



## **DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN AL GRADO  
ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, PARA APROVECHAR EL  
POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA EN  
EL BOMBEO DE AGUA DE RIEGO PARA LA FINCA ALBÁN DE LA PARROQUIA DE  
TUMBACO, EN EL AÑO 2015.”

Autor:  
BUCHELI, Avila, Juan Alberto

Tutor:  
PhD, Secundino, Marrero

LATACUNGA – ECUADOR  
Mayo – 2016



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADO**  
**Latacunga – Ecuador**

---

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado, aprueban el presente informe e Investigación de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Juan Alberto Bucheli Avila, con el título de tesis: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, PARA APROVECHAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA EN EL BOMBEO DE AGUA DE RIEGO PARA LA FINCA ALBÁN DE LA PARROQUIA DE TUMBACO, EN EL AÑO 2015.”

.”. Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

**Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.  
Latacunga, mayo – 2016.**

**Para constancia firman:**

.....  
MSc. Ángel León  
PRESIDENTE

.....  
PhD. Juan La Calle  
MIEMBRO

.....  
PhD. Héctor Laurencio  
OPONENTE

.....  
PhD. Iliana González  
MIEMBRO

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

**En mi calidad de Tutor del Programa de Maestría en Gestión de Energías, nombrado por el Consejo de Posgrado.**

### **CERTIFICO:**

**Que: analizado el Protocolo de Trabajo de Titulación, presentado como requisito previo a la aprobación y desarrollo de la investigación para optar por el grado de Magister en Gestión de Energías.**

El problema de investigación se refiere a:

“Diseño de un sistema de generación eléctrica, para aprovechar el potencial energético solar como fuente de energía alternativa en el bombeo de agua de riego para la finca Albán de la parroquia de Tumbaco, en el año 2015”.

Presentado por **Bucheli Avila Juan Alberto** con cedula de ciudadanía N<sup>º</sup>. **1706576210**.

**Sugiero su aprobación y permita continuar con la ejecución del proyecto de investigación y desarrollo.**

Latacunga, mayo de 2016

Atentamente,

.....  
PhD. Secundino Marrero  
**DIRECTOR DE TESIS**

## RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS

Dejo constancia que el presente proyecto de investigación, es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor con el tema, “Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica, para aprovechar el potencial energético solar como fuente de energía alternativa en el bombeo de agua de riego para la finca Albán de la parroquia de Tumbaco, en el año 2015.” previo a la obtención del título **Magister en Gestión de Energías**, es original auténtico y personal, a excepción de las citas.

En tal virtud, declaro que el contenido, las conclusiones y efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo propuesto de investigación y luego de la redacción de este documento son y serán de mi sola y exclusiva responsabilidad legal y académica.

Atentamente

.....  
Ing. Juan Alberto Bucheli Avila  
C.C. 170657621-0

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, por su apoyo en mi formación profesional, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a todos los docentes por compartir, sus conocimientos, para ampliar mi formación académica.

De manera especial agradezco al PhD. Secundino Marrero, quien aportó su conocimiento, tiempo y paciencia al dirigir este trabajo de investigación.

**Juan Alberto Bucheli Avila**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico especialmente a mi Familia y a todas las personas que apoyaron en la culminación exitosa de esta investigación.

**Juan Alberto Bucheli Avila**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TEMA:** “Diseño de un sistema de generación eléctrica, para aprovechar el potencial energético solar como fuente de energía alternativa en el bombeo de agua de riego para la finca Albán de la parroquia de Tumbaco, en el año 2015.”

**Autor:** Ing. Juan Alberto Bucheli Avila

**Tutor:** PhD, Secundino, Marrero

**RESUMEN**

Las fincas agrícolas que se encuentran en zonas alejadas de los servicios públicos requieren entre otras necesidades, energías alternativas para lograr una producción sustentable. Lo que plantea esta investigación es dar una solución a esta problemática y conservar el ambiente. Mediante el diseño y simulación de un sistema de generación eléctrica que permite aprovechar la radiación solar para bombeo de agua de riego en una de las fincas, además de abastecer de energía eléctrica en la vivienda. Para lograr este objetivo se determinan: los niveles de radiación solar y el caudal de agua de riego, necesario para cubrir los requerimientos en los diferentes cultivos que se producen en la zona, analizando a través de softwares y modelamientos la factibilidad de implementar estos sistemas energéticos alternativos y económicamente viables que beneficien las zonas rurales del país. La investigación se desarrolla en cuatro capítulos. El primer capítulo se basa en el estado del arte, donde se analiza la radiación solar, así como los requerimientos de agua de riego. En el segundo capítulo se desarrolla la metodología de la investigación donde se determina el software a utilizarse. En el capítulo tres se analizan e interpretan los resultados obtenidos de los diferentes entes gubernamentales para determinar los parámetros técnicos y desarrollar el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica, para aprovechar el potencial energético solar. En el capítulo cuatro se presenta la propuesta de acuerdo a lo modelado, con los datos obtenidos en el software PSIM para determinar los paneles solares fotovoltaicos necesarios para el proyecto, así como dimensionar el tipo de bomba eléctrica para succión de agua óptima y dotarle de energía eléctrica básica a la vivienda de la finca. La solución a estos problemas se resuelve determinando la capacidad de generación eléctrica a partir de la radiación solar fotovoltaica que cubra las necesidades de la finca Albán en la Parroquia de Tumbaco.

**PALABRAS CLAVES**

Generación de energía eléctrica, Paneles solares fotovoltaicos, PSIM – Matlab, Radiación solar, Sistema de riego de agua.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

THEME: “Design of a power generation system, to harness the solar energetic potential as an alternative energy source for pumping irrigation water in Alban farm, Parish Tumbaco, in 2015”.

**Autor:** Ing. Juan Alberto Bucheli Avila

**Tutor:** PhD, Secundino, Marrero

**ABSTRACT**

Farms which are far away from public services require, among other things, alternative energies to achieve sustainable production. This research proposes a solution to this problem and the preservation of the environment. Through the design and simulation of a power generation system which allows to use solar radiation for pumping irrigation water in one of the farms, besides supplying electricity to the house. To achieve this goal we determined the levels of solar radiation and the flow of irrigation water, necessary to accomplish the requirements in the different crops produced in the area, analyzing through softwares and modelings the feasibility of implementing these alternative energy systems to benefit rural areas of the country. This research is divided into four chapters. The first chapter is based on the state of the art, where solar radiation is analyzed, as well as irrigation water requirements. In the second chapter the research methodology is developed, where the software to be used is determined. In chapter three we analyze and interpret the results obtained from the different government agencies, to determine the technical parameters and develop the design of a system of power generation, to take advantage of the solar energy potential. The proposal, according to the modeling with the data obtained in the Psim software to determine the photovoltaic solar panels needed for the project, is presented in chapter four, as well as the sizing of the type of electric pump to suction optimum water and provide basic energy to the farm house. These problems are solved by determining the capacity of electricity generation from photovoltaic solar radiation that covers the needs of the Alban farm in the Parish of Tumbaco.

**KEY WORDS**

Power generation, photovoltaic solar panels, PSIM - Mat lab, solar radiation, water irrigation system.

# ÍNDICE GENERAL

## Contenido

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	II
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS .....	III
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS .....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT .....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
<b>Delimitación del problema y objeto .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Situación problemática .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Objeto de estudio de la investigación.....</b>	<b>XV</b>
<b>Formulación del problema .....</b>	<b>XV</b>
<b>Objetivo general y campo de acción de la investigación.....</b>	<b>XV</b>
<b>Objetivo General de la Investigación .....</b>	<b>XV</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>XV</b>
<b>Campo de Acción.....</b>	<b>XV</b>
<b>Hipótesis .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Visión epistemológica de la investigación.....</b>	<b>XVI</b>
CAPÍTULO 1: Marco Teórico .....	17
1.1 Antecedentes del estudio. ....	16
1.2 Fundamentación legal.....	17
1.3 Fundamentación Teórica .....	19
1.3.1 El agua y las plantas .....	19
1.3.2 Momentos críticos en el ciclo de los cultivos .....	20
1.3.3 Capacidad del suelo para almacenar agua.....	20
1.4 Caracterización de un suelo desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para las plantas.....	21
1.5 Energía eléctrica. ....	22
1.5.1 Cómo se genera la energía eléctrica .....	23
1.6 Energía solar fotovoltaica.....	23
1.6.1 Radiación solar en la superficie terrestre. ....	23

1.7	Energía renovable .....	29
1.7.1	Bombas eléctricas para riego de agua .....	29
1.7.2	Sistemas de bombeo .....	29
1.7.3	Máquinas utilizadas para la impulsión de fluidos .....	30
1.7.4	Bomba centrífuga .....	30
CAPÍTULO 2: Metodología de investigación .....		32
2.1	Objeto de la Investigación .....	32
2.2	Modalidad de la investigación .....	32
2.3	Nivel de investigación .....	32
2.4	Métodos de investigación .....	32
2.5	Técnicas e instrumentos de la investigación.....	33
2.6	Operacionalización de las variables. ....	34
2.7	Software, metodología o procedimientos. ....	35
CAPÍTULO 3. ....		39
3.1	Consumo de agua antes de la investigación. ....	43
3.2	Consumo de energía eléctrica antes de la investigación.....	44
3.3	Requerimientos productivos de la finca Albán.....	44
3.4	Diseño de un sistema de bombeo eléctrico.....	39
3.5	Tipo de abastecimiento .....	39
3.5.1	Comprobación del tipo de bomba; velocidad específica.....	41
3.6	Consumo de energía eléctrica.....	47
3.7	Alternativas de soluciones al problema .....	48
3.8	Modelación de la Radiación solar fotovoltaica .....	49
3.8.1	Potenciar la capacidad de generación.....	53
	Simulación de los modelos en PSIM.....	54
CAPÍTULO 4. Propuesta .....		59
4.1	Título .....	59
4.2	Justificación .....	59
4.3	Objetivos.....	59
4.3.1	Objetivo General de la Investigación. ....	59
4.3.2	Objetivos Específicos.....	59
4.4	Estructura de la Propuesta .....	60
4.5	Desarrollo de la propuesta .....	61
<b>4.6</b>	<b>Evaluación económica</b> .....	<b>66</b>
<b>Proyecto de generación de electricidad a partir de la implementación de un sistema solar fotovoltaico.</b> .....		<b>66</b>
4.6.1	Cálculo del periodo de recuperación del capital Descontado (PRCD) (García, 2016). 67	

4.6.2 Cálculo del periodo de recuperación del capital Descontado (PRCD) (Garcia, 2016). 70

<b>4.7 Comprobación de la Hipótesis</b> .....	71
1. Proyecto de generación de electricidad a partir de la implementación de un sistema solar fotovoltaico.....	72
CONCLUSIONES. ....	74
RECOMENDACIONES. ....	75
ANEXOS.....	78

## PÁGINAS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>Página</b>
Tabla2. 1 Matriz de Operacionalización Variable independiente .....	34
Tabla2. 2 Matriz de Operacionalización Variable dependiente .....	34
Tabla 3. 1 Requerimiento de agua. Fuente: .....	45
Tabla 3. 2 Curva del tipo de bomba de acuerdo al caudal y la altura requerida .....	40
Tabla 3. 3 Potencia Eléctrica Instalada en la fincaFuente: Autor .....	47
Tabla 3. 4 Factor de Demanda de la Potencia Eléctrica InstaladaFuente: eeq.....	47
Tabla 3. 5 Radiación solar en la zona de Tumbaco(Datos tomados de la NASA).....	52
Tabla 3. 6 Radiación solar en la zona de Tumbaco (Datos tomados de Secretaria del Ambiente DMQ) .....	52
Tabla 3. 7 Valores promedio para la simulación.....	54
Tabla 3. 8 Placa de características del panel solar de prueba Fuente (Autor).....	55
Tabla 4. 1Elementos necesarios para un Sistema de Generación Solar Fotovoltaica .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	<b>Página</b>
Figura1. 1 Constituyentes de las plantas Fuente .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura1. 2 Energía solar que ingresa a la tierra en promedio por año .....	25
Figura1. 3 Radiación solar .....	25
Figura1. 4 Comparación de los diferentes tipos de energía respecto a la Radiación solar .....	26
Figura1. 5 Tipos de radiación en la superficie .....	28
Figura1. 6 Sistema de bombeo .....	30

Figura 1. 7 Bomba centrífuga.....	31
Figura 2. 1 Instrumento de medida.....	33
Figura 2. 2 Ingreso de datos en el módulo solar de PSIM .....	36
Figura 2. 3 circuito equivalente de la celda solar fotovoltaica.....	37
Figura 3. 1 Precipitación de lluvia para el año 2015 en Tumbaco.....	44
Figura 3. 2 Consumo de agua en maíz – en mm/día .....	45
Figura 3. 3 Boceto de un sistema de bombeo .....	40
Figura 3. 4 Rendimiento de bombas de paleta según la velocidad específica .....	42
Figura 3. 5 Tendencia de la carga real necesaria.....	48
Figura 3. 6 Radiación solar en la zona de Tumbaco .....	49
Figura 3. 7 Radiación solar en la zona de Tumbaco en el año 2015 .....	50
Figura 3. 8 Radiación solar en la zona de Tumbaco en el año 2015(día tipo del mes de mayor radiación) .....	50
Figura 3. 9 Radiación solar en la zona de Tumbaco en el año 2015 (día tipo del mes de menor radiación) .....	51
Figura 3. 10 Radiación solar en la zona de Tumbaco (error comparado con la NASA).....	53
Figura 3. 11 Diagrama para la simulación del panel solar .....	54
Figura 4. 1 Relación corriente – voltaje del panel solar .....	62
Figura 4. 2 Relación potencia de salida – voltaje del panel solar .....	62
Figura 4. 3 curvas características del panel solar (simulado del panel de modelo a escala)....	63
Figura 4. 4 Curva características $I_{pv}$ vs. $V_{pv}$ y $P_{pv}$ vs. $V_{pv}$ del panel solar. . .....	64
Figura 4. 5 curvas características del panel solar (simulado del panel a utilizarse en el proyecto) .....	64
Figura 4. 6 Estructura de sistema de generación eléctrico a partir de radiación solar fotovoltaica.....	65
Figura 4. 7 Tasa Interna de Retorno .....	68
Figura 4. 8 Tasa Interna de Retorno .....	70
Figura 4. 9 Diagrama de simulación con sus respectivos instrumentos de medida utilizados en el modelo a escala de generación solar fotovoltaica. ....	71
Figura 4. 10 Resultados entregados por los instrumentos de medida utilizados en el modelo a escala de generación solar fotovoltaica. ....	71

## INTRODUCCIÓN

### **Delimitación del problema y objeto**

La agricultura es siempre el mayor usuario de los recursos hídricos puesto que absorbe alrededor del 70 % del consumo mundial. La agricultura de secano (Terreno de cultivo que no tiene riego y solamente se beneficia del agua de la lluvia) se practica en un 80 % de las tierras arables y la agricultura bajo riego en 20 %, que produce el 40 por ciento de los cultivos alimenticios del mundo.

Para mejorar la productividad agrícola es necesario disponer de una infraestructura apropiada que garantice una producción en términos de calidad y de alta producción, este objetivo no se consigue si no se tiene un elemento tan importante como es la suficiente cantidad de agua para mantener una óptima producción.

El sitio donde se encuentra la finca, no dispone de una fuente agua de regadío para el lugar donde se facilita la siembra, puesto que la fuente de agua, se encuentra ubicada a unos 20 metros debajo del nivel, lo que hace necesario la instalación de una bomba eléctrica que abastezca de suficiente agua.

A este problema se suma un agravante adicional, ya que el sector tampoco dispone de una red eléctrica pública, que permita utilizar un motor eléctrico que habilite bombear el agua, hasta el lugar donde se lo requiere.

Para solventar esta dificultad se ve importante utilizar energías alternativas para producir energía eléctrica amigable con el ambiente; por lo cual es importante realizar una investigación sobre la posibilidad de uso de una fuente de energía la más recomendada técnica y económicamente para producir energía eléctrica que asegure el funcionamiento del sistema de bombeo para la Finca Albán sector La Esperanza en la Parroquia de Tumbaco

### **Situación problemática**

Se pretende, presentar una alternativa para alimentar el motor eléctrico de una bomba de agua con energía eléctrica generada, a partir de una micro red fotovoltaica, la misma que analizará la capacidad de almacenar energía eléctrica o utilizar directamente la micro red fotovoltaica en horarios específicos, siguiendo las condiciones contempladas en un modelo de operación propuesto para este tipo de sistemas. Previo al diseño y dimensionamiento de la micro red fotovoltaica, se ha buscado caracterizar al motor eléctrico de inducción a través de un circuito

equivalente y con ello obtener una función de transferencia que permita obtener el consumo de potencia activa de este equipo. Y de esta forma determinar la potencia de energía eléctrica necesaria para el adecuado funcionamiento de este proyecto.

Se pretende realizar un modelamiento matemático, tanto del sistema fotovoltaico como del modelo de operación propuestos, para un día tipo de los meses con mayor y menor recurso solar, considerando dos estados extremos, el uso del banco de baterías, o la no dependencia de estos equipos.

La energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y la biomasa, son consideradas las fuentes de energía del futuro, ya que, a diferencia del petróleo, el carbón, el gas o el uranio, son prácticamente inagotables y amigables con el ambiente.

La cantidad disponible a nivel mundial de energías renovables es suficiente para cubrir las necesidades energéticas de la Tierra. (Renewables Academy AG) señalan que *“En tan sólo una hora, el Sol transmite más energía a la Tierra que la que es consumida en un año”* (p.3). Esta es la razón por la que la energía solar será uno de los principales pilares para la producción de energía. Junto al uso de la energía solar para producir calor (energía solar térmica), el Sol es utilizado para generar energía eléctrica, a lo que es conocido como energía solar fotovoltaica (FV). Como cambio principal de la Matriz Energética, el Plan de Expansión de Energía del Plan Maestro de Electrificación (PME), así como del Ministerio de Electricidad y Energía Renovables (MEER) buscan el uso de recursos renovables no convencionales (ERNC), para la generación eléctrica con el fin de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles; ya que durante muchos años este fue el principal eje en muchas de las plantas de generación, sin tomar en cuenta, los efectos colaterales que produjo utilizar este tipo de combustible, como el encarecimiento en los valores del kilovatio hora (kW/h) hacia el usuario final, la alta contaminación a causa de gases nocivos emitidas por estas plantas generadoras; la afección al ambiente y al ser humano.

En algunos sitios especialmente en el área rural del país, la necesidad más importante del sector agrícola es el abastecimiento de agua para riego de sus cultivos, este debe ser permanente y en cantidades adecuadas; se debe obtener mediante un sistema de bombeo de agua desde las fuentes más cercanas.

La poca disponibilidad de redes eléctricas cercanas en las áreas rurales, complica la posibilidad de abastecerse adecuadamente de este recurso, el sistema de transporte de agua requiere el uso de bombas accionadas con motores eléctricos.

### **Objeto de estudio de la investigación**

Sistema de bombeo de agua de riego mediante energía solar fotovoltaica.

### **Formulación del problema**

En las zonas rurales es común la carencia de servicio público de energía eléctrica, debido a su lejanía. En la finca Albán. Parroquia de Tumbaco, se presenta este problema, por lo cual se requiere de una fuente alternativa de energía, como la solar, especialmente para uso general y sus actividades agrícolas.

Por lo tanto, el presente proyecto de investigación tiene como fin diseñar la factibilidad de utilización de energía solar fotovoltaica como fuente alternativa de electricidad para el aprovechamiento en el bombeo de agua de riego, a través de dicha fuente.

<b>Variable Independiente</b>	<b>Variable dependiente</b>
Potencial energético solar	Sistema energía generada para bombeo de agua de riego

### **Objetivo general y campo de acción de la investigación**

#### **Objetivo General de la Investigación**

Diseñar un sistema de generación eléctrico fotovoltaico, para utilizar en el bombeo de agua de riego en la finca Albán, a partir de la caracterización del potencial energético solar en la parroquia Tumbaco en el año 2015.

#### **Objetivos Específicos**

- Diagnosticar el consumo de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua de regadío.
- Modelar matemáticamente la producción de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, para el año 2015
- Verificar la factibilidad técnica y económica de la aplicación del bombeo de agua para regadío a partir del uso de la energía solar fotovoltaica.

#### **Campo de Acción**

Aprovechamiento del potencial energético solar.

## **Hipótesis**

La generación de energía eléctrica aprovechando la radiación solar fotovoltaica de la zona de Tumbaco, permitirá el bombeo de agua de riego, para operar un sistema alternativo energético.

## **Visión epistemológica de la investigación**

El presente trabajo de investigación utilizara un enfoque cuantitativo mediante la recopilación de datos de radiación solar en el sector de Tumbaco para determinar la producción de energía eléctrica, que garantice resultados energéticamente eficientes en el bombeo de agua de riego, para el sector, utilizando información de entes gubernamentales para determinar las mediciones, descripciones y observaciones, de la cual se generaron datos recolectados y el análisis para contestar las interrogantes generadas en la investigación lo que establecerá con exactitud patrones de comportamiento de la generación de energía eléctrica a partir de la radiación solar fotovoltaica.

La presente investigación tiene como alcance dar una alternativa de solución a los problemas de la eficiencia energética mediante la optimización en la producción agrícola desde la factibilidad del riego de agua.

En el capítulo 1 se basa en el estado de arte para la producción de energía eléctrica a partir de la radiación solar fotovoltaica y facilitar el regadío de agua en una parcela.

Capítulo 2 es la metodología de la investigación determinando las herramientas con las cuales se realizará el trabajo de investigación.

En el capítulo 3 la investigación presenta la tabulación de los datos obtenidos en la encuesta, se analiza la información extraída por el equipo de medición de la radiación solar para determinar la curva característica de potencia – radiación solar.

Capítulo 4 es la propuesta para la solución del problema mediante la modelación de la radiación solar en función de la potencia obtenida y así lograr mover una bomba eléctrica para el riego de agua en una parcela tipo.

## **CAPÍTULO 1: Marco Teórico**

En este campo de la investigación se encuentran una gran cantidad de estudios realizados, con la finalidad de fomentar el uso de energía solar fotovoltaica para mover bombas de agua a base de energía eléctrica en zonas rurales, principalmente para fomentar el desarrollo del sector agrícola y ganadero.

### **1.1 Fundamentación legal**

El Estado Ecuatoriano, con la finalidad de fomentar el uso de energías limpias, ha creado el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables INER, quienes tienen la finalidad de propiciar el desarrollo del uso de energías alternativas amigables con el medio ambiente. De igual manera se cuenta con el Ministerio de Electricidad y energía renovable MEER, el cual tiene como meta identificar los potenciales recursos renovables con los que cuenta el País. Fue creado El INER a principios del año 2012 mediante Decreto Ejecutivo No. 1048 con la finalidad de cumplir los lineamientos de la Constitución de La República, donde el estado asume como su responsabilidad el “promover la generación y producción del conocimiento, fomentando en la investigación científica y tecnológica, para así contribuir al logro del buen vivir, impulsando para ello el aprovechamiento de la energía renovable y el uso eficiente de la energía en todas sus formas, para lo cual se requiere una adecuada coordinación entre los diversos actores del sector público y la participación activa de todos los sectores sociales y privados del país.

El Programa EURO-SOLAR promueve las energías renovables, con el objetivo de mejorar las condiciones de vida de las poblaciones más desfavorecidas de la región, a través de mecanismos de ampliación del acceso a la electricidad y al desarrollo de servicios básicos (telecomunicaciones, salud y educación), con la entrega de una torre que soportará a un grupo de 7 paneles fotovoltaicos con una capacidad de 1.100 vatios pico y equipamientos para acceso a las telecomunicaciones. La torre está instalada en las inmediaciones del centro educativo. Como parte del programa también se entregó a cada comunidad 5 computadores, 1 proyector,

1 impresora multifunción, 1 refrigeradora para medicinas, 1 purificador de agua y todos los elementos para dotar de iluminación.

Se inició con la suscripción del Convenio de Financiación (CF) el 21 de diciembre de 2006. El proyecto está previsto hasta el 31 de mayo del 2013. Desde el 31 de mayo del 2012 empieza la fase de cierre del proyecto.

Con este proyecto se beneficia a 39 629 habitantes, distribuidos en 7 provincias del Ecuador que son: Guayas, Esmeraldas, Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago.

En Noviembre de 2012 se realizó la contratación de los Servicios de capacitación a los integrantes de los Comités de Gestión Comunitaria de cada una de las 91 comunidades beneficiarias del Programa Euro-Solar sobre temas complementarios relacionados con aspectos básicos de informática e internet, aspectos administrativos y comerciales; y aspectos legales e impositivos.

Esta capacitación se encuentra en ejecución en la etapa de “Monitoreo y Seguimiento” (fase II) de los conceptos impartidos en la fase I denominada “Capacitación”.

Con esta capacitación, las comunidades podrán aprovechar al máximo las ventajas de los infocentros instalados.



**Infocentro Eurosolar**



**Paneles solares, baterías y antena –  
Infocentro Eurosolar**

Foto 1.1 Instalación de paneles solares en la zona rural del país Fuente (INER 2014)

Por otra parte el estado se encuentra empeñado en establecer políticas de ahorro energético con la intención de garantizar la energía eléctrica para toda la población y adicionalmente para el sector productivo. En base a esta política se espera del estado facilidades para implementar procesos de cogeneración y abastecer de energía eléctrica a los sectores más vulnerables, en este caso el agrícola en siembras de ciclo corto y pequeñas extensiones de terreno.(Delgado, 2004)

## 1.2 Fundamentación Teórica

La escasez de agua para uso urbano y la cada vez mayor dependencia del riego para la producción agrícola en zonas de rápido crecimiento demográfico, han contribuido a que a nivel internacional aumente el interés en el reusó del agua.(Cifuentes, Blumenthal, Ruiz-Palacios, Bennett, & Peasey, 1994)

### 1.2.1 El agua y las plantas

En las plantas, como en el resto de seres vivos, el agua desempeña una serie de funciones esenciales sin las cuales no sería posible la vida tal y como la conocemos:

El Agua es aproximadamente el 80% de una planta, denominándose genéricamente al resto de sus componentes materia seca (*figura 1.1*). Esta cantidad de agua es imprescindible para que las plantas mantengan su estructura. Cuando, por la razón que sea, las plantas pierden más agua de la que pueden absorber, se marchitan y todos sus procesos vitales se ven alterados.

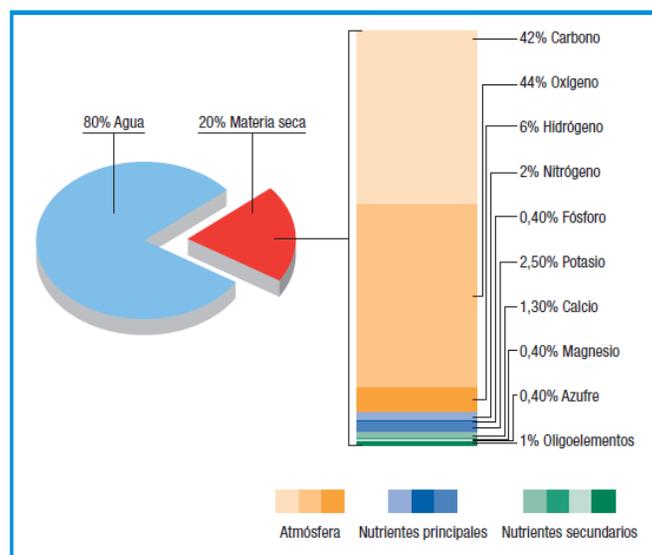


Figura1. 1 Constituyentes de las plantas Fuente (Oriolani, M Julio César; Carretero, José Feliú; Bagini, Ricardo Luis; Gonzalez, J.P.; Cappe, 2005)

### 1.2.2 Momentos críticos en el ciclo de los cultivos

La respuesta directa de cualquier cultivo a la falta de agua puede ser una disminución de su rendimiento. Ahora bien, la falta de agua no incide de igual manera en las diferentes fases del desarrollo de un cultivo. Por ejemplo, los cereales toleran, sin pérdida significativa de rendimiento, episodios de sequía al comienzo de su desarrollo (antes de comenzar el crecimiento de la caña) o al final. Pero son muy sensibles a la falta de agua durante la floración e inicio del llenado del grano.

### 1.2.3 Capacidad del suelo para almacenar agua

En la mayoría de los suelos, la red de canalículos ocupa un volumen que oscila entre 30-50% del total. De todos los poros o canalículos, los de mayor diámetro permiten un paso rápido del agua y sólo los menores son capaces de retener y almacenar agua. En un suelo determinado, el porcentaje total de poros y su tamaño va a depender de:

**La textura.** Se denomina textura del suelo a la proporción de los diferentes componentes mineralógicos: arena, limo y arcilla. Estos componentes se diferencian exclusivamente por su tamaño.

- **Arena:** partículas comprendidas entre 0,05 y 2 mm.
- **Limo:** partículas entre 0,002 y 0,05 mm (no visibles a simple vista).
- **Arcilla:** partículas menores de 0,002 mm (no visibles a simple vista).

**La estructura.** Es la forma en que las partículas del suelo se unen formando agregados y dejando entre sí poros o canalículos. Además de la textura, en la formación de la estructura intervienen el contenido en materia orgánica y el manejo que se haga del suelo. De forma genérica, el laboreo intensivo, el pisoteo del ganado y la circulación de la maquinaria en húmedo contribuyen a destruir la estructura de los suelos.

Para la actividad agrícola sería ideal tener un suelo equilibrado, fácil de trabajar, permeable y con buena capacidad de acumulación de agua. Esto es lo que técnicamente se conoce como *suelo franco* que, desde el punto de vista de su textura, contendría entre 30-50% de arena, 30-50% de limo y 20-30% de arcilla. Un suelo de estas características sería capaz de almacenar unos 300 litros de agua por metro cuadrado de superficie y metro de profundidad. Aunque, como se verá más adelante, toda esta agua no estaría enteramente a disposición de las plantas.

Al cambiar las proporciones de arena, limo y arcilla cambia también la denominación técnica del suelo y su capacidad para retener agua y de ponerla a disposición de las plantas. Se habla así de suelos arenosos, limosos, arcillosos, arcillo-arenosos, franco-arenosos, franco-arcillosos, etc(Oriolani, M Julio César; Carretero, José Feliú; Bagini, Ricardo Luis; Gonzalez, J.P.; Cappe, 2005).

### **1.3 Caracterización de un suelo desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para las plantas**

Del volumen total de agua que puede almacenar un suelo, no todo está disponible para las plantas y, del que está disponible, no todo se puede absorber con igual facilidad. Así, se definen los siguientes conceptos:

**Capacidad de campo.** Es el volumen de agua que un suelo puede retener después de saturarlo (encharcarlo) y dejarlo drenar (escurrir) libremente durante 48 horas. La capacidad de campo viene a reflejar el agua que el suelo retiene en los canalículos pequeños, después de que los más grandes se hayan llenado de aire. Cuando un suelo está la *capacidad de campo* la presión necesaria para comenzar a extraer el agua retenida es baja, de menos de 0,3 atmósferas.

**Punto de marchitez permanente.** Es el contenido de agua de un suelo a partir del cual las plantas no pueden extraer más y, por tanto, se marchitan y mueren. La presión necesaria para comenzar a extraer el agua que contiene un suelo en su punto de marchitez es de 15 atmósferas.

De forma general, el punto de marchitez es igual al 56% de la capacidad de campo. Esto quiere decir que si el suelo franco tiene una capacidad de campo de 300 l/m<sup>3</sup> de suelo, en su punto de marchitez seguirá conteniendo 168 litros. Pero esta agua no puede ser aprovechada por las plantas.

**Agua útil para las plantas.** Es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. En el ejemplo del suelo franco, el agua útil sería:  $300 - 168 = 132$  l/m<sup>3</sup> de suelo.

**Agua fácilmente utilizable por las plantas.** Parte del agua útil que las plantas pueden absorber con poco esfuerzo (50,5-101 kPa) y, por tanto, sin merma de su capacidad productiva. El agua fácilmente utilizable depende de cada especie de planta. En agricultura se considera, de forma orientativa, que para los cultivos menos sensibles a la sequía el agua fácilmente utilizable es el 50 % del agua útil y para los más sensibles entre 25 – 30 %. Para el suelo franco anterior, el agua fácilmente utilizable por los cultivos menos sensibles sería de 66 l/m<sup>3</sup> de suelo y de 33 l/m<sup>3</sup> para los más sensibles.

Es bien conocido por todos los agricultores de secano, de que:

- Las tierras ligeras (arenosas) son poco productivas, no necesitan mucha lluvia, pero sí que esté bien repartida, o al menos concentrada en la primavera.
- Las tierras pesadas (arcillosas) son más productivas pero necesitan mojarse bien en invierno para guardar humedad y poder aguantar períodos prolongados sin lluvia. Sin embargo, con lluvias escasas dan malas cosechas.
- Las tierras medias (francas) son las más seguras produciendo ya que se adaptan mejor a las lluvias irregulares.

Para poder obtener productividad, en los diferentes tipos de suelos es necesario dotarles de agua de riego según sea el caso.

Para esto es necesario algún tipo de energía que mueva una bomba para lograr el riego requerido. Una de estas energías utilizadas y por facilidad de uso es la energía eléctrica. (Oriolani, M Julio César; Carretero, José Feliú; Bagini, Ricardo Luis; Gonzalez, J.P.; Cappe, 2005)

#### **1.4 Energía eléctrica**

La energía eléctrica es causada por el movimiento de las cargas eléctricas electrones libres ( $e^{-1}$ ) en el interior de materiales conductores. Es decir, cada vez que se acciona el interruptor de una luminaria, se cierra un circuito eléctrico y se genera el movimiento de electrones a través de hilos conductores metálicos, tales como el cobre. Además del metal, para que exista este transporte y se pueda encender una luminaria, es necesario una fuerza electromotriz (generador) que impulse el movimiento de los electrones a través del hilo conductor (Grupo NAP, 2013).

Siguiendo el principio de conservación de la energía en el que se indica que ésta no se crea ni se destruye, sólo se transforma de unas formas en otras, se explica que la energía eléctrica pueda convertirse en energía luminosa, mecánica y térmica. A esto hay que añadir la facilidad con la que se genera y se transporta. No obstante, y a pesar de ser la energía más utilizada por el hombre debido a su infinidad de aplicaciones en una diversa gama de productos y aparatos cotidianos, entre estas bombas de agua eléctricas.

*“Otra expectativa refiera al cambio de una matriz energética que advierte la necesidad de optimizar el consumo de electricidad, buscando alternativas innovadoras que orientan al consumidor a usar de manera eficiente el recurso eléctrico.” (Inga & Rodriguez, 2013)*

### **1.4.1 Cómo se genera la energía eléctrica**

**Generación.** La energía eléctrica se obtiene en las centrales de generación, las cuales están determinadas por la fuente de energía que se utiliza para mover el motor. A su vez, estas fuentes de energías pueden ser renovables o no. En el grupo de las renovables se encuentran las centrales hidráulicas (hacen uso de la fuerza mecánica del agua), eólicas (viento), solares (sol) y de biomasa (quema de compuestos orgánicos de la naturaleza como combustible). Cada una de estas fuentes indicadas se puede recuperar de manera natural o artificial.

También existen centrales de generación de energía eléctrica que utilizan fuentes de energía que no son renovables. Es decir, aquellas que tienen un uso limitado en el planeta y cuya velocidad de consumo resultan mayores que la de su regeneración. Tales como las centrales térmicas (se produce electricidad a partir de recursos limitados como el carbón, el petróleo, gas natural y otros combustibles fósiles) y las nucleares (a través de fisión y fusión nuclear).

## **1.5 Energía solar fotovoltaica**

La energía solar, esto es la energía radiante del sol recibida en la tierra, es una fuente de energía que tiene varias importantes ventajas sobre otras y que, para su aprovechamiento, también presenta varias dificultades. Entre sus ventajas se destacan principalmente su naturaleza inagotable, renovable y su utilización libre de polución. Pero, para su utilización, es necesario tener en cuenta su naturaleza intermitente, su variabilidad fuera del control del hombre y su baja densidad de potencia. (Murcia, 2009)

### **1.5.1 Radiación solar en la superficie terrestre**

Desde el punto de vista energético, la masa solar que por segundo se irradia al espacio en forma de partículas de alta energía y de radiación electromagnética es aproximadamente de  $5,6 \cdot 10^{35}$  Ge V y de ella, la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera un total de  $1,73 \cdot 10^{14}$  kW, o sea 1,353 kW/m<sup>2</sup>, que se conoce como constante solar y cuyo valor fluctúa en un  $\pm 3$  % debido a la variación periódica de la distancia entre la Tierra y el Sol.

La atmósfera y la superficie terrestre se encuentran a temperaturas medias distintas y, por lo tanto, también radian energía; así, la longitud de onda de la radiación solar está comprendida entre, 0,05  $\mu$ m y 4  $\mu$ m, mientras que la radiación terrestre lo está entre 3  $\mu$ m y 80  $\mu$ m, es decir, se trata de emisiones de onda larga.

Los  $1,73 \cdot 10^{14}$  kW de energía solar que inciden sobre la Tierra, se reparten en la siguiente forma:

- *Energía solar reflejada por la atmósfera hacia el espacio exterior, 30 %,  $0,52 \cdot 10^{14}$  kW*
- *Energía solar que se utiliza en calentar la atmósfera, 47 %,  $0,80 \cdot 10^{14}$  kW*
- *Energía solar que se utiliza en la evaporación de los océanos representa el 23 %,  $0,40 \cdot 10^{14}$  kW*
- *Energía solar que se utiliza en generar perturbaciones atmosféricas, como el viento (energía mecánica),  $0,0037 \cdot 10^{14}$  kW*
- *Energía solar utilizada en la fotosíntesis,  $0,0004 \cdot 10^{14}$  kW*

De todo lo anterior, sólo el 47 % de la energía solar incidente alcanza la superficie terrestre, de forma que el 31 % lo hace directamente y el otro 16 % después de ser difundida por el polvo, vapor de agua y moléculas de aire. El 53 % de la energía restante no alcanza la superficie de la Tierra, ya que un 2 % es absorbida por la estratósfera, principalmente por el ozono, el 15 % por la tropósfera, (agua, ozono y nubes), en total  $2 + 15 = 17$  % y por otra parte, un 23 % es reflejada por las nubes, un 7 % es reflejada por el suelo y el 6 % restante corresponde a aquella energía difundida por la atmósfera que se dirige hacia el *cielo*.

La energía solar, es la energía radiante emitida por el sol y recibida en la tierra en forma de ondas electromagnéticas. El sol emite continuamente radiación a todo el espacio. La tierra intercepta aproximadamente  $1,7 \times 10^{14}$  kW, de tal manera que la tierra es efectivamente un gran colector solar.

La energía solar es directa o indirectamente el origen de todas las fuentes de energía que hoy disponemos, exceptuando la energía nuclear, geotérmica y mareomotriz. Los combustibles fósiles son energía solar acumulada en forma de energía química. Otras formas de energía como la hidroenergía, la energía del viento y la biomasa son formas de la energía sola(Prado, 2008).

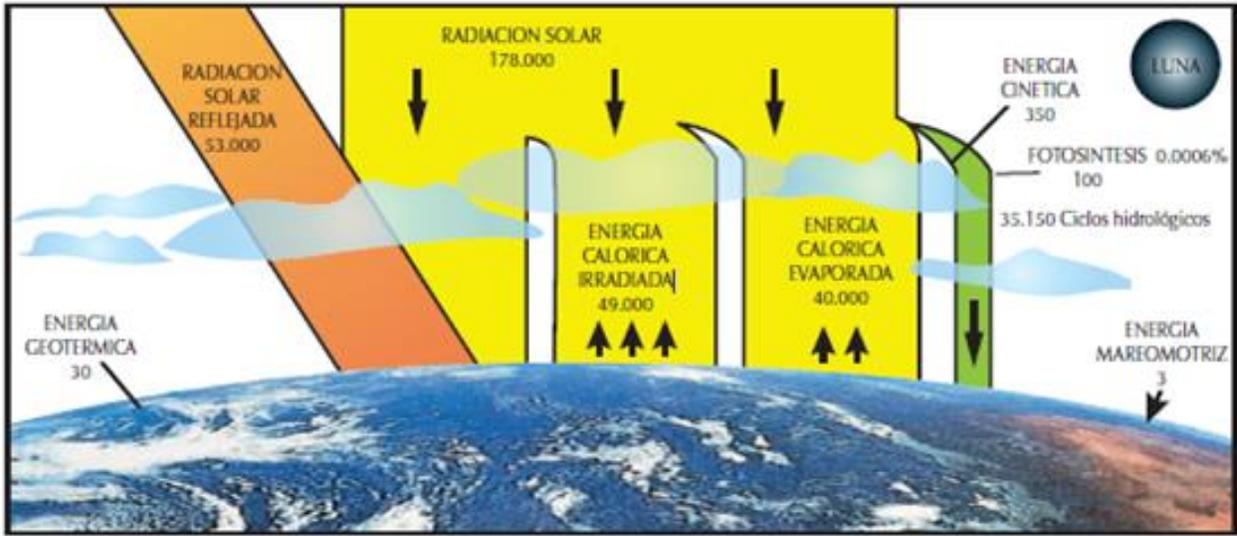


Figura1. 2 Energía solar que ingresa a la tierra en promedio por año, expresada (TW-año) Fuente <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno13/fotovolt/Informe%20Final.h>

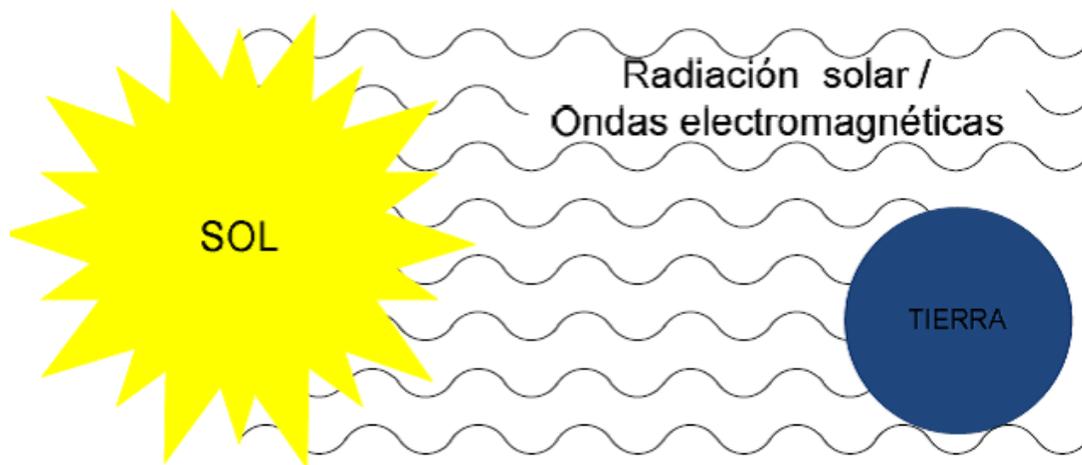


Figura1. 3 Radiación solar (Tomado de la fuente de internet: <http://www.cecuc.edu>)

La energía solar tiene una serie de ventajas:

- Es inagotable.
- No es contaminante.
- Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega.
- Los sistemas de captación solar son de fácil mantenimiento

Sin embargo, la utilización artificial de la energía solar no es simple y carente de problemas, ya que tropieza con tres dificultades importantes:

- El flujo de potencia que alcanza la superficie terrestre es pequeño ( $< 1 \text{ kW/m}^2$ ), comparado con el suministrado por los combustibles fósiles.
- La energía solar disponible en una localidad varía estacionalmente durante el año y además se ve afectada por variaciones meteorológicas, fuera del control del hombre.
- Los equipos necesarios para utilizar la energía solar requieren de inversiones iniciales elevadas, comparadas con las que se requieren para sistemas convencionales.

El bajo flujo de potencia implica que la utilización de la energía solar es extensiva, es decir, que a mayor potencia se requiere mayor área de dispositivos.

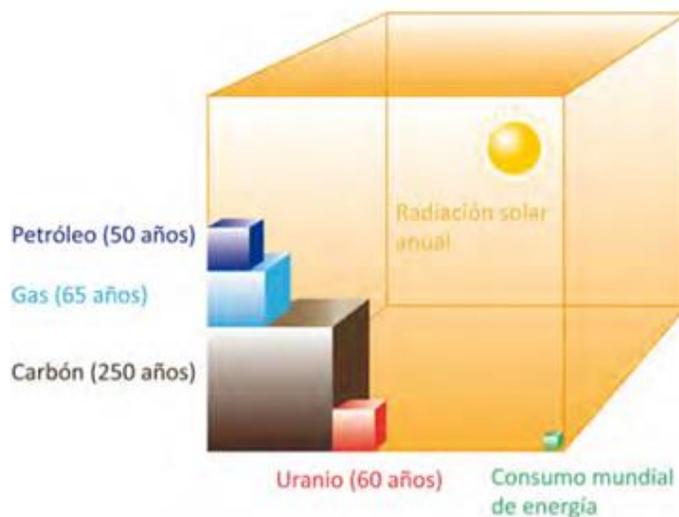


Figura1. 4 Comparación de los diferentes tipos de energía respecto a la Radiación solar Fuente (Grupo NAP, 2013)

La variabilidad implica la necesidad de acumular la energía con el fin de suministrar el consumo requerido. Y la alta inversión inicial implica considerar la viabilidad económica del proyecto teniendo en cuenta su vida útil y las ventajas que conlleva la utilización de la energía solar.

Un sistema fotovoltaico es una fuente de potencia eléctrica en la cual las celdas solares transforman la energía solar directamente en electricidad DC. Estos sistemas pueden ser colocados en todos los lugares donde haya suficiente energía solar, no requieren combustibles y por tratarse de dispositivos de estado sólido, carecen de partes móviles, por consiguiente, no requieren de mayor mantenimiento. No producen ruido, emisiones tóxicas, contaminación ambiental ni polución electromagnética. Su confiabilidad es entonces elevada y se emplean desde hace cerca de 40 años en lugares inhóspitos tales como el espacio, desiertos, selvas, regiones remotas.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden diseñar para operación autónoma o funcionamiento en sistemas híbridos o alternativamente con sistemas de generación convencionales. También pueden operar aislados de redes o 12 interconectados a ellas. La capacidad de los dispositivos fotovoltaicos varía desde algunos mW pico hasta decenas de MW pico.

La radiación solar es la energía electromagnética que se emana en los procesos de fusión del hidrógeno en átomos de helio contenido en el sol.

La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella, el 70 % cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda, de  $1,5 \times 10^{17}$  kWh, que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual.

La radiación solar recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar y es igual a  $1353 \text{ W/m}^2$ , variable durante el año un  $\pm 3\%$  a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

El valor máximo medido sobre la superficie terrestre es de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$ , en condiciones óptimas de sol, a mediodía y en un día de verano despejado. La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser directa o dispersa. Mientras la radiación directa incide sobre cualquier superficie con un único y preciso ángulo de incidencia, la dispersa cae en esa superficie con varios ángulos. Es necesario recordar que cuando la radiación directa no puede dar a una superficie a causa de la presencia de un obstáculo, el área en sombra no se encuentra completamente

a oscuras gracias a la contribución de la radiación dispersa. Esta observación tiene importancia técnica para los dispositivos fotovoltaicos, que pueden funcionar incluso solamente con radiación dispersa (Renac, 2011).

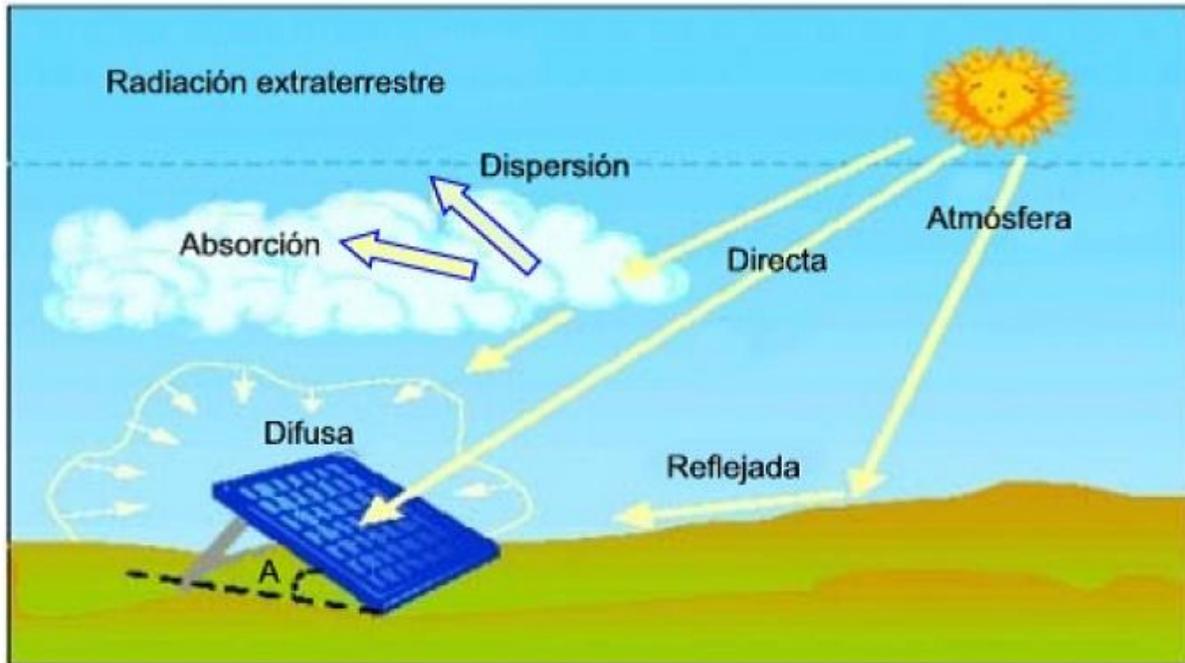


Figura1. 5 Tipos de radiación en la superficie Fuente de internet: <http://www.cecua.es/>

Una superficie inclinada puede recibir, además, la radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como albedo. Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

- De las condiciones meteorológicas (de hecho, en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad; en un día despejado con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total).
- De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal (una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie y la mínima reflejada).

- De la presencia de superficies reflectantes (debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno).

En función del lugar, además, varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye.

## 1.6 Energía renovable

Es aquella que se obtiene de fuentes consideradas inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que poseen como la proporcionada por el sol o por su gran capacidad de regenerarse por medios naturales como el caso del agua.

### 1.6.1 Bombas eléctricas para regadío de agua

Una vez que se obtiene la energía eléctrica a través de un generador solar fotovoltaico, se procede a dar paso a la fase de transformación de la energía eléctrica en energía mecánica. La cual mueve al sistema de bombeo.

### 1.6.2 Sistemas de bombeo

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías desde una fuente de almacenamiento de líquido, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

En un sistema típico, además de tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan la energía necesaria para el transporte tales como bombas, además se requiere de tanques de almacenamiento, tuberías y accesorios. Otros tipos de elementos sirven para la regulación y control tales como válvulas e instrumentos de medida.

La siguiente grafica muestra las partes que constituyen un sistema de bombeo:

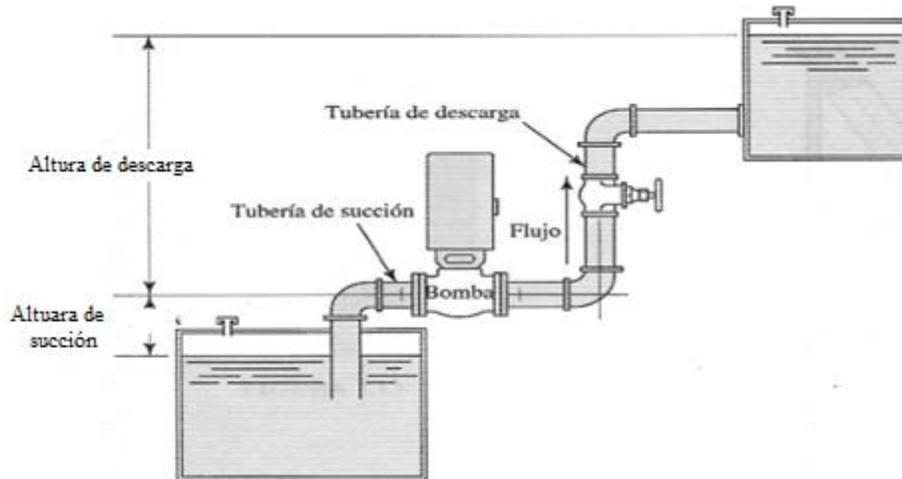


Figura1. 6 Sistema de bombeo Fuente: Mott (2006)

### 1.6.3 Máquinas utilizadas para la impulsión de fluidos

Una máquina es un transformador de energía, que recibe una clase de energía y la transforma en otra de diferente tipo, a su vez las máquinas se clasifican en diferentes grupos entre las que tenemos las máquinas de fluidos, las cuales o bien un fluido proporciona la energía que absorbe la máquina o de otra manera la máquina transfiere energía al fluido.

Una máquina hidráulica es una máquina de fluidos y de acuerdo a Mataix (2005) “Máquina hidráulica es aquella en que el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente de densidad en su paso a través de la máquina, por lo cual en el diseño y estudio de la misma se hace la hipótesis de que la densidad es constante”.

Dentro de las máquinas hidráulicas tenemos a las bombas centrífugas con motor eléctrico, las que se utilizan para impulsar el agua en un sistema de bombeo.

### 1.6.4 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga, también denominada bomba roto dinámica, es actualmente la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor generado por un motor eléctrico generalmente. El líquido entra por el centro del rodete, que dispone de unos alabes para conducir el líquido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es

recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno de su forma de caracol lo conduce hacia la tubería de salida. Su elemento transmisor de energía se denomina impulsor rotatorio o rodete el cual transfiere energía al fluido en forma de energía cinética.

Las Bombas Centrífugas se pueden clasificar de diferentes maneras, ya sea por la dirección del flujo, por la posición de su eje, por diseño de su carcasa, entre otras.

Las bombas centrífugas tienen un uso muy extendido en la industria porque son adecuadas casi para cualquier uso y constituyen no menos del 80 % de la producción mundial de bombas, porque es la más usada para mover más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

La siguiente figura 2.2 muestra un esquema de una bomba centrífuga:



Figura1. 7 Bomba centrífuga Fuente: [http://www.evans.com.co/wp-content/uploads/2013/12/Bombas\\_para\\_agua\\_EVANS\\_6HME300\\_1L.jpg](http://www.evans.com.co/wp-content/uploads/2013/12/Bombas_para_agua_EVANS_6HME300_1L.jpg)

## **CAPÍTULO 2: Metodología de investigación**

### **2.1 Objeto de la Investigación**

La presente investigación está basado en una parcela de cultivos diversos de un área de cultivo de 2500 m<sup>2</sup>. En la Finca Albán, del sector La Esperanza, Parroquia de Tumbaco.

### **2.2 Modalidad de la investigación**

En esta investigación se optó por la modalidad, bibliográfica-documental, en base a datos recopilados de fuentes técnicas y gubernamentales que proporcionan datos informativos, secuenciales, periódicos, de manera sistemática para determinar la radiación solar fotovoltaica en el sector la Esperanza de la parroquia de Tumbaco.

### **2.3 Nivel de investigación**

En esta investigación se han utilizado fórmulas, medición, para la evaluación de las distintas variables y el análisis de datos informativos mediante el Software en este caso PSIM, que proporciona el nivel de optimización de este recurso natural que es la radiación solar fotovoltaica.

### **2.4 Métodos de investigación**

Los métodos de investigación utilizados son:

Observación, que nos permite conocer el problema mediante el registro de la radiación solar fotovoltaica en el sector La Esperanza de la Parroquia de Tumbaco que nos permite determinar la cantidad de energía eléctrica que podemos aprovechar a partir de la radiación solar fotovoltaica.

Otro método utilizado en esta investigación es el INDUCTIVO, apoyado en fuentes documentales que como punto de partida nos proporciona los datos informativos con los cuales hemos podido realizar un análisis y tabulación referente a los distintos comportamientos de la intensidad de la radiación solar fotovoltaica en la zona de Tumbaco.

Otro método utilizado en esta investigación es el DEDUCTIVO que nos permitió deducir mediante los datos procesados y su respectiva modelación la cantidad de energía eléctrica que podemos utilizar, para el bombeo de agua de riego en el sector La Esperanza en la parroquia de Tumbaco.

## 2.5 Técnicas e instrumentos de la investigación

Ha sido necesario recurrir a distintas técnicas e instrumentos de investigación para determinar los beneficios y alcances de la optimización del recurso energético que se pretende implementar en la Finca Albán sector La Esperanza de la Parroquia de Tumbaco.



Figura 2. 1 Instrumento de medida Fuente: (Autor)

Se utiliza la técnica de medición de consumo de energía, con sus respectivos instrumentos de medición y análisis para calcular modelos matemáticos que permiten constatar el consumo de energía en la Finca Albán sector La Esperanza de la Parroquia de Tumbaco.

## 2.6 Operacionalización de las variables

Tabla2. 1 Matriz de Operacionalización Variable independiente

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>		<b>Potencial energético solar</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Es la potencia requerida por un sistema, promediada en un intervalo de tiempo establecido	Panel fotovoltaico	Potencial energético solar	kW/m <sup>2</sup>	Cálculos	Ecuaciones
	Modelo Matemático	Modelo Matemáticos para potencial energético solar	kW/m <sup>2</sup>	Cálculos	Ecuaciones
	Eficiencia energética eléctrica	Consumo de energía	kW/h	Medición	Analizador de redes

Tabla2. 2 Matriz de Operacionalización Variable dependiente

<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>		<b>Sistema energía generada para bombeo de agua de riego</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Conjunto de conocimientos técnicos existentes, para el diseño de sistemas de bombeo para agua, mediante la utilización de diversos equipos y accesorios disponibles.	Portadores energéticos (agua, energía potencial, energía eléctrica)	Consumo de agua	m <sup>3</sup> /s	Estimación	Estadísticas
		Capacidad de generación	W/m <sup>2</sup>	Medición	Equipos de Medición
		Energía	kW/h	Medición	Ecuaciones
		Costo - beneficio	\$	Cálculos	Ecuaciones

## 2.7 Software, metodología o procedimientos

PSIM, es una herramienta de simulación de circuitos eléctricos y electrónicos por ordenador. La programación resulta muy sencilla e intuitiva, ya que se hace por medio de una interfaz gráfica que permite dibujar los esquemas de los circuitos que se desean simular, disponiendo para ello de paletas de elementos que incluyen además de los generadores y las cargas todos los elementos de control necesarios (aparatos de medida etc.).

La empresa que comercializa Psim es Powersim, <http://www.powersimtech.com/>, de donde se puede descargar una versión de evaluación de forma gratuita. Powersim se dedica al desarrollo de herramientas para simulación y diseño de productos como fuentes de alimentación, controladores de motores, conversión de potencia y sistemas de control. Para la presente investigación se ha tomado la sección de energías renovables lo concerniente al modelo físico de módulos solares Su idea es incrementar la eficiencia del cliente y su productividad para reducir el coste y el tiempo de salida al mercado de nuevos productos.

El modelo físico del módulo solar puede tomar en cuenta las variaciones de la intensidad de la luz y la temperatura ambiente. Sin embargo, requiere muchos parámetros de entrada. Algunos de los parámetros se pueden obtener de hojas de datos del fabricante, mientras que otros parámetros tienen que ser obtenidos por ensayo, práctica y error. Con el fin de facilitar a los usuarios, definir los parámetros para un módulo solar en particular, una herramienta de utilidad denominada Modulo solar (modelo físico) se proporciona en el menú de utilidades del PSIM.

### **El modelo físico del módulo solar tiene los siguientes parámetros:**

<b>Numero de celdas NS:</b>	número de celdas solares en serie en un módulo solar.
<b>Intensidad de luz estándar S0:</b>	intensidad de la luz en condiciones de prueba estándar, en W/m <sup>2</sup> . Este valor es normalmente de 1000 W/m <sup>2</sup>
<b>Temperatura Referencial Tref:</b>	Temperatura bajo condiciones de prueba estándar, en °C.
<b>Resistencia en Serie Rs:</b>	Resistencia en serie de cada celda solar, en Ohm.
<b>Derivador de Resistencia Rsh:</b>	Derivador de Resistencia de cada celda solar, en Ohm.
<b>Corriente de corto Circuito Isc0:</b>	Corriente de corto circuito del módulo solar a la

Temperatura de referencia, en A

**Saturación de Corriente  $I_{s0}$ :** Saturación de corriente del diodo en el modelo, en A

**Energía de Banda  $E_g$ :** Energía de banda de cada celda solar, en eV (electrón voltio Joule en diminuto), el objetivo es enviar a los electrones, crear cargas dentro de la conducción mientras más alejado es mejor

**Factor Ideal A:** Factor ideal, también llamado coeficiente de emisión del diodo en el modelo.

**Coeficiente de Temperatura Ct:** Coeficiente de temperatura, en A/K

**Coeficiente Ks:** Coeficiente que define como la intensidad de la luz afecta la temperatura de la celda solar.

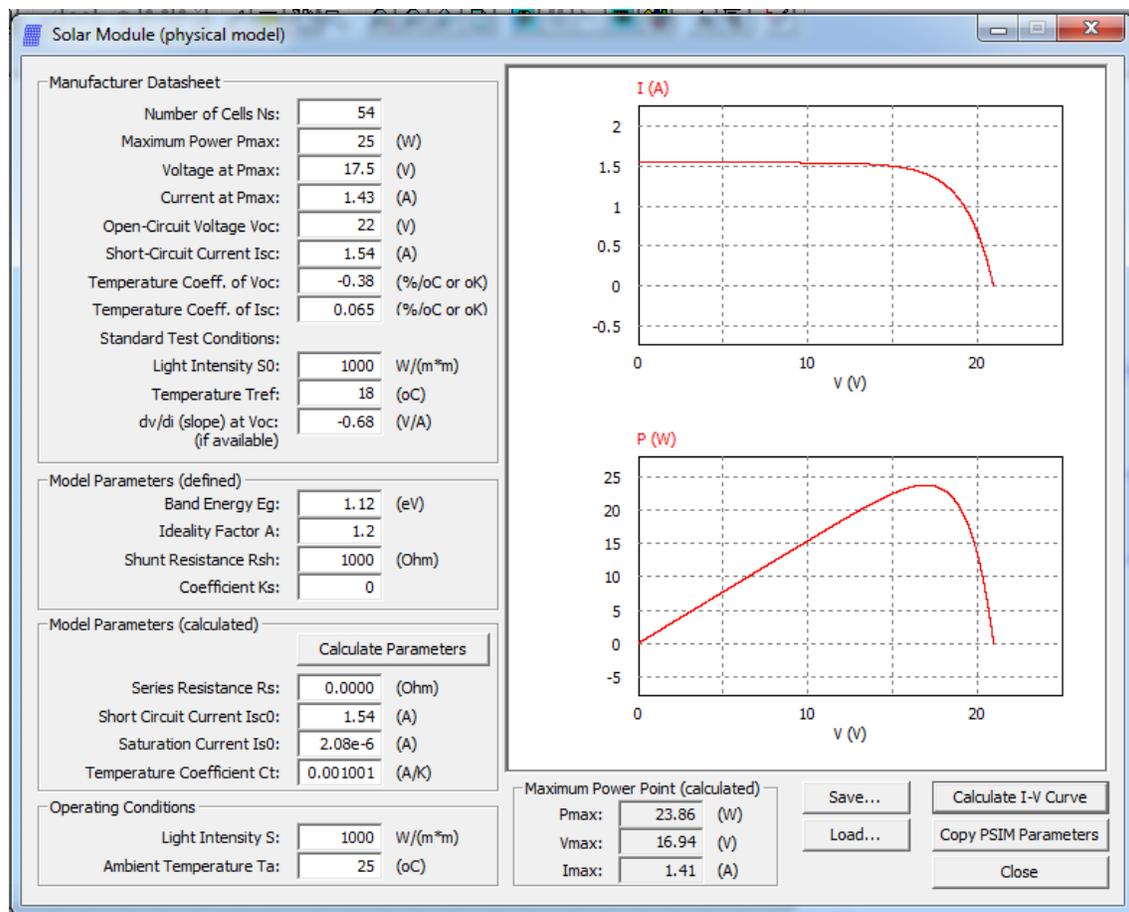


Figura 2. 2 Ingreso de datos en el módulo solar de PSIM fuente ((Module, 2012))

El modulo solar MSX-60 de BP Solar es usado para ilustrar como usar la herramienta de utilidad para obtener los parámetros del modelo. Este proceso consta de los siguientes pasos:

- Ingresar la información en la hoja de datos.
- Realizar un estimado inicial de ciertos parámetros.
- Obtener las curvas I-v, P-v, y el punto máximo de potencia. Comparar la hoja de datos con los datos experimentales para diferentes condiciones operacionales, para luego a justar los parámetros (Module, 2012).

En el Anexo 1 se encuentra el tutorial se describe cómo utilizar el modelo físico de módulos solares.

A continuación se describe como el software Psim relaciona a través de las ecuaciones el comportamiento de la corriente en función del voltaje para obtener la curva característica del panel solar fotovoltaico.

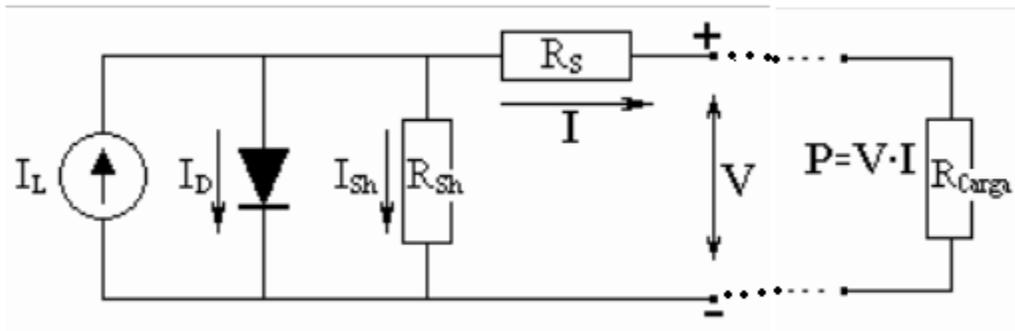


Figura 2. 3 circuito equivalente de la celda solar fotovoltaica fuente (Autor)

Un modelo eléctrico teórico que represente este dispositivo, sería el mostrado por la figura 2.3. En él, la unión P-N se representa por un diodo, cuyo comportamiento eléctrico es conocido, y por una fuente de corriente dispuesta en paralelo que representa la corriente foto generada.

Aplicando las leyes de kirchoff al circuito obtenemos la expresión que nos describe su funcionamiento:

$$I = I_L - I_D \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$I = I_L - I_O \left( e^{\frac{qV}{AkT}} - 1 \right) \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Este modelo básico, resulta insuficientemente para representar la célula. En ella existen unas corrientes de fuga de comportamiento lineal, que atraviesan la unión. Además, existe una caída de potencial proporcional a la intensidad que circula debida a la resistencia de los contactos y cables de conexión. Es por ello que debe mejorarse el modelo anterior añadiéndole una resistencia en paralelo que denominaremos Rserie para representar esas corrientes de fuga. En serie con todo el circuito también dispondremos de una resistencia que denominaremos Rshe que representara la resistencia de los contactos. Con todo esto el modelo queda como puede verse en la figura 2.2 (Panel, n.d.)

En este caso, la aplicación de las leyes de Kirchoff nos lleva a las expresiones siguientes:

$$I = I_L - I_D - I_{Sh} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$I = I_L - I_O \left( e^{\frac{q(V+IR_S)}{AkT}} - 1 \right) - \frac{V + IR_S}{R_{Sh}} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

La ecuación 2.4 es la que determina la curva característica de corriente máxima de corto circuito e n función del máximo voltaje de circuito abierto.

La potencia se calcula por medio de la ecuación:

$$P = V * I \quad (\text{Ec. 2.5})$$

El número de paneles necesario ( $N_p$ ) se calcula empleando el número de horas pico solares del peor mes del año y la potencia pico del panel escogido:

$$N_p = \frac{E}{0.9 * W_p * HPS} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

## 2.8 Diseño de un sistema de bombeo eléctrico

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

En un sistema típico, además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan la energía necesaria para el transporte: bombas, lugares de almacenamiento y depósitos. Otros son elementos de regulación y control: válvulas y equipos de medida.

## 2.9 Tipo de abastecimiento

Se deben considerar dos casos, Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo; la capacidad de la tubería de succión (si corresponde), equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{max.d} \cdot \frac{24}{N} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

$Q_b$  = Caudal de bombeo, l/s.

$Q_{max.d}$  = Caudal máximo diario, l/s.

$N$  = Número de horas de bombeo.

$$Q_b = 3 \frac{24}{2} = 36 \text{ l/s} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

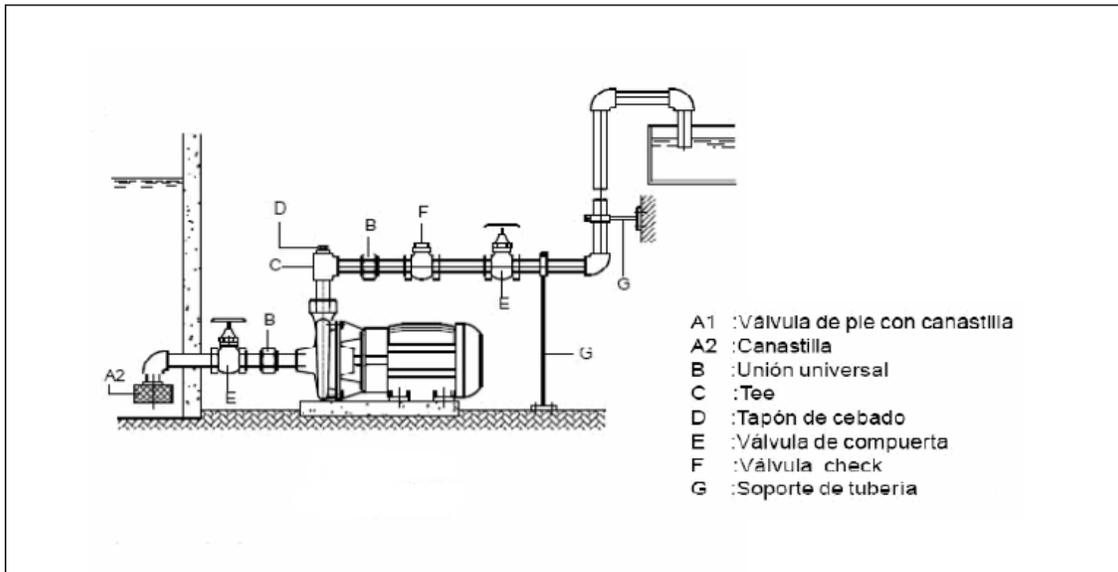
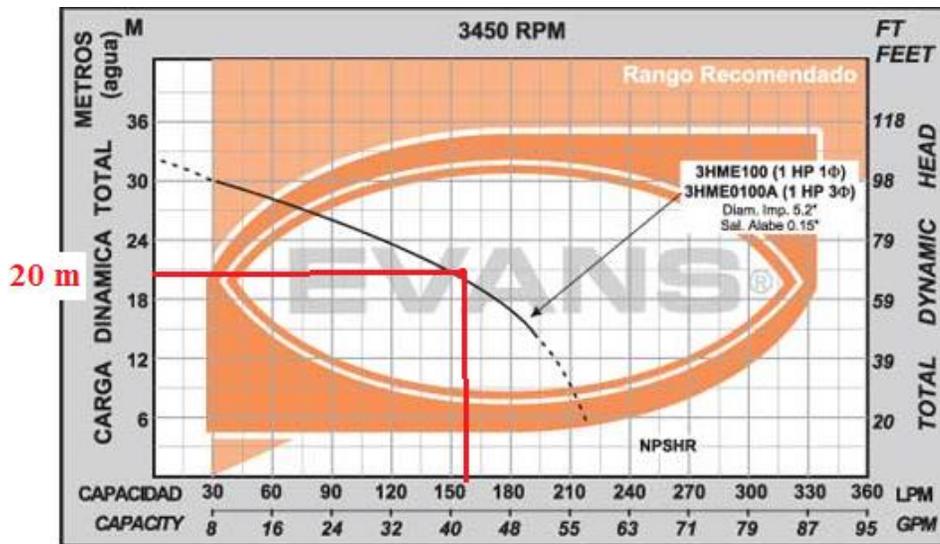


Figura 3. 1 esquema de un sistema de bombeo Fuente (“Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable,” 2005)

Cuando el sistema de abastecimiento de agua no incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo, la capacidad del sistema de bombeo debe ser calculada en base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red distribución.

Tabla 3. 1 Curva del tipo de bomba de acuerdo al caudal y la altura requerida



De acuerdo a los análisis realizados tanto en potencia eléctrica, como cantidad de agua requerida para la Finca Albán se optará por la bomba cuya placa de características consta en la foto 3.1, por cuanto sus parámetros principales son voltaje 127V; potencia 1100W; velocidad es 3450 rpm; la altura requerida es de 20 m, don se obtiene un flujo Max 165 l/min, dando una eficiencia energética de 9000 l / kWh. Y un rendimiento de 0,5. Datos tomados de placa de características de bomba normal que existe en el mercado local.

### 2.9.1 Comprobación del tipo de bomba; velocidad específica

La velocidad específica es un coeficiente basado en los criterios de semejanza que caracteriza las máquinas de flujo comparándolas con una máquina hipotética que entrega un gasto de 0,075 m<sup>3</sup>/s con una carga de 1 m a su máximo rendimiento.

La velocidad específica se calcula a partir del caudal y la carga que corresponde al máximo rendimiento de la máquina o por los parámetros nominales de la misma.

Según sea la velocidad específica o característica  $n_s$

Según sea la velocidad específica o característica  $n_s$ , las bombas centrífugas y otras de paletas, semejantes a estas, se dividen en los siguientes tipos:

- lentas:  $n_s \leq 80$ ;  $\frac{D_2}{D_1} = 2,2 \div 3,5$
- normales:  $n_s = 80 \div 150$ ;  $\frac{D_2}{D_1} = 2,2 \div 1,8$
- rápidas:  $n_s = 150 \div 300$ ;  $\frac{D_2}{D_1} = 1,8 \div 1,3$
- diagonales o helicoidales:  $n_s = 300 \div 600$ ;  $\frac{D_2}{D_1} = 1,3 \div 1,1$
- axiales o de hélice:  $n_s = 600 \div 1200$ ;  $\frac{D_2}{D_1} = 1$

De tal forma, la velocidad específica se calcula empleando la ecuación:

$$n_s = 3,56 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$n_s = 1088,6 \text{ (rev/min)} \quad \text{según la Ec (3.3)}$$

Donde:

$n$  - número de revoluciones; (rev/min).

$H$  - altura de succión; (m).

$Q$  - caudal o gasto del fluido; ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

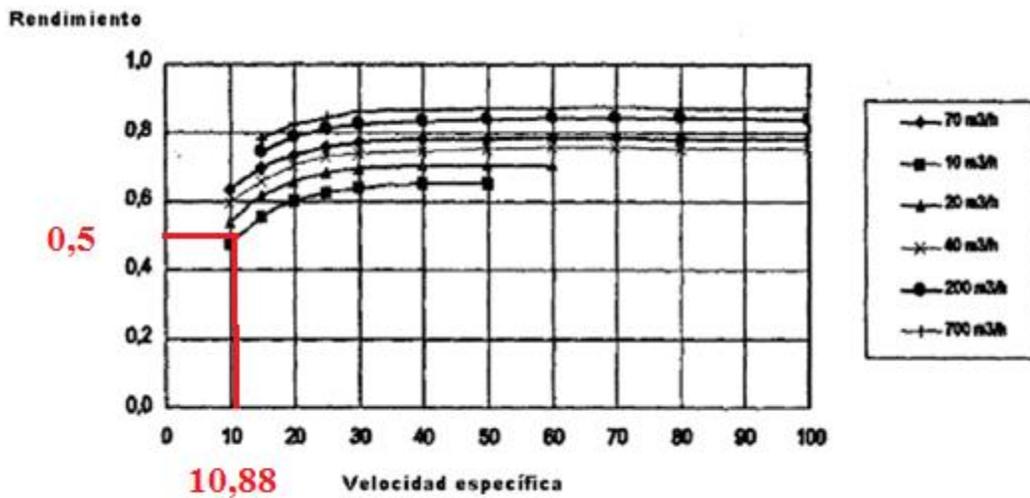


Figura 3. 2 Rendimiento de bombas de paleta según la velocidad específica

Fuente: Nekrasov (1986).

Para una velocidad de 3450 rev/min, a una altura de 20m y un caudal de ( $Q= 2,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Tomando en consideración estos parámetros, se determinará la bomba a ser empleada en el proyecto es adecuada. De este proceso parte la propuesta para decidir la bomba optima requerida, que de acuerdo a la ecuación 3.3 la  $n_s = 1088 \text{ rev/min}$  y relacionando con la figura 3.4 se determina un rendimiento de la bomba de 0,5.

## CAPÍTULO 3.

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las condiciones de pequeña producción para agricultura familiar principalmente ubicada en las zonas de laderas en las diferentes cuencas hidrográficas, dispone de fuentes hídricas aprovechables para fines productivos y han desarrollado experiencias notables en la producción de hortalizas, frutas entre otros. No obstante, requieren disponer de un sistema de riego de bajo costo que potencialice la calidad de la producción.

#### 3.1 Consumo de agua antes de la investigación

Por las condiciones del terreno y por ser una zona netamente rural la agricultura que se practica en la zona de estudio es la de **secano** (Terreno de cultivo que no tiene riego y solamente se beneficia del agua de la lluvia.) “se practica en un 80 % de las tierras arables y la agricultura bajo riego en 20 %, produce el 40 % de los cultivos alimenticios del mundo”.

Por esta razón se realiza un estudio de la precipitación lluviosa en la zona de Tumbaco que incide directamente o tiene relación directa con la zona de estudio ya que esta se encuentra dentro de la parroquia. Ya que este se convierte en el consumo de agua que se tiene en los cultivos de la zona antes mencionada.

Según reportes de la Secretaria del Medioambiente del Distrito Metropolitano de Quito, la precipitación lluviosa en la zona de Tumbaco en el año 2015 tuvo el siguiente comportamiento.

El promedio de lluvia en el año 2015 en la Zona de Tumbaco fue de 1,815 mm, esto equivale a que un milímetro de lluvia es igual a un litro por metro cuadrado de agua.

El consumo de agua depende directamente de la precipitación lluviosa en la zona. De acuerdo a la figura 3.1 se observa que en los meses de enero, febrero, marzo así como en octubre y noviembre son los meses en los cuales disponen de agua y por ende la cantidad está directamente ligada a la incidencia de precipitación que se presente.

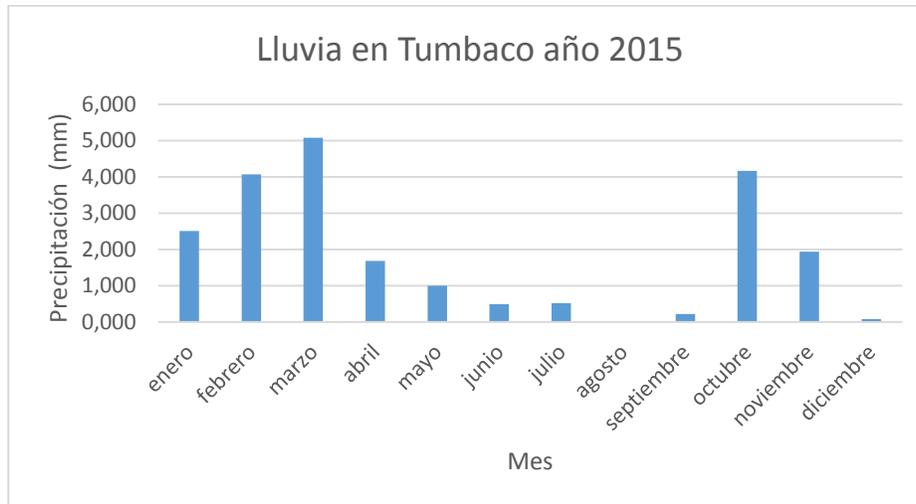


Figura 3. 1 Precipitación de lluvia para el año 2015 en Tumbaco

Fuente: Secretaria del Medioambiente del Distrito Metropolitano de Quito (2015)

Este es el problema que se plantea en la presente investigación para poder dotar de agua de riego a los cultivos, prácticamente el 60 % del año no se puede cultivar por falta de agua si bien se dispone de agua de riego, pero por la forma del terreno que es ladera no se puede disponer de este recurso en la parte alta donde con agua es un terreno muy productivo.

### 3.2 Consumo de energía eléctrica antes de la investigación

Por estar a una distancia de 2 kilómetros de la red pública de energía eléctrica, este recurso no se dispone en la zona, también por ser un sitio con poca densidad de habitantes y los costos elevados no se ha podido concretar un proyecto de electrificación pública.

### 3.3 Requerimientos productivos de la finca Albán

La finca Albán para alcanzar una mínima rentabilidad debe tener una producción de Hortalizas, Maíz, Medicinales, Alfalfa y de ser posible Frutales, para llegar a una significativa cosecha de estos productos se debe cultivar el terreno todo el año, lógicamente esto requiere del líquido vital, en la siguiente tabla se determina el requerimiento hídrico de los cultivos en la zona de Tumbaco

Tabla 3.2 **Requerimiento de agua. Fuente:** (Calvache Ulloa, 1998).

Cultivo	Requerimiento Neto (mm/día)
Hortalizas	3,75
Maíz	3,34
Ornamentales	4,36
Alfalfa	1,07
Frutales	3,43

Según la tabla 3.1 se requieren diferentes mm/día de agua para los cultivos, tomando en cuenta el maíz, uno de los principales sembríos en la zona y porque a través del riego complementario permite acceder a altos niveles de rendimiento aún en años secos, produce un incremento en el aprovechamiento de los fertilizantes y disminuye su impacto en los costos. Se lo ha utilizado para tomar de referencia la necesidad de agua a utilizarse en esta investigación.

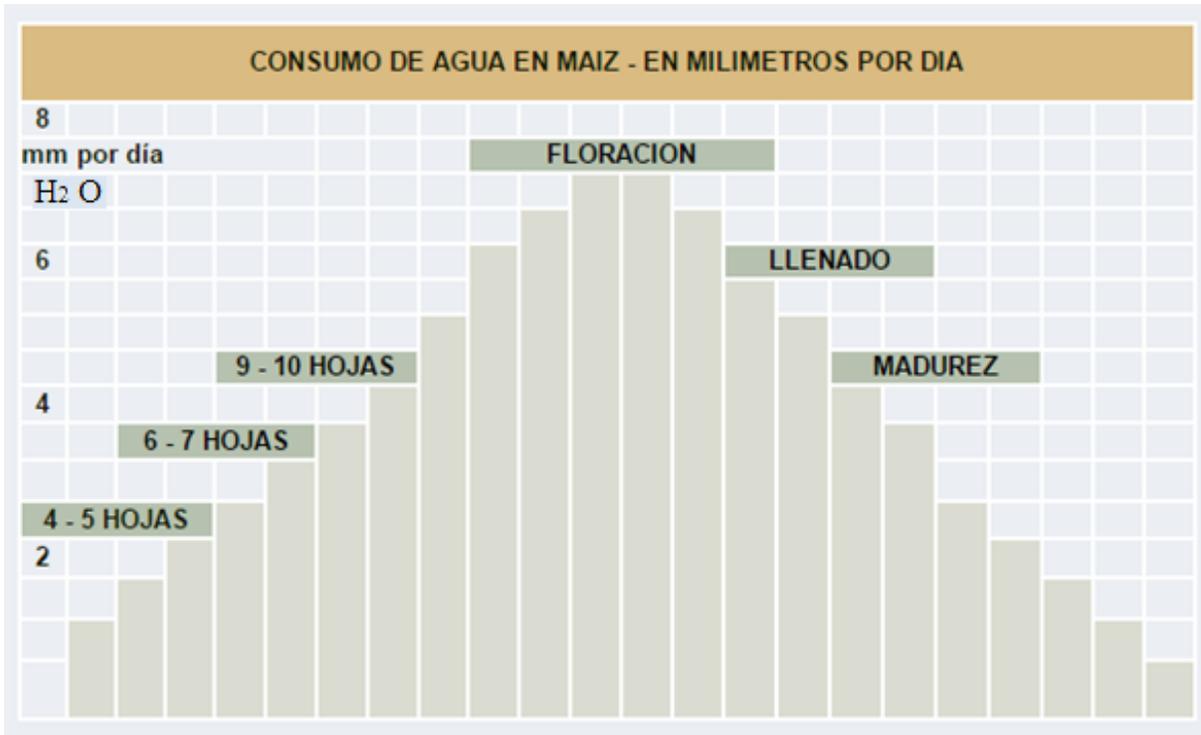


Figura 3.3 Consumo de agua en maíz – en mm/día Fuente (<http://www.viarural.com.ar>)

Sabiendo que en el Figura 3.2 nos indica en diferentes estadios de la planta su necesidad hídrica, se prevé que para la parcela de terreno a utilizarse en la finca Albán, con 2500m<sup>2</sup> de superficie, la cantidad de agua a utilizarse al comienzo y al finalizar el cultivo será de un estimado de 5000 litros por día, siendo en la floración del maíz el estadio que necesitaría la mayor cantidad de agua llegando hasta los 18750 l / día.

De acuerdo a estimaciones realizadas en la Finca Albán se ha determinado que para alcanzar un cultivo que de una mínima rentabilidad lo más óptimo es el riego por goteo.

El riego por goteo es un sistema de riego que entrega el agua gota a gota, según su necesidad, humedeciendo solo una parte del suelo, donde se concentran las raíces, por ello también se le llama riego localizado o de alta frecuencia, pues se aplica el agua casi a diario o algunas veces más de una vez al día. Una de las principales ventajas es que permite la aplicación de fertilizante a través del sistema igualmente de manera localizada, siendo más eficiente (Keller, 1988).

El sistema de riego más acorde para los suelos en laderas es el riego por goteo, el cual cuenta con las ventajas comparativas de ser, por un lado de bajo costo tanto en instalación como en mantenimiento, de fácil operación, manual y muy eficiente. Utilizando solamente el desnivel del reservorio y el terreno a irrigar, se obtiene un mejor manejo del recurso agua, no utiliza bombas convencionales de combustible y/o electricidad, no contamina, no hace ruido y optimiza definitivamente el uso del agua ((Calvache Ulloa, 1998)).

La necesidad que se crea en este tipo de alternativa es abastecer de agua el reservorio, que debe estar a una altura superior al cultivo y también está a una altura muy por encima de la fuente de agua de riego. Para esto es necesario la utilización de un sistema de bombeo eléctrico.

Se determina que para obtener cultivos con altos niveles de rendimiento es necesario disponer en la Finca Albán 18000 l / día.

### 3.4 Consumo de energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica se diseña para la totalidad del requerimiento de la finca

Tabla 3.3 Potencia Eléctrica Instalada en la finca Fuente: Autor

Ítem	Cantidad	Detalle	Potencia (kW)	Total (kW)
1	1	Bomba de Agua	1100	1100
2	6	Cuartos	40	240
3	1	Granero	100	100
4	1	TV	350	350
5	1	Radio	150	150
6	1	Refrigerador	750	750
Potencia TOTAL				2690

En la tabla 3.3 se observa que la potencia total instalada en la finca es de 2690 kW

A continuación se detallan los factores de demanda o coeficientes de simultaneidad mínimos recomendados para las distintas etapas de la instalación, en base a la información tomada de las experiencias del área de servicio de las diferentes empresas distribuidoras de energía del país.

A nivel de circuitos Residencial:

Tabla 3.4 Factor de Demanda de la Potencia Eléctrica Instalada Fuente: eeq

Vivienda tipo	FDi	FDf
Mínimo - Medio	0,7	0,5
Medio - Elevado	0,55	0,4
Elevado - Especial	0,53	0,3

De acuerdo a la tabla 3.4, por ser un tipo de vivienda especial rural marginal el factor de demanda utilizado es de 0,53 por lo tanto la potencia requerida es de

$$Pr = Pt * FD \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$Pr = 1425,7 \text{ W}$$

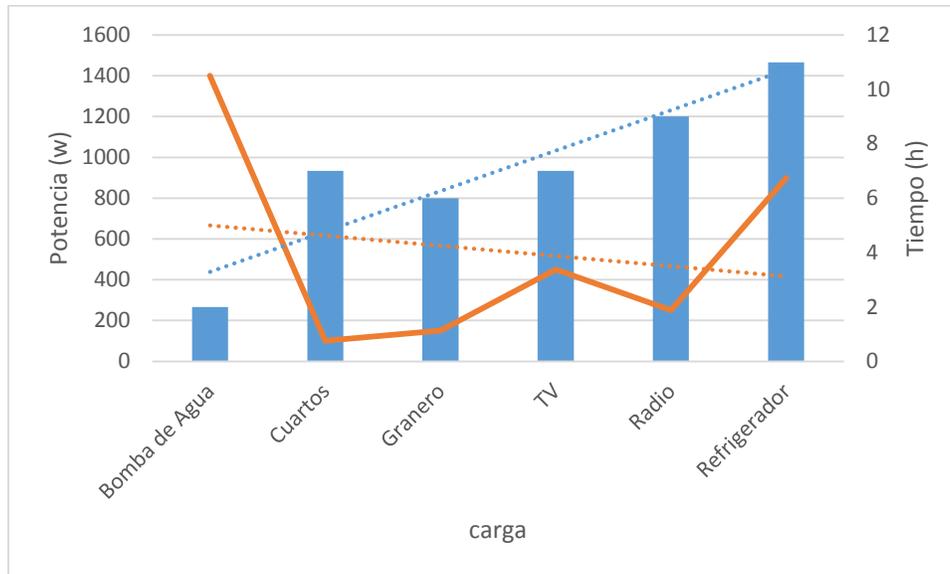


Figura 3.4 Tendencia de la carga real necesaria Fuente (Autor)

Como se puede observar en el figura 3.5 la tendencia de la potencia real requerida en la Finca Albán es de aproximadamente 1400 W, valor que se aproxima al calculado.

### 3.5 Alternativas de soluciones al problema

El sitio donde se encuentra la finca, no dispone de una fuente agua de regadío para el lugar donde se facilita la siembra, puesto que la fuente de agua, se encuentra ubicada a unos 20 metros debajo del nivel, lo que hace necesario la instalación de una bomba eléctrica que abastezca de suficiente agua.

A este problema se suma un agravante adicional, ya que el sector tampoco dispone de una red eléctrica pública, que permita utilizar un motor eléctrico que habilite bombear el agua, hasta el lugar donde se lo requiere. Otra desventaja y quizás el más importante es el costo de implementar este servicio, que para el sector es de \$ 41 482.00 dólares americanos, este proyecto cubriría la demanda de cinco viviendas, por lo que la Finca Albán por ser productora agrícola la EEQ lo determina como cliente comercial por lo que tendría que aportar para este servicio el doble de una vivienda normal la inversión para solicitar servicio de energía eléctrica pública sería de \$ 16592,80 dólares americanos, más un pago mensual de alrededor de \$20,00 dólares americanos por concepto de consumo de energía eléctrica.

En el Anexo 2 se encuentra el desarrollo de la memoria técnica del proyecto de electrificación de la zona de estudio.

Para solventar esta dificultad se ve importante utilizar energías alternativas para producir energía eléctrica amigable con el ambiente; por lo cual es importante realizar una investigación sobre la posibilidad de uso de una fuente de energía, la más recomendada técnica y económicamente para producir energía eléctrica que asegure el funcionamiento del sistema de bombeo para la Finca Albán sector La Esperanza en la Parroquia de Tumbaco

Una alternativa de solución y la más adecuada para el sitio es la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica, con el cual se garantiza la obtención de energía eléctrica tanto para el bombeo de agua para los cultivos que se puedan realizar, así como para la vivienda de las personas que trabajan la tierra y sus familias.

### 3.6 Modelación de la Radiación solar fotovoltaica

El propósito del modelamiento de la radiación solar fotovoltaica en la zona de Tumbaco es representar correctamente los cambios existentes por diferentes factores como el medio ambiente, meses del año con mayor radiación, número de paneles solares necesarios para cubrir la demanda de energía eléctrica en la Finca. Datos tomados de: (Secretaria de Ambiente, 2016)

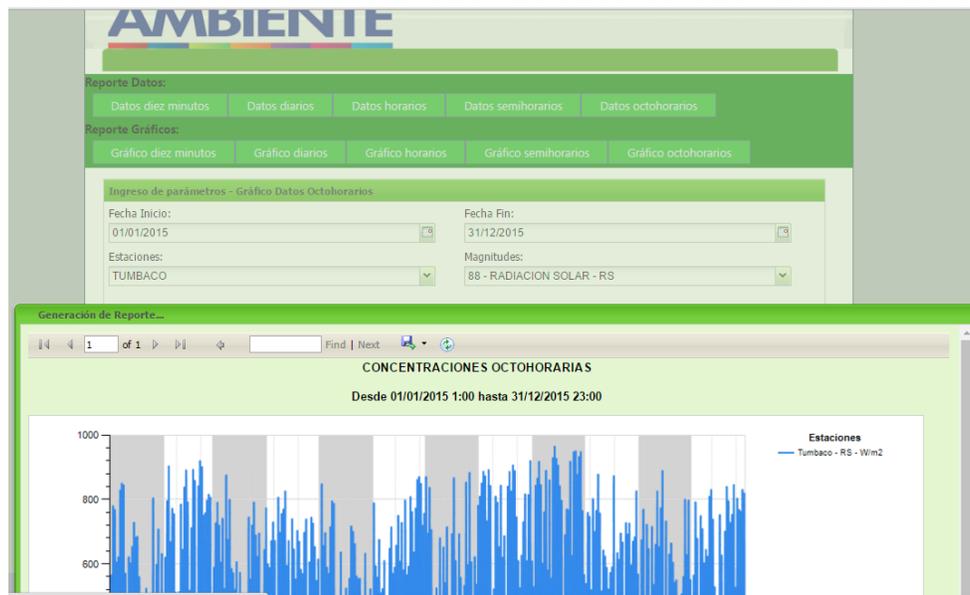


Figura 3. 5 Radiación solar en la zona de Tumbaco **Fuente** (Toma de Datos de la Secretaria del Medioambiente del Distrito Metropolitano de Quito)

La programación se la realiza en *MATLAB* donde se programa cada una de las funciones para poder determinar la radiación solar fotovoltaica.

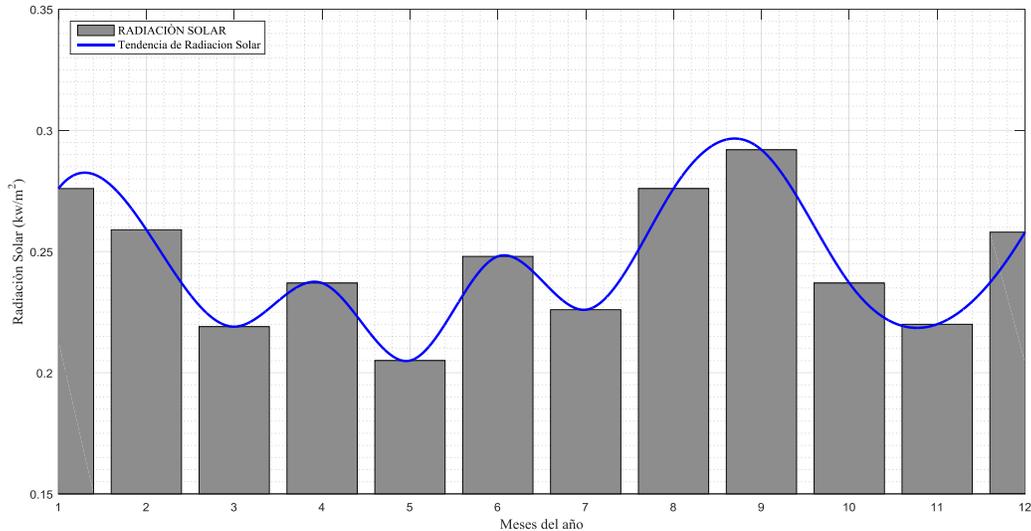


Figura 3. 6 Radiación solar en la zona de Tumbaco en el año 2015 Fuente (Autor)

En la figura 3.7 se observa que los meses de mayor radiación en promedio son enero, agosto y septiembre. Así como los meses de menor radiación solar son mayo, marzo y noviembre. La radiación solar promedio para el año 2015 tomando datos de la Secretaria del Medioambiente del Distrito Metropolitano de Quito es de 0,246493 kWh/m<sup>2</sup>/día.

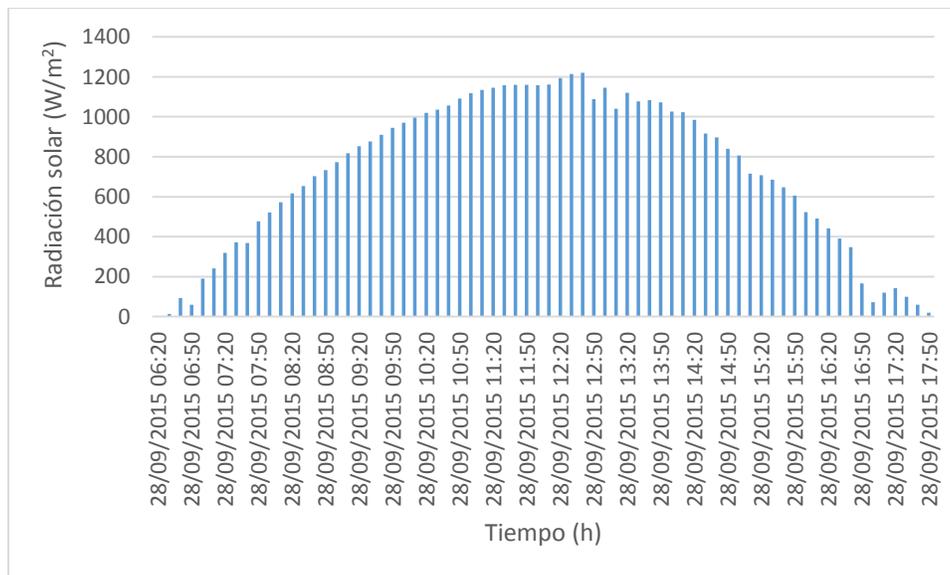


Figura 3. 7 Radiación solar en la zona de Tumbaco en el año 2015(día tipo del mes de mayor radiación) Fuente: (Autor)

En la figura 3.7 se observa un día tipo de radiación tomado al azar del mes (septiembre) de mayor radiación solar (Promedio 720,9 w/m<sup>2</sup>) en la zona de Tumbaco en el año 2015. Se nota claramente mientras transcurren las horas se intensifica la radiación siendo entre las 12h20 y las 12h40 el espacio de tiempo de mayor radiación solar, así como es obvio al amanecer y al anochecer es mínima la radiación solar.

Luego se presenta un gráfico de un día tipo tomado al azar del mes de menor radiación en el año 2015

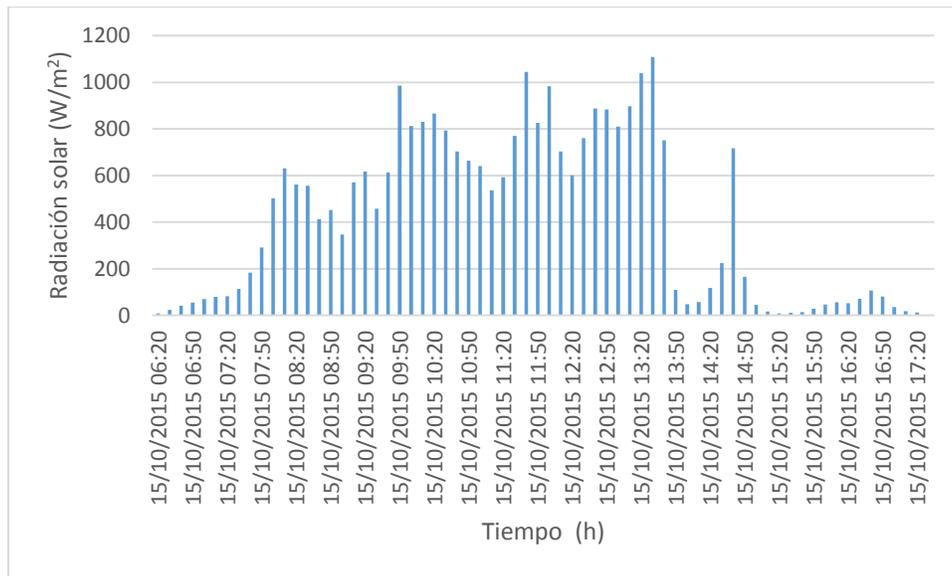


Figura 3. 8 Radiación solar en la zona de Tumbaco en el año 2015 (día tipo del mes de menor radiación) Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 3.8, se manifiesta un día típico en la zona de estudio, con precipitaciones lluviosas en el cual la mañana y las primeras horas de la tarde existe una radiación solar muy aceptable, pero a la tarde a partir de las 14h00 se produce lluvia lo que ocasiona una disminución drástica en la radiación solar siendo esta un promedio de 415,13 w/m<sup>2</sup>, este evento se manifiesta hasta terminar el día.

Se realizó una comparación entre los datos proporcionados por la Secretaria del Medioambiente del Distrito Metropolitano de Quito, con un historial de 1 año tabla 4.2. Y los datos referenciales

de la NASA con un historial de 22 años en la tabla 4.1, para esta zona de Tumbaco, especialmente por la cercanía al Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito (distancia en línea recta 4km)

Tabla 3. 5 Radiación solar en la zona de Tumbaco(Datos tomados de la NASA)

*Parameters for Tilted Solar Panels:*

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m <sup>2</sup> /day)													
Lat -0.136 Lon -78.366	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	4.13	4.34	4.55	4.33	4.12	4.01	4.26	4.46	4.26	4.24	4.30	3.98	4.25
K	0.40	0.41	0.43	0.42	0.42	0.43	0.45	0.45	0.41	0.40	0.42	0.39	0.42
Diffuse	2.16	2.27	2.35	2.23	2.06	1.96	1.99	2.13	2.28	2.28	2.18	2.11	2.17
Direct	2.98	3.00	3.11	3.00	3.07	3.16	3.46	3.38	2.80	2.80	3.15	2.86	3.06
Tilt 0	4.08	4.29	4.49	4.27	4.07	3.97	4.21	4.40	4.21	4.18	4.24	3.93	4.20
Tilt 15	4.19	4.32	4.41	4.30	4.21	4.18	4.42	4.49	4.15	4.18	4.33	4.04	4.27
Tilt 90	2.22	2.02	1.70	1.99	2.34	2.52	2.57	2.23	1.66	1.87	2.22	2.22	2.13
OPT	4.19	4.33	4.49	4.31	4.22	4.21	4.44	4.49	4.22	4.20	4.33	4.04	4.29
OPT ANG	16.0	10.0	2.00	9.00	19.0	24.0	23.0	14.0	2.00	7.00	15.0	17.0	13.2

NOTE: Diffuse radiation, direct normal radiation and tilted surface radiation are not calculated when the clearness index (K) is below 0.3 or above 0.8.

Tabla 3. 6 Radiación solar en la zona de Tumbaco (Datos tomados de Secretaria del Ambiente DMQ)

Secretaria del Ambiente			
MAGNITUD - UNIDAD			
RADIACION SOLAR - W/m <sup>2</sup>			
año 2015			
Tumbaco			
Mes	W/m <sup>2</sup>	w/m <sup>2</sup>	kW/m <sup>2</sup> /día
enero	276,127335	0,27612734	3,31352802
febrero	259,438978	0,25943898	3,11326774
marzo	219,070045	0,21907005	2,62884054
abril	237,80449	0,23780449	2,85365388
mayo	205,166347	0,20516635	2,46199617
junio	248,832844	0,24883284	2,98599413
julio	226,181825	0,22618183	2,7141819
agosto	276,127335	0,27612734	3,31352802
septiembre	292,723409	0,29272341	3,51268091
octubre	237,667526	0,23766753	2,85201031
noviembre	220,645473	0,22064547	2,64774567
diciembre	258,136045	0,25813605	3,09763254
Promedio Año 2015			<b>2,95792165</b>

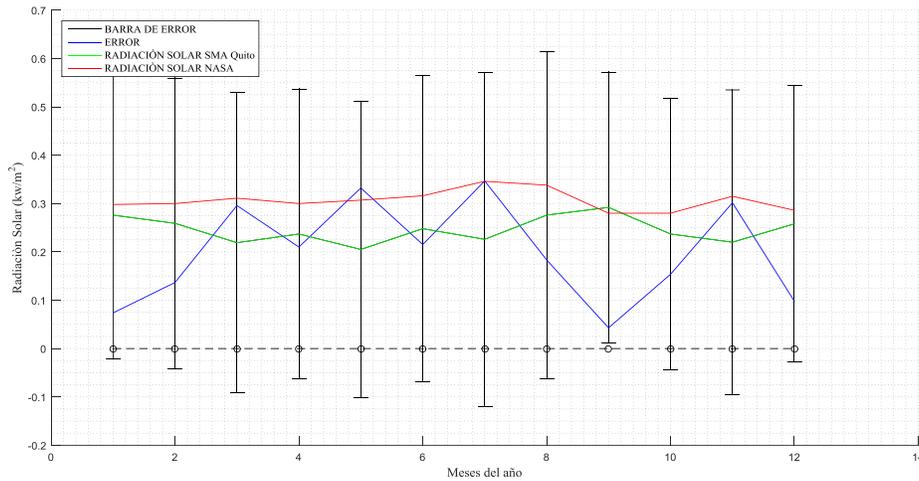


Figura 3. 9 Radiación solar en la zona de Tumbaco (error comparado con la NASA) Fuente: Autor

En la figura 3.10 se puede apreciar el error que se puede determinar entre los datos de la la Secretaria del Medioambiente del Distrito Metropolitano de Quito, con los datos obtenidos de la NASA.

Prácticamente el error es muy pequeño siendo en el séptimo mes el de mayor error

Otro parámetro fundamental en la generación con paneles solares fotovoltaicos es la temperatura que se encuentre el panel solar, en esta investigación se toma los datos de la temperatura ambiente ya que por ser una zona con mucho viento prácticamente mantiene la temperatura ambiente en el panel.

### 3.6.1 Potenciar la capacidad de generación

De los estudios realizados en la Finca Albán se determinó que la potencia eléctrica real, para cubrir la demanda necesaria tanto del sistema de riego, como una carga básica para la vivienda es de (Pr = 1425,7 W). (Ec: 3.4)

En función de esta potencia es necesario determinar los paneles solares que se encuentren en el mercado local y sea un precio accesible para la Finca Albán.

## Simulación de los modelos en PSIM

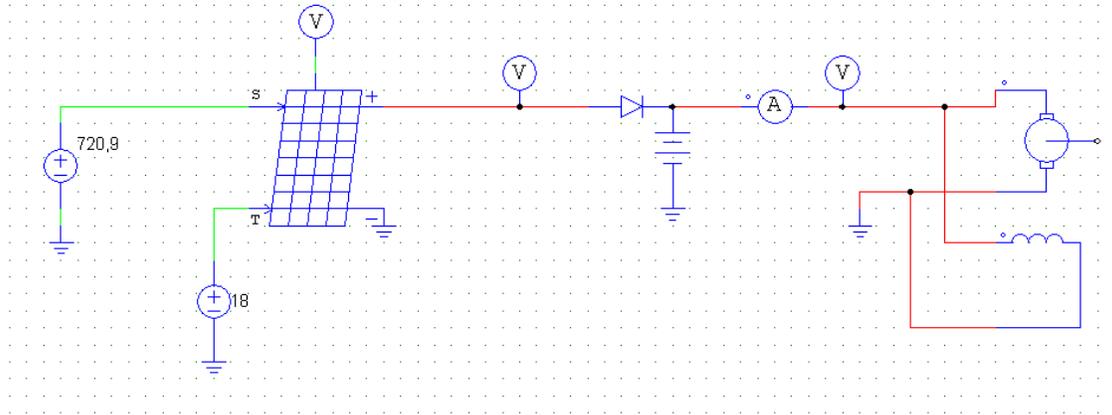


Figura 3. 10 Diagrama para la simulación del panel solar Fuente: Autor

Para corroborar los resultados teóricos del diseño, se ha realizado una simulación del panel solar figura 3.11 y del sistema de conversión de energía mediante el software computacional *Psim*® con los parámetros mostrados en la Tabla 4.4, además se expone al sistema a un ciclo de servicio que varía en el rango  $0.1 < d < 0.9$ .

Tabla 3. 7 Valores promedio para la simulación

Fuente: Autor

DESCRIPCIÓN	VALOR
<b>Promedio de Radiación Solar en Tumbaco año 2015</b>	0,3064167 kW/m <sup>2</sup>
<b>Promedio de Temperatura en Tumbaco año 2015</b>	17,45578287 °C

A continuación se detalla el modelo a escala implementado para verificar si es realizable el proyecto.



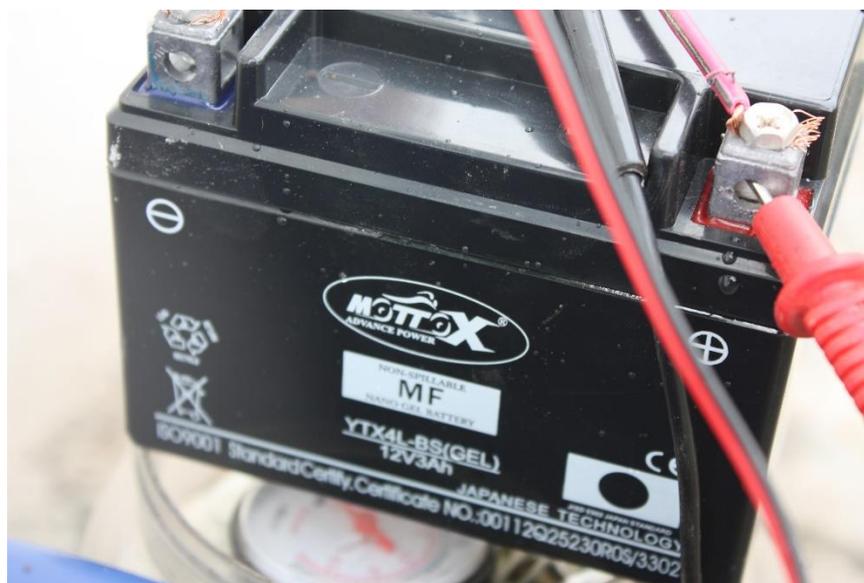
Foto 3.1 panel solar (modelo a escala) **Fuente:** Autor

En la foto 3.1 se muestra el panel solar que se utilizó en el modelo a escala en la Finca Albán. Cuyos datos, a una radiación solar de ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) y temperatura ambiente de la celda de ( $25^\circ\text{C}$ ) detallamos a continuación en la tabla 3.8:

Tabla 3. 8 Placa de características del panel solar de prueba Fuente (Autor)

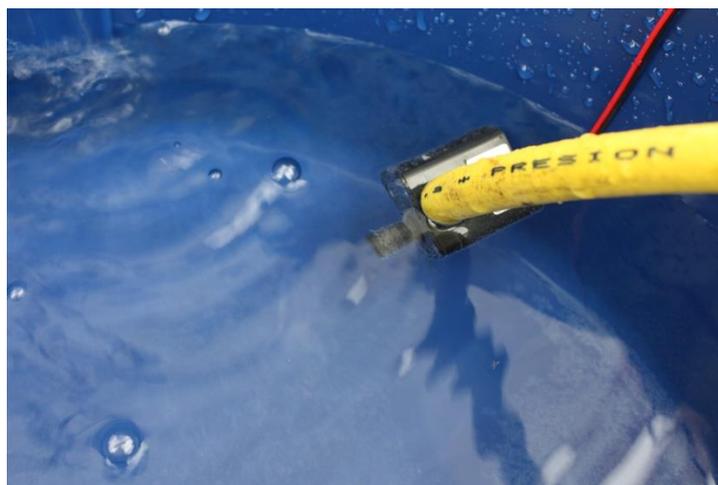
Detalle	Valor
<b>Module tipo:</b>	25p
<b>Potencia máxima:</b>	25 W
<b>Voltaje de circuito abierto</b>	22.0 V
<b>Corriente de corto circuito</b>	1.54 A
<b>Voltaje pico máximo</b>	17.5 V
<b>Corriente pico máxima</b>	1.43 A
<b>Tolerancia de salida</b>	+/- 3%

Foto 3.2 batería usada en el proyecto a escala Fuente: Autor



En la foto 3.2 consta la batería utilizada en el modelo a escala en la cual, se almacena la energía proveniente del panel solar esta carga se lo realizo con los mismos parámetros que indica la placa de características del panel solar y se cumplió que a la máxima radiación solar el panel entrego al sistema los 25 W que puede generar.

Foto 3.3 bomba de agua utilizada en el modelo a escala Fuente: Autor



Estrictamente por costos económicos se trabajó con esta bomba que tiene una potencia máxima de 4.8 W y puede elevar un caudal de 24 l/h a una altura de 3m. Por la potencia muy por encima del sistema solar fotovoltaico no se presentaron problemas y se cumplió las expectativas de disponer de agua en un tanque de reserva, que estaba a una altura adecuada para realizar el experimento.

Foto 3.4 reservorio utilizado en el modelo a escala **Fuente:** *Autor*



En la foto 3.4 se tiene el tanque de reserva que alcanzó una altura de 3 m y en 5 horas de trabajo continuo de la bomba que utilizo como fuente de energía primaria el sistema solar fotovoltaico, se llenó con 120 litros de agua.

Foto 3.5 preparación del terreno para cultivar **Fuente:** *Autor*



En la foto 3.5 se observa el terreno listo para ser cultivado, mientras en otro extremo se observa un cultivo ya existente.

Foto 3.6 sistemas de riego por goteo **Fuente:** *Autor*



Una vez lleno el tanque de reserva y esperando la puesta del sol se alimentó los ductos del sistema de regadío por goteo, que debido a la altura que se puso el tanque de reserva, si se cumplió el objetivo con resultados alentadores para los granjeros que cultivan estas tierras de la zona rural de la Parroquia de Tumbaco.

Se concluye que el proyecto si es viable para ser implementado, en condiciones normales de trabajo, en la finca Albán, y de esta manera mejorar el estilo de vida de las personas que dependen de la actividad agrícola en el sector.

## **CAPÍTULO 4. Propuesta**

### **4.1 Título**

Diseño de un sistema de generación eléctrica, para aprovechar el potencial energético solar como fuente de energía alternativa en el bombeo de agua de riego para la finca Albán de la parroquia de Tumbaco, en el año 2015.

### **4.2 Justificación**

En las zonas rurales, por ser espacios agrícolas, se requiere del líquido vital, por lo tanto, se considera el uso de bombas eléctricas para el transporte de agua. Como no se dispone de redes eléctricas cercanas se ve la necesidad de utilizar energías alternativas para generar energía eléctrica. Una de las posibilidades manejables puede ser la energía solar fotovoltaica. En este sector una vez que se implemente el sistema de bombeo con una micro red fotovoltaica se mejorará el nivel de vida de las personas que dependen directamente de la producción agrícola. La implementación de un sistema de bombeo para agua de regadío que utilice una micro red fotovoltaica, solucionará el problema de regadío a los agricultores de la finca Albán sector Las Peñas, ubicada en la parroquia Tumbaco, del Cantón Quito. Por ser una energía limpia, se está garantizando el cuidado del ambiente en el sector antes descrito. Con esta investigación se pretende determinar técnica y económicamente la factibilidad del uso de energía solar fotovoltaica, para solventar el problema de falta de energía para el transporte de agua hasta los sitios de cultivo.

### **4.3 Objetivos**

#### **4.3.1 Objetivo General de la Investigación**

Diseñar un sistema de generación eléctrico fotovoltaico, para utilizar en el bombeo de agua de riego en la finca Albán, a partir de la caracterización del potencial energético solar en la parroquia Tumbaco en el año 2015.

#### **4.3.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar el consumo de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua de regadío.
- Modelar matemáticamente la producción de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, para el año 2015
- Verificar la factibilidad técnica y económica de la aplicación del bombeo de agua para regadío a partir del uso de la energía solar fotovoltaica.

#### 4.4 Estructura de la Propuesta

La propuesta caracterizará por:

La determinación de la radiación solar y temperatura promedio en el año 2015, en la Finca Albán sector La Esperanza de la Parroquia de Tumbaco, se recopilarán datos de la Secretaria del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, se contrastaran con los datos de radiación solar que proporciona la NASA con un historial de 22 años, siendo estos datos los más reales, para la presente investigación, determinándose, que la diferencia es mínima. Para poder verificar la radiación solar, que el sistema de generación solar fotovoltaico requerirá, se implementará en el software Matlab un sistema de recopilación de datos que determine los parámetros de radiación solar y temperatura, los mismos que alimentan las variables en el software computacional *Psim*®, para graficar el potencial energético que se utilizara.

De acuerdo a la radiación solar se investigara y determinara el tipo de paneles solares fotovoltaicos, mediante un modelo matemático, que permitirá determinar la cantidad de energía eléctrica que se obtendrá, de acuerdo a la radiación solar fotovoltaica que disponga la zona en estudio, a través del software computacional *Psim*® con el cual se logra determinar la radiación solar que se dispone y obtener las curvas de corriente eléctrica en función de voltaje generado, así como potencia eléctrica en función de voltaje generado

Una vez obtenidos los datos necesarios para los tipos de paneles solares fotovoltaicos y en función de la demanda real de energía eléctrica que se requiere en la finca en investigación, se procederán a determinar los componentes necesarios para diseñar un eficiente sistema de generación de electricidad a partir de la radiación solar fotovoltaica, que se deberá implementar en la Finca en investigación para lograr una mejor eficiencia energética.

Se determinara de acuerdo a los diferentes tipos de cultivo, cual es el que más se produce en este sitio y en base a este, se determinara la cantidad de caudal de agua promedio por día y por año requeridos para obtener una producción óptima y sustentable.

Posteriormente y una vez determinada la cantidad de caudal de agua requeridos para alcanzar un óptimo rendimiento de los cultivos de la finca en investigación, se procede a determinar, la electrobomba que se acople a este sistema tanto de generación eléctrica, así como el caudal de agua necesaria para los cultivos agrícolas a realizarse en la finca.

#### 4.5 Desarrollo de la propuesta

Se determinó que el número de paneles solares es de 21 según la Ec 2.6. En el mercado local se tiene una gran variedad de paneles solares fotovoltaico, así como marcas y procedencias, por su costo económico y características técnicas se determinó al panel solar SIMAX 156 Polycrystalline Solar Module (SP636-140W), sus características generales se puede analizar en el anexo 3.

Para cubrir esta demanda eléctrica es necesario construir un sistema de generación solar fotovoltaica en paralelo, que satisfaga los requerimientos técnicos que cumplan los parámetros que se detallan en la tabla 4.1.

Tabla 4. 1Elementos necesarios para un Sistema de Generación Solar Fotovoltaica **Fuente:** Autor

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	OBSERVACIONES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	21	Paneles solares Fotovoltaicos	140W	\$ 215,00	\$ 4515,00
2	1	Módulo de carga	2000W	2800	2800
3	2	Baterías	12 V /160 Ah	230	460
4	1	Convertidor DC/AC	2000W	500	1200
5	1	Transformador	12/120 V 2000W	950	950
6	300m	Conductor eléctrico	Cable #14 AWG	0,4	120
7	1	Tablero general	2p – 6 circuitos	45	45
8	6	breaquers	20 A	8	48
9	8	boquillas	Tipo plafón	1,5	12
10	4	tomacorrientes	polarizado	2,54	10,16
11	1	instalación		1500,00	1500,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 11660,16</b>

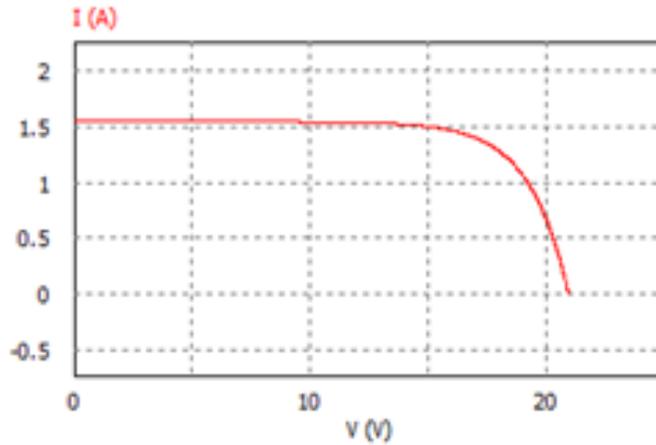


Figura 4. 1 Relación corriente – voltaje del panel solar Fuente: Autor

En la Figura 4.1, se presenta el comportamiento del voltaje y corriente del panel solar en función al ciclo de servicio, además se observa el funcionamiento bajo la región de fuente de voltaje cuando el  $V_{pv}$  (voltaje pico del panel) permanece cercano a  $V_{ca}$  (voltaje de circuito abierto). En el caso de ciclo de servicios superiores a  $d_{mp}$ , el comportamiento se opera en la región de fuente de corriente donde la misma permanece cercana a  $I_{cc}$ . En el caso de la corriente en la inductancia se puede comprobar el funcionamiento en el modo de conducción continua para potencias superiores a 5.5W.

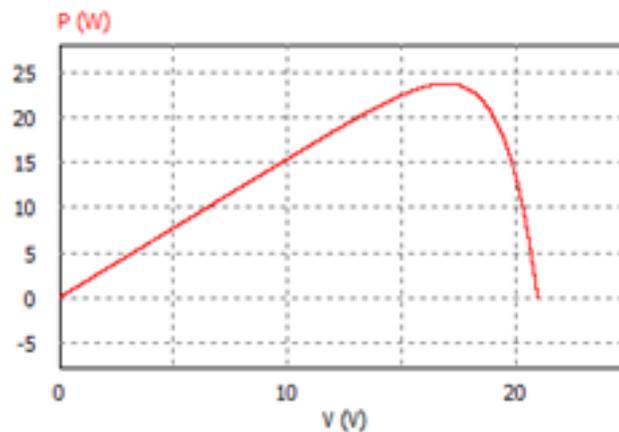


Figura 4. 2 Relación potencia de salida – voltaje del panel solar Fuente: (Autor)

En la Figura 4.2, se observa el comportamiento de la potencia de salida en función del voltaje de panel, se obtiene el punto de máxima potencia ( $P_{mp}=55W$ ), para un ciclo de servicio ( $dmp=0$ ). Comúnmente la forma de presentar las curvas características de un panel solar en la industria, es la mostrada en la Figura 4.8. Donde la potencia de salida depende del voltaje  $V_{pv}$ . Además de la potencia, generalmente es mostrado el comportamiento de la corriente de salida  $I_{pv}$ . Con esta figura se identifica la potencia máxima de salida y el voltaje a la cual es posible, de manera similar es posible identificar la región de fuente de voltaje y corriente en el panel solar. De la figura 9

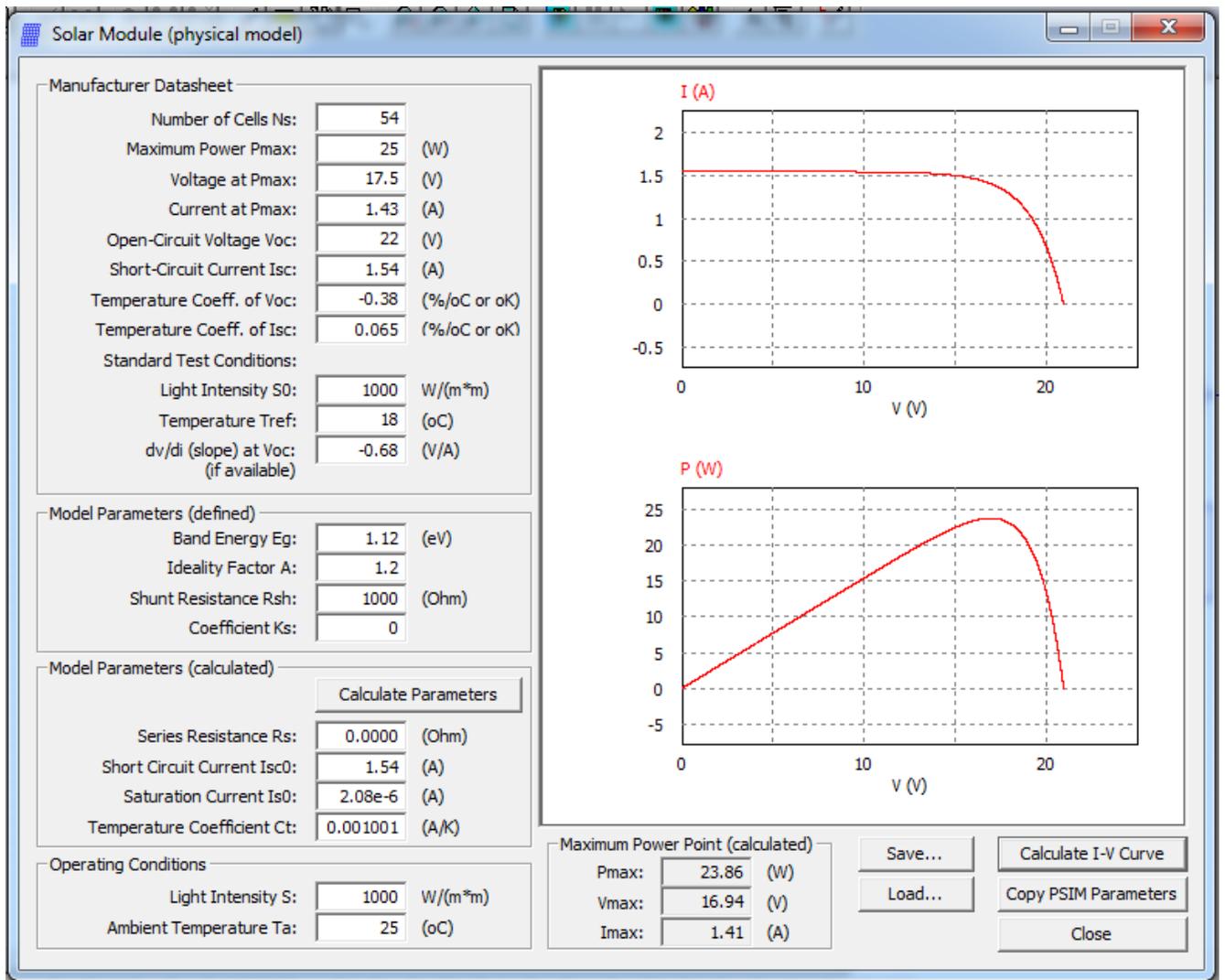


Figura 4.3 curvas características del panel solar (simulado del panel de modelo a escala) Fuente: Autor

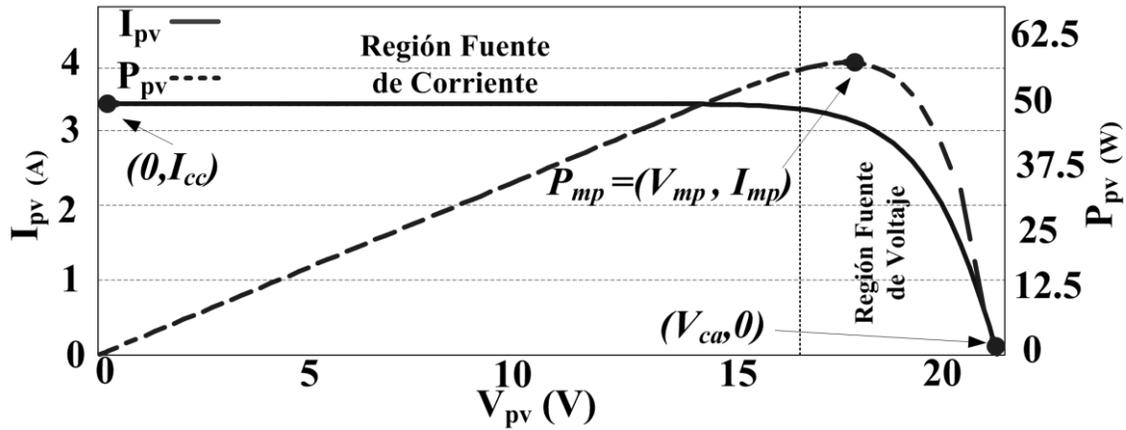


Figura 4. 4 Curva características  $I_{pv}$  vs.  $V_{pv}$  y  $P_{pv}$  vs.  $V_{pv}$  del panel solar. Fuente (Cuenca, Ciudadela, & Prometeo, 2015)

Las dos curvas que se presentan en la figura 4.4 se relacionan entre sí ya que la curva de línea continua representa la relación corriente – voltaje pico que puede generar el panel solar. Por otro lado la curva de línea entrecortada representa la potencia pico que puede entregar el panel solar fotovoltaico y es el resultado de los parámetros analizados en la curva anterior. Se determina el punto de máxima potencia ( $P_{mp}$ ).

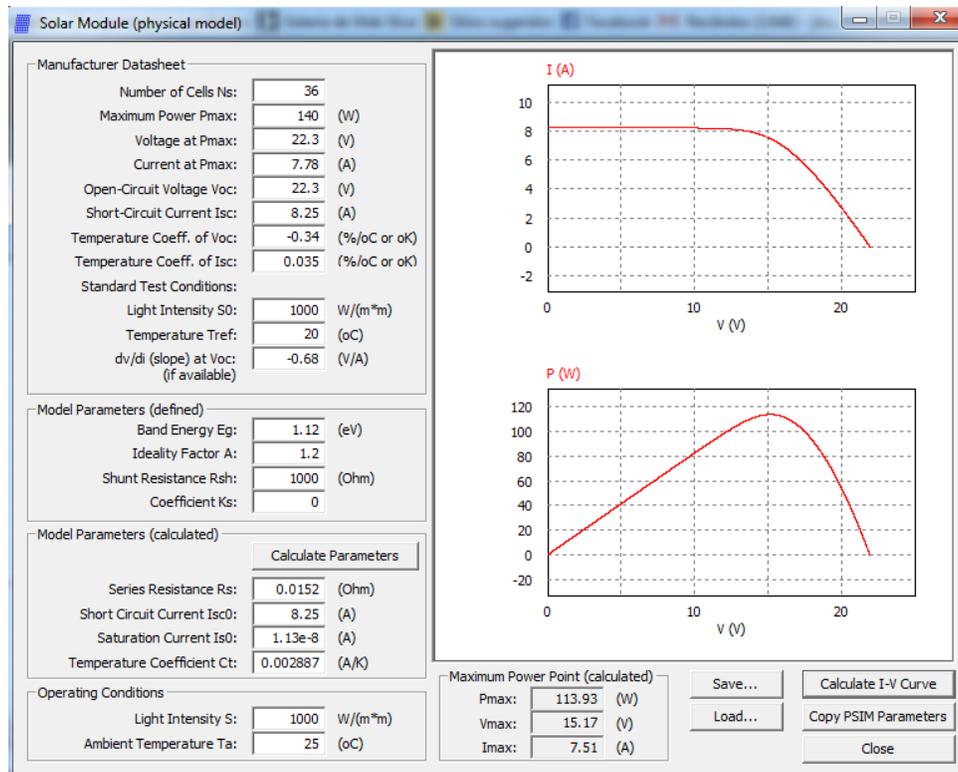


Figura 4. 5 curvas características del panel solar (simulado del panel a utilizarse en el proyecto) Fuente (Autor)

En la figura 4.5 se presenta las curvas de corriente - voltaje, obtenidas del software PSIM, para el panel solar fotovoltaico propuesto para la implementación del sistema solar fotovoltaico para la finca Albán, se puede apreciar el comportamiento de la potencia generada de acuerdo a la radiación solar que pueda presentarse en un día de trabajo.

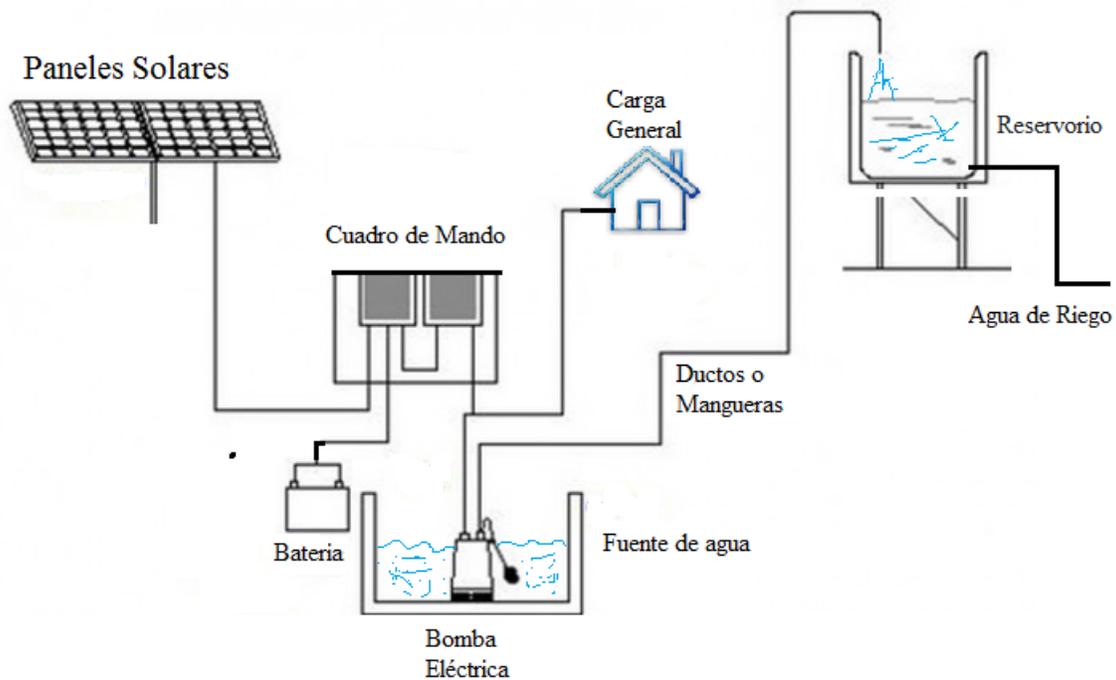


Figura 4. 6 Estructura de sistema de generación eléctrico a partir de radiación solar fotovoltaica Fuente (Autor)

De acuerdo a la investigación realizada, se determinó que la radiación promedio en la zona de Tumbaco en el año 2015 es de  $0,3064167 \text{ kW/m}^2$  a una temperatura promedio de  $18^\circ\text{C}$ , y que de acuerdo a la tabla 3.3, se dispone de radiación solar muy significativa durante la mayor parte del año. Por esta condición si es factible aprovechar el potencial energético solar para un sistema de generación de energía eléctrica en la Finca Albán.

Del mismo modo de acuerdo al software PSIM se puede implementar un proyecto de generación de energía eléctrica a partir de paneles solares, que para el efecto se necesita de 12 paneles fotovoltaicos de 140 W cada uno que sumados dan una potencia total real de 1680 W, del estudio

realizado en la Finca Albán se determinó que se requiere una potencia real de 1425,7 W para cubrir la demanda de energía eléctrica en la Finca.

De igual manera se preformó todo el proyecto de electrificación, que incluye el sistema de generación de energía eléctrica, basado en el potencial energético solar disponible en la Finca, que asciende a un valor total de \$ 11660,16 dólares USA.

#### **4.6 Evaluación económica**

##### **Proyecto de generación de electricidad a partir de la implementación de un sistema solar fotovoltaico.**

##### **Cálculo del Valor Actual Neto (Garcia, 2016).**

Para el calcular el VAN (valor actual neto) cuánto cuesta el proyecto a 20 años pero a la fecha actual, se resta la suma de los flujos descontados a la inversión inicial como se puede observar en la ecuación

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+i)^t} - I_0 \quad (4.1)$$

Donde:

Vt= Flujo de caja en años determinados.

Io=Inversión inicial.

n=Número de años considerados.

k=Tasa de interés o descuento.

Aplicando la fórmula de VAN se obtiene:

Criterios de referencia para catalogar al proyecto como aceptado o rechazado:

Si el VAN > 0 el proyecto es aceptable.

Si el VAN = 0 el proyecto es neutro, puede ser aceptado o rechazado.

Si el VAN < 0 el proyecto se rechaza.

De acuerdo a la ecuación 4.1 el VAN tiene un valor de \$10117,62

Al tener un VAN mayor a cero, el proyecto es factible económicamente.

##### **Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) (Garcia, 2016).**

La TIR (tasa interna de retorno) representa el valor de interés más alta que un inversionista puede pagar sin que este pierda dinero, siempre que los fondos para la inversión estén financiados y el préstamo se pague con el ingreso de la inversión a medida que estos se producen. La fórmula de cálculo de la TIR.

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{F_n}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad (4.2)$$

Donde:

$F_n$ =Flujo de fondos.

$i$ =Periodo.

$n$ =Vida útil del proyecto.

$r$ =interés

De acuerdo a la ecuación 4.2 el TIR tiene un valor de 21%

Luego de tener el dato calculado de TIR se debe tener en consideración que:

Si  $r \geq i$  se acepta el proyecto

Si  $r < i$  se rechaza el proyecto

Siendo  $i$  la tasa de descuento.

Al obtener un TIR mayor al interés el proyecto es aceptable economicamente.

#### **4.6.1 Cálculo del periodo de recuperación del capital Descontado (PRCD).**

Para el cálculo de periodo de recuperación del capital, este se debe expresar en el número de periodos necesarios para recuperar el valor de la inversión inicial  $I_0$ , donde cada flujo es descontado con una tasa de interés que representa el costo de oportunidad del inversor

$$PRCD \rightarrow \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} = I_0 \quad (4.3)$$

Para saber si un proyecto es aceptado o rechazado, esto dependerá del tiempo de recuperación, al igual que del tipo de proyecto que se esté realizando como base se puede decir que:

Si el proyecto tiene una recuperación de capital de 1 año este tiene gran rentabilidad.

Si el proyecto tiene una recuperación de capital de hasta 3 años este tiene una rentabilidad aceptable o promedio.

Si el proyecto tiene una recuperación de capital de 6 años o más tiene una rentabilidad pequeña y tendría que ser analizada.

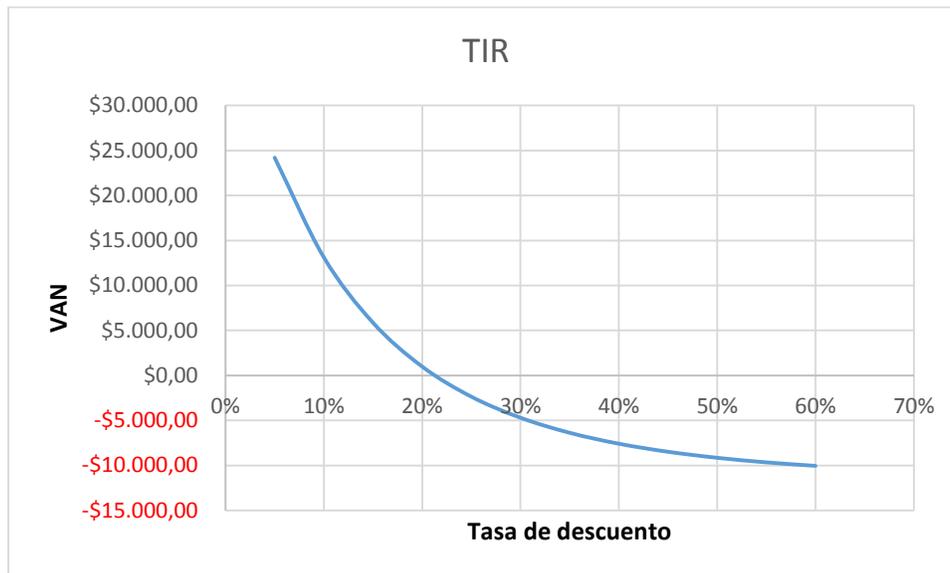


Figura 4. 7 Tasa Interna de Retorno Fuente: Autor

La inversión del sistema de generación solar fotovoltaico para la Finca Albán, que abastecerá la vivienda y como base principal el sistema de regadío, tiene una inversión de \$ 11660,16 dólares americanos con un aporte inicial del 20% y el resto es financiado por una entidad bancaria por lo que la inversión se recupera en el décimo año, teniendo en cuenta que la vida útil del sistema es de mínimo 25 años tiempo restante en el cual son ganancias.

### **Proyecto de implementación de acometida colgada a la red de energía eléctrica pública.**

#### **Cálculo del Valor Actual Neto**

Para el calcular el VAN (valor actual neto) cuánto cuesta el proyecto a 20 años pero a la fecha actual, se resta la suma de los flujos descontados a la inversión inicial como se puede observar en la ecuación

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+i)^t} - I_0 \quad (4.4)$$

Donde:

$V_t$ = Flujo de caja en años determinados.

$I_0$ =Inversión inicial.

$n$ =Número de años considerados.

$k$ =Tasa de interés o descuento.

De acuerdo a la ecuación 4.4 el VAN tiene un valor de \$ -1180,56 (Anexo 6)

Criterios de referencia para catalogar al proyecto como aceptado o rechazado:

Si el VAN > 0 el proyecto es aceptable.

Si el VAN = 0 el proyecto es neutro, puede ser aceptado o rechazado.

Si el VAN < 0 el proyecto se rechaza.

### **Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La TIR (tasa interna de retorno) representa el valor de interés más alta que un inversionista puede pagar sin que este pierda dinero, siempre que los fondos para la inversión estén financiados y el préstamo se pague con el ingreso de la inversión a medida que estos se producen. La fórmula de cálculo de la TIR.

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{F_n}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad (4.5)$$

Donde:

$F_n$ =Flujo de fondos.

$i$ =Periodo.

$n$ =Vida útil del proyecto.

$r$ =interés

Luego de tener el dato calculado de TIR se debe tener en consideración que:

Si  $r \geq i$  se acepta el proyecto

Si  $r < i$  se rechaza el proyecto

Siendo  $i$  la tasa de descuento.

De acuerdo a la ecuación 4.5 el TIR tiene un valor de 11%, al ser este menor que el interés se podría decir que se rechaza este proyecto.

#### 4.6.2 Cálculo del periodo de recuperación del capital Descontado (PRCD) (Garcia, 2016).

Para el cálculo de periodo de recuperación del capital, este se debe expresar en el número de periodos necesarios para recuperar el valor de la inversión inicial  $I_0$ , donde cada flujo es descontado con una tasa de interés que representa el costo de oportunidad del inversor

$$PRCD \rightarrow \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} = I_0 \quad (4.6)$$

Para saber si un proyecto es aceptado o rechazado, esto dependerá del tiempo de recuperación, al igual que del tipo de proyecto que se esté realizando como base se puede decir que:

Si el proyecto tiene una recuperación de capital de 1 año este tiene gran rentabilidad.

Si el proyecto tiene una recuperación de capital de hasta 3 años este tiene una rentabilidad aceptable o promedio.

Si el proyecto tiene una recuperación de capital de 6 años o más tiene una rentabilidad pequeña y tendría que ser analizada.

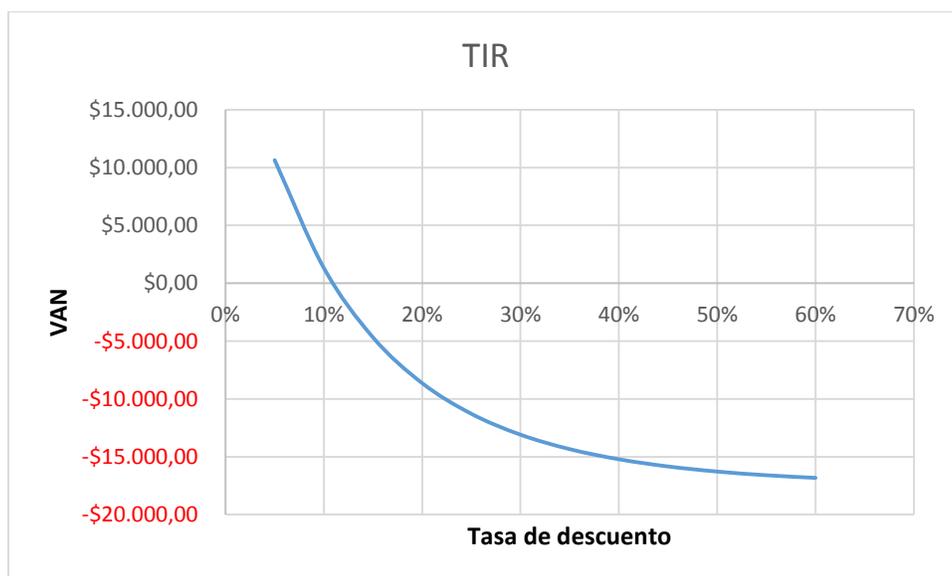


Figura 4. 8 Tasa Interna de Retorno Fuente: Autor

La inversión si se opta por la red de energía eléctrica pública, para la Finca Albán, tiene una inversión de \$ 16592,80 dólares americanos con un aporte inicial del 10% y el resto es financiado por una entidad bancaria por lo que la inversión se recupera en mayor tiempo que con el proyecto de paneles solares fotovoltaicos.

#### 4.7 Comprobación de la Hipótesis

La hipótesis planteada es:

La generación de energía eléctrica aprovechando la radiación solar fotovoltaica de la zona de Tumbaco, permitirá operar un sistema alternativo energético para el bombeo de agua de riego.

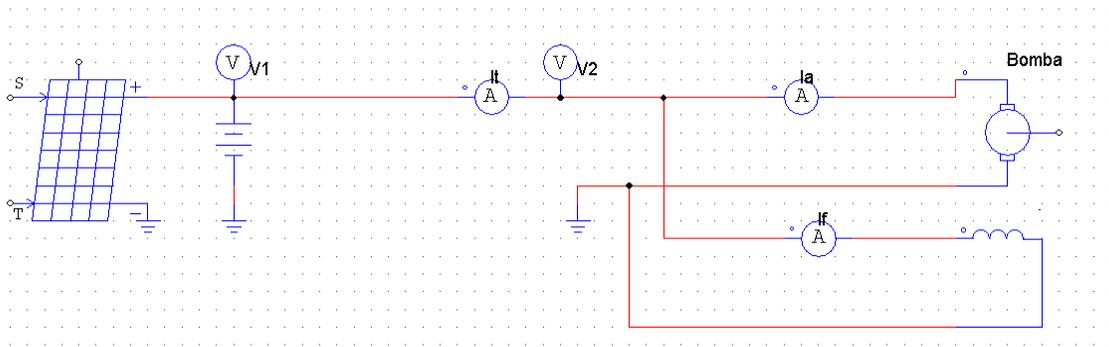


Figura 4. 9 Diagrama de simulación con sus respectivos instrumentos de medida utilizados en el modelo a escala de generación solar fotovoltaica. Fuente: Autor

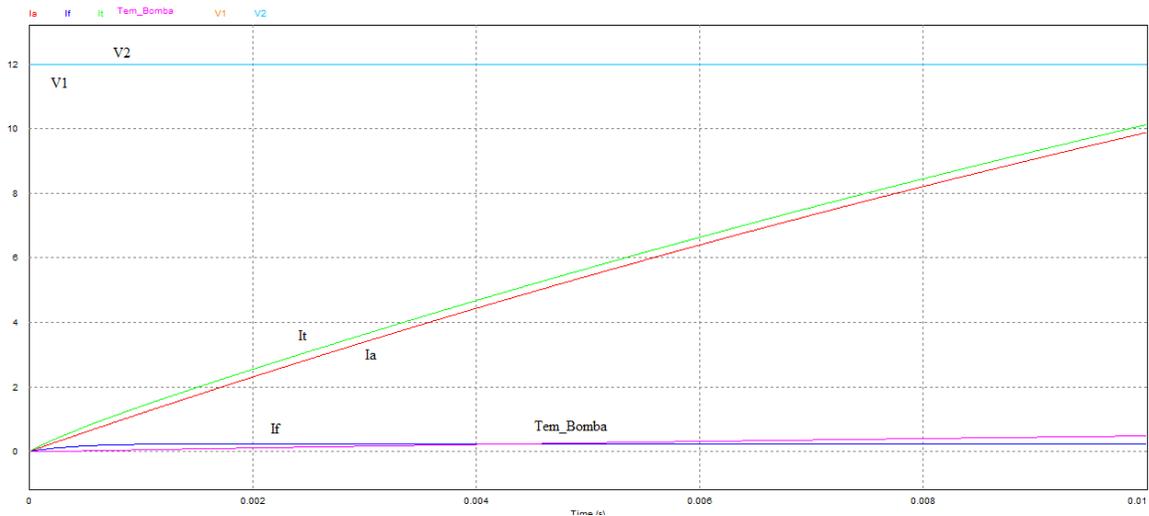


Figura 4. 10 Resultados entregados por los instrumentos de medida utilizados en el modelo a escala de generación solar fotovoltaica. Fuente: Autor

De la investigación realizada se comprueba que si es factible generar electricidad a partir de la radiación solar fotovoltaica, por consiguiente si es posible operar un sistema alternativo energético en un sistema de bombeo para agua de riego figura 4.9, cuyas mediciones se puede visualizar en la figura 4.10.

Es importante mencionar que este sistema es amigable con el ambiente al no producir contaminantes en la fuente de energía primaria, también satisface los requerimientos de caudal de agua para un óptimo rendimiento del área de cultivo en la Finca Albán de la zona de Tumbaco.

El uso de energías renovables tiene importantes beneficios ambientales puesto que sustituyen combustibles fósiles como es el caso del carbón o el petróleo. La concienciación de la conservación del ambiente está cada día más presente en la sociedad.

El fomento de las Energías Renovables es uno de los puntos fuertes tanto de la política mundial, así como en nuestro país.

Para ello se están promoviendo distintos tipos de ayuda por parte de los Gobiernos, para dar apoyo a inversiones y facilitar el desarrollo tecnológico, especialmente en zonas rurales donde es difícil llegar tanto geográficamente o económicamente. Y se da énfasis a crear una percepción de riesgo menor ante las energías renovables.

Con el uso de energías renovables se pretende que las fuentes de obtención actuales como el petróleo, el gas y el carbón pasen a un segundo plano. Debemos tener en cuenta que estas fuentes son recursos limitados y no distribuidos equitativamente por el planeta. Con el actual modelo energético las nuevas generaciones verían el agotamiento de esas fuentes, comprometiendo el desarrollo de la humanidad.(Carrera, Instalación, Fotovoltaica, Red, & López-argumedo, 2009).

Para que el análisis técnico – económico sea lo más cercano a la realidad, en base a costos de energía eléctrica, al costo de implementación de cada uno de los proyectos analizados, y si a esto se le añade un financiamiento, se estudian 2 casos hipotéticos, de los cuales se selecciona uno para realizar las conclusiones y de esa forma saber si el sistema seleccionado finalmente es o no rentable. Los 2 casos se enlistan a continuación:

1. Proyecto de generación de electricidad a partir de la implementación de un sistema solar fotovoltaico.
2. Proyecto de implementación de acometida colgada a la red de energía eléctrica pública.

De acuerdo a una línea de tendencia generada gráficamente, se considera una variación del costo del Proyecto de generación de electricidad a partir de la implementación de un sistema solar fotovoltaico, comparado con el proyecto de implementación de acometida colgada a la red de energía eléctrica pública. Se determina que el proyecto 1 es el más viable económicamente para los habitantes de la finca Albán en la Parroquia de Tumbaco.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la investigación realizada se determinó que existe suficiente potencial energético solar en la parroquia Tumbaco en el año 2015, en promedio es  $2,957921654 \text{ kW/m}^2/\text{día}$ . Por ende es factible implementar un sistema de generación eléctrica fotovoltaico que dispondrá de una potencia de 1680 W, que cubre el consumo del equipo para bombeo de agua de riego el cual demanda una energía eléctrica de 1100 Wh, en la finca Albán. Al verificar la factibilidad energética se concluye que si es posible implementar un sistema de bombeo de agua de riego mediante energía solar fotovoltaica.

El consumo de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua de regadío, y el consumo de la vivienda suman 1425,7 Wh, para la Finca Albán, esto determinó que es aceptable y no demanda de mucha inversión económica para cubrir la necesidad del sitio.

Mediante la utilización del software PSIM y Matlab se simula que la cantidad de energía eléctrica generada en el sistema fotovoltaico, permitirá la factibilidad para la implementación de un sistema de bombeo de agua de regadío, adicionalmente este sistema permitirá abastecer de energía eléctrica a la vivienda de la Finca.

En términos económicos se presenta rentable la aplicación del sistema de bombeo de agua para regadío a partir del uso de la energía solar fotovoltaica. Por cuanto este sistema presenta un VAN de \$ 10117,62 el cual es positivo porque es mayor a 0, mientras que en el proyecto de red de energía eléctrica pública reportó un VAN de -1180,56, en este caso el valor es negativo siendo el proyecto no rentable por lo que se puede concluir que el proyecto de uso de energía solar es rentable. También se tomó en cuenta el cálculo de la TIR, que en el proyecto con sistema solar nos arroja un porcentaje del 21%, mientras que en la red de energía eléctrica pública es de 11% sabiendo que nuestra tasa de interés es del 11,83% podemos notar que el 21% del sistema solar es rentable ya que la TIR es mayor que la tasa de interés,

Es importante analizar las oportunidades que se presentan para desarrollar esta tecnología, especialmente por los altos índices de radiación que existe en el sector donde se realizó la investigación.

Para lugares donde no se disponga de energía eléctrica pública y estén apartados de esta, es factible la implementación de este sistema de riego con energía solar fotovoltaica.

El costo inicial es relativamente alto comparado con opciones tradicionales pero puede ser más bajo su costo a largo plazo debido al bajo costo de mantenimiento y operación que proporciona la implementación de este sistema propuesto.

### **RECOMENDACIONES.**

El desafío técnico planteado en esta investigación propone un sistema de suministro de energía, eléctrica aprovechando la radiación solar fotovoltaica, que cumpla con requisitos básicos de un costo inicial no exagerado, un suministro confiable de energía, una durabilidad aceptable.

Si se dispone de red eléctrica pública, no es recomendable este sistema ya que los costos son muy elevados comparando con los costos de la misma, y a su vez, es recomendable su uso en otras zonas con total similitud que no dispongan de red eléctrica pública.

Es posible implementar un sistema híbrido solar – eólico que puede cargar al mismo banco de baterías, de esta manera se utilizaría un solo inversor y un solo circuito de control, y a futuro conectarse en paralelo con la red de energía eléctrica pública.

Con vista a la implementación de sistemas híbridos de generación, se ha de investigar otras formas de potencial energético que se obtenga de los residuos orgánicos que generan los cultivos, en la Finca Albán de la Parroquia de Tumbaco, y se los pueda aprovechar en biomasa dentro de lo que puede ser un tipo de generación térmica.

## BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS

- Calvache Ulloa, M. (1998). Manejo del agua de riego en zonas de ladera, 1–15. Retrieved from <http://www.ute.edu.ec/revistas/4/articulos/43f7fbc3-0b37-4059-aba1-ade0fd1f8a09.pdf>
- Carrera, P. F. I. N. D. E., Instalación, E. T. D. E. U. N. A., Fotovoltaica, S., Red, C. A., & López-argumedo, A. E. S. (2009). *Electrónica Industrial*.
- Cifuentes, E., Blumenthal, U., Ruiz-Palacios, G., Bennett, S., & Peasey, A. (1994). Escenario epidemiológico del uso agrícola del agua residual: el Valle del Mezquital, México. *Salud Pública de Mexico*, 36(1), 3–9.
- Cuenca, D., Ciudadela, C., & Prometeo, P. (2015). Diseño de un banco de pruebas para paneles solares fotovoltaicos, mediante un convertidor reductor - elevador, 7(1).
- Delgado, P. (2004). Realización de mapas de irradiación solar en la Región de Murcia.
- García, E. (2016). Diagnostico de la demanda de energía eléctrica en un smart home, enfocado en el sector residencial de Quito, durante el año 2015, Barrio la Kennedy. Caracterización y Optimización del consumo de energía Eléctrica.
- Grupo NAP. (2013). Energía Solar Fotovoltaica. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1(1), 122. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. (2005).
- Inga, E., & Rodríguez, J. (2013). Estrategias de Negocio Para Medición Inteligente Acoplando Energías Renovables. *Primer Congreso Internacional Y Expo Científica*, 1, 281–291.
- Module, S. (2012). PSIM Tutorial How to Use the SimCoupler Module, (July).
- Murcia, H. R. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects. *Revista de Ingeniería*, 28, 83–89. <http://doi.org/ISSN.0121-4993>
- Oriolani, M Julio César; Carretero, José Feliú; Bagini, Ricardo Luis; Gonzalez, J.P.; Cappe, O. . (2005). Curso de riego para agricultores. *Global Water Partnership*, 35.

- Panel, W. (n.d.). Estudio y caracterización de células solares fotovoltaicas.
- Prado, R. C. (2008). Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada, 111.
- Renac. (2011). Energía solar fotovoltaica como fuente de energía renovable global, 1–15.  
Retrieved from  
[http://www.renacmexico.com/fileadmin/user\\_upload/Download/RENAC\\_Mexico/Introduccion\\_fotovoltaica.pdf](http://www.renacmexico.com/fileadmin/user_upload/Download/RENAC_Mexico/Introduccion_fotovoltaica.pdf)
- Secretaria de Ambiente. (2016). Secretaria del Medioambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Retrieved from <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/>

## BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Pietruszko, “Analysis of the performance of grid connected photovoltaic system,” ... *Conf. (PVSC), 2009* ..., pp. 48–51, 2009.
- [2] G. Salazar, “Comparación de la eficiencia entre los sistemas de generación fotovoltaicos conectados a la red y los sistemas aislados,” Universidad Politécnica Salesiana, 2014.
- [3] J. Herrera, “Sistema Híbrido Solar - Eólico para el abastecimiento del Centro Nacional de Control de Energía,” *Energía*, Quito, pp. 118–126, Jan-2013.
- [4] G. Masters, *Renewable and efficient electric power systems*, Primera. New Jersey, 2013, p. 647.
- [5] O. M. Toledo, D. Oliveira Filho, and A. S. A. C. Diniz, “Distributed photovoltaic generation and energy storage systems: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 1, pp. 506–511, Jan. 2010.
- [6] J. Mirez and H. Chamorro, “Energy management of distributed resources in microgrids,” *Circuits Syst. ( ...)*, 2014.
- [7] G. A. Rampinelli, A. Krenzinger, and F. Chenlo Romero, “Mathematical models for efficiency of inverters used in grid connected photovoltaic systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 34. pp. 578–587, 2014.
- [8] B. Sree Manju, R. Ramaprabha, and B. L. Mathur, “Modelling and control of standalone solar photovoltaic charging system,” in *2011 International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology, ICETECT 2011*, 2011, pp. 78–81.

## ANEXOS

- ✓ Anexo 1 PSIM tutorial
- ✓ Anexo 2 Memoria del Proyecto de Electrificación.
- ✓ Anexo 3 Precipitación lluviosa en la zona de Tumbaco año 2015
- ✓ Anexo 4 Radiación solar promedio en la zona de Tumbaco año 2015
- ✓ Anexo 5 Datos técnicos del panel solar
- ✓ Anexo 6 calculo VAN y TIR

## **Anexo 1**

# **PSIM Tutorial**

## **How to Use Solar Module Physical Model**

**En este tutorial se describe cómo utilizar el modelo físico de módulos solares.**

El modelo físico del módulo solar puede tomar en cuenta las variaciones de la intensidad de la luz y la temperatura ambiente. Sin embargo, requiere muchos parámetros de entrada. Algunos de los parámetros se pueden obtener de hojas de datos del fabricante, mientras que otros parámetros tienen que ser obtenidos por ensayo, práctica y error. Con el fin de facilitar a los usuarios, definir los parámetros para un módulo solar en particular, una herramienta de utilidad denominada Modulo solar (modelo físico) se proporciona en el menú de utilidades del PSIM.

En este tutorial se describe cómo utilizar esta herramienta a través de ejemplos

El modelo físico del módulo solar tiene los siguientes parámetros:

<b>Numero de celdas NS:</b>	número de celdas solares en serie en un módulo solar.
<b>Intensidad de luz estándar S0:</b>	intensidad de la luz en condiciones de prueba estándar, en $W/m^2$ . Este valor es normalmente de $1000 W/m^2$
<b>Temperatura Referencial Tref:</b>	Temperatura bajo condiciones de prueba estándar, en $^{\circ}C$ .
<b>Resistencia en Serie Rs:</b>	Resistencia en serie de cada celda solar, en Ohm.
<b>Derivador de Resistencia Rsh:</b>	Derivador de Resistencia de cada celda solar, en Ohm.
<b>Corriente de corto Circuito Isc0:</b>	Corriente de corto circuito del módulo solar a la Temperatura de referencia, en A
<b>Saturación de Corriente Is0:</b>	Saturación de corriente del diodo en el modelo, en A
<b>Energía de Banda Eg:</b>	energía de banda de cada celda solar, en eV (electrón voltio Joule en diminuto, el objetivo es enviar a los electrones crear cargas dentro de conducción mientras más alejado es mejor
<b>Factor Ideal A:</b>	Factor ideal, también llamado coeficiente de emisión del diodo en el modelo.
<b>Coeficiente de Temperatura Ct:</b>	Coeficiente de temperatura, en A/K
<b>Coeficiente Ks:</b>	Coeficiente que define como la intensidad de la luz afecta la temperatura de la celda solar.

El modulo solar MSX-60 de BP Solar es usado para ilustrar como usar la herramienta de utilidad para obtener los parámetros del modelo. Este proceso consta de los siguientes pasos:

- Ingresar la información desde la hoja de datos.
- Realizar un estimado inicial de ciertos parámetros.
- Obtener las curvas I-v, P-v, y el punto máximo de potencia. Comparar la hoja de datos con los datos experimentales para diferentes condiciones operacionales, para luego a justar los parámetros.

### 1. Ingresar la información de la hoja de datos

La figura inferior muestra la imagen de la hoja de datos del constructor y el sector de la ventana de dialogo de la herramienta de utilidad relacionada con la hoja técnica del fabricante.

Toda la información requerida en este sector, excepto el valor de  $dv/di$  en  $V_{oc}$ , se puede leer directamente de la hoja de datos, como esta resaltado por los rectángulos rojos. En la hoja de datos el coeficiente de temperatura del voltaje del circuito abierto se expresa en  $V/^{\circ}C$ . Este tiene que ser convertido a  $\%/^{\circ}C$  para la herramienta de utilidad, así:

$$-80mV/^{\circ}C = -0.08/21.1/^{\circ}C = -0.38\%/^{\circ}C.$$

**Typical Electrical Characteristics<sup>1</sup>**

	MSX-64	MSX-60
Maximum power ( $P_{max}$ )	64W	60W
Voltage @ $P_{max}$ ( $V_{mp}$ )	17.5V	17.1V
Current @ $P_{max}$ ( $I_{mp}$ )	3.66A	3.5A
Guaranteed minimum $P_{max}$	62W	58W
Short-circuit current ( $I_{sc}$ )	4.0A	3.8A
Open-circuit voltage ( $V_{oc}$ )	21.3V	21.1V
Temperature coefficient of open-circuit voltage		$-(80 \pm 10)mV/^{\circ}C$
Temperature coefficient of short-circuit current		$(0.085 \pm 0.015)\%/^{\circ}C$
Temperature coefficient of power		$-(0.5 \pm 0.05)\%/^{\circ}C$
NOCT <sup>2</sup>		$47 \pm 2^{\circ}C$

**NOTES:**

(1) These modules are tested, labeled and shipped in 12V configuration. These data represent the performance of typical 12V modules as measured at their output terminals, and do not include the effect of such additional equipment as diodes and cabling. The data are based on measurements made in a solar simulator at Standard Test Conditions (STC) which are:

- illumination of  $1kW/m^2$  (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5;
- cell temperature of  $25^{\circ}C$  or as otherwise specified (on curves)

Operating characteristics in sunlight may differ slightly. To determine the characteristics of modules in 6V configuration, divide the 12V voltage characteristics by 2 and multiply current characteristics by 2. Power values are unchanged.

(2) Under most climatic conditions, the cells in a module operate hotter than the ambient temperature. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) is an indicator of this temperature differential, and is the cell temperature under Standard Operating Conditions: ambient temperature of  $20^{\circ}C$ , solar irradiation of  $0.8kW/m^2$ , and wind speed of  $1m/s$ .

**Manufacturer datasheet**

Solar Module (physical model)

Manufacturer: Datasheet

Number of Cells Ns:	36
Maximum Power Pmax:	60 (W)
Voltage at Pmax:	17.1 (V)
Current at Pmax:	3.5 (A)
Open-Circuit Voltage Voc:	21.1 (V)
Short-Circuit Current Isc:	3.8 (A)
Temperature Coeff. of Voc:	-0.38 (%/oC or oK)
Temperature Coeff. of Isc:	0.065 (%/oC or oK)
Standard Test Conditions:	
Light Intensity S0:	1000 W/(m^2m)
Temperature Tref:	25 (oC)
dv/di (slope) at Voc:	-0.68 (V/A) (if available)

Model Parameters (defined)

Band Energy Eg:	1.12 (eV)
Ideality Factor A:	1.2
Shunt Resistance Rsh:	1000 (Ohm)
Coefficient Ks:	0

Model Parameters (calculated)

Calculate Parameters

Series Resistance Rs:	0.008 (Ohm)
Short Circuit Current Isc0:	3.80 (A)
Saturation Current Is0:	$2.16e-8$ (A)
Temperature Coefficient Ct:	0.00247 (A/K)

**MSX-60 I-V Characteristics**

El valor “dv /di (pendiente) en Voc” se refiere a la pendiente dv /di en el voltaje del circuito abierto Voc de 21.1 V. De las características I-V de la hoja de datos, leyendo los valores desde el gráfico (señalado con líneas punteadas rojas), podemos calcular aproximadamente la pendiente de esta manera:

$$\frac{dv}{di} = \frac{\Delta V}{\Delta i} = \frac{-0.34}{0.5} = -0.68$$

Si la curva I-V no está disponible en la hoja de datos, deje el valor dv /di en 0.

## 2. Estimación de valores de los parámetros Eg, A, Rsh, y Ks

Estos cuatro parámetros normalmente no se proporcionan en la hoja de datos, y uno tiene que proporcionar una Buena aproximación inicial, o sino obtenerlos de los constructores: banda de energía Eg, factor ideal A, derivador de Resistencia Rsh, y el coeficiente Ks.

Una Buena referencia inicial para la banda de energía Eg es alrededor 1.12 eV para silicón cristalino, y alrededor de 2 eV para silicón amorfo (no cristalino).

Una Buena referencia inicial para el factor ideal A es alrededor de 2 para silicón cristalino, y es menor a 2 para silicón amorfo.

Una Buena referencia inicial para el derivador de Resistencia Rsh es algunos miles de Ohm

.

Si no se conoce el valor inicial del coeficiente Ks puede ser 0.

En el siguiente ejemplo, ponemos:

$$E_g = 1.12$$

$$A = 1.2$$

$$R_{sh} = 1000$$

$$K_s = 0$$

### 3. Calculando los valores del parámetro $R_s$ , $I_{sc0}$ , $I_{s0}$ , y $C_t$

Basándose en la información de la hoja de datos y las aproximaciones iniciales de  $E_g$ ,  $A$ ,  $R_s$ ,  $h$ , y  $K_s$ , el resto de los parámetros (resistencia en series  $R_s$ , corriente de circuito corto  $I_{sc0}$ , corriente de saturación  $I_{s0}$ , y el coeficiente de temperatura  $C_t$ ) pueden ser calculados oprimiendo en el botón Calculate Parameters. Se obtendrán los siguientes valores:

$$\begin{aligned}R_s &= 0.0108 \\I_{sc0} &= 3.8 \\I_{s0} &= 2.16 \cdot 8 \\C_t &= 0.00247\end{aligned}$$

Note que el cálculo es aproximado, y proporciona únicamente valores referenciales. El usuario debe ajustar estos parámetros para coincidir la curva calculada de I-V con la curva de la hoja de datos o los resultados experimentales.

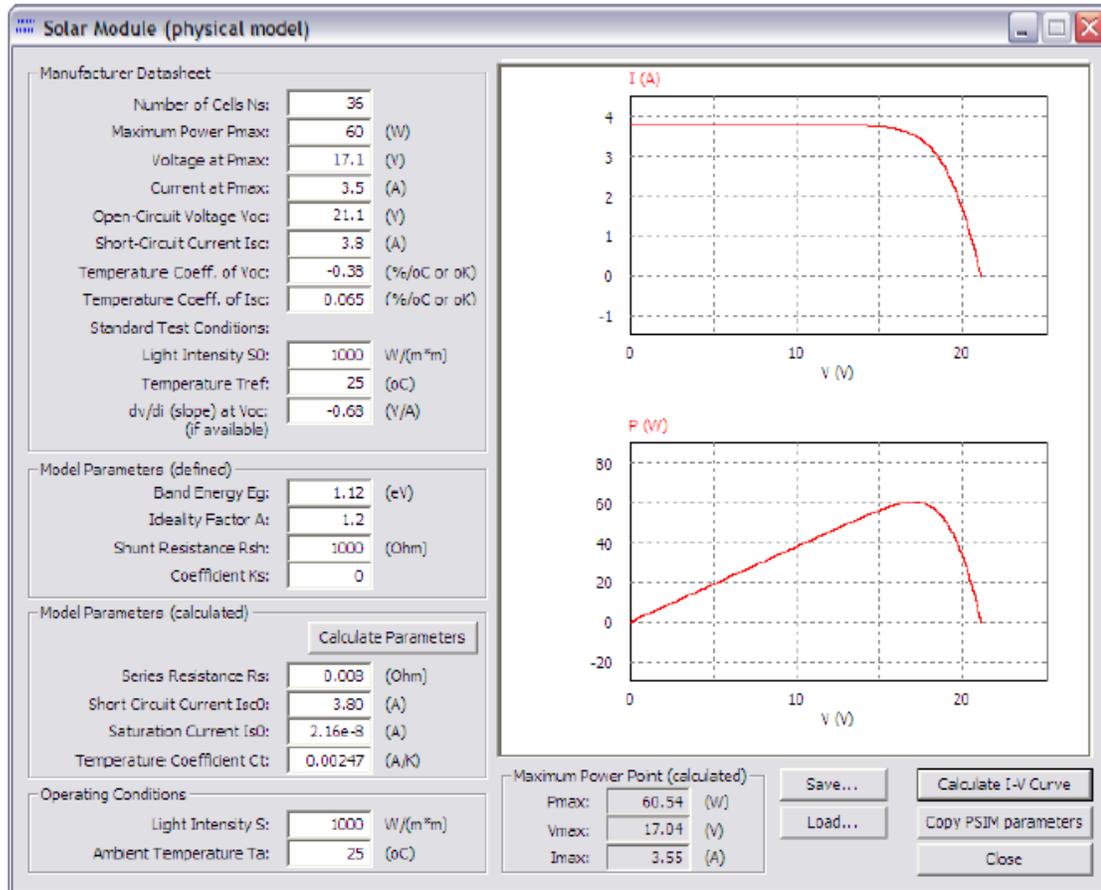
### 4. Ajuste fino de los parámetros

Bajo ciertas condiciones operativas de la intensidad de luz  $S$  y la temperatura ambiente  $T_a$ , se puede obtener las curvas I-V y P-V oprimiendo el botón Calculate I-V Curve. Se calculará también el punto de máxima potencia.

Si definimos  $S = 1000 \text{ W/m}^2$  y  $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , se puede obtener el punto de máxima potencia como:  $P_{max} = 59.27 \text{ W}$ ,  $V_{max} = 16.73 \text{ V}$ , y  $I_{max} = 3.54 \text{ A}$ . La potencia máxima y el voltaje en la potencia máxima son menores a los valores de la hoja de cálculo de  $60 \text{ W}$  y  $17.1 \text{ V}$ . Se debe ajustar los parámetros  $E_g$ ,  $A$ ,  $R_{sh}$ ,  $K_s$ ,  $R_s$ ,  $I_{s0}$ , y  $C_t$  para obtener un mejor ajuste.

En el ejemplo, si cambiamos la resistencia en serie  $R_s$  a  $0.008 \text{ Ohm}$ , el punto calculado de máxima potencia es:  $P_{max} = 60.54 \text{ W}$ ,  $V_{max} = 17.04 \text{ V}$ , y  $I_{max} = 3.55 \text{ A}$ , lo cual está más cercano a los valores de la hoja de cálculo.

Los valores finales de los parámetros y de las curvas I-V y P-V se muestran a continuación.



Se necesitaran de muchos intentos y pruebas con errores para obtener un buen ajuste con la hoja de datos o los datos experimentales. Después de calcular los parámetros, presione el botón Copy PSIM Parameters para copiar los parámetros del modelo al graficador PSIM.

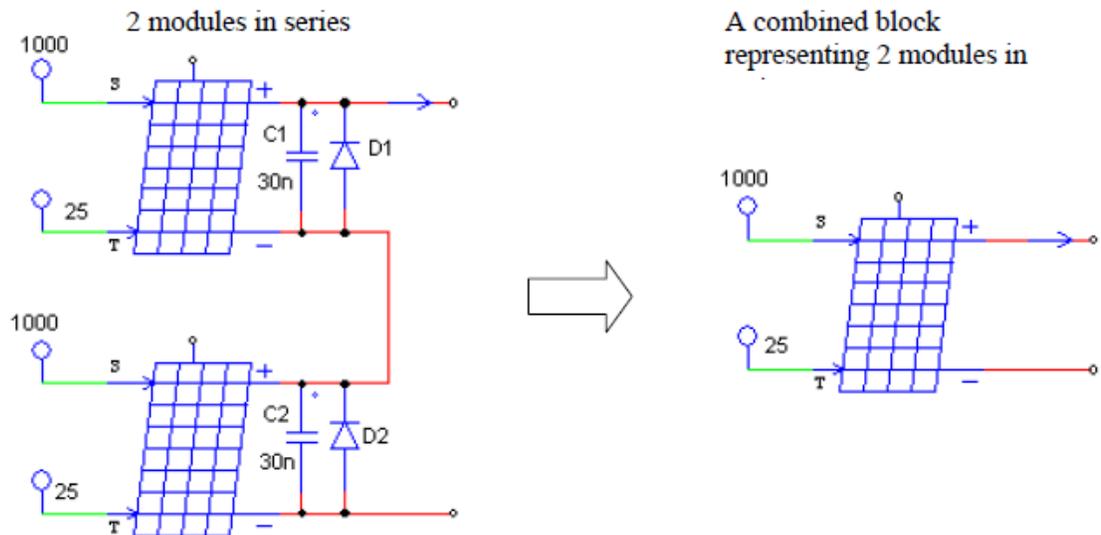
Para grabar los valores de la hoja de cálculo y de los parámetros a un documento de texto para usar posteriormente, presione el botón Save, y grábelo en un documento (por ejemplo “Solarex M SX-60.txt”). Para cargar nuevamente los datos de un módulo solar específico, presione el botón Load.

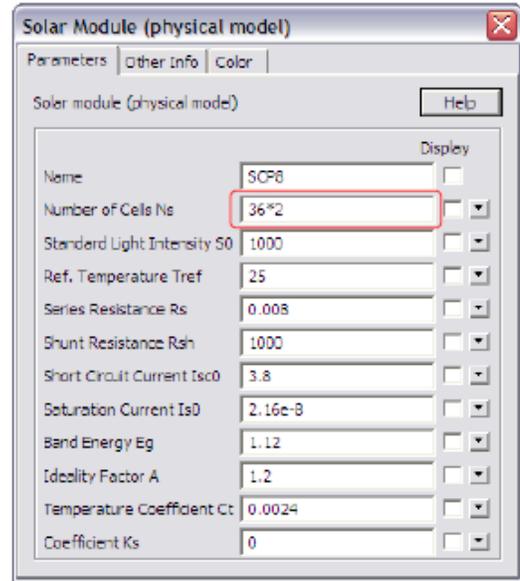
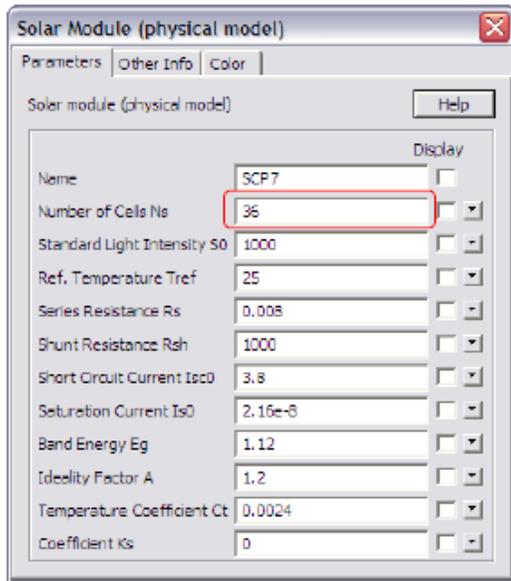
## 5. Múltiples módulos en serie.

A menudo algunos módulos solares iguales están conectados en serie para formar un panel solar. Se puede usar bloques de módulos solares para conformar un panel solar.

La figura siguiente muestra dos módulos solares Solarex MSX-60 conectados en serie, y un bloque combinado que usa dos módulos. Los parámetros del modelo del bloque combinado es el mismo que para un módulo solar simple, excepto que el número de celdas  $N_s$  es el doble del valor de un módulo solar simple.

Note que cuando múltiples módulos se conectan en series, se necesita un diodo puente (bypass) en cada módulo si los valores de entrada de la intensidad de la luz y la temperatura ambiente son diferentes. Además, un muy pequeño condensador (en este caso 30 nF) se necesita en cada módulo para convergencia numérica.





**Para graficar la curva I-V del bloque combinado, cambie las siguientes cantidades del valor de un módulo simple:**

**Numero de celdas  $N_s * 2$**

**Potencia Máxima  $P_{max} * 2$**

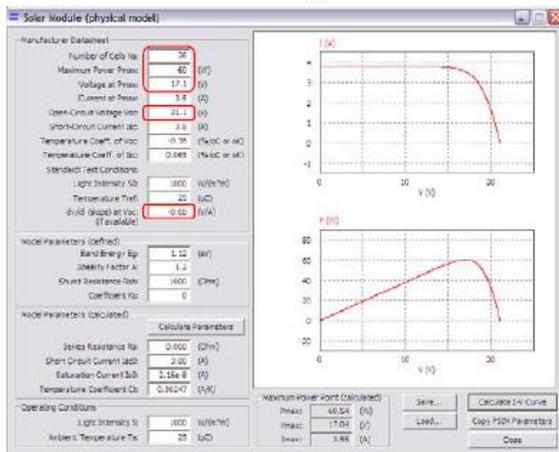
**Voltaje en  $P_{max} * 2$**

**Voltaje en el circuito abierto  $V_{oc} * 2$**

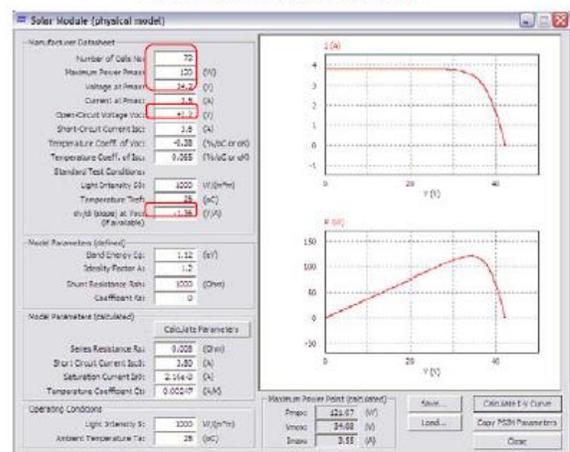
**Diagonal  $dv/di$  (slope) en  $V_{oc} * 2$**

**La figura siguiente muestra la herramienta utilitaria de ingreso del módulo solar para un módulo simple y un bloque combinado. Los parámetros ingresados en los marcos rojos resaltan las diferencias.**

Data of one single solar module



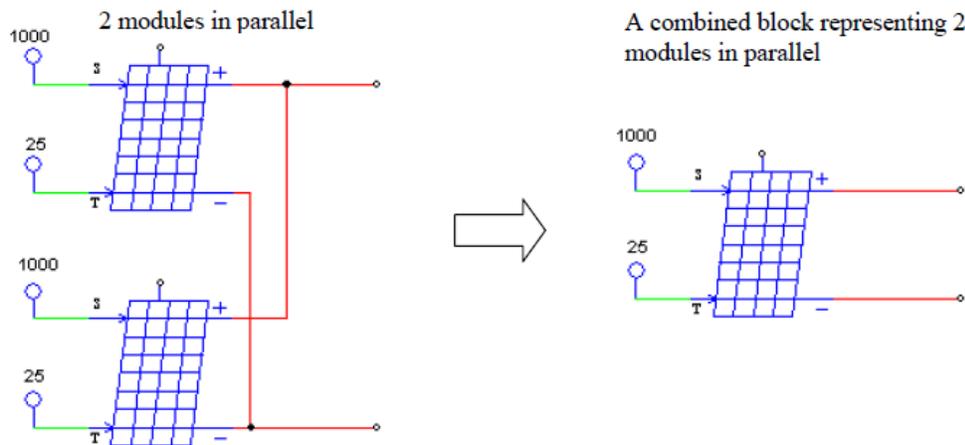
Data of the combined block

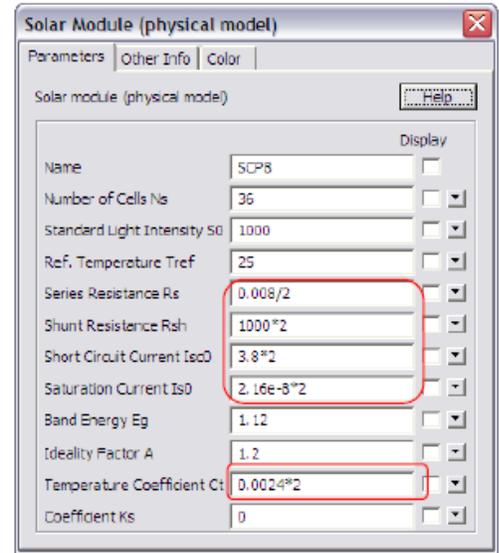
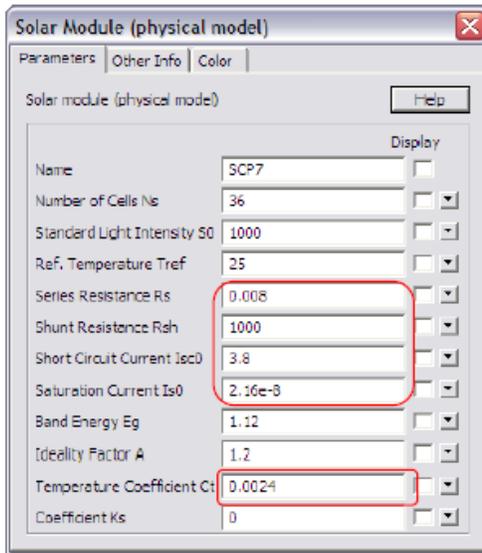


## 6. Múltiples Módulos en Paralelo

De otra forma, algunos módulos solares iguales son conectados en paralelo para formar un a red solar. Se puede usar un módulo solar en bloque para formar un panel solar.

La figura siguiente muestra dos módulos solares Solarex MSX-60 conectados en paralelo, y un bloque combinado que muestra dos módulos. Algunos de los parámetros del bloque combinado son diferentes comparados a los parámetros de un módulo solar simple, como se resalta en los marcos rojos siguientes.



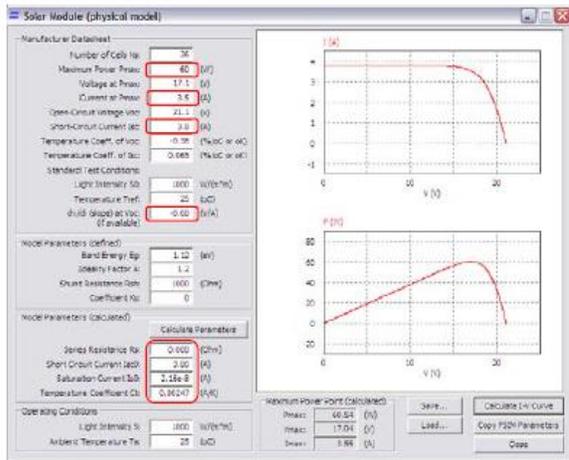


Para graficar la curva I-V del bloque combinado, cambie las siguientes cantidades del valor del módulo simple:

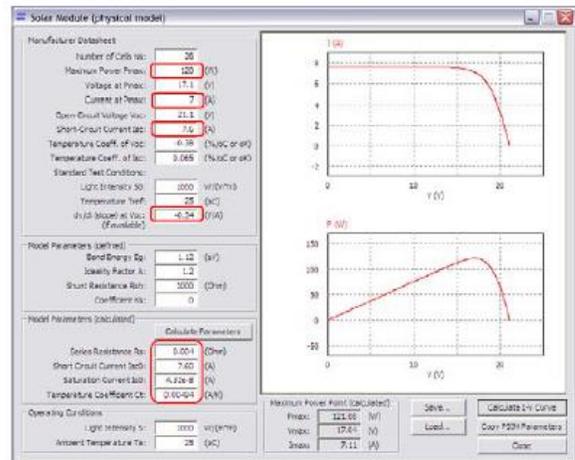
- Potencia Máxima  $P_{max} * 2$**
- Corriente en  $P_{max} * 2$**
- Corriente de circuito corto  $I_{sc} * 2$**
- Diagonal  $dv/di$  (slope) en  $V_{oc} * 0.5$**
- Resistencia en serie  $R_s * 0.5$**
- Corriente de circuito corto  $I_{sc0} * 2$**
- Corriente de saturación  $I_{s0} * 2$**
- Coefficiente de temperatura  $C_t * 2$**

La figura siguiente muestra la herramienta utilitaria de ingreso del módulo solar para para un módulo simple y un bloque combinado. El ingreso de parámetros en los marcos rojos resaltan las diferencias.

### Data of one single solar module



### Data of the combined block



## Anexo 2

**EMPRESA ELECTRICA QUITO S.A.**  
**DIRECCIÓN DE DISTRIBUCION – EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE DISTRIBUCION**  
**MEMORIA DE PROYECTO**

Fecha: 22 de marzo de 2015

TRÁMITE: 189529

1. Datos generales del Proyecto.

**NOMBRE:** LA ESPERANZA

**ID\_PROY:** 20705

**UBICACIÓN:** Provincia: PICHINCHA Cantón: QUITO Parroquia: TUMBACO

**COSTO TOTAL DEL PROYECTO: USD 41 482.00**

# Lotes total: Viviendas con Servicio: 0 Viviendas. Sin Servicio: 5 Viviendas. Con Mejora: 0

ÁREA RESPONSABLE: Varios Moradores INGENIERO DISEÑADOR: Héctor Arguello

JEFE SECCIÓN (ZONA): Edmundo Ramos

JEFE DEPARTAMENTO: Luis Villagómez I

2. Diagnóstico del problema

Los sectores altos de la parroquia de Tumbaco sector La Esperanza (Albán), impulsado por la necesidad de elevar sus estándares de vida y tomando en cuenta que el sector carece de los servicios básicos; para dotar del servicio eléctrico a los moradores

En base a la solicitud de los moradores del sector, esta Empresa ha realizado el diseño de un proyecto de electrificación comprendido en el sector, al momento de constatar la legalidad de los sectores, y el número de habitantes que existe en cada uno de ellos se llega a determinar que el sector, cumple con los requisitos para ser construido mediante la instalación inicial de cuatro transformadores, que servirá a un circuito de bajo voltaje y cubrirá la demanda actual para 5 viviendas con un promedio 20 habitantes y la demanda futura a mediano plazo.

2.1.1 Área de influencia:

El sector a servir está limitado por las calles: Publica y pasaje sin nombre, con una superficie aproximada de 7.45104 m<sup>2</sup>.

## VISTA SATELITAL DEL SECTOR



PLANO OBTENIDO DEL GIS DEL SECTOR



### 2.2 Población objetivo

Con la construcción de estas redes se pretende satisfacer las necesidades de 5 familias con un total de 20 habitantes con un crecimiento del barrio a 2 familias.

#### 2.2.1 Encuesta de caracterización de la comunidad

Fecha de la encuesta: 2014/12/08

Característica del servicio: residencial, **RURAL** (URBANA / URBANA-MARGINAL)

Quintil de los usuarios: Q1..... Q2...X... Q3..... Q4..... Q5 .....

Observaciones: Identificación de la Organización Comunitaria: Comité pro-mejoras / Cooperativa / Junta Parroquial / Junta de Aguas / \_\_\_\_\_

Otros: .....

Infraestructura para las reuniones comunitarias: **Casa Comunal** / Coliseo / Escuela-Colegio / Otro: Frecuencia de las reuniones comunales: Semanal / Quincenal / **Mensual**

Medios de convocatoria: **Autoconvocatoria** / Pizarra-Cartelera / Impreso

2.2.2 Datos de dirigente o personas encuestadas:

**Nombre:** Segundo Vega **Cargo:** Presidente

Cédula de Identidad: 170786075-3 Teléfono: 0987109081

Motivo del requerimiento del proyecto: Necesidad

**Nombre:** Isaac Toapanta **Cargo:** Vicepresidente

Motivo del requerimiento del proyecto: Impulsar el crecimiento de barrio

2.2.3 Servicios Básicos.

No Dispone de Servicios Básicos: Agua Potable / Alcantarillado / Energía Eléctrica / Transporte / Internet

\_\_\_\_\_

Dispone de alumbrado público: SI / NO

Población: Número de familias.....5..... Número de habitantes.....20.....

2.2.4 Salud

Cuenta con: Hospital / Subcentro / Posta Médica / Otro...**No dispone**..... Funcionando: SI / NO

Observaciones (anotar lo más relevante):.....

2.2.5 Educación

Cuenta con: Centro Infantil / Escuela/ Colegio / Otro..... Horario de funcionamiento: Por Horas / Mañana / Tarde / Noche

Observaciones (anotar lo más relevante):...

2.2.6 Actividad económica de la zona

Observaciones (anotar lo más relevante):...Variado.....

2.2.7 Fotos del sector

3.1.1 Demanda insatisfecha.

Se calcula que la demanda insatisfecha actual para el barrio es de 5.65 KVA

3.1.1.1 Determinación del número de clientes a atender:

Número de Clientes	Tipo	Viviendas Con Servicio Sin Cambios (VCS)	Viviendas Sin Servicio (VSS)	Viviendas Con Mejora (VSM)	Tasa de crecimiento anual
	Residencial		5		2.0%
	Comercial				1.0%
	Pequeña Industria				0.5%
	Carga Especial				0.5%
	<b>Subtotal</b>		0	5	0

Número Total de Viviendas: .....5....

3.1.1.2 Determinación de la demanda de energía

Tipo de Usuario	No. de Usuarios (U)	Consumo Mensual Promedio (Kwh/mes)/usuario	Crecimiento anual de la Población (%)	Crecimiento anual de consumo (%)
Residencial	5	115	2.00%	2.0%
Comercial	0	0	1.00%	4.0%
Pequeña Industria	0	0	0.50%	5.0%
Carga Especial	0	0	0.50%	10.0%
Alumbrado Público	5	21.6	5%	5.0%

Abonados Tipo "D", Carga Instalada Representativa: ...3.22... kW, Demanda máxima unitaria: 1.68 KVA por Lote.<sup>1</sup>

De no disponer el consumo medio mensual se recomienda utilizar 100 kWh/mes/vivienda.

4. Objetivos del Proyecto:

4.1 Etapa Funcional: Subtransmisión.... **Distribución..X..** Alumbrado Público.... Inversiones Generales ...

4.2 Finalidad / Objetivo: .....(Calidad de servicio / Aumentar cobertura / Disminuir pérdidas)

Breve descripción del proyecto:

El proyecto pretende mejorar la calidad del servicio y los estándares de vida de alrededor de 20 habitantes, a través de la electrificación del sector, Las Palmas con la construcción de redes de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público, instalación de cuatro transformadores de distribución de 5 kva, 5 luminarias, 5 acometidas y 5 medidores.

4.3 Estimación de la energía atendida con el proyecto:

**COBERTURA DE LA DEMANDA** Se espera entregar ...10800...kWh/año adicionales en el primer año.

---

<sup>1</sup> Para usuarios que no tengan acceso directo a redes de distribución se hará un análisis más detallado de los requerimientos de demanda y energía requerida.

**REDUCCION DE PÉRDIDAS TÉCNICAS** Se espera disminuir...388.8....kWh/año en el primer año.

**REDUCCION DE PÉRDIDAS COMERCIALES:** Se espera recuperar ...10800...kWh/año en el primer año.

**CALIDAD DE SERVICIO:** Se espera mantener la calidad de servicio de...80592... KWh/año. En caso de no ejecutar el proyecto se quedan sin servicio todos los moradores del sector.

**CALIDAD DE PRODUCTO** Se espera mejorar 80592 kWh/año para entregar con buena calidad de producto.

Número de viviendas con mala calidad de producto 5 Consumo medio mensual por vivienda 115 kWh/mes/viv.

Como resultado de este análisis, se elaborará la Matriz del Marco Lógico. 5. Viabilidad técnica y plan de sostenibilidad.

5.1 Análisis de posibles escenarios.

5.1.1 Prioridad del proyecto: Inmediato:.....**Corto Plazo: ...X...** Mediano Plazo: ..... No Prioritario:.....

5.1.2 Se puede construir por etapas: NO:...X.... SI:.... ..

ETAPA DEL PROYECTO	COSTO ETAPA	% COSTO PROYECTO	No. de Usuarios	OBJETIVO LOGRADO	% OBJETIVO LOGRADO
	(USD)	(%)	(U)	(Kwh/año)	(%)
I ETAPA	41482.00	100%	5		100%
II ETAPA					
II ETAPA					
<b>PROYECTO TOTAL</b>	41482.00				

5.1.3 Posibilidad de utilizar energías alternativas

5.1.3.1 Celdas fotovoltaicas

No requiere instalación de celdas fotovoltaicas

5.1.3.2 Centrales pico – hidro

No contempla instalación de centrales de generación

5.2 Datos técnicos del proyecto.

5.2.1 Número de postes: 8Postes MT Longitud: 12 metros 2 Postes BT Longitud: 10 metros

5.2.2 Longitud en Km de redes de Media Tensión y su composición: 0 Km trifásica, 0 Km bifásica y 3.68 Km monofásica.

5.2.3 Longitud en Km de redes de Baja Tensión y su composición: 0 Km trifásica, 0.29 Km monofásica 3C y 0 Km monofásica 2C

5.2.4 Número y potencia de transformadores: 1: 4 x 5, 0 x 10, 0 x 15, 0 x 25 KVA, 0 x 37.5 KVA y 0 x 50 KVA.

5.2.5 Punto de conexión: Subestación **54 – Papallacta** Primario: **A**

5.3 Plan de sostenibilidad

Operación y Mantenimiento de las redes: A cargo de la Empresa Eléctrica Quito a través del departamento de Operación y Mantenimiento Rural.

5.3.2 Comercialización de la energía eléctrica: A cargo de la Empresa Eléctrica Quito a través de la dirección de comercialización zona Rural

6. Estrategias de ejecución

6.1 Adquisición de materiales

6.2 Disponibilidad de mano de obra

6.3 Tiempo estimado de construcción.

Tiempo estimado de construcción: 8 días.

7. Estrategias de seguimiento y evaluación

7.1 Fiscalización en la construcción

7.2 Registro de consumos – Comercialización

7.3 Registro de fallas.

8. Presupuesto y evaluación económico-financiera. Cronograma del proyecto (cada proyecto tiene 7 actividades). 8.1 Presupuesto del proyecto:

8.1.1 De acuerdo al presupuesto elaborado con fecha **20- Marzo de 2013** y en función de las características propias del proyecto:

**PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO:**

1.1 MATERIALES		25872.54
1.2 MANO DE OBRA		10272.16
1.3 ADMINISTRACIÓN, INGENIERÍA Y ESTUDIOS		4337.30
1.4 VARIOS		.00
	SUBTOTAL	40482
1.5 ACOMETIDAS Y MEDIDORES, PARA REMOD. OBRAS CIVILES		.00
1.6 ACOMETIDAS Y MEDIDORES, PARA EQUIPOS Y MATERIALES		1 000.00
NOTA: I.V.A. del 12 % incluido en rubros Materiales y Mano de Obra	TOTAL USD	<b>41482.00</b>

8.1.2 Desglose de los costos del proyecto<sup>2</sup>:

Descripción	US \$ Redes	US \$ Acom. Y Med.
Materiales	23100.48	570.64
Mano de Obra	9006.39	222.48
Transporte	165.18	4.08
Gastos Administrativos	3872.5923 5	95.66
<b>Subtotal</b>	<b>36144.64</b>	<b>892.86</b>
IVA ( 12 % )	4337.3570 1	107.14
<b>TOTAL</b>	<b>40482.00</b>	<b>1000.00</b>

8.1.3 Desglose del presupuesto por etapas<sup>3</sup>:

---

<sup>2</sup> Formato solicitado por CONELEC para memoria FERUM

Redes de distribución:	41482.00	USD
Circuitos primarios:	25,532.43	
Transformadores de distribución:	6,547.63	
Redes secundarias:	6,383.11	
Energía renovable:		USD
Alumbrado Público:	717.64	
Acometidas:	600.00	
Medidores:	400.00	
Estudios:	1,301.19	

## 8.2 Cronograma de Ejecución del Proyecto:

ETAPAS	DISEÑO	PORCENTAJE PROMEDIO	PORCENTAJE PROYECTO	FECHA DE INICIO	SUBTOTAL
I	Fase diseño y elaboración del plan de obras	8%	26%	Enero	3318.56
II	Adquisición de materiales	45%	29%	Marzo	18666.90
III	Proceso de contratación de mano de obra	1%	30%	Abril	414.82
IV	Plantado de postes	18%	48%	Mayo	7466.76
V	Tendido de conductor e instalación de transformadores	20%	80%	Junio	8296.40
VI	Instalación de acometidas y medidores	5%	98%	Julio	2074.10
VII	Pruebas de energización y liquidación	3%	100%	Agosto	1244.46
<b>TOTAL USD</b>					<b>41482.00</b>

## 8.3 Análisis económico y financiero del proyecto:

### 8.3.1 Supuestos utilizados en análisis económico y financiero

- 8.3.1.1 Ingresos y costos constantes durante todo el periodo de análisis (Escenario Base), es decir no se considera el impacto de la inflación.
- 8.3.1.2 Tasa de descuento para el análisis financiero del 12%.
- 8.3.1.3 Tasa de descuento para el análisis económico del 12%.
- 8.3.1.4 Costo de operación y mantenimiento y de reposición, 9% del costo de cada Programa.
- 8.3.1.5 Consumo medio mensual por usuario 115 kWh/mes,
- 8.3.1.6 Precio máximo de venta de energía en el 2012:
  - 8.3.1.6.1 Usuario Residencial USD \$0,0844/kWh,
  - 8.3.1.6.2 Usuario comercial sin demanda USD \$0,0765/kWh,
  - 8.3.1.6.3 Usuario comercial con demanda USD \$0,0765/kWh,
  - 8.3.1.6.4 Usuario industrial artesanal USD \$0,0704/kWh,
  - 8.3.1.6.5 Usuario industrial con demanda USD \$0,0657/kWh,

8.3.1.6.6 Costo promedio USD \$0,08/kWh

---

<sup>3</sup> Formato solicitado por CONELEC en el Plan de Inversiones

8.3.1.7 Beneficios Económicos Sociales, que representan el valor que produce el dotar del servicio a cada usuario o la no ocurrencia de interrupciones del servicio:

8.3.1.7.1 Usuario Residencial USD\$ 0,66/kWh,

8.3.1.7.2 Usuario Comercial USD\$ 2,21/kWh,

8.3.1.7.3 Usuario Industrial USD\$ 3,20/kWh,

8.3.1.7.4 Entidad Oficial USD\$ 17,00/kWh.

8.3.1.8 Costo por penalización por mala calidad de producto USD\$ 1,40/kWh,

8.3.1.9 El déficit Tarifario es constante y corresponde a USD \$0,01/kWh reconocido como déficit tarifario.

8.3.1.10 En los proyectos de mejora de la calidad de servicio técnico se consideran los ahorros por costos anuales de operación y mantenimiento de los bienes de capital, se estima un ahorro en costos administrativos del 2% del costo del proyecto, debido a la disminución de reclamos de clientes, de personal administrativo que recepta los reclamos, disminución de despacho de personal operativo y reducción de trámites.

8.3.2 Indicadores financieros:

VAN	-64.563
TIR	-%
B/C	0.11

8.3.3 Indicadores económicos (sociales):

VAN	23.724
TIR	12.38
B/C	1.16

## 9. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda proceder con la ejecución del proyecto a través del Programa de Obras **PMD 2014**

**PLAN PREVISTO 322**

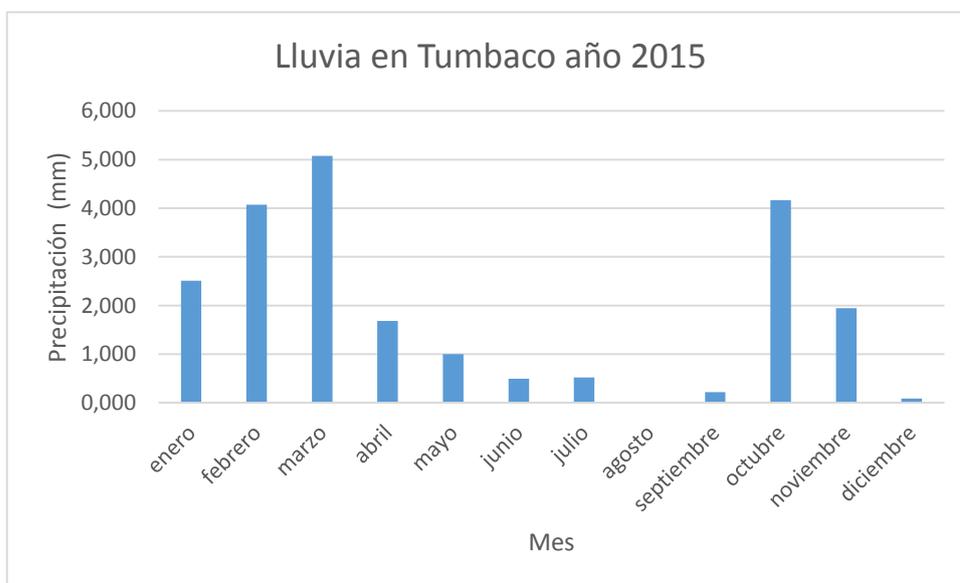
**FINANCIAMIENTO: USD 41 482.00 FERUM/GOBIERNO**

### Anexo 3

#### Precipitación lluviosa en la zona de Tumbaco año 2015

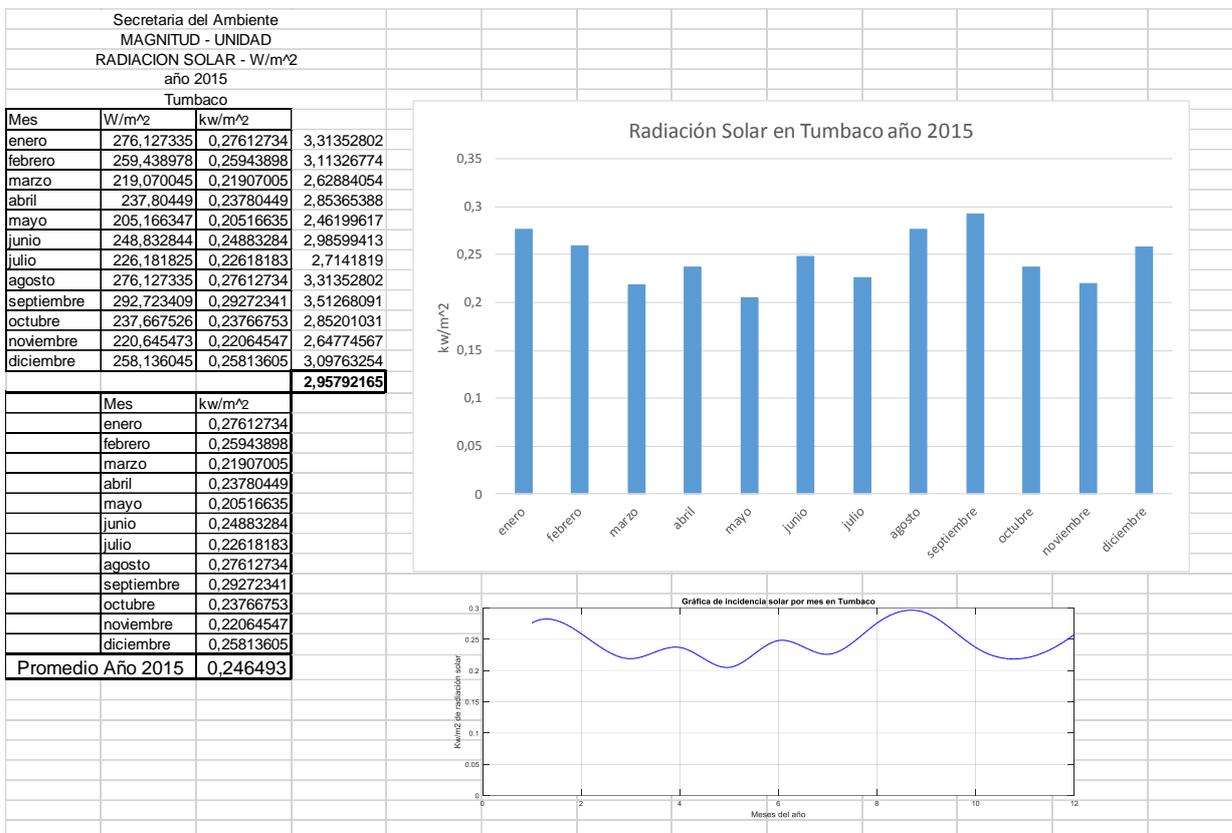
Secretaria del Ambiente		
Promedio Mes a Mes		
Desde el 01/01/2015 al 31/12/2015		
MAGNITUD - UNIDAD	mes	Tumbaco
PRECIPITACION - mm	enero	2,510
	febrero	4,071
	marzo	5,077
	abril	1,683
	mayo	1,000
	junio	0,497
	julio	0,519
	agosto	0,006
	septiembre	0,220
	octubre	4,165
	noviembre	1,943
	diciembre	0,087

1,815



## Anexo 4

### Radiación solar en la zona de Tumbaco para el año 2015

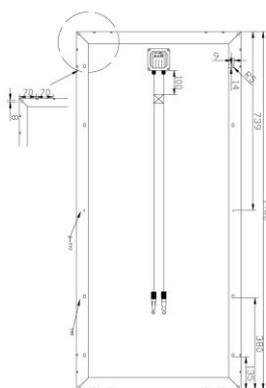


## Anexo 5

### Datos técnicos del panel solar



## SIMAX 156 Polycrystalline Solar Module (SP636-125W-145W)



### Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline silicon solar cell 156x156(mm)
No. of Cells	36(4x9)
Dimensions	1482x676x50(mm)
Weight	14kg
Front Glass	3.2mm(0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

### Output

Cable Type	$\Phi=4\text{mm}^2$
Lengths	L=900mm
Junction Box	PV-GZX0601 MC3 or MC4

### Temperature Coefficients

Nominal operating cell temperature(NOCT)	$45 \pm 2^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Pmax	$-0.39\%/^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Voc	$-0.34\%/^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Isc	$0.035\%/^\circ\text{C}$

## Electrical Specifications

Parameters	SP636-125	SP636-130	SP636-135	SP636-140	SP636-145
Peak power Pm(W)	125 $\pm$ 3%	130 $\pm$ 3%	135 $\pm$ 3%	140 $\pm$ 3%	145 $\pm$ 3%
Open circuit voltage Voc(V)	21.7	21.7	22.3	22.3	22.9
Max. power voltage Vmp(V)	17.7	17.5	18	18	18.5
Max. power current Imp(A)	7.14	7.43	7.5	7.78	7.84
Short circuit current Isc(A)	7.57	7.87	7.95	8.25	8.31
Dimensions(L*W*H)	1482*676*50				
Weight(kg)	14				
Max. over-current (A)	14				
Max. system voltage (V)	1000V DC				
Application Class	Class A				
Mono crystalline silicon solar cell	156x156*0.19mm				
No. of cells and connections	36 series				
No. of bypass diodes	6				
Bypass diode rating (A)	10				
Bypass diode max. junction temperature(°C)	200				
Bypass diode thermal resistance(°C/W)	3.0				
STC	Irradiance:1000W/m <sup>2</sup> , Cell temperature:25°C, AM:1.5				
Maximum No. of series connection	43				
Maximum No. of parallel connection	2				

### Calculo del VAN y TIR (proyecto paneles solares fotovoltaicos)

No	FNE	(1+i)^n	FNE/(1+i)^n			
0	-11660,16		-11660,16			Tasa interna de retorno
1	-257,54	112%	-230,30			tasa de descuento VAN
2	42,46	125%	33,95			5% \$24.209,05
3	642,46	140%	459,38			10% \$13.127,17
4	1542,46	156%	986,23			15% \$5.863,96
5	3042,46	175%	1739,53			20% \$988,39
6	4842,46	196%	2475,80			25% -\$2.357,10
7	6942,46	219%	3173,99			30% -\$4.699,57
8	9342,46	245%	3819,39			35% -\$6.370,63
9	12042,46	274%	4402,41			40% -\$7.583,45
10	15042,46	306%	4917,40			45% -\$8.477,83
		TOTAL	10117,62	VAN	\$ 10.117,62	50% -\$9.147,20
TASA DE DESCUENTO		11,83%				55% -\$9.655,08
NÚMERO DE PERIODOS		10				60% -\$10.045,35
FNE	Flujoneto de efectivo					

### Calculo del VAN y TIR (proyecto red pública)

No	FNE	(1+i)^n	FNE/(1+i)^n			
0	-16592,8		-16592,80			Tasa interna de retorno
1	-1376,32	112%	-1230,72			tasa de descuento VAN
2	-1076,32	125%	-860,64			5% \$10.637,55
3	-476,32	140%	-340,58			10% \$1.320,16
4	423,68	156%	270,90			15% -\$4.683,53
5	1923,68	175%	1099,87			20% -\$8.634,67
6	3723,68	196%	1903,81			25% -\$11.284,31
7	5823,68	219%	2662,50			30% -\$13.090,94
8	8223,68	245%	3362,02			35% -\$14.340,78
9	10923,68	274%	3993,41			40% -\$15.216,32
10	13923,68	306%	4551,67			45% -\$15.836,12
		TOTAL	-1180,56	VAN	\$ 1.180,56	50% -\$16.278,58
TASA DE DESCUENTO		11,83%				55% -\$16.596,43
NÚMERO DE PERIODOS		10				60% -\$16.825,65
FNE	Flujoneto de efectivo					