas mundiales del petróleo económicamente factible de explotar permitirían 40 años de disponibilidad con el nivel actual de consumo. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE), las reservas probadas mundiales de gas natural al año 2005 alcanzarían aproximadamente 64 años de consumo. Las mismas estimaciones indican que las reservas de carbón equivaldrían a 155 años aproximadamente. [2]

1.2.2 Efecto invernadero

El clima del planeta está cambiando más deprisa e intensamente que en cualquier otra época: la actividad humana es la causa principal. El cambio climático es uno de los principales problemas ambientales y sociales de la humanidad debido a las consecuencias que puede tener. La causa del calentamiento global es el incremento del efecto "invernadero natural" por el aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero producido por las actividades humanas. El efecto invernadero "natural" permite la vida en la Tierra tal y como la conocemos, con una "cómoda" temperatura media global de 14,5 °C al retener parte del calor del Sol que la Tierra devuelve al espacio, como el tejado de cristal de un invernadero. Sin él, la temperatura media sería de -18 °C y nuestro planeta sería un lugar yermo y helado. A partir de la era industrial, el aumento de la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, producidos sobre todo por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas) en la producción de energía, en el transporte y en la industria, ha provocado un incremento del efecto invernadero. La tala y quema de bosques y algunos métodos de explotación agropecuaria y otras actividades también contribuyen. [3]

1.3 Protocolo de Kioto

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptada en la sede de las Naciones Unidas en New York, el 9 de mayo de 1992. La firma de este documento responde a una inquietud surgida en la década de los ochenta, cuando comenzaron a aportarse datos científicos que preveían un posible cambio climático permanente e irreversible a escala mundial, producto del aumento de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), como son el anhídrido carbónico (CO₂) y otros gases, provenientes principalmente de las actividades humanas relacionadas con la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural), la agricultura y el cambio de uso de la tierra. La Convención entró en vigor a nivel mundial el 24 de marzo de 1994, y es Ley de la República de Chile, desde el 13 de abril de 1995.

1.4 Acuerdo de París

El acuerdo sobre cambio climático adoptado por 195 países en diciembre de 2015 en París trazó el camino hacia un mundo sostenible mediante cambios drásticos en la economía global. El objetivo del acuerdo es contener el aumento de la temperatura "muy por debajo de los 2°C" respecto a la era preindustrial y "de seguir esforzándose por limitar este aumento a 1,5°C", aunque muchos expertos dudan de que se pueda lograr. Dos o 1,5°C son objetivos muy ambiciosos, dado el nivel actual de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los expertos del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) estiman que es necesario reducir las emisiones entre 40% y 70% entre 2010 y 2050 para permanecer por debajo de los 2°C. Estados Unidos, cuyo presidente actual Donald Trump estudia seriamente retirarse del Acuerdo de París, se comprometió bajo las riendas de Barack Obama a reducir sus emisiones entre un 26% y un 28% de aquí a 2025, respecto a los niveles de 2005. Los planes de acción nacionales evitarían los cataclismos +4/5°C previsible en ausencia de políticas climáticas, pero colocarían al planeta en

una situación sumamente peligrosa con +3°C. De ahí la necesidad de revisar estos compromisos, para colmar la diferencia entre 1,5/2°C y 3°C, que corresponden a impactos muy diferentes. Sobre una base voluntaria se prevé un balance en 2018: las ONGs presionan para que un máximo de países cumplan y revisen al alza sus ambiciones a partir de 2020, sobre todo tomando en cuenta que las tecnologías "verdes" serán más accesibles. En el acuerdo, la primera revisión obligatoria está prevista para 2025, fecha muy tardía para poder respetar la meta de los 2°C. Los países también deben comunicar para 2020 su estrategia de desarrollo para la emisión de baja cantidad de dióxido de carbono para 2050. El acuerdo de París prevé que los países rindan cuentas de las acciones programadas y de sus resultados. Es necesaria cierta flexibilidad para algunos Estados, en particular los más pobres. [3]

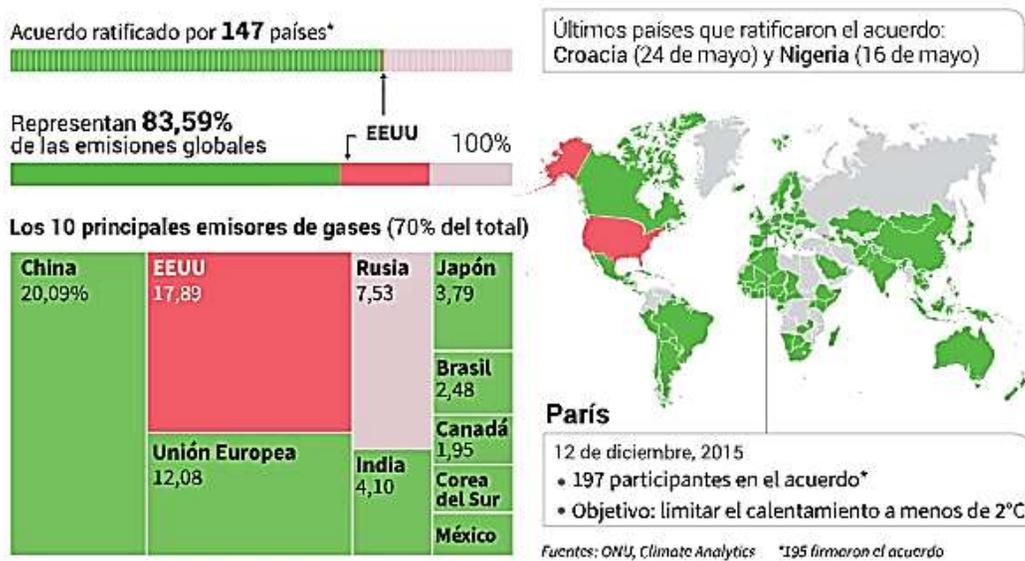


Figura 1-2: Países miembros del acuerdo de París [3].

2 ERNC y Normativa

Para un inversionista que pretende realizar un proyecto eólico o fotovoltaico en el país, es importante que se den tres cosas con respecto a las políticas existentes. [4]

- Que existan políticas relevantes que impulsen el desarrollo de energías renovables, con planes de desarrollo y de reducción de emisiones de carbono en el corto, mediano y largo plazo. Además es importante que estas políticas vengan de la mano con apoyo a la inversión, como por ejemplo a través de subsidios. [4]
- Que estas políticas estén bien diseñadas, entregando incentivos apropiados a los objetivos que se desean lograr. También es importante que sean transparentes, de fácil implementación y operación. Finalmente también deben tener una duración suficientemente larga para que los inversionistas consideren que el proyecto tiene un riesgo menor, lo cual pueda incentivar la inversión. [4]
- Que las instituciones que están encargadas de implementar estas políticas hagan su trabajo con efectividad. Es importante que la institución que haga entrega de subsidios y que esté a cargo del cumplimiento de los objetivos que están relacionados con la inclusión de generación renovable y disminución de las emisiones de carbono, tenga una operación eficiente. [4]

2.1 Ley N° 20.257 (2008) Obligatoriedad en la participación de ERNC

Esta Ley obliga a los generadores convencionales con capacidad instalada superior a 200 MW a comercializar un **10%** de la energía proveniente de fuentes renovables no convencionales o de centrales hidroeléctricas (<20 MW), sean propios o contratados a partir del 1 de enero del año 2010. Esto rige para los sistemas SIC y SING. Las generadoras que no cumplan con esta obligación deberán pagar un cargo de 0,4 UTM por cada (MW) de energía renovable no convencional no acreditado, el que aumentará en 0,6 UTM en los casos en que las empresas incidan en su incumplimiento. [5]

2.2 Ley 20.698(2013) Ampliación de la matriz energética

Propicia la ampliación de la matriz energética mediante fuente de ERNC [6]

La presente ley modifica el Decreto con Fuerza con el fin de elevar la meta de generación eléctrica a través de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), contemplada en el Art. 150 bis, la que pasa del 10% para el año 2024 a un 20% para el año 2025, aplicada escalonadamente según un plan establecido en su Art. primero transitorio. [6]

2.3 Ley 20.571 Ley de generación distribuida

Este cuerpo legal viene a establecer el sistema de incentivo a los pequeños medios de generación en base a ERNC conocido a nivel internacional como NetBilling. [7]

La ley 20.571 incorpora cuatro nuevos artículos a la ley General de Servicios Eléctricos, que buscan establecer el derecho de los clientes regulados que tengan medios de generación ERNC a inyectar los excedentes de energía a la red de distribución. Este derecho se encuentra establecido para los clientes regulados que cuenten con medios de generación que no supere los 100 KW, sujeto a que no afecte a la seguridad operacional del sistema. [7]

Radiación solar

2.4 Recurso solar

El recurso solar es la fuente de energía que utilizan los paneles o módulos fotovoltaicos y que corresponde a la radiación solar que logra alcanzar la superficie de la tierra. Para diseñar y analizar sistemas solares, necesitamos saber cuánta radiación solar está disponible. La cantidad de recurso disponible va a depender de la zona, condiciones atmosféricas y época del año. [8]

2.4.1 Ángulo óptimo de un panel solar

Es sabido que el sol aparentemente se levanta en el este y se esconde en el oeste. En muchas situaciones es útil saber exactamente donde estará el sol en cualquier momento. En el contexto de instalaciones fotovoltaicas, podemos utilizar este conocimiento para elegir el mejor ángulo de inclinación de nuestros módulos para así aprovechar al máximo la insolación incidente. En la Figura 0-1 se muestra como la tierra gira alrededor del sol. Este diagrama es complicado al trabajar con varios ángulos solares. [8]

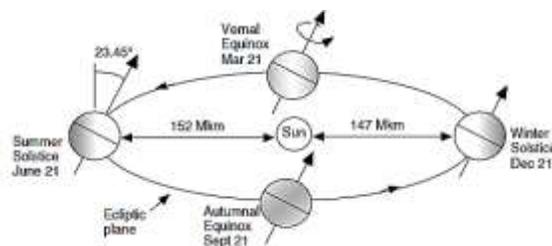


Figura 0-1: Giro de la tierra alrededor del sol. [8]

En la Figura 0-2 se muestra una alternativa (y antigua) en que la tierra es fija, girando alrededor de su eje norte-sur, el sol se ubica en una región del espacio moviéndose de arriba abajo mientras transcurren las estaciones. [8]

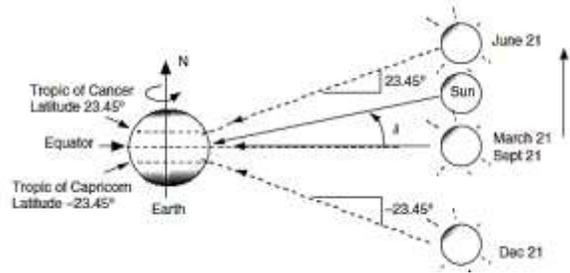


Figura 0-2: modelo alternativo. [8]

La ecuación que describe el ángulo aparente está dado por la ecuación (0-1):

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left[\frac{360 \cdot (n - 81)}{365}\right] \quad (0-1)$$

Donde n es el número de día del año, y δ toma valores de $\pm 23.25^\circ$. Si bien la Figura 0-2 no captura las sutilezas asociadas con la órbita terrestre, es bastante adecuado para poder visualizar los conceptos de latitud y ángulo solar. Como se puede apreciar en la Figura 0-3 cuando ocurre el solsticio de verano en la latitud 66.55° toda su superficie toma la luz solar, las 24 horas, mientras que en el hemisferio sur, por debajo de 66.55° está continuamente oscuro. [8]

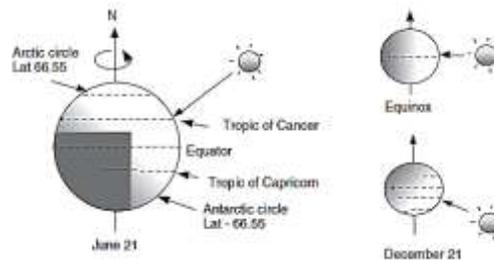


Figura 0-3: Visualización de latitudes en el modelo solar simple. [8]

Con Figura 0-4 se puede tener una idea de cuál sería el ángulo óptimo para un panel, según la latitud local L . Como se puede ver con este ángulo de inclinación L , el colector es paralelo al eje de la tierra. Además, durante el equinoccio cuando el sol está sobre el meridiano local, los rayos del sol incidirán sobre el colector de la mejor manera, ósea perpendicular a la cara del colector. En otras épocas del año, el sol se encuentra un poco más alto o más bajo para la incidencia perpendicular, pero en promedio es un buen ángulo para cálculos solares. [8]

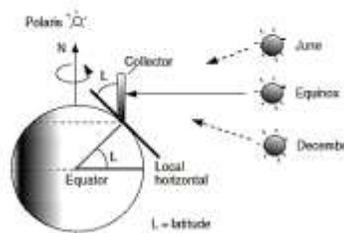


Figura 0-4: Colector orientado hacia el sur, inclinado con un ángulo igual a su latitud. [8]

Habiendo dibujado el sistema tierra-sol como en la Figura 0-2 facilita la determinación del ángulo solar, es decir el ángulo β_n del sol en mediodía. El ángulo entre el sol y el horizonte se puede apreciar en la Figura 0-5. [8]

$$\beta_n = 90^\circ - L + \delta \quad (0-2)$$

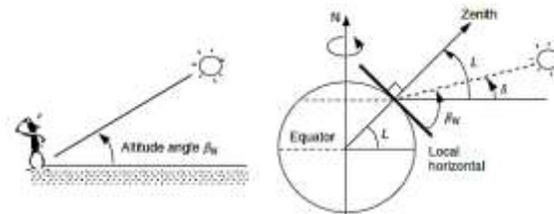


Figura 0-5: Angulo de altitud solar a mediodía. [8]

2.4.2 Radiación

El flujo solar que incide en la superficie del panel fotovoltaico, será la suma de la irradiación directa, reflejada y difusa. Los conceptos se ilustran en la Figura 0-6. [8]

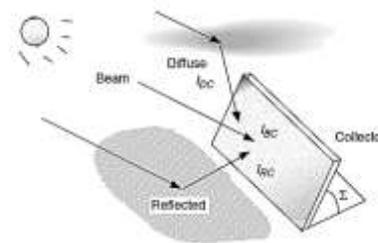


Figura 0-6: Radiación solar como combinación de radiación directa, difusa y reflejada. [8]

El objetivo es estimar la cantidad de radiación que llega a la superficie de la tierra en un día claro. Como punto de partida se calcula la cantidad de radiación que incide sobre una superficie perpendicular en la tierra, como se muestra en la Figura 0-7, esta insolación depende de la distancia entre la tierra y el sol, que varía con cada época del año. [8]

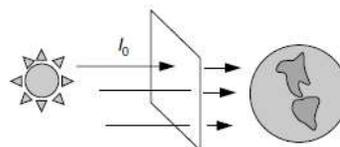


Figura 0-7: Flujo solar. [8]

También depende de la intensidad del sol, que sube y baja con un ciclo bastante predecible. Otro factor son las manchas solares, pero su incidencia se ignora. La ecuación para modelar la variación de radiación, ignorando las manchas solares es la ecuación (0-3): [8]

$$I_o = SC \cdot \left[1 + 0.034 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right] (w/m^2) \quad (0-3)$$

Donde SC es la constante solar, y n es el número de día. La constante solar es aproximadamente $1.353 (kw/m^2)$. La atenuación de la radiación entrante es función de la distancia que el haz tiene que viajar por la atmosfera. Un modelo comúnmente usado trata la atenuación como una función de decaimiento exponencial. [8]

$$I_B = Ae^{-km} \quad (0-4)$$

Donde I_b es la porción de haz de luz que llega a la tierra (normal a los rayos), A es un flujo aparente y K es un factor adimensional llamado profundidad óptica y donde m es la relación de masa de aire y su valor es expresado según la ecuación: [8]

$$m = \frac{1}{\sin(\beta)} \quad (0-5)$$

Donde β es el ángulo de altitud del sol, dado por la ecuación (0-2). Los valores de k y A se pueden modelar mediante las siguientes ecuaciones: [8]

$$A = 1160 + 75 \cdot \sin\left[\frac{360 \cdot (n - 275)}{365}\right] (w/m^2) \quad (0-6)$$

$$k = 0.174 + 0.035 \cdot \sin\left[\frac{360 \cdot (n - 100)}{365}\right] (w/m^2) \quad (0-7)$$

Donde n es el número de día.

2.4.3 Radiación total

A continuación se describirán las componentes de la radiación incidente en un panel solar. La componente directa es más fácil de calcular, en cambio la difusa y la reflejada son un poco más complicada. [8]

Radiación directa

La irradiación directa es dada en función del ángulo de incidencia y está dada por la ecuación(0-8). [8]

$$I_{bc} = I_o \cdot \cos \theta \quad (0-8)$$

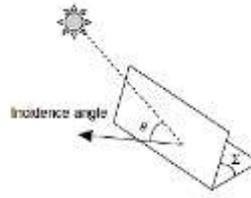


Figura 0-8: Angulo de incidencia entra la normal de la cara del colector y la irradiación solar. [8]

Para el caso especial de insolación de un haz sobre una superficie horizontal se tiene la ecuación (0-10): [8]

$$I_{BH} = I_B \cdot \sin(\beta) \tag{0-9}$$

Radiación difusa

Una parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, llamada difusa, va en todas direcciones, efecto producido por las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Es proporcional a la radiación directa y está dada por la ecuación (0-10): [8]

$$I_{DH} = C \cdot I_B \tag{0-10}$$

Donde C es un factor de difusión y está dado por:

$$C = 0.095 + 0.04 \cdot \sin\left[\frac{360 \cdot (n - 100)}{365}\right] \tag{0-11}$$

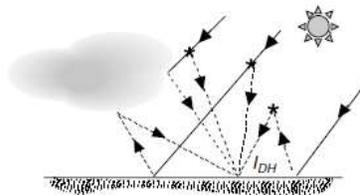


Figura 0-9: Radiación difusa producto de las partículas atmosféricas y la humedad. [8]

Como primera aproximación se supone que la radiación difusa proviene de todos los puntos en el espacio con la misma intensidad. Luego la ecuación (0-10) se puede describir como: [8]

$$I_{DC} = C \cdot I_B \cdot \left(\frac{1 + \cos(\Sigma)}{2}\right) \tag{0-12}$$

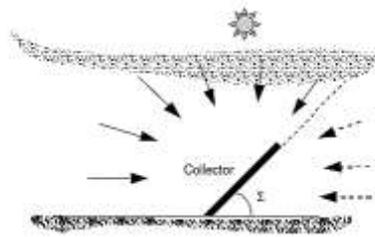


Figura 0-10: La radiación difusa en el colector, es proporcional a la porción del cielo que lo "ve". [8]

Radiación reflejada

Es la componente final de la insolación que incide el colector, y es resultado de la radiación que se refleja por las superficies que se encuentran delante del panel. Esta reflexión puede proporcionar un impulso en el rendimiento o podría ser tan modesto que podría ser ignorado. El modelo más simple asume un área horizontal grande delante del panel, con una reflectancia " ρ " difusa y rebota la radiación reflejada con la misma intensidad en todas las direcciones, como se muestra en la Figura (0-11). [8]

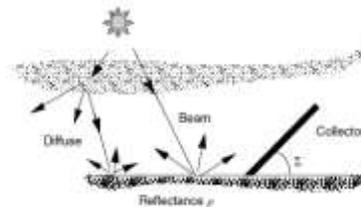


Figura 0-11: el suelo refleja la misma intensidad en todas las direcciones. [8]

La expresión para su cálculo es la ecuación (0-13):

$$I_{RC} = \rho(I_{BH} + I_{DH}) \cdot \left[\frac{1 - \cos(\Sigma)}{2} \right] \quad (0-13)$$

3 Marco teórico para instalaciones PV

Se dice que un material o dispositivo capaz de convertir la energía contenida en los fotones de luz en una tensión y corriente eléctrica es denominado *fotovoltaico*. Un fotón con una longitud de onda suficientemente corta y una energía suficientemente alta puede hacer que un electrón en un material fotovoltaico se libere del átomo que lo contiene y produzca una *corriente eléctrica*. [8]

3.1 Materiales Semiconductores y Características Eléctricas

La energía fotovoltaica utiliza materiales semiconductores para convertir la luz solar en electricidad. La tecnología para hacerlo está estrechamente relacionada con las tecnologías de *estado sólido* utilizadas para fabricar transistores, diodos y todos tipos de dispositivos semiconductores. El punto de partida para la actual generación mundial de dispositivos fotovoltaicos, es el silicio cristalino puro. Se encuentra en la cuarta columna de la tabla periódica, denominada Grupo IV. El germanio es otro elemento del Grupo IV, y también se utiliza como un semiconductor en algunos aparatos electrónicos. Como veremos, el boro y el fósforo, de los Grupos III y V, se añaden al silicio para producir la mayor parte de las celdas fotovoltaicas. [8]

El silicio tiene 14 protones en su núcleo, y por lo tanto tiene 14 electrones. Como se muestra en la Figura 3-1, su órbita externa contiene cuatro electrones de valencia, es decir, es tetravalente. Esos electrones de valencia son los únicos que importan en electrónica, por lo que es común dibujar silicio como si tuviera una carga de +4 en su núcleo y cuatro electrones de valencia fuertemente sostenidos, como se muestra en Figura 3-1. En el silicio cristalino puro, cada átomo forma enlaces covalentes con cuatro átomos adyacentes en el patrón tetraédrico tridimensional mostrado en la Figura 3-2 a. Por conveniencia, ese patrón se dibuja como si estuviera todo en un plano, como en la Figura 3-2 b. [8]

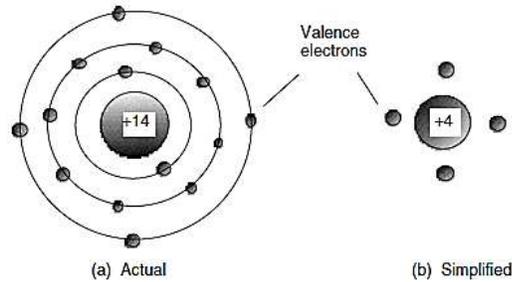


Figura 3-1: El silicio tiene 14 protones y electrones como en (a). Una abreviatura conveniente es El silicio tiene 14 protones y electrones como en (a). Una abreviatura conveniente es dibujada en (b), en el que sólo se muestran los cuatro electrones exteriores, girando alrededor de un núcleo con una carga de +4. [8]

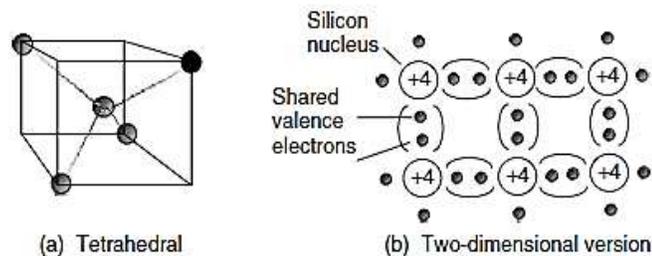


Figura 3-2: El silicio cristalino forma una estructura tetraédrica tridimensional (a); pero es más fácil de dibujar como una matriz plana bidimensional (b). [8]

A una temperatura cero absoluta, el silicio es un aislante eléctrico perfecto. La conductividad del silicio a temperaturas normal aumenta pero aún es todavía muy baja, por lo que se conoce como un *semiconductor*. Como veremos, mediante la adición de cantidades diminutas de otros materiales, la conductividad de los semiconductores puros (intrínsecos) puede aumentarse considerablemente.

Si se sustituye un átomo de silicio por otro átomo que tenga *tres o cinco* electrones de valencia, la falta de un electrón dejará un hueco disponible, quedando de esta forma con mayor carga positiva (capa P), mientras que en el segundo caso quedará un electrón libre, lo que genera una mayor cantidad de carga negativa (capa N), a este proceso de sustitución de átomos se le conoce como *dopado*. El dopado se puede hacer por difusión a alta temperatura (existen otros métodos para dopar al silicio), donde las láminas se introducen en un horno con el dopante introducido en forma de vapor. Ambas capas se encuentran separadas por un material semiconductor, para formar una unión P-N. Para el dopado tipo P, Figura 3-4, se utilizan generalmente átomos de boro, el cual posee III electrones de valencia, mientras que para el dopado tipo N, Figura 3-3, se puede utilizar átomos de fósforo, que poseen V electrones de valencia. El proceso de formación de la unión P-N, provoca una difusión de electrones de las zonas con mayores concentraciones, es decir, desde la capa de tipo N de la unión, hacia la capa P con menores concentraciones de electrones. Esta difusión de electrones a través de la unión P-N,

produce una recombinación con los huecos de la cara de tipo P, generando un *campo eléctrico* en la juntura hasta que se alcance el equilibrio, luego de esto no existe flujo de cargas a través de la unión, a no ser que sea excitada por una fuente externa de “energía” como se observa en la Figura 3-5. [8]

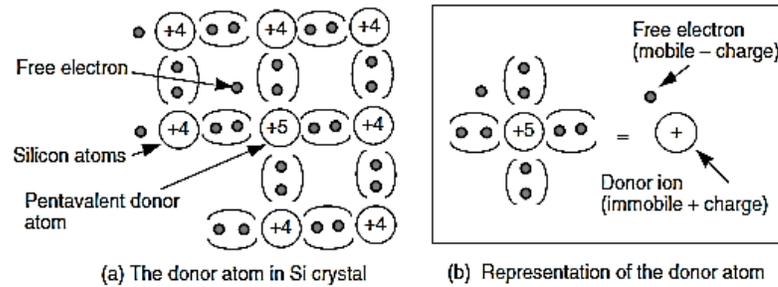


Figura 3-3: Material de tipo N. (A) El donante pentavalente. B) La representación del donante como carga móvil negativa con una carga positiva fija e inmóvil. [8]

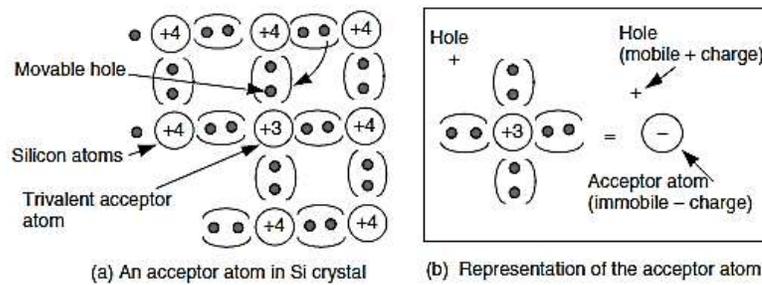


Figura 3-4: En un material de tipo P, los átomos trivalentes contribuyen a que los huecos móviles cargados positivamente dejen cargas negativas rígidas e inmóviles en la red cristalina. [8]

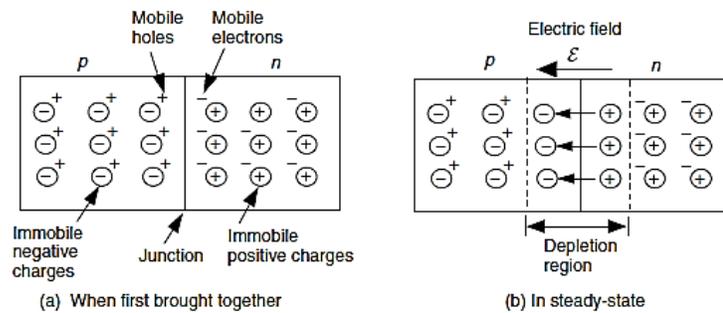


Figura 3-5: (A) Cuando se forma primero una unión p-n, hay orificios móviles en la P-lado y electrones móviles en el n-lado. (B) A medida que migran a través de la unión, el campo eléctrico aumenta y hace que se detenga la difusión. [8]

3.1.1 Principio de funcionamiento

Cuando un fotón entra en un material fotovoltaico, puede ser reflejado, absorbido o transmitido a través de él. Cuando este fotón es absorbido por un electrón de valencia de un átomo, la energía del electrón es aumentada por la cantidad de energía del fotón. Si, ahora, la energía del fotón es mayor que la banda de brecha del semiconductor, el electrón, que tiene exceso de energía, saltará en la banda de conducción, donde puede moverse libremente. Por lo tanto, cuando el fotón es absorbido, se libera un electrón del átomo. El electrón se puede mover mediante un campo eléctrico a través de la parte delantera y trasera del material fotovoltaico, y esto se logra con la ayuda de una unión p-n. En ausencia de un campo, el electrón se recombina con el átomo; Mientras que cuando hay un campo, fluye a través (corriente de arrastre), creando así una corriente. Si la energía del fotón es menor que la del intervalo de banda, el electrón no tendrá energía suficiente para saltar a la banda de conducción, y el exceso de energía se convierte en energía cinética de los electrones, lo que conduce a un aumento de la temperatura. Debe tenerse en cuenta que, independientemente de la intensidad de la energía del fotón con respecto a la energía de la banda, sólo se puede liberar un electrón. Esta es la razón de la baja eficiencia de las células fotovoltaicas. El funcionamiento de una célula fotovoltaica se muestra en la Figura 3-6. Estas celdas solares contienen una unión de un semiconductor de tipo p y un semiconductor de tipo n, es decir, una unión p-n. Hasta cierto punto, los electrones y los agujeros difunden a través del límite de esta unión, fijando un campo eléctrico a través de él. Los electrones libres se generan en la capa n por la acción de los fotones. Cuando los fotones de luz solar golpean la superficie de una célula solar y son absorbidos por el semiconductor, algunos de ellos crean pares de electrones y agujeros. Si estos pares están suficientemente cerca de la unión p-n, su campo eléctrico hace que las cargas se separen, los electrones se mueven al lado del tipo n y los agujeros al lado del tipo p. Si los dos lados de la célula solar están ahora conectados a través de una carga, una corriente eléctrica fluirá mientras la luz del sol incida en la célula. [8]

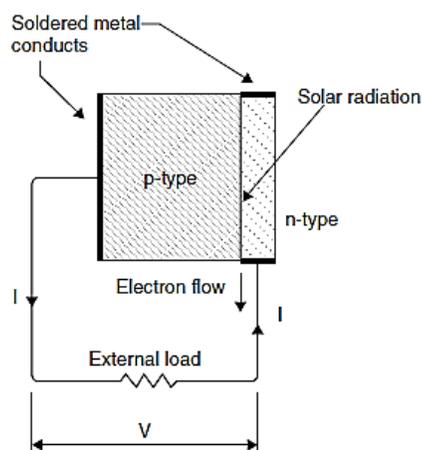


Figura 3-6: Efecto fotovoltaico. [8]

3.2 Circuito equivalente para una celda fotovoltaica

La Figura 3-7 muestra un circuito equivalente PV que incluye pérdidas paralelas, Resistencia R_p . La fuente de corriente ideal I_{sc} en este caso suministra corriente al Diodo, la resistencia paralela y la carga:

$$I = (I_{sc} - I_d) - \left(\frac{V}{R_p}\right) = I_{sc} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot v_d}{k \cdot t}} - 1\right) - \left(\frac{V}{R_p}\right) \quad (3-1)$$

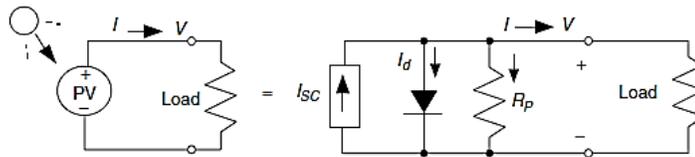


Figura 3-7: El circuito equivalente PV incluyendo sólo R_p . [8]

Lo que la ecuación (3-2) nos dice es que en cualquier voltaje dado, la resistencia de fuga paralela hace que la corriente de carga para el modelo ideal sea disminuida por (V/R_p) como se muestra en la Figura 3-8. [8]

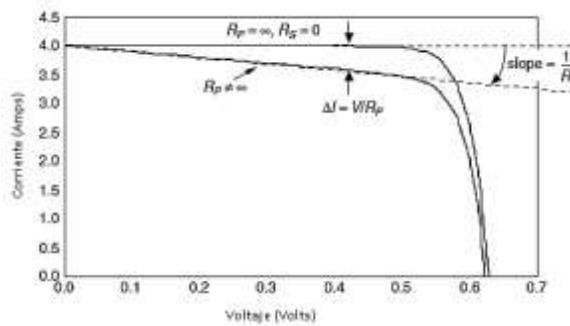


Figura 3-8: Efecto de la resistencia R_p . [8]

Un circuito equivalente mejorado incluirá resistencia en serie R_s así como resistencia paralela.

$$I = (I_{sc} - I_0 \cdot (e^{q \cdot (v - I \cdot R_s) / k \cdot T} - 1)) \quad (3-2)$$

La consecuencia de agregar una resistencia serie en el modelo se puede representar en la Figura 3-9.

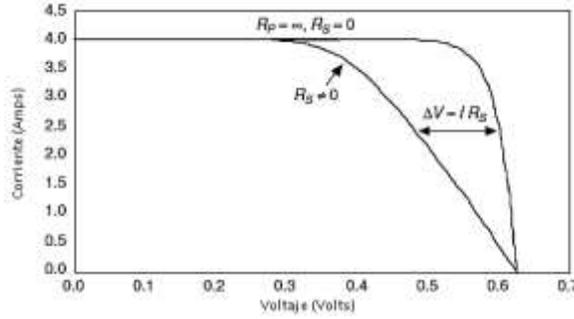


Figura 3-9: Efecto de la resistencia R_s . [8]

Finalmente, generalicemos el circuito equivalente, Figura 3-10, PV incluyendo tanto las series como Paralelas. Podemos escribir las siguiente ecuaciones para corriente y voltaje, Ecuación (3-3). [8]

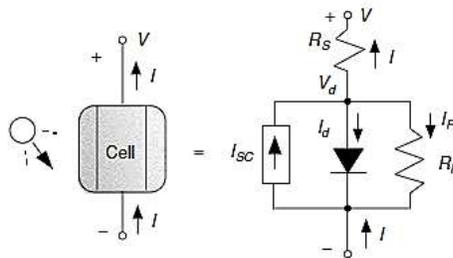


Figura 3-10: Modelo del circuito equivalente. [8]

$$I = I_{sc} - I_0 \cdot \left(e^{(q \cdot (V + I \cdot R_s)) / k \cdot T} \right) - \left(\frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \right) \quad (3-3)$$

$$I = I_{sc} - I_d - I_p \quad (3-4)$$

$$V = V_d - I \cdot R_s \quad (3-5)$$

3.3 Desde la celda al módulo, desde el módulo al arreglo

Puesto que una célula individual produce solamente aproximadamente 0.5 V, es una aplicación rara para la cual apenas una sola célula es de cualquier uso. En cambio, el bloque básico para las aplicaciones fotovoltaicas es un módulo que consiste en un número de celdas conectadas en serie, todas selladas en paquetes resistentes a la intemperie. En serie para aumentar la tensión y en paralelo para aumentar la corriente, cuyo producto es la potencia. Un elemento importante en el diseño del sistema fotovoltaico es decidir cuántos módulos se deben conectar en serie y cuántos en paralelo para entregar la energía que se necesita. La Figura 3-11 muestra esta distinción entre celdas, módulos y arreglos. [8]



Figura 3-11: Celda, Módulo y Arreglos. [8]

3.4 Desde la celda al módulo

Como el módulo fotovoltaico está conectado en serie, todas las celdas llevan la misma corriente, y a cualquier corriente dada su voltaje se suma como se muestra en la Figura 3-6. El voltaje está dado por la Ecuación (3-6) para n celdas. [8]

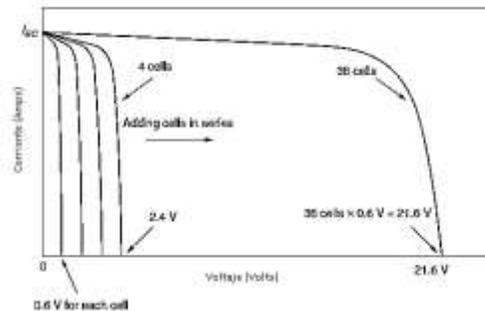


Figura 3-12: Tensión para un módulo típico de 36 celdas. [8]

$$V = n \cdot (V_d - I \cdot R_s) \quad (3-6)$$

3.5 Desde el módulo al arreglo

Los módulos se pueden conectar en serie para aumentar el voltaje, y en paralelo para aumentar la corriente. Las Arreglos se componen de una combinación de módulos serie y paralelos para aumentar la potencia. Para los módulos en serie, las curvas **I -V** se añaden simplemente a lo largo del eje de voltaje como se observa en la Figura 3-13. Para los módulos en paralelo, la tensión es la misma en cada módulo y la corriente total es la suma de las corrientes. Es decir, a cualquier voltaje dado, la curva I-V es simplemente la suma de las corrientes de módulo individual a ese voltaje. La Figura 3-14 muestra la curva I-V para tres módulos en paralelo. [8]

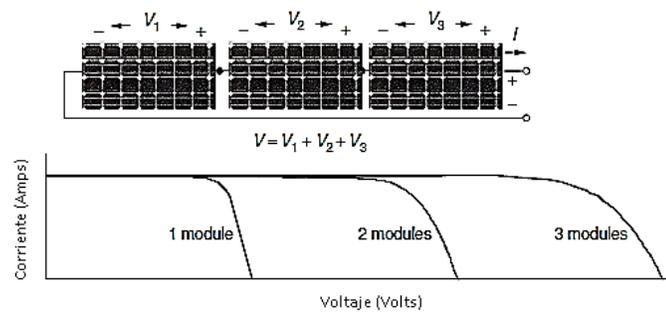


Figura 3-13: Para módulos en serie los voltajes se suman. [8]

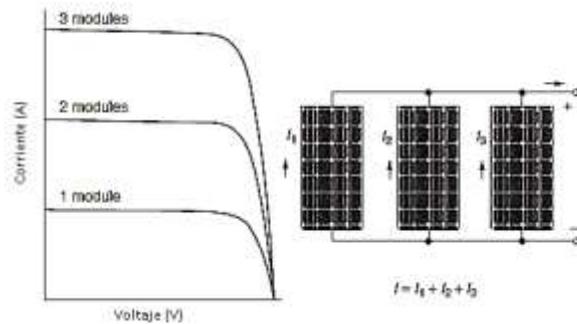


Figura 3-14: Para módulos en paralelos, las corrientes se suman. [8]

Cuando se necesita alta potencia, el arreglo fotovoltaico normalmente consistirá en una combinación de módulos serie y paralelos para los cuales la curva **I -V** total es la suma de las curvas individuales del módulo. Hay dos maneras de conectar el cableado serie/paralelo, estos modos se observan en la Figura 3-15. [8]

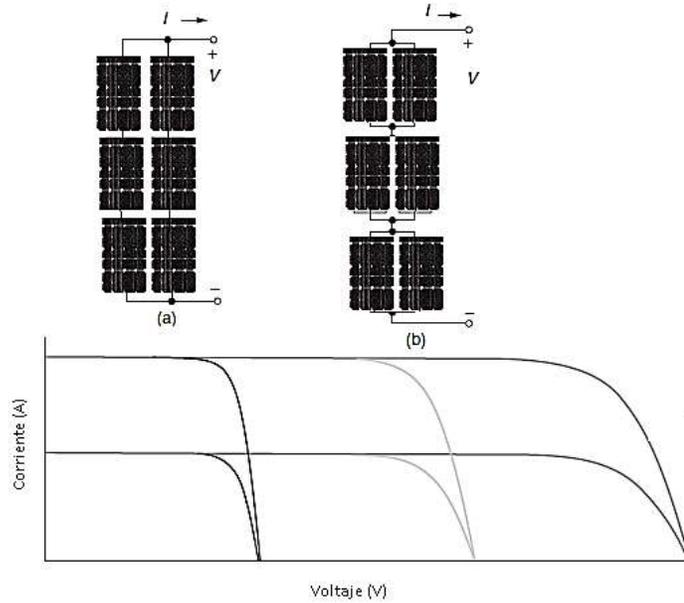


Figura 3-15: Dos maneras los módulos serie/paralelo. [8]

3.6 Curva I-V bajo condiciones estándares

La Figura 3-16 muestra una curva I-V genérica para un módulo fotovoltaico, identificando varios parámetros claves incluyendo el voltaje de circuito abierto V_{OC} y el de cortocircuito I_{SC} . También se muestra el producto de voltaje y corriente, es decir, potencia entregada por el módulo. [8]

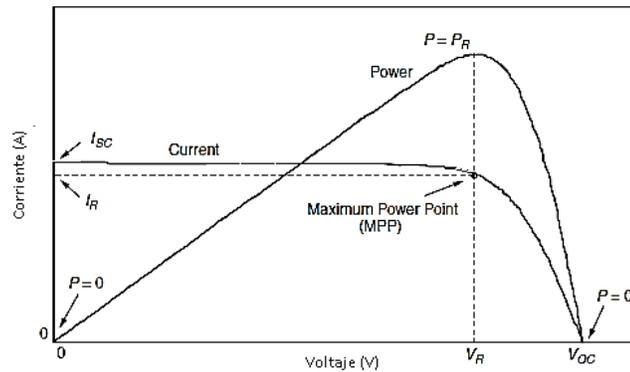


Figura 3-16: La curva I -V y la salida de potencia para un módulo fotovoltaico en condiciones estándares. [8]

3.7 Impacto de la temperatura e insolacion en la curva I – V.

Los fabricantes a menudo proporcionan curvas I -V que muestran cómo las curvas cambian con la insolación y los cambios de temperatura. Como se puede ver en la Figura 3-17, a medida que aumenta la temperatura de la célula, el voltaje de circuito abierto disminuye sustancialmente mientras que la corriente de cortocircuito aumenta sólo ligeramente. [8]

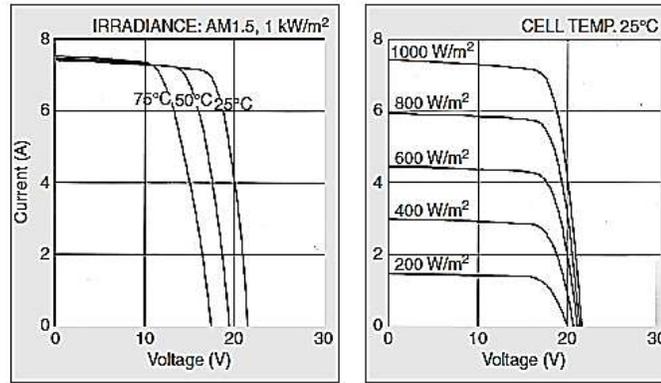


Figura 3-17: Curvas característica I - V para varias temperaturas e irradiancias. [8]

3.8 Impacto de las sombras

La salida de tensión de un módulo fotovoltaico se puede reducir drásticamente cuando incluso una pequeña parte de ella está sombreada. Los diodos externos, añadidos a propósito por el fabricante del PV o por el diseñador del sistema, pueden ayudar a preservar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos. El objetivo principal de estos diodos es mitigar los impactos del sombreado en las curvas de potencia y I -V. Dichos diodos se suelen añadir en paralelo los módulos o bloques de celdas dentro de un módulo. El sombreado drástico desplaza la curva I-V, y a la vez crea *puntos calientes* locales potencialmente dañinos en celdas sombreadas. [8]

En la Figura 3-18 una célula solar a pleno sol que funciona en su rango normal y contribuye aproximadamente 0.5 V a la salida de voltaje del módulo, pero en el circuito equivalente mostrado en Figura 3-19 hay una celda sombreada que experimenta una caída de tensión ya que la corriente se desvía a través de las resistencias en paralelo y en serie. Esta caída puede ser considerable. [8]

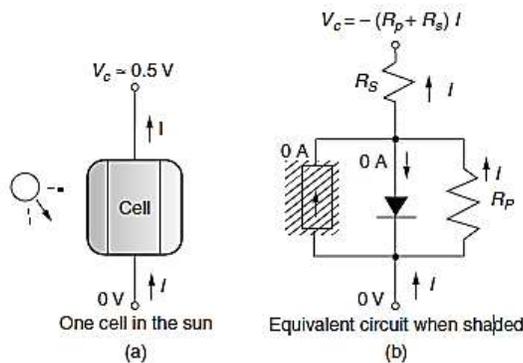


Figura 3-18: cuando está despejado, la celda contribuye con 0.5 volts, cuando esta está sombreada sus resistencia paralela y serie conducen. [8]

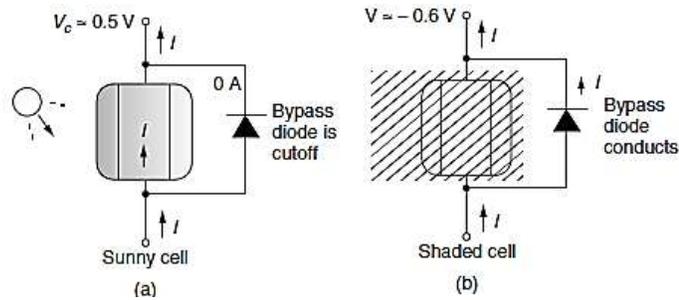


Figura 3-19: Reducir el problema de sombra con un diodo de bypass. [8]

3.9 Componentes de un sistema fotovoltaico Autónomo

3.9.1 Clasificación de Paneles Solares

Cuando se trata de elegir los módulos fotovoltaicos adecuados para su proyecto, los consumidores se enfrentan con innumerables opciones en cuanto a calidad, rendimiento y precio. Como con la mayoría de las cosas en la vida, la gente trata de obtener las mejores ofertas, sacrificando a menudo el rendimiento a un precio competitivo. Intentar mantener sus costes bajos es comprensible, pero sacrificar el funcionamiento sobre precio puede afectar severamente su proyecto. [8]

- **Monocristalinos:** los paneles solares monocristalinos son el sistema más viejo y más desarrollado hasta la fecha. Como su nombre indica, están hechas de un solo cristal de silicio puro. [8]
 1. Los paneles solares monocristalinos tienen la mayor tasa de eficiencia (por lo general alrededor del 15-20%);
 2. los módulos monocristalinos son eficientes en cuanto a espacio. Debido a que estos módulos ofrecen la mayor potencia de salida, que requieren la menor cantidad de espacio en comparación con otros paneles solares.
 3. Tienen una larga vida útil – la mayoría de los fabricantes ofrecen una garantía de 25 años.
 4. Su desempeño es mejor que otros tipos de módulos solares en condiciones de poca luz.
 5. Los módulos monocristalinos son relativamente caros.
- **Policristalinos:** Los paneles solares Policristalinos están formados por múltiples cristales.
 1. El proceso utilizado para fabricar paneles solares poli es más sencillo y, por lo tanto, menos costoso.
 2. Por lo general tienen una menor tolerancia al calor que los módulos monocristalinos.
 3. Debido a que la pureza del silicio es menor que los módulos monocristalino, los paneles solares Policristalinos son menos eficientes. Su eficiencia suele estar clasificada en torno al 13% -16%. [8]

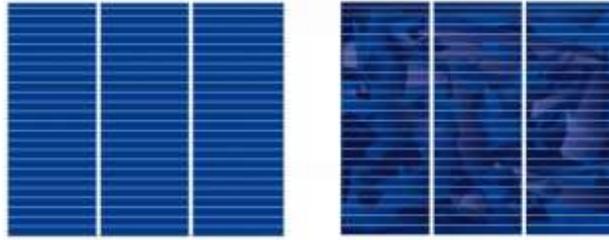


Figura 3-20: módulo monocristalino y Policristalino. [8]

3.9.2 Sistema de almacenamiento

Las baterías son necesarias en muchos sistemas fotovoltaicos para suministrar energía durante la noche o cuando el sistema fotovoltaico no puede satisfacer la demanda. La selección del tipo y tamaño de la batería depende principalmente de los requisitos de carga y disponibilidad. Cuando se usan baterías, éstas deben estar ubicadas en una zona sin temperaturas extremas, y el espacio donde se encuentran debe estar ventilado adecuadamente. Los principales tipos de baterías disponibles en la actualidad incluyen plomo-ácido, níquel-cadmio, hidruro de níquel y litio. Las baterías de plomo-ácido de ciclo profundo son las más usadas. Estas pueden ser sumergidas o válvulas-reguladas y están disponibles comercialmente en una variedad de tamaños. Las baterías sumergidas (o húmedas) requieren un mayor mantenimiento pero, con el debido cuidado, pueden durar más tiempo, mientras que las baterías con válvulas requieren menos mantenimiento. El requisito principal de las baterías para un sistema fotovoltaico es que deben ser capaces de aceptar repetidas cargas y descargas profundas sin daños. Aunque las baterías fotovoltaicas tienen un aspecto similar a las baterías para automóviles, estas últimas no están diseñadas para repetidas descargas profundas y no deben utilizarse. Para más capacidad, las baterías se pueden conectar en paralelo. Las baterías se utilizan principalmente en el PV autónomo. [9]

- **Plomo - Ácido:** Estas baterías se componen de varias placas de plomo en una solución de ácido sulfúrico. La placa consiste en una rejilla de aleación de Plomo con una pasta de óxido de Plomo incrustada sobre la rejilla. La solución de ácido sulfúrico y agua se denomina electrolito. Las baterías de este tipo se utilizan ampliamente en sistemas fotovoltaicos, la unidad de construcción básica de una batería de cada celda de 2 Volt.
- **Níquel - cadmio:** Las baterías de Níquel-Cadmio tienen una estructura física similar a las de Plomo-ácido, en lugar de Plomo, se utiliza hidróxido de Níquel para las placas positivas y óxido de Cadmio para las negativas. El electrolito es hidróxido de Potasio. La unidad básica de cada celda es de 1,2 volt, admiten descargas profundas de hasta un 90%, su vida útil es más larga, sin embargo su alto costo en comparación con las de plomo acida las hacen menos utilizadas en sistemas fotovoltaico.
- **Ion de litio:** Las baterías de ion de litio como las más usadas en celulares y computadoras son superiores en calidad. Actualmente se investiga fuertemente en mejoras y en desarrollo de alternativas como por ejemplo los ion -aire o los de litio en estado sólido,

principalmente motivados para solucionar los requerimientos de energías en vehículos eléctricos. [9]

3.9.3 Regulador de carga

Este elemento permite proteger a la batería en caso de sobrecarga o descargas profundas lo que minimiza la vida útil del sistema de almacenamiento, el regulador monitorea constantemente la tensión del banco de baterías y cuando la batería se encuentra cargada interrumpe el proceso de carga abriendo el circuito entre los paneles y las baterías, cuando el sistema comienza a ser utilizado y las baterías a descargarse el regulador nuevamente conecta el sistema, Figura 3-21. Otra función del regulador es la prevención de la sobre descarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, siendo éste un fenómeno, que como ya se ha dicho, puede provocar una sensible disminución en la capacidad de carga de la batería en sucesivos ciclos. Algunos reguladores incorporan una alarma sonora o luminosa previa a la desconexión para que el usuario pueda tomar medidas adecuadas, como reducción del consumo, u otras. Los reguladores más modernos integran las funciones de prevención de la sobrecarga y las sobre descargas en un mismo equipo, que además suministra información del estado de carga de la batería, la tensión existente en la misma además de ir provistos de sistemas de protección tales como fusibles, diodos, etc., para prevenir daños en los equipos debidos a excesivas cargas puntuales. Estos reguladores también pueden incorporar sistemas que sustituyan a los diodos encargados de impedir el flujo de electricidad de la batería a los paneles solares en la oscuridad, con un costo energético mucho menor. Las características eléctricas que definen un regulador son tensión nominal y la intensidad máxima que pueden soportar por los paneles solares. [8]



Figura 3-21: Regulador de carga simple [10].

3.9.4 El Inversor

Este elemento permite convertir la corriente continua (CC) en alterna (CA), dado que los sistemas fotovoltaicos nos entregan corrientes continua es necesario realizar esta conversión para la utilización de los aparatos eléctricos comunes. Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada desde las baterías, la potencia máxima que puede proporcionar y su eficiencia o rendimiento de potencia. Este último se define como la relación

entre la potencia eléctrica que el inversor entrega para su uso (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del sistema de baterías o de los generadores fotovoltaicos (potencia de entrada). [8]

Características:

- Alta eficiencia, deben funcionar bien para un rango amplio de potencias.
- Bajo consumo en vacío es decir cuando no hay cargas conectadas.
- Protección contra cortocircuito.
- Seguridad y buena mantención.
- Baja distorsión armónica.
- Capacidad de instalarse en paralelo, para una posible expansión del sistema.
- Temperatura de operación entre -5° y 40°C , por lo que ha de tener buen comportamiento térmico.

Los inversores permiten transformar la tensión continua de 12 o 24 volts en alterna de 220 volts que es la medida que se utiliza generalmente en los puntos de consumo. Según el tipo de onda producido, se clasifican en el tipo de onda cuadrada o del tipo sinodal. El inversor de buena calidad es aquel que a su salida presenta una forma de onda sinodal, pero tiene como consecuencia un mayor costo de adquisición en comparación con un inversor sencillo de onda cuadrada.

4 Conceptos de luz e Iluminación LED

4.1 Conceptos generales en Ing. De iluminación

La instalación de alumbrado debe satisfacer una serie de aspectos que hagan de la actividad a desarrollar por el observador sea una tarea cómoda. Hay muchos aspectos a tener en cuenta, ya que no debe crear problemas de adaptación visual, debe proveer la agudeza visual adecuada, no debe obstruir la tarea visual y debe permitir posturas cómodas, debe limitar la producción de ruido y debe eliminar el efecto estroboscópico entre otras características. Las principales causas de una mala iluminación son: [11]

- Temperatura de color inadecuada al lugar.
- Parpadeo al iniciar el proceso de iluminación.
- Baja eficiencia energética.

Esto es producido en muchos casos a la falta un plan de mantenimiento porque se suele llevar a cabo un mantenimiento correctivo, cuando la luminaria falla se reemplaza, en vez de preventivo, donde se realiza una limpieza programada y una sustitución de las lámparas al terminar su vida útil. [11]

1. **Luz visible:** Se produce por radiación electromagnética que es percibida por el ojo humano como claridad (Figura 4-1), esta radiación posee una longitud de onda que va desde los 380 a los 780 (nm), a este rango visible se le llama Espectro visible. [11]

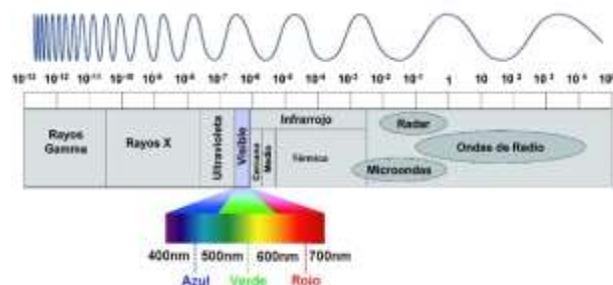


Figura 4-1: Espectro visible [11].

2. **Flujo luminoso, Lumen (lm):** Es la cantidad de energía, en forma luminosa, emitida por una fuente. Su unidad es el lumen (Lm) y su símbolo es Φ . El flujo luminoso (o potencia lumínica) nos da idea de la cantidad de luz total que emite una fuente luminosa (Figura 4-2). El flujo luminoso es la medida de la potencia luminosa percibida. Difiere del *flujo radiante*, la medida de la potencia total emitida, en que está ajustada para reflejar la *sensibilidad del ojo humano* a diferentes longitudes de onda. [11]



Figura 4-2: Flujo Luminoso Φ . [11]

3. **Intensidad luminosa, Candela (cd):** Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta (Figura 4-3). Su símbolo es I y la unidad en el sistema internacional es la candela (Cd). [11]



Figura 4-3: Intensidad Luminosa (I). [11]

Por lo tanto:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

Donde:

I Es la intensidad luminosa expresada en candelas.

Φ Es el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido.

ω Es el ángulo sólido.

Angulo Sólido: El ángulo sólido podemos imaginarlo como el espacio contenido dentro de un cono (este sería el caso de un haz de luz). El ángulo sólido se expresa en estereorradianes. Si imaginamos una esfera de un metro de radio y desde su centro trazamos un cono que delimite en su superficie un casquete esférico de un metro cuadrado, el valor del ángulo sólido determinado por dicho cono es igual a un estereorradián.

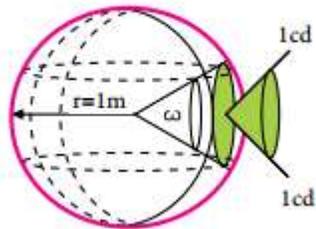


Figura 4-4: Angulo sólido [11]

Es decir, si se observa una fuente de luz, esta va a emitir en muchas direcciones (flujo luminoso). Si el interés se dirige hacia una dirección determinada, se necesitará conocer la intensidad luminosa. La intensidad se utiliza para caracterizar las diferentes luminarias en las distintas direcciones. Se puede expresar gráfica o numéricamente. Con un goniómetro se puede determinar la intensidad luminosa de una fuente de luz en todas las direcciones del espacio con relación a un eje vertical. Si se representa por medio de vectores la intensidad luminosa (I) de una fuente de luz en las infinitas direcciones del espacio, se obtiene un volumen que representa el valor del flujo total emitido por la fuente. El sólido que se consigue recibe el nombre de sólido fotométrico Figura 4-5. [11]

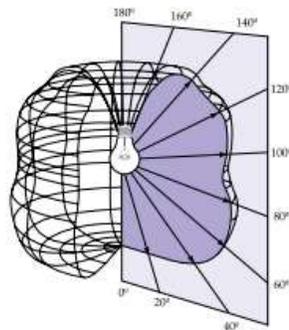


Figura 4-5: Sólido fotométrico de una lámpara incandescente [11].

Si se hace pasar un plano por el eje de simetría de la fuente luminosa, por ejemplo, un plano meridional, se obtiene una sección limitada por una curva que se denomina curva fotométrica o curva de distribución luminosa [11]. Figura 4-6.

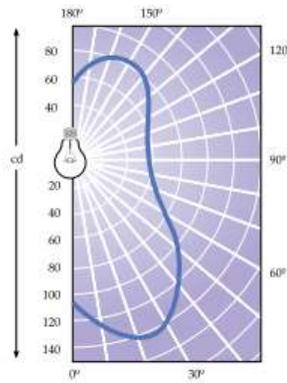


Figura 4-6: curva de distribución luminosa [11].

4. **Nivel de iluminación:** Se conoce también como iluminancia. Es el cociente del flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto por el área de ese elemento (Figura 4-7) Se representa con el símbolo E y su unidad es el lux ($Lx = Lm \cdot m^2$). [11]

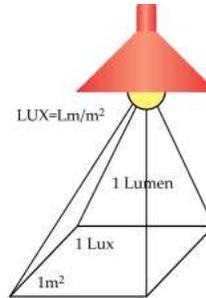


Figura 4-7: Iluminancia (E) en una superficie. [11]

5. **Luminancia (cd/m^2):** La luminancia de una superficie viene determinada por el flujo luminoso incidente y por el flujo luminoso reflejado. Ambos flujos están relacionados mediante un factor de reflexión característico del material de la superficie (Figura 4-8). En definitiva, es la magnitud que mide la claridad o el brillo con que vemos los objetos iluminados. Se representa con el símbolo L y su unidad es la candela/m² (cd/m^2). [11]

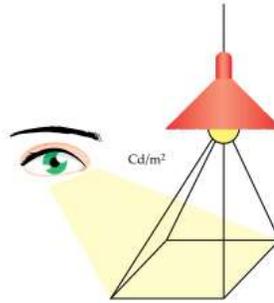


Figura 4-8: Luminancia (cd/m^2). [11]

6. **Temperatura del color (K):** La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo esta temperatura de color se expresa en kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura, por ser la misma solo una medida relativa. Habitualmente, en leds, se hablan de 3 grupos de temperatura de color. Figura 4-9.
- Luz Cálida: (Temperaturas de color entre 2800°K y 3500°K). Equivale a la luz que producían las bombillas incandescentes y los focos halógenos.
 - Luz Neutra: Temperaturas de color entre 3800°K y 4500°K
 - Luz Fría: Temperaturas de color de más de 5000°K. Equivale a la luz de un día muy soleado.

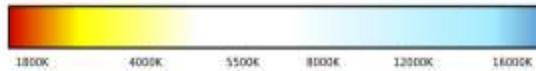


Figura 4-9: Escala de temperatura Kelvin en iluminación. [11]

7. **Eficiencia Luminosa:** Vincula la magnitud de luz emitida por la lámpara, con el consumo de energía realizado para ello. Corresponde al cociente entre el flujo luminoso medido y la potencia activa consumida (lm/w). Este parámetro sirve para conocer el desempeño energético de distintas lámparas. [11]

$$\eta = \frac{lm}{w} \quad (4-1)$$

8. **Tiempo de estabilización de flujo lumínico y potencia:** Es el tiempo que demora una ampolla en alcanzar la estabilidad total en iluminación y potencia. [11].

5 Desarrollo de cálculo de niveles de iluminación

5.1 Definir área de análisis



Figura 5-1: Plano de los circuitos presentes en las salas de capacitación 1 y 2.

Las características de las instalaciones son del tipo fluorescente en todas las salas de capacitación y comedor. Al ser del tipo tradicional presentan un alto consumo de potencia, por lo que se decide realizar un cambio de tecnología al tipo Led para así disminuir el consumo. A continuación se detallan las características técnicas del sistema de iluminación (Figura 5-2).



Figura 5-2: Tuvo fluorescente T8 [12].

Tabla 5-1: Especificaciones técnicas de los equipos presentes.

Potencia(w)	Flujo (lm)	Temperatura(K)	Eficacia(lm/w)	Vida media(horas)
18	1.350	2.700	75	20.000
36	3.350	4.000	93	20.000

Para reducir el consumo de potencia se proyecta un recambio de iluminaria de bajo consumo LED a continuación se presenta la caracterización detallada:



Tabla 5-2: especificaciones técnicas de los equipos LED. [12]

Potencia(w)	Flujo (lm)	Temperatura(K)	Eficacia(lm/w)	Vida media(horas)
8	1050	6.500	100	30.000
18	2100	4.000	117	40.000

5.2 Reducción de potencia consumida

El remplazo a led se lleva a cabo por dos motivos, el primero es el de ahorro económico, y el segundo, disminuir la potencia que entregará el sistema fotovoltaico al circuito.

Tabla 5-3: potencia consumida mediante tubos fluorescentes.

Piso	Cto	3x18(w)	2x18(w)	2X36(w)	Led 2(w)	Total	Potencia Total (w)	Potencia(w) Acumulada
		56(w)	36(w)	72(w)				
5	1	-	3	9	-	12	756	756
5	2	-	1	12	-	13	900	1656
5	3	16	-		2	18	900	2556
5	4	19	-	6	1	26	1499	4055

Desarrollo de cálculo de niveles de iluminación

Tabla 5-4: potencia consumida mediante LED.

Piso	Cto	3x8[w]	2x8[w]	2x18[w]	Led	Total	Potencia Total[w]	Potencia(w) acumulada
		24[w]	16[w]	36[w]	2[w]			
5	1	-	3	9	-	12	372	372
5	2	-	1	12	-	13	448	820
5	3	16	-	-	2	18	388	1158
5	4	19	-	6	1	26	675	1830

Tabla 5-5: Variación de potencia

Potencia actual (kW)	Potencia proyectada (kW)	Variación de potencia (kW)	Variación Porcentaje %
4,055	1.830	2.142	52.8

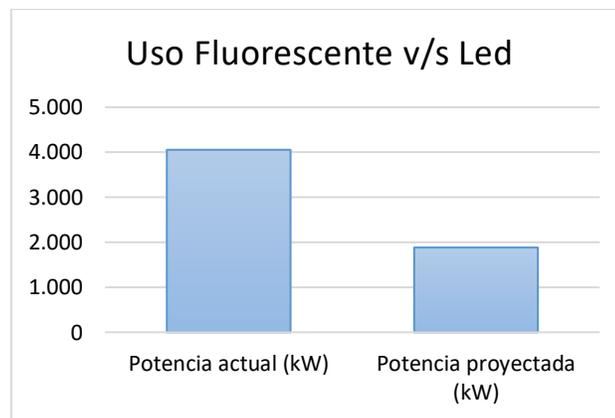


Figura 5-3: comparativa de la reducción de potencia disipada por los circuitos de iluminación.

Como se puede observar en la potencia consumida mediante tubos fluorescente es de 4,055 [kW] en cambio luego de realizar el recambio a led éste baja a 1,830 [kW], representando un 52,8% de variación.

5.3 Diseño mediante DiaLux

La simulación mediante DiaLux tiene por objetivo que aún se siga cumpliendo con las normativas de iluminación.



Figura 5-4: Planta vista general.

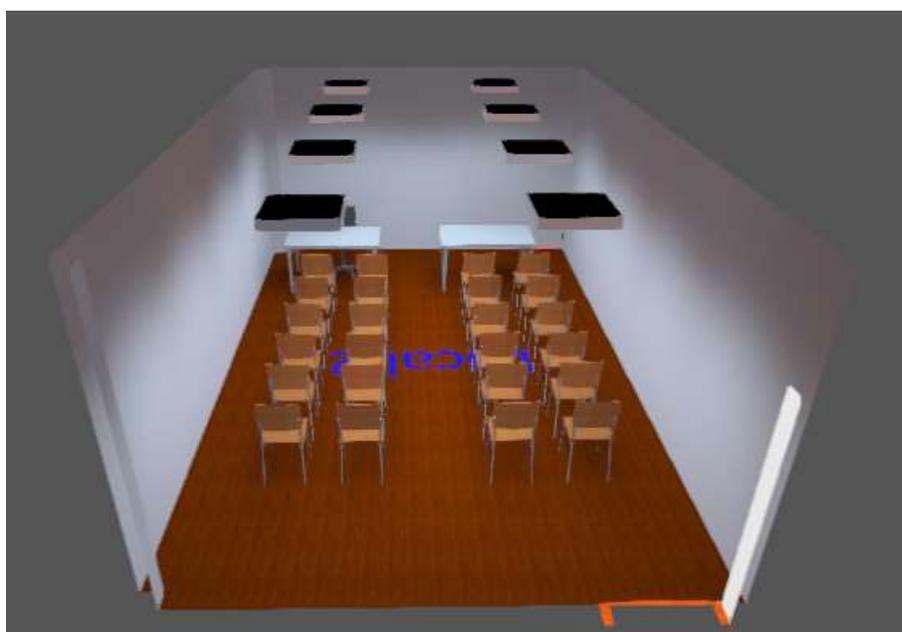
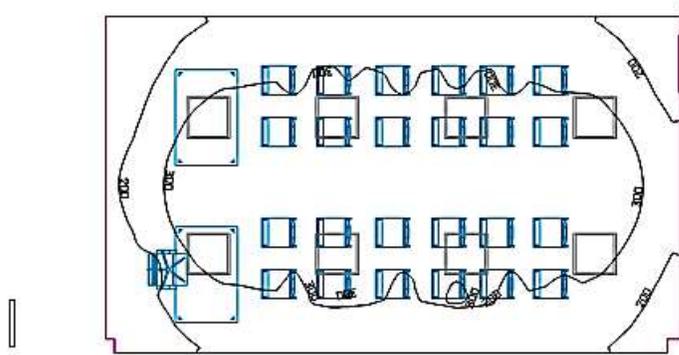


Figura 5-5: sala de capacitación N° 2.

Local 2



Altura del local: 2.800 m, Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 79.2%, Suelo 7.3%, Factor de degradación: 0.80

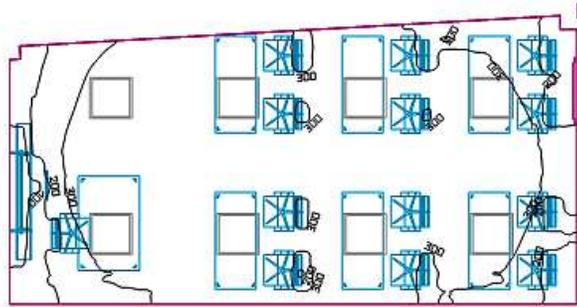
Plano útil

Superficie	Resultado	Media (Nominal)	Min	Max	Mín./medio	Min./máx.
1 Plano útil 2	Intensidad lumínica perpendicular [lx] Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	300 (500)	108	460	0.36	0.23



Figura 5-6: Sala de capacitación N° 3.

Local 3



Altura del local: 2.800 m, Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 79.2%, Suelo 7.3%, Factor de degradación: 0.80

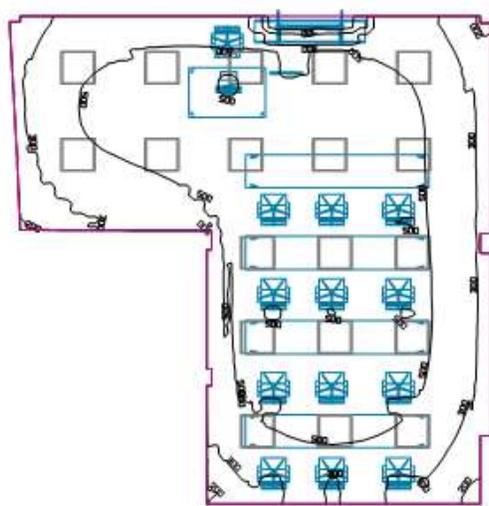
Plano útil

Superficie	Resultado	Media (Nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 Plano útil 3	Intensidad luminica perpendicular [lx] Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	336 (500)	29.1	472	0.09	0.06



Figura 5-7: Sala de Computación.

Local 4



Altura del local: 2.800 m, Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 79.2%, Suelo 7.3%, Factor de degradación: 0.80

Plano útil

Superficie	Resultado	Media (Nominal)	Min	Max	Min./medio	Min./máx.
1 Plano útil 4	Intensidad luminica perpendicular [lx] Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	483 (500)	34.1	710	0.07	0.05

Conclusión:

Tabla 5-6: normativa del nivel de iluminación.

Normativa	Local 3	Local 2	Local 4
300 (lux)	336(lux)	300(lux)	484(lux)

De la tabla anterior (Tabla 5-6) se concluye que las salas de capacitación cumplen con las normas establecidas en la normativa vigente, por lo que no será necesario intervenir en sus circuitos.

5.4 Resultados

De la Tabla 5-6 y de la Figura 5-3 se concluye que se cumple el objetivo, reducir a potencia de los circuitos de iluminación sin comprometer la salud de los trabajadores y los niveles mínimos exigidos por la normativa.

6 Pre-Simulación

6.1 Ubicación Proyecto

Dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaico para el suministro de un sistema de iluminación basado en tecnología led.

1. Lugar Geográfico: Valparaíso.
2. Ubicación: Latitud -33.03° Longitud: -71.63° .
3. Datos Climatológicos: Explorador Solar.
4. Potencia demandada: 1,830[KW]
5. Energía demandada:18,3[KWh]

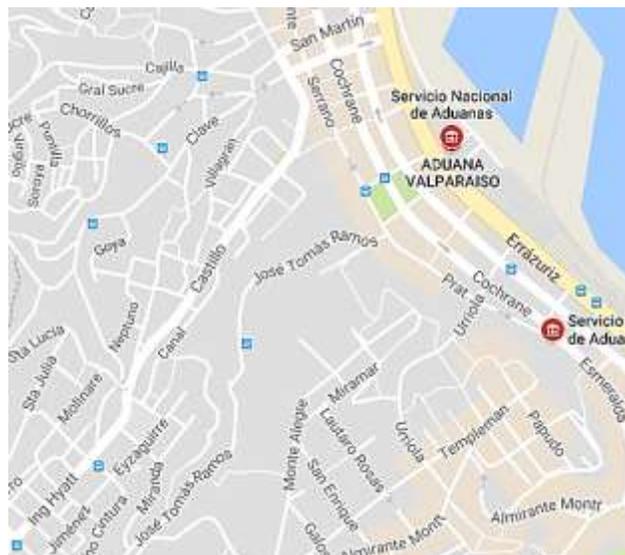


Figura 6-1: Ubicación del emplazamiento [13].

6.2 Componentes de un sistema Off-Grid

En la siguiente tabla se presentan los componentes del dimensionamiento los cuales se pueden clasificar como fijos y variables que dependen directamente de la potencia que estos pueden procesar.

Tabla 6-1: Componentes del sistema Off-Grid

Nombre	Componente que depende directamente de la potencia que procesa	Componente Fijo
Paneles solares	X	
Reguladores de tensión	X	
Baterías	X	
Inversor	X	
Materiales de Obra (Cables, Ductos, Conectores, Tableros, etc)		X
Cable de aplicación Solar		X
Estructura de soporte reglable		X
Bornes y cables de baterías		X

Además de los equipos que pueden ser fijos o variables, también hay servicios que pueden ser fijos o variables, en este trabajo se asumirá que estos servicios son relativamente fijos.

Tabla 6-2: Servicios asumidos como costos fijos.

Descripción	Servicios Fijos
Servicios de instalación y puesta en marcha	X
Fletes y traslados	X

6.3 Costos de los Componentes del Sistema Fotovoltaico

6.3.1 Componentes Fijos

El costo de los componentes y servicios fijos están dados en la Tabla 6-3, la cual se obtuvo por medio de cotizaciones a diferentes empresas dedicadas a la instalación de energías renovables.

Tabla 6-3: Costos fijos promedios en una instalación PV.

Nombre	Cantidad	Costo[\$]
Fletes y Traslados	1	300.000
Servicios de instalacion y puesta en marcha	1	870.000
Materiales de Obra (Cables, Ductos,Conectores,Tableros,etc)	1	150.000
Cable de aplicación Solar	40[m]	95.000
Bornes y cables de baterias	1	40.000
Inversor PHOENIX VICTRON	1	910.000
Total		\$2.365.000

6.3.2 Componentes Variables

Al momento de dimensionar los componentes variables se tiene que tener en cuenta otras variables que ya se mencionaron en capítulos anteriores, como lo son la radiación, la temperatura y su influencia en el voltaje de circuito abierto, y de máxima potencia, la capacidad de cortocircuito de los reguladores, etc.

6.3.3 Configuración

La potencia a cubrir como mínima es de 4920[W], se elegirá una potencia de panel de 310[W] por lo que el número de paneles será de:

$$P_{min} = \frac{18830 \cdot 1}{0.77 \cdot 4.97} = 4920[W] \quad (A-1)$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{4920}{310} = 16 \text{ paneles} \quad (6-1)$$



Figura 6-2: Panel de 310[W] de potencia en condiciones estándares. [10]

Con 16 paneles se cubre la demanda que requiere el sistema. El componente más delicado en el dimensionamiento es el regulador de tensión ya que su tensión de entrada depende del arreglo fotovoltaico y éste a su vez depende de la temperatura del panel. La variación de tensión de una celda fotovoltaica depende directamente de la temperatura a la cual se encuentre el arreglo y su valor está dado por la siguiente expresión:

$$T_{cell} = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^{\circ}}{0.8} \right) \cdot S \quad (6-2)$$

Donde:

- T_{cell} = Temperatura de la celda.
- T_{amb} = Temperatura Ambiente.
- $NOCT$ = Temperatura en condiciones normales de trabajo (47°C).
- S = radiación de $1[\text{Kw}/\text{m}^2]$.

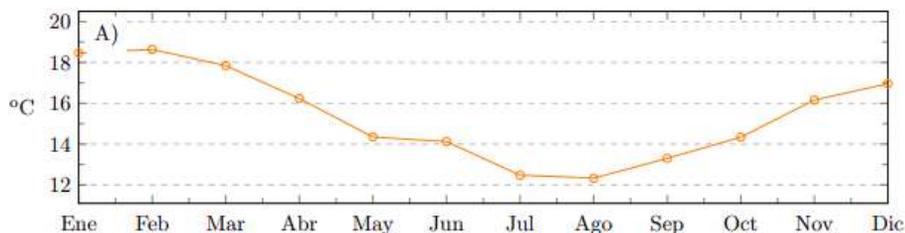


Figura 6-3: Temperatura promedio en la región de Valparaíso. [13]

La temperatura mínima y máxima de Valparaíso son de 12.48°C y de 19°C , por lo que la temperatura de la celda será de:

Tabla 6-4: Variación de la temperatura de la celda.

Temperatura de la celda bajo temperatura mínima y máxima	
Temperatura Ambiente	Temperatura de la celda
12.48°C	46.23°C
19°C	50.71°C

Luego con los valores de la Tabla 6-4 se introducirán en la Ecuación (9-4) para obtener la tensión en circuito en dichas condiciones.

$$V = K \cdot [1 - Kn \cdot (T_{Cell} - 25^\circ)] \quad (6-3)$$

Donde:

- $K1 = 0.43$ [%/°C].
- $V_{oco} = 45$ [V].
- $V_{mpp} = 36.82$ [V]
- $K2 = 0.44$ [%/°C].

Luego la tensión para cada valor de temperatura de la celda se muestra en la Tabla 6-5.

Tabla 6-5: Voltaje de circuito en función de la temperatura.

Voltaje de circuito abierto ante variaciones de la temperatura de la celda.		
Temperatura de la celda (Tcell)°C	Voc[V]	Vmpp[V]
46.23	40.8	33.38
52.75	39.63	32.32
Otras Temperaturas		
10°	47	39.19
25°	45	36.82
55°	39.19	31.79
70°	36.29	29.43

Según la Tabla 6-5, el regulador de tensión debe soportar sin problemas los valores de tensión junto a su variación con respecto a la temperatura T°. La Figura 6-4 representa la variación de tensión con respecto a la temperatura:

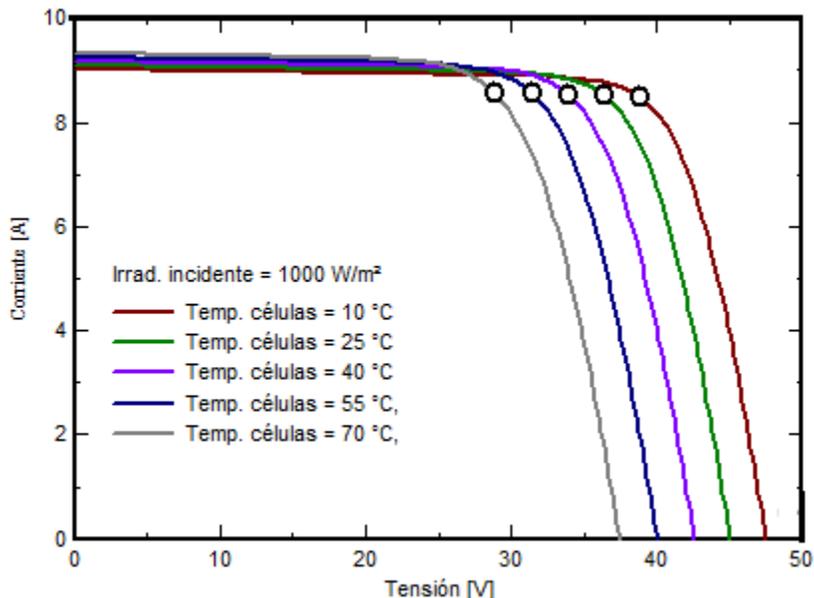


Figura 6-4: Variación de tensión con respecto a la temperatura T°. [8]

El controlador solar se elegirá para que deba soportar:

1. La capacidad de corriente debe ser 1.5 veces la corriente de cortocircuito.
2. además que el rango de operación de MPP esté dentro de las variaciones de tensión del arreglo fotovoltaico y
3. que además soporte las variaciones de tensión a causa de la temperatura.

Se elegirá un regulador MORNINGSTAR tristar Ts Mppt 45-24V.



Figura 6-5: Regulador MorningStar [10].

La tensión de trabajo del regulador es de 40 a 150 [V] y la corriente de operación es de 45[A]. Un panel por si solo entrega a 25° una tensión de trabajo de 36,82[V] por lo que se colocan dos paneles en serie obteniendo 73,72 [V]. La corriente de cortocircuito de un panel es de 9,1[A] y por lo tanto la de dos paneles series también, al colocar dos arreglos series de dos paneles cada uno se tiene que la corriente total es de 18,2[A] por dispositivo, multiplicadas por un factor de seguridad de 1.5 se obtiene que el dispositivo tiene que soportar 27,3[A], valor que es menor a 45[A].

Tabla 6-6: Cuadro resumen de requerimientos de los reguladores.

	Dispositivo	Arreglo por dispositivo
Tensión de trabajo	40-150 [V]	73,72[V]
Corriente Nominal	45[A]	27,3[A]

Al realizar dicha configuración con el total de los paneles solares se obtendrá que se necesitaran 4 reguladores en total y cada uno tendrá 4 panes, dos arreglos de dos paneles en serie. El cálculo del total de baterías se realizará mediante la siguiente expresión, considerando la profundidad de descarga PDmax = 0.85, se obtiene el valor de la carga mínima:

$$C = \frac{EDem \cdot A}{Vnom \cdot PD_{max}} \quad (6-4)$$

$$C = \frac{18830 \cdot 1}{24 \cdot 0.85} = 923.03[Ah] \quad (6-5)$$

Donde:

- C: Capacidad nominal de las baterías
- A: Autonomía del sistema de baterías (1.00 días).
- Edem=energía demandada(18830)
- PD Max: Porcentaje de descarga máximo (0.85).

Luego se al ser cuatro reguladores de carga, la capacidad total de 923.03 Ah se dividen en los cuatro reguladores, dando un total de:

$$C \text{ del grupo} = \frac{923.03}{4} = 230[Ah] \quad (6-6)$$

Como el regulador funciona con una tensión de 24[V] se necesitaran dos baterías serie de 12[V] para generar 24[V], y además para cumplir con 230[Ah] se necesitan dos paralelos de dos series de 120[Ah], llegando a 240[Ah] con un total de 16 baterías.

UC120-12		Physical Specification	
		Part Number:	UC120-12
		Length:	410 ± 2 mm (16.14 inches)
		Width:	177 ± 2 mm (6.97 inches)
		Container Height:	225 ± 2 mm (8.86 inches)
		Total Height (with terminal):	225 ± 2 mm (8.66 inches)
		Approx Weight:	Approx 37.6kg (82.9lbs)
Specifications			
	Normal Voltage	12V	
	Normal Capacity (20HR)	120.0AH	

Figura 6-6: Batería de ciclo profundo 120 Ah, 12 V [9].

En resumen se tienen los siguientes componentes:

Producto	Cantidad[u]	Total[\$]
Paneles 310[W]	16	2.639.840
Baterías 120 [Ah]	16	2.559.840
Reguladores	4	1.944.000
total		\$7.143.680

El costo total asociado al dimensionamiento será la suma de los costos fijos más los costos variables.

$$CT = 7.143.680 + 2.365.000 = \$9.508.680 \quad (6-7)$$

6.3.4 Cotización

La cotización de los componentes del sistema fotovoltaico se realizó a la empresa “CURISOL ENERGÍA SUSTENTABLE” la cual realiza sus servicios en base al requerimiento de la potencia a cubrir y utiliza la cantidad de radiación media anual del lugar. Si bien la cantidad de componentes varían con respecto a lo dimensionado se encuentra dentro de lo calculado anteriormente.

Equipos				
Item	Descripcion	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Inversor cargador Off Grid hibrido 48V incorpora 2 controladores MPPT,hasta 6000 watt PV	1	\$ 910.000	\$ 910.000
2	Panel solar 24V 310W Policristalino	15	\$ 160.000	\$ 2.400.000
3	Bateria Solar ciclo profundo AGM 12v 200A	10	\$ 239.000	\$ 2.390.000
4	Borne/cable Bateria	10	\$ 3.900	\$ 39.000
5	Estructura soporte Panel Altura regulable	5	\$ 70.000	\$ 350.000
6	Cable aplicacion solar 6mm(metro)	30	\$ 900	\$ 27.000
7	Cable aplicacion solar 10 mm(metro)	40	\$ 1.700	\$ 68.000
8	Materiales de obra (cable, ductos,conectores, tablero,etc)	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Neto Equipos			\$ 6.334.000	

Servicios				
Item	Descripcion	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Servicio Instalacion y puesta en marcha	1	\$ 870.000	\$ 870.000
1	Traslados, flete, estadia	1	\$ 300.000	\$ 300.000
Neto Servicios			\$ 1.170.000	
Neto			\$ 7.504.000	



7 Simulación de Resultados

La simulación de resultados se realizara los componentes del capítulo anterior. El programa a utilizar es el PVSYST en su versión gratuita, los datos que requiere el programa se describirán a continuación.

7.1 Diseño del Proyecto

Primero que todo, antes de comenzar con la simulación de la instalación hay que introducir los datos de irradiación y temperatura a partir de la base de datos meteorológicos de PVSYST, eligiendo Valparaíso como lugar de instalación del sistema fotovoltaico, Figura 7-1.

	Irrad. Global kWh/m ² .mes	Difuso kWh/m ² .mes	Temp. °C	VeViento m/s
Enero	188.0	83.8	22.8	3.29
Febrero	147.6	83.2	21.8	3.00
Marzo	128.1	69.0	19.9	2.60
Abril	87.3	53.2	15.5	2.09
Mayo	61.7	38.0	11.6	1.70
Junio	49.6	31.7	9.3	1.60
Julio	57.2	40.4	8.8	1.70
Agosto	79.7	49.3	10.5	2.01
Septiembre	107.5	56.3	12.7	2.20
Octubre	146.5	76.0	16.5	2.69
Noviembre	171.0	78.5	19.0	3.09
Diciembre	190.9	90.0	21.5	3.40
Año	1415.1	749.4	15.8	2.4

Figura 7-1: Radiación presente en Valparaíso. [14]

7.2 Datos de entrada

7.2.1 Orientación

Esta fachada tiene una inclinación de 47° la cual depende de la latitud y longitud de la ubicación de la instalación fotovoltaica, Figura 7-2.

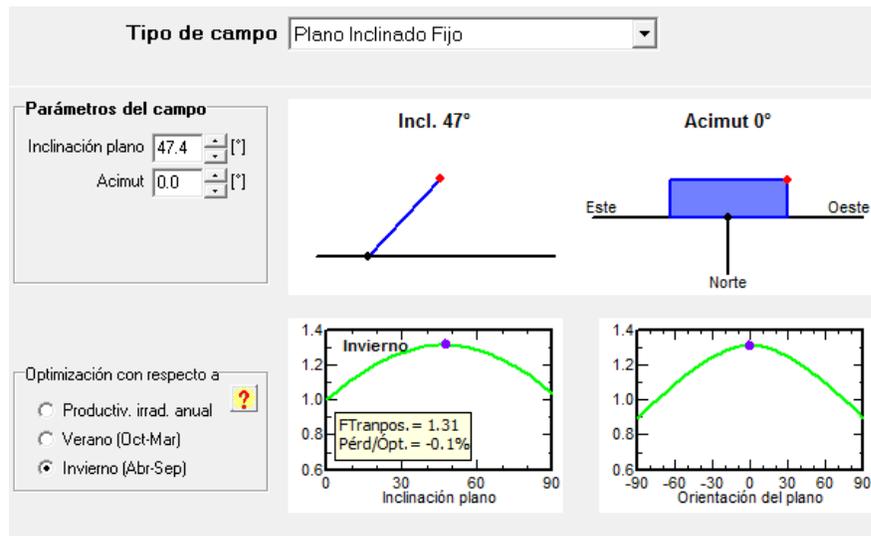


Figura 7-2: Optimización de la inclinación. [14]

La inclinación óptima se elige para maximizar la potencia que capta el panel en el periodo de invierno.

7.2.2 Necesidades del Usuario

Dentro de las necesidades del usuario se encuentran los consumos los cuales están definidos en unidades de potencia activa. Además, se encuentra las horas en las cuales serán utilizados y a partir de estos datos se obtiene la energía de consumo diario.

Daily consumptions							
Number	Appliance	Power		Daily use	Hourly distrib		Daily energy
1	Lamparas LED	1830	W/lamp	10.0	h/day	OK	18300 Wh
0	TV / PC / Mobile	0	W/app.	0.0	h/day		0 Wh
0	Electrodomésticos	0	W/app.	0.0	h/day		0 Wh
0	Frigorífico/Congelador	0.00	kWh/day	0.0	h/day		0 Wh
0	Dish- & Cloth-washers	0.0	W aver.	0.0	h/day		0 Wh
0	Otras utilizations	0	W/app.	0.0	h/day		0 Wh
0	Otras utilizations	0	W/app.	0.0	h/day		0 Wh
Stand-by consumers		1	W tot	24	h/day		24 Wh
<input type="button" value="Appliances info"/>							
Total daily energy							18324 Wh/day
Total monthly energy							549.7 kWh/month

Figura 7-3: Necesidades de consumo del usuario. [14]

7.2.3 Sistema

En la Figura 7-4 se puede apreciar que la energía diaria de consumo es de 18.324[Wh/día]. En los parámetros a configurar

- Paneles Solares y Cantidad.
- Regulador de carga MPPT.
- Cantidad de baterías y su capacidad nominal.

El programa PVSYS realiza las comprobaciones con respecto a las variaciones de tensión de circuito abierto (V_{oc}) y de máxima potencia (V_{mmp}) que experimenta con respecto a la variación de la temperatura.

The screenshot displays the PVSYS software interface for configuring a solar system. It is divided into several functional sections:

- Sub-array name and Orientation:** Name: Generador FV; Orient: Plano Inclinado Fijo; Tilt: 47°; Azimut: 0°.
- Presizing help:** Radio buttons for 'No Sizing' (selected) and 'Enter planned power' (112.0 kWp) or '... or available area' (0 m²). A 'Resize' button is present.
- Select the PV module:** 'Todos los módulos' dropdown; Sort modules by: power (selected) or technology; Selected module: Hareon, 310 Wp 31V, Si-poly, HR-310P-24/Ba, Since 2013, Manufacturer 201. Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) 30.6 V, V_{oc} (-10°C) 50.7 V.
- Select the control mode and the controller:** 'Universal controller' (unchecked); 'MPPT power converter' selected; Controller: Morningstar; Operating mode: MPPT converter (selected); Max. Charging - Discharging current: MPPT 120 kW, 24 V, 45 A, 45 A; Controller: Tristar TS MPPT 45 - 24V; Number of controllers: 4; MPP Operating voltage: 40-120 V; Controller's power: 4.80 kW; Input maximum voltage: 150 V; Associated battery: 24 V.
- PV Array design:** Number of modules and strings: Mod. in serie 2, Nb. strings 8; Operating conditions: V_{mpp} (60°C) 61 V, V_{mpp} (20°C) 75 V, V_{oc} (-10°C) 101 V; Plane irradiance: 1000 W/m²; Max. operating power: 4.4 kW; Array's nom. power (STC): 5.0 kWp.

Figura 7-4: Pantalla principal de configuración del sistema. [14]

En la primera parte de la interfaz se configura la marca y la potencia que puede entregar. A demás, se muestra la tensión V_{mpp} a 60°C y V_{oc} a una temperatura de -10°C. Se visualiza que el panel fotovoltaico corresponde a uno de 310[W], Figura 7-5.

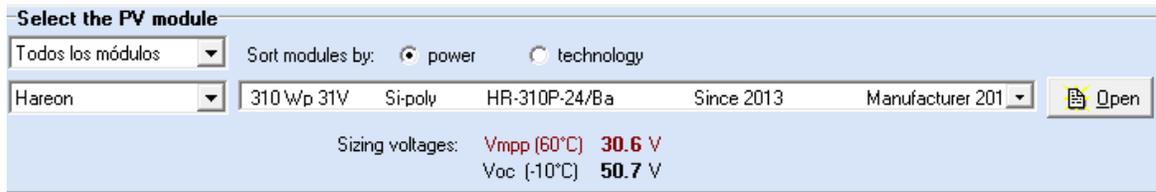


Figura 7-5: Selección del módulo PV. [14]

En la segunda parte de la interfaz se configura el regulador. Los parámetros a configurar son la marca del regulador fotovoltaico, la decisión del tipo MPPT o PWM. Además, de estos parámetros se encuentran las características del regulador, como son la tensión de trabajo, la corriente de carga y el número de reguladores. Se puede apreciar que el número de reguladores es 4 y que además son MPPT. Figura 7-6.

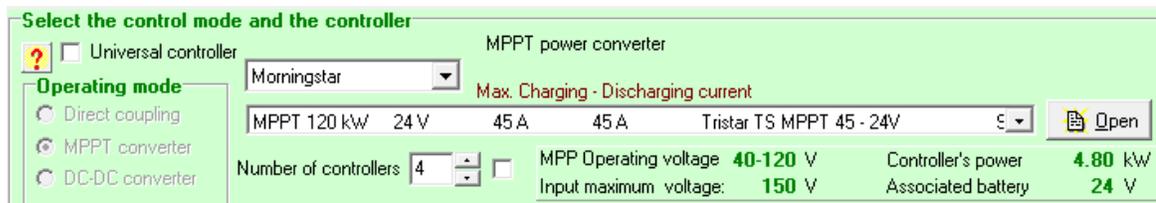


Figura 7-6: Selección del tipo de controlador. [14]

En la tercera pestaña, que corresponde a la configuración del arreglo fotovoltaico, y se configuran las siguientes variables:

- Número de módulos en serie.
- Número de módulos en paralelos.

Además, en el costado derecho superior, se muestran los valores de tensión de máxima potencia en diferentes condiciones de temperatura a la cual trabaje el arreglo fotovoltaico, en este caso la tensión de máxima potencia a 60° corresponde a 61[V], Figura 7-7.



Figura 7-7: Diseño del arreglo PV. [14]

Por último, el número de baterías y su capacidad se puede modificar según las necesidades del usuario en su propio sistema. En la Figura 7-8 se puede apreciar que la configuración presenta 16 baterías en total. En el dimensionamiento del arreglo de baterías, tal como se vio en el capítulo anterior se proyectó un día completo de autonomía y una profundidad de descarga de alrededor 0,85.

Figura 7-8: Numero de baterías presentes en el lugar. [14]

Luego de configurar los parámetros de entrada al programa se procederá a simular la producción de energía durante un año. Cabe recordar que los componentes que se utilizaron en la configuración del programa son los calculados en el capítulo de diseño del sistema.

7.3 Resultados de la simulación del Sistema

Una vez se han configurado todos los parámetros del sistema, se ejecuta la simulación para períodos anuales, generando así el informe que se muestra en la Figura 7-9.

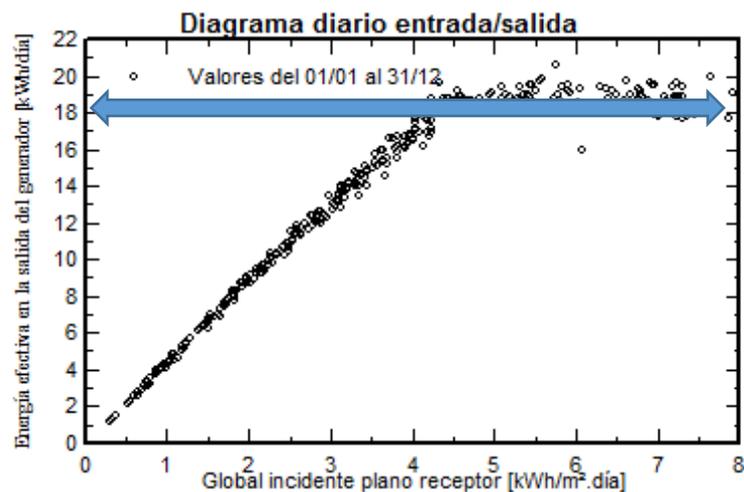


Figura 7-9: Relación entre la potencia incidente y efectiva aprovechada por parte del panel. [14]

Como se puede apreciar en la Figura 7-9 la potencia que producirá el arreglo PV para la instalación se encuentra alrededor de 18,3[KWh], valor para el cual se proyectó el generador.

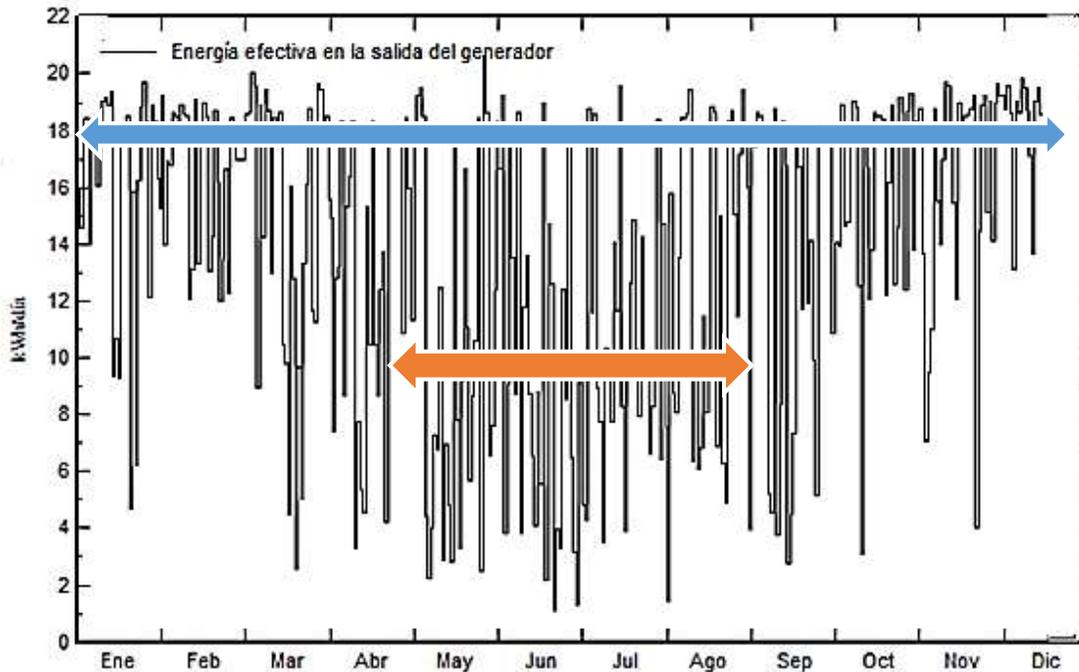


Figura 7-10: Energía en el arreglo PV. [14]

Como se puede apreciar en la Figura 7-10 la energía que se produce anualmente tiende a $18 [Kwh/día]$, valor al cual se proyectó la demanda diaria. Cabe recordar que el valor de radiación que se utilizó es el valor promedio anual y es por ello que la curva presenta déficit en los meses de invierno.

Como conclusión de los resultados obtenidos en la simulación mediante la herramienta PVSYST se llega a que cubre la demanda en gran parte del año pero durante los meses de invierno señalado en color naranja ocurre una baja en la producción, por lo que se decide reestructurar el dimensionamiento tomando como base el periodo de invierno como referencia de diseño, y quedando a decisión de la empresa el criterio de selección.

La empresa deberá elegir entre las dos siguientes opciones:

1. Diseño tomando como base el promedio anual de radiación.
2. Diseño tomando como base los meses de invierno.

A continuación se tomará como base de diseño los meses de invierno en el diseño y al igual que en el caso anterior se simularán los resultados al final.

8 Re-dimensionado PV

Luego la energía en un total de 10 horas diarias, con una potencia diaria de 1883 [W] será definida mediante la Ecuación (8-1).

$$E_D = P_T \cdot h \text{ [wh]} \quad (8-1)$$

$$E_D = 18,830 \text{ [Kwh]} \quad (8-2)$$

Entonces el número de paneles considerando una radiación crítica de $2,4 \text{ [KW/m}^2\text{]}$, un rendimiento del 0.7 y una potencia nominal del panel de 310 [Wp]

$$N^{\circ}_{total} = \frac{18830}{310 \cdot 2.4 \cdot 0.7} \quad (8-3)$$

$$N^{\circ}_{total} = 36,15 \text{ paneles} \quad (8-4)$$

$$N^{\circ}_{total} \approx 36 \quad (8-5)$$

Por lo tanto se utilizaran un total de 36 paneles de 310 [Wp] con una tensión de máxima potencia de 36,82[V] y corriente de máxima potencia de 8,42 [A].

Se utilizara un regulador con las siguientes características:

- Voltaje Máximo de 150 [V].
- Corriente Máxima de 60 [A]
- Tensión de trabajo de 48[V].
- Rango de operación desde los 58 a 150[V].

Luego considerando que la tensión de máxima potencia de los paneles fotovoltaicos es de 36,82[V] se conectarán dos paneles en serie, para obtener 73,64 [V] y así estar en el rango de operación del sistema.

Luego al considerar 18 arreglos en serie de dos paneles la corriente total será de 151,56 [A], luego se eligen 3 reguladores y su corriente de trabajo de cada uno será de 50.5 [A], estando dentro del rango de operación.

Al ser 18 arreglos de dos paneles en serie y si se dividen en 3 el total de arreglos en serie será de 6. Por lo tanto se conectarán 6 arreglos en serie de 2 por regulador, resultando un total de 12 paneles por arreglo.

El en cálculo de baterías se calculara la capacidad considerando el rendimiento y la profundidad de descarga de la batería.

$$Capacidad = \frac{18830Wh}{48 V} \quad (8-6)$$

$$Capacidad = 392,29 [Ah] \quad (8-7)$$

Considerando el rendimiento típico del conjunto inversor y regulador de 0.67 y un PDmax = 0.80, se obtiene el valor de la carga mínima:

$$C_{Min} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{max} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{regulador}} \quad (8-8)$$

$$C_{min} = 1270 [Ah] \quad (8-9)$$

Donde A corresponde a los días de autonomía del sistema, que en éste caso se considera igual a 1 día y $\eta_{inv} \cdot \eta_{regulador}$ corresponde a los rendimientos del inversor y el regulador.

El Tipo de batería que se utilizará será de tensión nominal de 12 [V] de capacidad 220[Ah], por lo que para conseguir una tensión del regulador se necesitaran un total de 4 en serie. Por lo tanto se obtendrá una tensión de 48 [V] y una capacidad de 220[Ah].

Si se eligen 5 arreglos series de baterías se obtienen 1100[Ah], por lo que estaría en déficit de capacidad, mientras que si elijo 6 se llega a una capacidad de 1320 [Ah], por lo que se cubre la capacidad y además queda pasado, por lo tanto, se elegirán 6 arreglos de 4 baterías para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

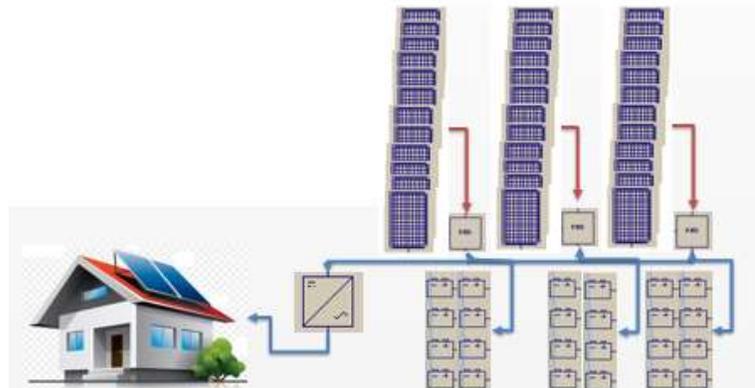


Figura 8-1: Restructuración del dimensionamiento PV. [14]

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail MWh	EUnused MWh	E Miss MWh	E User MWh	E Load MWh	SolFrac
Enero	188.0	145.3	1.413	0.800	0.000	0.568	0.568	1.000
Febrero	147.6	127.9	1.267	0.724	0.000	0.513	0.513	1.000
Marzo	128.1	129.4	1.275	0.674	0.000	0.568	0.568	1.000
Abril	87.3	103.0	1.041	0.461	0.000	0.550	0.550	1.000
Mayo	81.7	81.2	0.830	0.266	0.042	0.526	0.568	0.926
Junio	49.6	68.9	0.717	0.181	0.009	0.541	0.550	0.983
Julio	57.2	73.4	0.774	0.164	0.016	0.552	0.568	0.971
Agosto	79.7	98.0	1.022	0.432	0.000	0.568	0.568	1.000
Septiembre	107.5	117.1	1.192	0.599	0.000	0.550	0.550	1.000
Octubre	146.5	134.8	1.369	0.788	0.000	0.568	0.568	1.000
Noviembre	171.0	134.6	1.338	0.755	0.000	0.550	0.550	1.000
Diciembre	190.9	142.2	1.409	0.807	0.000	0.568	0.568	1.000
Año	1415.1	1355.8	13.646	6.630	0.068	6.620	6.688	0.990

Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	E Miss	Energía faltante
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E User	Energía suministrada al usuario
	E Avail	Energía Solar Disponible	E Load	Necesidad de energía del usuario (Carga)
	EUnused	Pérdida de energía no utilizada (batería plena)	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada/ECarga)

Figura 8-2: Resultados y balances del redimensionado PV. [14]

9 Evaluación Económica y de Gestión

En el presente capítulo se expone la evaluación del proyecto tanto en el aspecto económico, como también en el ámbito de gestión, siguiendo la estructura del formato de proyecto, el cual contempla la definición de los pasos a seguir desde el inicio de la idea hasta su ejecución para el correcto desarrollo del mismo.

9.1 Formato de un proyecto

Para el adecuado desarrollo de un proyecto, se debe seguir una estructura, la cual contempla secciones que se detallan a continuación:

9.1.1 Definición del proyecto

Se decide el nombre del proyecto y se presenta de manera resumida la contribución que realizará al realizar su ejecución. Se explicitan los productos o servicios y beneficios que éste tendrá.

9.1.2 Formulacion de objetivos

Se exponen los objetivos que se esperan lograr. Cada uno debe explicarse brevemente señalando los porqué y los para qué.

9.1.3 Busqueda de información

Se recurre a fuentes de información para recopilar antecedentes que den consistencia al proyecto. Esta organización se analiza y organiza, según los objetivos.

9.1.4 Contextualización del proyecto

Contempla el análisis de fortalezas y debilidades y amenazas para tomar la decisión que valide el proyecto.

9.1.5 Elaboración del presupuesto

Se define el costo de llevar a cabo el proyecto su presentación y los beneficios que se esperan lograr.

9.1.6 Definición de mecanismos de evaluación

Se analiza la coherencia del proyecto, su presentación y los beneficios que se espera lograr.

9.2 Evaluación del proyecto

A continuación se procede a evaluar el proyecto siguiendo el formato anteriormente expuesto.

9.2.1 Definición del proyecto

Nombre del proyecto: Dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaico para el suministro de un sistema de iluminación basado en tecnología led.

Contribución del proyecto: el proyecto contribuirá a promover los conceptos de eficiencia energética y difundir las energías renovables no convencionales, así como también reducir las emisiones de CO₂ al medio ambiente. Lo anterior implica entre otros aspectos el respaldo de energía en casos de emergencia.

9.2.2 Formulación de objetivos

- Aplicación de energías renovables no convencionales.
¿Por qué? Para poder ampliar la matriz energética nacional.
¿Para qué? Para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.
- Reducción de las emisiones de CO₂ al medio ambiente.
¿Por qué? Porque ellas contribuyen al calentamiento global o efecto invernadero.
¿Para qué? Para así contribuir al desarrollo sustentable del país.
- Promover el concepto de eficiencia energética.
¿Por qué? Por el desconocimiento por parte de la ciudadanía de éste concepto.
- Reducción de la factura eléctrica.
¿Por qué? Para obtener beneficios gracias al uso de fuentes de energías renovables.
¿Para qué? Para incrementar el ahorro Monetario y a la vez tener respaldo energético ante casos de emergencia o catástrofe.
- Respaldo de energía en caso de cortes de suministro eléctrico.

9.2.3 Búsqueda de información

Servicio de Aduana busca por medio de la instalación de fuentes de energías renovables no convencionales el respaldo energético en caso de emergencias para así asegurar la iluminación

espacios comunes además de estar así dentro de las empresas públicas que contribuyen a lo establecido por la ley de disminuir un 5% sus consumos.

9.2.4 Contextualización del proyecto

- Fortalezas: Aporte a la disminución de los gases de efecto invernadero a la capa de ozono, y la difusión de ERNC.
- Oportunidades: Desarrollo de tecnologías que fomentan el uso de energías limpias y fomentar la independencia energética del país.
- Debilidades: Alto costo de la inversión inicial y la probabilidad de hacer un proyecto no rentable.
- Amenazas: Desconocimientos por parte de la gente del estado del calentamiento global.
- Amenazas: el alto costo de la inversión inicial.

9.2.5 Elaboración del presupuesto

El detalle del presupuesto se desarrolla en la siguiente sección, en él se detallan la inversión inicial, egresos e ingresos.

9.2.6 Definición de mecanismos de evaluación

El presente proyecto se sincroniza con los esfuerzos a nivel global y nacional de incentivar la eficiencia energética como iniciativa clave para combatir los efectos nocivos del calentamiento global. Derivado de esto se espera con el proyecto seguir promoviendo por parte de la empresa la utilización de energías renovables y así dar ejemplo de innovación a las demás empresas públicas.

9.3 Elaboración del Presupuesto

Para la elaboración del presupuesto se tienen que abordar los siguientes conceptos:

- Inversión inicial
- Ingresos por ahorro.

9.3.1 Inversión inicial

La inversión inicial correspondiente al proyecto corresponde a los precios de los componentes totales junto con los accesorios que se necesitan para su funcionamiento.

Tabla 9-1: Costo de la inversión total.

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Total
36	Panel solar hareon 310 W	\$ 164.990	\$ 5.939.640
3	Regulador Fangpusun 150 V	\$ 299.990	\$ 899.970
24	baterías 12V220 Ah	\$ 309.990	\$ 7.439.760
1	Inversor 48 V	\$ 519.990	\$ 519.990
	Otros (Costos Fijos de instalación)		\$ 2.776.000
	Total		\$ 17.575.360

9.3.2 Ingresos

Los ingresos corresponderán en su totalidad a los ahorros obtenidos de dejar de consumir de la red y realizarlo de los paneles solares.

Tabla 9-2: Consumo de potencia en las instalaciones.

Piso	Cto	3x8[w] 24[w]	2x8[w] 16[w]	2x18[w] 36[w]	Led 2[w]	Total	Potencia Total[w]	Potencia[w] acumulada
5	1	-	3	9	-	12	372	372
5	2	-	1	12	-	13	448	820
5	3	16	-	-	2	18	388	1158
5	4	19	-	6	1	26	675	1883

Luego la energía diaria, considerando un uso diario de 10 horas será de:

$$Energía\ diaria = 18,83 [KWh] \tag{9-1}$$

Luego el valor anual de la energía será de:

$$Energía\ Anual = 18,83 \cdot (30 \cdot 4 + 31 \cdot 8) = 6929.44 [KWh] \tag{9-2}$$

Luego considerando que el costo de la tarifa eléctrica BT-3 es de 79,52\$/KWh, el ahorro anual por consumo de energía es:

$$Ahorro\ energia\ Anual = \$ 551.029 \tag{9-3}$$

El consumo de potencia de la tarifa BT-3 PPP se calcula a partir de la demanda leída multiplicada por el precio unitario de 10.115,676 [\$/Kw], luego el valor total esta dado en la Tabla 9-3. El valor de la demanda leída se obtuvo desde las boletas de facturación de electricidad.

Tabla 9-3: Costo de consumo por Potencia.

Mes	[Kw] demanda leída	Costo potencia PPP
diciembre	22	\$ 222.545
noviembre	23,4	\$ 236.707
octubre	30,2	\$ 305.493
septiembre	37	\$ 374.280
agosto	38,5	\$ 389.454
julio	34,9	\$ 353.037
junio	32,9	\$ 332.806
mayo	26,5	\$ 268.065
abril	33	\$ 333.817
marzo	25	\$ 252.892
febrero	32,3	\$ 326.736
enero	31	\$ 313.586

Luego el valor promedio anual del consumo de potencia es de \$309.118. Al sumar ambos valores promedios, el total de ahorros es:

$$309.118 + 551.029 = \$860.147 \quad (9-4)$$

9.4 Fundamentos Económicos

Para determinar la rentabilidad de un proyecto, es necesario recurrir a las herramientas denominadas indicadores económicos. Ésta rentabilidad se puede medir de maneras distintas, por ejemplo en unidades monetarias, tasas o porcentajes también en tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.

Por consiguiente el método utilizado será el VAN.

9.4.1 Valor Actulizado Neto (VAN)

El VAN permite evaluar la rentabilidad de un proyecto convirtiendo los flujos de caja futuros al valor presente. Si este valor resulta mayor a cero el proyecto resulta rentable y generará ganancias, por lo que puede ser aprobado. En el caso en el que el VAN sea igual a cero, significa que el proyecto no generará ni ganancias ni pérdidas y la decisión de aprobar o no la inversión es indiferente. Si el VAN resulta negativo, esto indica que el proyecto no rentable.

El procedimiento para el cálculo de este índice consiste en llevar a valor presente todos los flujos de caja futuros originados por la inversión inicial.

La expresión del VAN se muestra en la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{j=0}^n \frac{F_j}{(1+i)^j} \quad (9-5)$$

Donde:

- F_j corresponde al flujo de dinero en el año J .
- “ i ” Corresponde a la tasa de interés en %.
- N número de años.

9.5 Análisis Económico

La evaluación del proyecto se realizará a 25 años, debido a que el periodo de duración de los paneles oscila en torno a éste valor. Para efectos del cálculo del VAN se considera una tasa de descuento típica del 2,7%, valor entregado por la empresa “Estudio Solar” a través de su página oficial.

Los flujos anuales del proyecto se muestran en la tabla siguiente, considerando el valor inicial de inversión y los flujos de ingreso por ahorro.

Año	Inversion Inicial	Ingresos por Ahorro	VP	Flujo
0	\$-7.504.000			\$ -7.504.000
1		\$ 860.147	\$ 845.769	\$ -6.658.231
2		\$ 860.147	\$ 831.631	\$ -5.826.600
3		\$ 860.147	\$ 817.730	\$ -5.008.870
4		\$ 860.147	\$ 804.061	\$ -4.204.809
5		\$ 860.147	\$ 790.620	\$ -3.414.189
6		\$ 860.147	\$ 777.404	\$ -2.636.785
7		\$ 860.147	\$ 764.409	\$ -1.872.375
8		\$ 860.147	\$ 751.632	\$ -1.120.744
9		\$ 860.147	\$ 739.067	\$ -381.676
10		\$ 860.147	\$ 726.713	\$ 345.037
11		\$ 860.147	\$ 714.566	\$ 1.059.603
12		\$ 860.147	\$ 702.621	\$ 1.762.224
13		\$ 860.147	\$ 690.876	\$ 2.453.100
14		\$ 860.147	\$ 679.328	\$ 3.132.428
15	Recambio de baterias	\$ 860.147	\$ 667.972	\$ 1.410.400
16		\$ 860.147	\$ 656.806	\$ 2.067.207
17		\$ 860.147	\$ 645.827	\$ 2.713.034
18		\$ 860.147	\$ 635.032	\$ 3.348.066
19		\$ 860.147	\$ 624.417	\$ 3.972.483
20		\$ 860.147	\$ 613.979	\$ 4.586.462
21		\$ 860.147	\$ 603.716	\$ 5.190.178
22		\$ 860.147	\$ 593.624	\$ 5.783.802
23		\$ 860.147	\$ 583.701	\$ 6.367.504
24		\$ 860.147	\$ 573.944	\$ 6.941.448
25		\$ 860.147	\$ 564.350	\$ 7.505.799
		Total	\$ 17.399.799	

Luego los flujos anuales del proyecto se muestran en la Figura 9-1

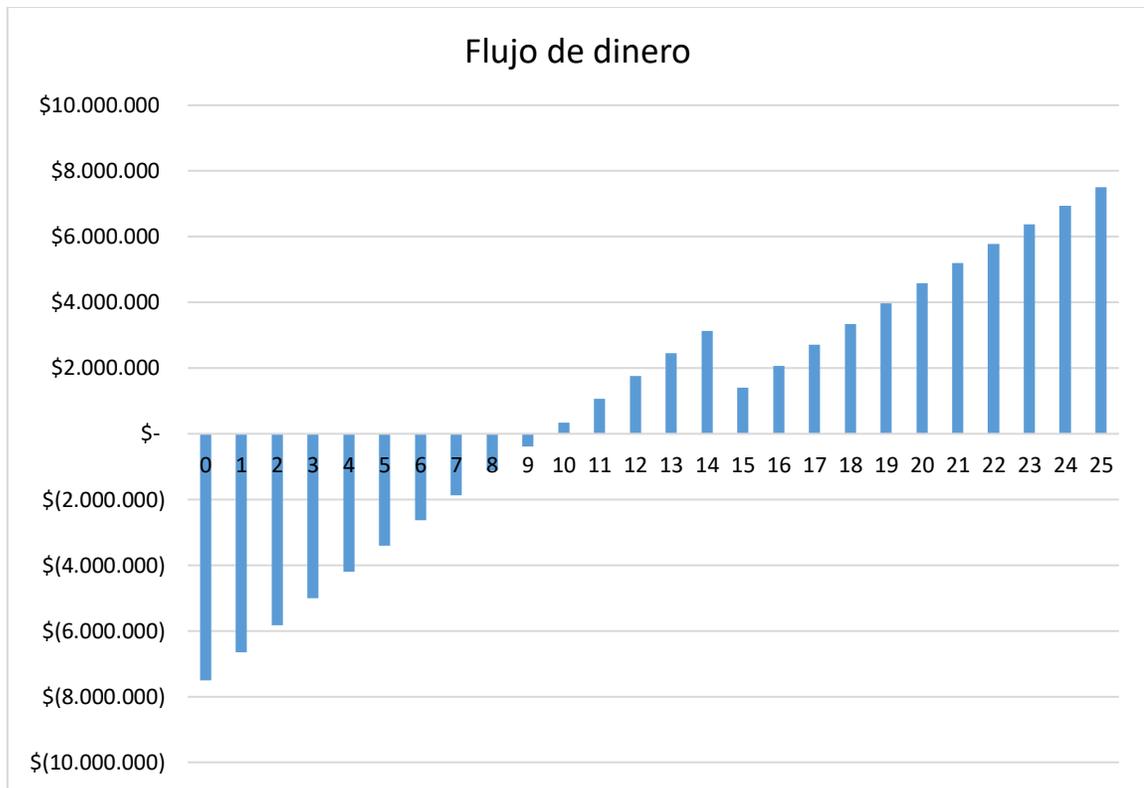


Figura 9-1: Flujo de recuperación de la inversión inicial.

Como se puede observar el valor presente de la inversión inicial luego de pasar 25 años es negativo, esto quiere decir que aún no se recupera la inversión inicial y por lo tanto desde el punto de vista económico el proyecto No es rentable.

Tabla 9-4: VAN del proyecto en el periodo 25.

Tasa	VAN
2,7%	\$ -175.561

El ahorro en emisiones de CO2 según el programa PVSyst de la instalación fotovoltaica será de:

Saved CO2 Emissions:
114.049 tons

Figura 9-2: Toneladas de CO2 ahorradas a la atmosfera.

Valor que se puede comercializar con otras empresas obteniendo así un bono extra en los ingresos económicos. Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente. Es uno de los

tres mecanismos propuestos por el protocolo de Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero.

9.5.1 Análisis Económico del proyecto dimensionado con el promedio anual de radiación

Por último se analizará la factibilidad económica de realizar el proyecto anteriormente dimensionado el cual presentaba déficit de producción durante los meses críticos. El método de análisis será mediante el cálculo del VAN, y como se mencionó anteriormente si el valor es negativo el proyecto no resulta rentable, en cambio si el valor del VAN es mayor que cero resulta rentable. Los supuestos para el análisis son: La tasa de descuento será de 2,7%, el periodo de análisis será de 25 años, presentando un recambio de baterías en el periodo 15.

Año	Inversion Inicial	Ingresos por Ahorro	VP	Flujo
0	\$-7.504.000			\$ -7.504.000
1		\$ 860.147	\$ 845.769	\$ -6.658.231
2		\$ 860.147	\$ 831.631	\$ -5.826.600
3		\$ 860.147	\$ 817.730	\$ -5.008.870
4		\$ 860.147	\$ 804.061	\$ -4.204.809
5		\$ 860.147	\$ 790.620	\$ -3.414.189
6		\$ 860.147	\$ 777.404	\$ -2.636.785
7		\$ 860.147	\$ 764.409	\$ -1.872.375
8		\$ 860.147	\$ 751.632	\$ -1.120.744
9		\$ 860.147	\$ 739.067	\$ -381.676
10		\$ 860.147	\$ 726.713	\$ 345.037
11		\$ 860.147	\$ 714.566	\$ 1.059.603
12		\$ 860.147	\$ 702.621	\$ 1.762.224
13		\$ 860.147	\$ 690.876	\$ 2.453.100
14		\$ 860.147	\$ 679.328	\$ 3.132.428
15	Recambio de baterías	\$ 860.147	\$ 667.972	\$ 1.410.400
16		\$ 860.147	\$ 656.806	\$ 2.067.207
17		\$ 860.147	\$ 645.827	\$ 2.713.034
18		\$ 860.147	\$ 635.032	\$ 3.348.066
19		\$ 860.147	\$ 624.417	\$ 3.972.483
20		\$ 860.147	\$ 613.979	\$ 4.586.462
21		\$ 860.147	\$ 603.716	\$ 5.190.178
22		\$ 860.147	\$ 593.624	\$ 5.783.802
23		\$ 860.147	\$ 583.701	\$ 6.367.504
24		\$ 860.147	\$ 573.944	\$ 6.941.448
25		\$ 860.147	\$ 564.350	\$ 7.505.799
		Total	\$ 17.399.799	

Luego del análisis de la figura 9-3, se puede graficar mediante la herramienta Excel y su resultado sería el siguiente:

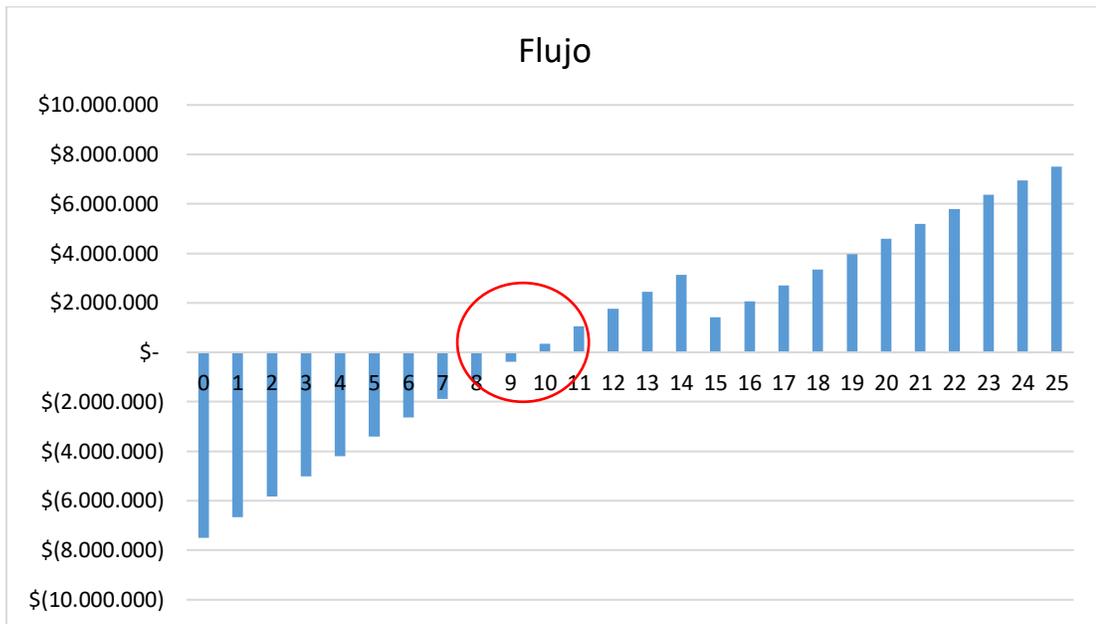


Figura 9-3: Periodo de recuperación de la inversión inicial.

Como se puede apreciar en la Figura 9-3 la inversión inicial se recupera en el período 9 y el valor del VAN se vuelve positivo presentando así desde el punto de vista económico una factibilidad positiva de realizar el proyecto.

Ahora bien, la empresa decidirá si elige o no realizar el proyecto analizando la conveniencia económica y práctica del sistema. El valor del cambio del banco de baterías corresponderá a la misma que se realizó al momento de la adquisición del sistema.

Discusión y conclusiones

Si bien en Chile se ha avanzado en temas de eficiencia energética en el sector público aún falta por avanzar incentivando a través de programas de gobierno el uso de energías renovables como lo son el uso de paneles fotovoltaicos.

Al realizar un recambio tecnológico como lo es un recambio de iluminación LED en la empresa se logra disminuir el consumo eléctrico en un 52% y además se siguen cumpliendo las normas de iluminación en los puestos de trabajo, por lo que el gobierno debería difundir los beneficios de realizar dichos cambios a nivel masivo.

La decisión de realizar el presente proyecto queda a decisión de la empresa, la cual puede decidir desde el punto de vista económico o desde el punto de vista del costo de la inversión inicial. Desde el punto de vista del costo de la inversión inicial el proyecto dimensionado en base el promedio anual resulta rentable debido a que su valor es menor y la inversión inicial se recupera en el período 9 según se analizó en el capítulo 9, pero la continuidad del servicio es relativamente inestable durante los meses de invierno. Por otro lado, el dimensionamiento tomando como base la radiación que se presenta en Valparaíso durante los meses de invierno se asegura completamente durante todo el año debido a que se sobredimensiona pero presenta un alto valor de la inversión de inicial no recuperando así la inversión inicial luego de 25 años.

Una de las opciones que tiene la empresa para mejorar la rentabilidad del proyecto es comercializar sus excedentes a la empresa distribuidora y así obtener un ingreso extra en la evaluación económica obteniendo así un sistema híbrido que funcionaría desde la red eléctrica y desde los paneles fotovoltaicos, pero ello depende de la disponibilidad de fondos que se disponga para la inversión.

Otro punto importante que cabe destacar es la independencia energética que se logra en caso de emergencias, consiguiendo además, disminuir los niveles de contaminación al dejar de utilizar en parte combustibles fósiles, disminuyendo también la necesidad de construir centrales hidroeléctricas para satisfacer la demanda energética.

Chile es un país privilegiado en lo que respecta a recurso solar, cuenta con una amplia superficie de desierto con altos niveles de radiación durante prácticamente durante todo el año. Para el caso de Valparaíso si bien es cierto durante el verano cuenta con niveles de radiación razonables, en la temporada de invierno esta radiación cae bajo la media, siendo ésta la principal razón por la cual la instalación no es rentable, ya que la cantidad de componentes se eleva considerablemente.

Bibliografía

- [1] El Mercurio, «Economía y Negocios,» 1998. [En línea]. Available: http://www.economiaynegocios.cl/especiales/especial_energia/.
- [2] Carolina Quiroga, «Agencia Chilena de Eficiencia Energética,» 2017. [En línea]. Available: https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/pu_blico_-_alta_calidad.
- [3] Gobierno de Aragon, «Cambio climático,» 1997. [En línea]. Available: <http://aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/>.
- [4] PUC UC, «Evolución del desarrollo y del costo de los sistemas fotovoltaicos,» 1999, [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/proyectoinvestigacioniee3372/>.
- [5] Ministerio de Economía, «Biblioteca del congreso Nacional,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=270212>.
- [6] Ministerio de Economía, «Ley 20.698 biblioteca del congreso nacional de chile,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1055402>.
- [7] Ministerio de Economía, «Biblioteca del congreso Nacional de Chile,» 2008. [En línea]. Available: http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5819695&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- [8] Gilbert Masters., Renewable and efficient electric power system, 2014.
- [9] Delta Volt, «Energías Renovables,» [En línea]. Available: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>.
- [10] Hermenegildo Rodríguez, «Inge Mecánica,» 2018. [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/index.html>.

- [11] Juan Farrás, «Fevymar,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.fevymar.com/cont/publis/boletines/1047.pdf>.
- [12] «Philips,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.lighting.philips.cl/inicio>.
- [13] Ministerio de Energía, «Explorador Solar,» 2017. [En línea]. Available: www.minenergia.cl/exploradorsolar.
- [14] PV Syst, [En línea]. Available: <http://www.pvsyst.com/en/>.
- [15] Eco Inteligencia, «Protocolo de Kioto,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.ecointeligencia.com/2015/06/protocolo-kioto/>.

A Cotizaciones Realizadas

COTIZACION N° 20171114 -737



FECHA EMISION	14 de Noviembre de 2017
Cliente	Aduana Valparaiso
Contacto	Erick Martinez
Vigencia	15 días
Observaciones	Kit Off Grid 4.0kW Hibrido

Equipos				
Item	Descripcion	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Inversor cargador Off Grid hibrido 4,0kW/48V incorpora 2 controladores MPPT,hasta 6000 watt PV	1	\$ 910.000	\$ 910.000
2	Panel solar 24V 310W Policristalino	15	\$ 160.000	\$ 2.400.000
3	Bateria Solar ciclo profundo AGM 12v 200A	10	\$ 239.000	\$ 2.390.000
4	Borne/cable Bateria	10	\$ 3.900	\$ 39.000
5	Estructura soporte Panel Altura regulable	5	\$ 70.000	\$ 350.000
6	Cable aplicacion solar 6mm(metro)	30	\$ 900	\$ 27.000
7	Cable aplicacion solar 10 mm(metro)	40	\$ 1.700	\$ 68.000
8	Materiales de obra (cable, ductos,conectores, tablero,etc)	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Neto Equipos			\$ 6.334.000	

Servicios				
Item	Descripcion	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Servicio Instalacion y puesta en marcha	1	\$ 870.000	\$ 870.000
1	Traslados, flete, estadia	1	\$ 300.000	\$ 300.000
Neto Servicios			\$ 1.170.000	



Neto	\$ 7.504.000
IVA	\$ 1.425.760
Total	\$ 8.929.760

NATURA ENERGY SPA



Giro: IMPORTACION Y COMERCIALIZACION DE PRODUCTOS ELECTRICOS
 Dirección: Av. Manuel Antonio Matta 1322
 Ciudad: SANTIAGO E-mail: ventas@naturaenergy.cl
 Comuna: Santiago Centro Tel. Oficina: 56 2 25519651
 Atendido por: Daniel Castro

SEÑOR(ES): Erick Lopez	FECHA EMISIÓN: 20/11/2017
RUT: -	TELÉFONO: 982967653
GIRO: Sin Giro	
DIRECCIÓN:	CORREO: erickmauriciomartinezlopez@
COMUNA:	
CONTACTO: Erick Lopez	

Cantidad	SKU	Descripción	Valor Unitario	% Desc	Subtotal
33	AD4264	Panel Solar Hereon 320W 24V Polycristalino	\$ 142.849	0.0 %	\$ 4.714.017
3	AD5250	Regulador de Carga Fangpusun 150V 70A 12/24/48V MP	\$ 268.899	0.0 %	\$ 806.697
20	AD1972	Batería Ultracell 200Ah 12V AGM Ciclo Profundo	\$ 243.689	0.0 %	\$ 4.873.780
1	AD3938	Inversor Cargador Power Star Toroidal 3000W 48V DC	\$ 436.966	0.0 %	\$ 436.966
60	AD651	Cable Solar PV 6mm (Metro lineal)	\$ 966	0.0 %	\$ 57.960
2	AD3976	Cable Borne Inversor Bateria 21mm (4AWG) 80A 100cm	\$ 6.714	0.0 %	\$ 13.428
20	AD5094	Cable Borne para Bateria 21mm 85A 25cms	\$ 3.773	0.0 %	\$ 75.460
3	AD2657	Automático DC 100A 250V para Sistema Sola Fotovolt	\$ 11.756	0.0 %	\$ 35.268
3	AD3817	Automático DC 2 Polos 32A 440V para Sistema Solar	\$ 15.118	0.0 %	\$ 45.354
1	AD2679	Automático DC 2 Polos 40A 440V para Sistema Solar	\$ 15.117	0.0 %	\$ 15.117
9	AD58	Conector MC4 Hembra y Macho (Par)	\$ 1.345	0.0 %	\$ 12.105
3	AD2567	Caja de Combinación Solar 2x4-6mm a 1x10mm	\$ 25.201	0.0 %	\$ 75.603
1	AD4980	Tablero Eléctrico Estanco Sobrepuesto 12 Modulos R	\$ 6.714	0.0 %	\$ 6.714
11	AD942	Kit de Montaje Solar 3 Paneles 200 o 250W a Techo	\$ 57.974	0.0 %	\$ 637.714
11	AD4666	Tira Conduit EMT 3/4" 3 Metros Espesor 0.8mm	\$ 1.588	0.0 %	\$ 17.468
12	AD4673	Terminal Conduit EMT 3/4"	\$ 294	0.0 %	\$ 3.528
11	AD4669	Curva Conduit EMT 3/4"	\$ 748	0.0 %	\$ 8.228
22	AD4671	Copla Conduit EMT 3/4"	\$ 328	0.0 %	\$ 7.216

Observaciones: No se incluye ningún material adicional no detallado en la presente cotización.
 Plazo de ejecución 6 días hábiles previa visita a terreno.

Forma de Pago: 50% con la OC, 30% al inicio de la obra, 20% al termino

NETO(\$)	\$ 14.426.683
I.V.A(19%)	\$ 2.741.070
TOTAL	\$ 17.167.753