



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

TEMA:

**Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo
para aplicaciones en cultivos agrícolas**

AUTOR:

Estupiñán Muñoz, Miguel Ángel

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
**MAGISTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

TUTOR:

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, M. Sc.

Guayaquil, Ecuador

18 de noviembre del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Ing. **Estupiñán Muñoz, Miguel Ángel** como requerimiento para la obtención del Grado Académico de **MAGISTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

TUTOR

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, M. Sc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, M. Sc.

Guayaquil, a los 18 días del mes de noviembre del año 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Estupiñán Muñoz, Miguel Ángel**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas**” previo a la obtención del Grado Académico de **Magíster en Electricidad**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 18 días del mes de noviembre del año 2022

EL AUTOR

ESTUPIÑÁN MUÑOZ, MIGUEL ÁNGEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

AUTORIZACIÓN

Yo, **Estupiñán Muñoz, Miguel Ángel**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría: **“Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 18 días del mes de noviembre del año 2022

EL AUTOR

ESTUPIÑÁN MUÑOZ, MIGUEL ÁNGEL

REPORTE DE URKUND



Document Information

Analyzed document	Miguel Estupiñan - Tesis Final.docx (D143024277)
Submitted	8/17/2022 11:25:00 PM
Submitted by	
Submitter email	maestria.electricidad@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	celso.bohorquez.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / mettcriollo18082021.pdf Document mettcriollo18082021.pdf (D115987749) Submitted by: luva1962@hotmail.com Receiver: luis.vallejo.ucsg@analysis.orkund.com	4
SA	TESIS JOSE BARRERA 11-06-2019.docx Document TESIS JOSE BARRERA 11-06-2019.docx (D53731425)	1
SA	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / Tesis_David_Arrata.docx Document Tesis_David_Arrata.docx (D111393599) Submitted by: orlandophilco_7@hotmail.com Receiver: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com	1
SA	Tesis Gallo David - Quinteros David.docx Document Tesis Gallo David - Quinteros David.docx (D64606739)	1

Reporte Urkund del Trabajo de Titulación denominado “**Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas**” del Ingeniero **Estupiñan Muñoz Miguel Ángel**. Una vez efectuado el análisis antiplagio el resultado indica 3% de coincidencia.

Informe elaborado por:

f. _____
Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Msc.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Carmen y Agustín, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en el profesional que soy. Ha sido un orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanos Carlos y Diego por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mis hijos Samuel y Miguel que son mi mayor motivo de superación y de lucha para alcanzar todas mis metas.

A todas las personas que me han apoyado a mis amigos y compañeros que han hecho que el trabajo se realice con éxito y en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

EL AUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Estupiñán Muñoz', written over a horizontal line.

ESTUPIÑÁN MUÑOZ, MIGUEL ÁNGEL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Agustín Estupiñán y Carmen Muñoz, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a mis docentes de la Maestría, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial y al magister Bayardo Bohórquez tutor de mi proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

Agradezco a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil en donde he logrado adquirir todos mis conocimientos académicos desde los inicios de mi educación superior.

A mi tutor el Magister Bayardo Bohórquez quien ha puesto su tiempo, dedicación y conocimientos para poderme guiar durante todo mi aprendizaje

EL AUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Miguel Ángel Estupiñán Muñoz', written over a horizontal line.

ESTUPIÑÁN MUÑOZ, MIGUEL ÁNGEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

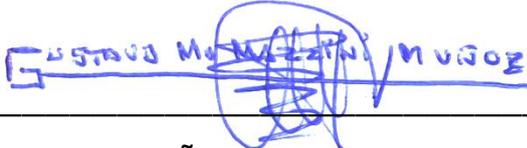
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.  _____

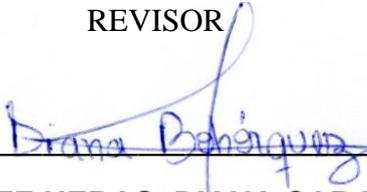
ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO, M. Sc.

TUTOR

f.  _____

ING. MAZZZINI MUÑOZ, GUSTAVO MIGUEL, M. Sc.

REVISOR

f.  _____

ING. BOHORQUEZ HERAS, DIANA CAROLINA, M. Sc.

REVISOR

f.  _____

ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO, M. Sc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Índice General

Resumen	XIV
Capítulo 1: Descripción General.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del Problema.	3
1.4. Justificación del Problema.	4
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.	4
1.5.1. Objetivo General.	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Diseño y Metodología de la Investigación.	5
Capítulo 2: Marco o Fundamento Teórico.....	7
2.1. Descripción general de energía.....	7
2.2. Tipos de energía.....	7
2.3. Recursos energéticos no renovables (combustibles de origen fósil).....	9
2.3.1. Carbón.....	10
2.3.2. Petróleo.....	10
2.3.3. Gas natural.....	10
2.3.4. Energía atómica (nuclear).....	11
2.4. Recursos energéticos renovables.	12
2.5. Energía solar.....	12
2.6. Historia de la energía fotovoltaica	13
2.7. Principio de conversión fotovoltaica.....	14
2.3.5. Células fotovoltaicas o células solares	15
Capítulo 3: Diagnostico, diseño y análisis de factibilidad.....	17
3.1. Sistemas de riego agrícola usando energía solar fotovoltaica.....	17
3.1.1. Áreas donde se utilizan sistemas fotovoltaicos	18

3.1.2.	Importancia de los sistemas fotovoltaicos para satisfacer la necesidad de agua de riego agrícola.....	19
3.1.3.	Característica de bombeo de agua asistida fotovoltaica.....	21
3.2.	Factores que afectan a las plantas en términos de requerimientos del sistema de riego agrícola.....	24
3.2.1.	Consumo de agua de las plantas por evapotranspiración.....	25
3.3.	Cálculo de las necesidades de agua en sistemas de riego.....	26
3.3.1.	Método Blaney-Criddle para la estimación del consumo de agua de la planta.....	26
3.3.2.	Cálculo del consumo de agua de cultivos agrícolas.....	27
3.4.	Análisis de recursos solares en Ecuador.....	31
3.5.	Análisis de factibilidad del sistema de riego usando energía solar fotovoltaica.....	33
3.5.1.	La economía como ciencia.....	33
3.5.2.	Métodos utilizados en el análisis económico.....	34
3.5.3.	Efecto inflación.....	35
3.5.4.	Análisis económico para sistemas fotovoltaicos.....	36
3.5.5.	Costo del ciclo de vida.....	38
3.5.6.	Costos del sistema fotovoltaico.....	39
3.6.	Análisis de resultados.....	41
3.6.1.	Implementación.....	42
3.6.2.	Cálculo y recopilación de datos meteorológicos en la ciudad de Riobamba.....	43
3.6.3.	Obtención del coeficiente de cosecha mensual.....	44
3.6.4.	Encontrar la necesidad de agua de riego de los tomates.....	44
3.6.5.	Selección de bomba.....	45
3.6.6.	Análisis de carga.....	47
3.6.7.	Selección de inversor.....	49
3.6.8.	Cálculo de la carga total.....	50

3.6.9. Determinación de la corriente y la pendiente del panel fotovoltaico.....	51
3.6.10. Tamaño de la batería.....	52
3.6.11. Cálculo de la capacidad requerida de la batería.....	54
3.6.12. Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos.....	55
3.6.13. Selección de la unidad de control de carga.....	57
3.6.14. Selección de inversor.....	58
3.6.15. Análisis económico.....	59
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES.....	63
Bibliografía.....	64

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Clasificación de la energía primaria y secundaria como recursos energéticos no renovables y renovables.	8
Figura 2. 2: Los recursos energéticos renovables y no renovables más relevantes.	9
Figura 2. 3: Tipos de tecnologías de la energía solar.	13
Figura 2. 4: Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica.	14
Figura 2. 5: Célula solar fotovoltaica monocristalina.	15
Figura 2. 6: Módulo de celdas solares fotovoltaica amorfa.	16
Figura 2. 7: Célula solar fotovoltaica orgánica.	16

Capítulo 3

Figura 3. 1: Almacenamiento de energía mediante provisión en tierra.	23
Figura 3. 2: Típico sistema de bombeo de agua fotovoltaico autónomo alimentado por batería y sus componentes.	23
Figura 3. 3: Explicación de evapotranspiración en plantas.	25
Figura 3. 4: mapa de recursos solares y del potencial eléctrico fotovoltaico en Ecuador durante el período 1999-2018.	31
Figura 3. 5: Cantidad de horas de radiación solar en Riobamba.	32
Figura 3. 6: Valores máximo y mínimo de temperatura en Riobamba.	33
Figura 3. 7: Coste de la electricidad producida a partir de energía solar fotovoltaica en Europa continental.	37
Figura 3. 8: Capacidad de potencia de energía solar fotovoltaica en el mundo.	37
Figura 3. 9: Esquemático del sistema de energía fotovoltaica en riego e iluminación agrícola.	43
Figura 3. 10: Panel solar fotovoltaico EGE-400M.	56
Figura 3. 11: Dispositivo de control de carga Conext MPPT 60 150.	58
Figura 3. 12: Dispositivo inversor de onda senoidal ZONHAN.	58

Índice de Tablas

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Duración de las fases de desarrollo y coeficientes de las plantas.	28
Tabla 3. 2: Duración de las fases de desarrollo y coeficientes de las plantas.	40
Tabla 3. 3: Datos meteorológico de la ciudad de Riobamba para el año 2022.	43
Tabla 3. 4: Coeficiente de planta promedio mensual y requerimiento de agua de planta para tomate.....	45
Tabla 3. 5: Bombas seleccionadas para diferentes necesidades de riego....	46
Tabla 3. 6: Voltajes recomendados en sistemas solares fotovoltaico.	49
Tabla 3. 7: Costos del sistema solar fotovoltaico para riego agrícola.	59
Tabla 3. 8: Costos del sistema asistido por generador para riego agrícola. .	60

Resumen

Este documento analiza el sistema de riego con energía solar fotovoltaica como estrategia para mejorar la sostenibilidad alimentaria en regiones rurales de la Sierra del Ecuador, y cuyo tema de titulación se denomina “Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas”. En el presente proyecto se describe las generalidades del trabajo de titulación mediante el uso de la energía fotovoltaica y las tecnologías básicas de este campo. En el capítulo 2, se presenta los fundamentos teóricos de la energía solar, el efecto fotovoltaico y la conversión, así como el principio de funcionamiento de una célula como elemento básico de este campo, para mostrar dónde y cómo se obtiene la electricidad de esta fuente. A continuación, el capítulo 3 se presenta el estudio del sistema de riego agrícola mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos y los diferentes parámetros que influyen en su comportamiento en la producción agrícola. Se ha comprobado que el sistema por riego de energía fotovoltaica aumenta significativamente tanto los ingresos que perciben las familias e incrementa considerablemente las aportaciones en materia de alimentos, especialmente durante la estación seca, y es rentable en comparación con otras tecnologías alternativas.

Palabras claves: Energía, Renovable, Fotovoltaica, Producción, Riego, Paneles

Abstract

This document analyzes the irrigation system with photovoltaic solar energy as a strategy to improve food sustainability in rural regions of the Sierra del Ecuador, and whose subject is called "Feasibility of implementing an autonomous photovoltaic system for applications in agricultural crops". This project describes the generalities of the titling work through the use of photovoltaic energy and the basic technologies of this field. In chapter 2, the theoretical foundations of solar energy, the photovoltaic effect and conversion are presented, as well as the operating principle of a cell as a basic element of this field, to show where and how electricity is obtained from this source. Next, chapter 3 presents the study of the agricultural irrigation system through the use of photovoltaic solar panels and the different parameters that influence its behavior in agricultural production. The photovoltaic irrigation system has been shown to significantly increase both household income and food intake, especially during the dry season, and is cost effective compared to alternative technologies.

Keywords: Energy, Renewable, Photovoltaic, Production, Irrigation, Panels

Capítulo 1: Descripción General

1.1. Introducción.

Las energías renovables, como la solar, la eólica y los biocombustibles, pueden desempeñar un papel clave en la creación de un futuro energético limpio y confiable (Correa Álvarez et al., 2016). Los beneficios son muchos y variados, incluido un medio ambiente más limpio. De acuerdo con Lucas Herguedas, (2012) la electricidad se produce a menudo mediante la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural.

La combustión de estos combustibles libera una variedad de contaminantes a la atmósfera, como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂) y óxido de nitrógeno (NO₂), que crean lluvia ácida y smog (Querol Carceller, 2018). El dióxido de carbono de la quema de combustibles fósiles es un componente importante de las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas emisiones podrían alterar significativamente el medio ambiente del mundo y contribuir al calentamiento global. (Ibárcena E. & Scheelje B., 2003)

La energía renovable, por otro lado, puede ser un recurso energético limpio. El uso de energías renovables para reemplazar los combustibles fósiles convencionales puede prevenir la liberación de contaminantes a la atmósfera y ayudar a combatir el calentamiento global (Lucas Herguedas, 2012). Por ejemplo, el uso de energía solar para abastecer de energía a un millón de hogares reduciría las emisiones de CO₂ en 4.3 millones de toneladas por año, el equivalente a retirar 850.000 coches de la carretera.

La energía renovable es la energía que proviene de recursos naturales como la luz solar, el viento, la lluvia, las mareas y el calor geotérmico, que son renovables (reposición natural). Ya para el año 2006, alrededor del 18% del consumo mundial de energía de combustibles provino de energías renovables, con un 13% proveniente de biomasa tradicional, que se utiliza principalmente para calefacción, y un 3% de energía hidroeléctrica.

Las nuevas energías renovables (pequeñas centrales hidroeléctricas, biomasa moderna, eólica, solar, geotérmica, biocombustibles) representaron otro 2.4% y están creciendo muy rápidamente. La proporción de energías renovables en los generadores de electricidad es de alrededor del 18%, con el 15% de la electricidad mundial procedente de la hidroelectricidad y el 3.4% de las nuevas energías renovables. Por lo tanto, este trabajo de titulación describe algunas aplicaciones de las tecnologías de energía solar utilizadas en la agricultura.

1.2. Antecedentes.

El aumento de la población mundial y el consumo de energía ha llevado a los investigadores y científicos a proporcionar una cantidad suficiente de tecnología alimentaria y energética mediante el uso de fuentes alternativas. Además, los cambios climáticos y la escasez de recursos hídricos en sistemas de riego agrícola y también revelan que el cultivo protegido en invernaderos se ha convertido en la forma preferida de desarrollar el sector agrícola.

Los sistemas de riego por goteo o aspersión en el sector agrícola y así como el de la producción de invernadero se llevan a cabo aprovechando un clima favorable (temperatura del aire, humedad relativa e iluminación) manteniendo el costo operativo al mínimo. Los sistemas de riego, calefacción y refrigeración son tres de los principales costes implicados en la producción agrícola. Tanto, el sistema de riego como la calefacción generalmente se proporciona mediante la quema de combustibles fósiles (diésel, petróleo, petróleo líquido, gas) que aumentan la emisión de dióxido de carbono (CO₂), o mediante el uso del sistema eléctrico, que consumen más energía.

1.3. Definición del Problema.

Los sistemas de riego por goteo o aspersión con energía fotovoltaica (o solar) combinan la eficiencia del riego por goteo o aspersión con la fiabilidad de una bomba de agua con energía solar. Al igual que con cualquier bomba de agua, las bombas solares ahorran trabajo en las zonas rurales sin conexión a la red, donde el acarreo de agua lo hacen tradicionalmente a mano los hombres, mujeres, y niños.

1.4. Justificación del Problema.

Pueden implantarse en una configuración de fácil mantenimiento y acoplamiento directo (sin baterías), evitando así uno de los principales escollos del uso de la energía fotovoltaica (FV) en el mundo en desarrollo (20). Aunque los sistemas fotovoltaicos a menudo se descartan por sus elevados costes iniciales, tienen una larga vida útil y, a medio plazo, cuestan menos que los sistemas de bombeo basados en combustibles líquidos, sobre todo en zonas donde el acceso estable a los combustibles es limitado.

En el sistema de riego de energía fotovoltaica, un panel fotovoltaico acciona una bomba (de superficie o sumergible, dependiendo de la fuente de agua) que alimenta el agua a un depósito. A continuación, el depósito distribuye el agua por gravedad a un sistema de riego por goteo de baja presión o por aspersión. El sistema puede o no utilizar baterías. La bomba sólo funciona durante el día, y el almacenamiento de energía está en la altura de la columna de agua del depósito.

El dimensionamiento de las bombas, los depósitos y los campos se realiza en función de la disponibilidad de agua y las necesidades locales de evapotranspiración. El sistema se autorregula de forma pasiva. dado que la radiación solar es el principal impulsor tanto de la velocidad de las bombas como de la evapotranspiración, el volumen de agua bombeada aumenta en los días claros y calurosos, cuando las plantas necesitan más agua, y viceversa.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Realizar el estudio de factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Describir la fundamentación teórica de los sistemas de energías no renovables, renovables y de paneles fotovoltaicos.

- Diseñar la propuesta de implementación del sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas.
- Analizar la factibilidad de la implementación del sistema fotovoltaico autónomo en cultivos agrícolas.

1.6. Diseño y Metodología de la Investigación.

Hay mucho en qué pensar y muchas decisiones que tomar a medida que comienza a definir su pregunta de investigación y su proyecto de investigación. Otra cosa que deberá considerar en las primeras etapas es, si su investigación será exploratoria, descriptiva o explicativa. Cada uno de estos tipos de investigación tiene un objetivo o propósito diferente, por lo tanto, la forma en que diseñe el proyecto de investigación estará determinada en parte por esta decisión. En los siguientes párrafos se verá estos tres tipos de investigación.

Investigación exploratoria: los investigadores que realizan investigaciones exploratorias se encuentran normalmente en las primeras etapas del examen de sus temas. Este tipo de proyectos generalmente se llevan a cabo cuando un investigador desea probar la viabilidad de realizar un estudio más extenso; él o ella quiere averiguar la disposición del terreno con respecto al tema en particular. Quizás se haya realizado muy poca investigación previa sobre este tema. Si este es el caso, un investigador puede desear hacer un trabajo exploratorio para aprender qué método usar para recolectar datos, cuál es la mejor manera de acercarse a los participantes de la investigación o incluso qué tipo de preguntas es razonable hacer. Un investigador que desee simplemente satisfacer su propia curiosidad sobre un tema también podría realizar una investigación exploratoria. La realización de una investigación exploratoria sobre un tema suele ser un primer paso necesario, tanto para satisfacer la curiosidad del investigador sobre el tema como para comprender mejor el fenómeno y los participantes de la investigación a fin de diseñar un estudio posterior más amplio.

Investigación descriptiva: a veces, el objetivo de la investigación es describir o definir un fenómeno en particular. En este caso, la investigación

descriptiva sería una estrategia adecuada. Un descriptivo puede, por ejemplo, tener como objetivo describir un patrón. Por ejemplo, los investigadores a menudo recopilan información para describir algo en beneficio del público en general. Los investigadores de mercado se basan en la investigación descriptiva para decirles lo que piensan los consumidores de sus productos. De hecho, la investigación descriptiva tiene muchas aplicaciones útiles y probablemente confíe en los hallazgos de la investigación descriptiva sin siquiera darse cuenta de que eso es lo que está haciendo.

Investigación explicativa: el tercer tipo de investigación, la investigación explicativa, busca responder preguntas de "por qué". En este caso, el investigador está tratando de identificar las causas y efectos de cualquier fenómeno que se esté estudiando. Un estudio explicativo de las adicciones de los estudiantes universitarios a sus aparatos electrónicos, por ejemplo, podría tener como objetivo comprender por qué los estudiantes se vuelven adictos. ¿Tiene algo que ver con sus historias familiares? ¿Tiene algo que ver con sus otros pasatiempos y actividades extracurriculares? ¿Tiene algo que ver con las personas con las que pasan su tiempo? Un estudio explicativo podría responder a este tipo de preguntas.

De acuerdo con las definiciones presentas, se deduce que el presente trabajo de titulación utiliza los tres tipos de investigación exploratoria, descriptiva y explicativa. Las mismas que se desarrollarán en los capítulos 2 y 3.

Capítulo 2: Marco o Fundamento Teórico

En el presente capítulo se presenta los fundamentos teóricos de energías no renovables y renovables.

2.1. Descripción general de energía.

Energía en la ciencia; esencialmente, se clasifica como energía potencial, cinética y mecánica. En esta clasificación, la energía potencial surge de un objeto que se encuentra en su ubicación real. La energía generada por el movimiento del objeto es energía cinética, la misma que al impulsar un mecanismo se convierte en energía mecánica. Por ejemplo, el agua sin gas es energía potencial, el agua que fluye es energía cinética, la generación de electricidad al hacer funcionar una turbina es energía mecánica. (Melendi, 2020)

El concepto de energía ha tenido un lugar importante después de la Revolución Industrial y seguirá siéndolo. Cuando se combinan el peligro de agotamiento de los recursos energéticos existentes y los daños causados por fuentes de energía no renovables como el petróleo de origen fósil, el carbón y la energía nuclear, la humanidad ha recurrido a producir y utilizar recursos de energía renovable a partir de recursos existentes y disponibles presionando los límites de la tecnología. (Campos, 2011)

Además de satisfacer las crecientes necesidades de la población en la producción de energía, la energía es un factor de producción necesario en la producción y es uno de los indicadores básicos que refleja el potencial de desarrollo económico y social de un país. Se puede decir que la energía es un insumo necesario para el desarrollo en este sentido. (Barragán-Escandón et al., 2019)

2.2. Tipos de energía

Para Fontaine et al., (2003) la mayor parte de la energía necesaria en todo el mundo desde el pasado hasta el presente son recursos fósiles; está cubierto por carbón, petróleo y gas natural. Sin embargo, con la crisis petrolera

en la década de los años 70, surgió el problema de la confianza en estas fuentes de energía. Después de esta crisis, los países del mundo se han orientado hacia nuevas fuentes de energía. Además, el hecho de que los recursos fósiles generen contaminación ambiental ha permitido acelerar esta búsqueda.

Las fuentes de energía primaria (véase la figura 2.1) son aquellos recursos energéticos que se pueden consumir directamente como el petróleo, el gas natural, el carbón y la madera. Las fuentes de energía secundarias son el nombre de la energía que se ha convertido a partir de una fuente de energía. Entonces; la energía eléctrica convertida a partir de fuentes de energía primaria como el carbón, el petróleo, el gas natural y el viento es un ejemplo de fuente de energía secundaria (véase la figura 2.1). (Watt, 2021)

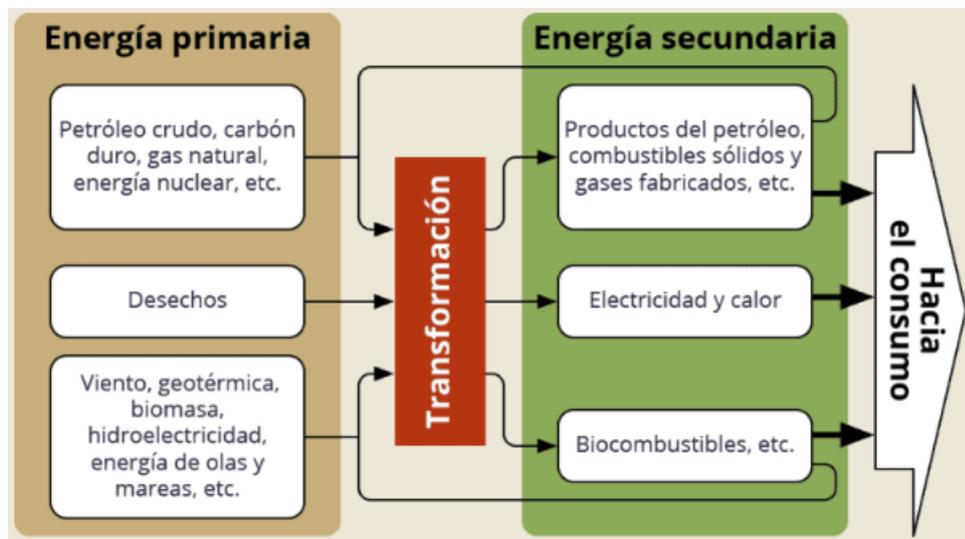


Figura 2. 1: Clasificación de la energía primaria y secundaria como recursos energéticos no renovables y renovables.

Fuente: (Watt, 2021)

En la figura 2.2 se muestra en resumen la clasificación de fuentes de energía renovables y no renovables más importantes. A continuación, se enumeran cada uno de los recursos energéticos no renovables y renovables:

1. Recursos energéticos no renovables (combustibles de origen fósil):
 - a. Carbón
 - b. Petróleo
 - c. Gas natural
 - d. Energía atómica (nuclear)

2. Fuentes de energía renovables:
 - a. Energía eólica
 - b. Energía solar
 - c. Energía de biomasa
 - d. Energía hidroeléctrica (hidráulica)
 - e. Energía geotérmica
 - f. Energía de hidrógeno}
 - g. Energía de las olas y las mareas



Figura 2. 2: Los recursos energéticos renovables y no renovables más relevantes.
Fuente: (Remica, 2016)

2.3. Recursos energéticos no renovables (combustibles de origen fósil)

El tipo de energía más necesaria en el mundo en este momento son los combustibles fósiles que se incluyen en el grupo de las energías no renovables. Sin embargo, estos recursos no se pueden producir de forma continua y deben pasar muchos años antes de que se vuelvan a formar. Dado que estos recursos son particularmente escasos, son de importancia estratégica para los países donde se concentran. Por lo tanto, los países establecen diversas regulaciones con respecto a su producción y consumo.

Los combustibles fósiles contaminan el aire y afectan negativamente a la salud humana, especialmente en invierno. Además, los recursos fósiles quemados en las centrales térmicas se mezclan con la atmósfera y dañan la naturaleza e indirectamente la salud humana en forma de lluvia ácida.

2.3.1. Carbón.

El hecho de que sea más alto en el mundo en comparación con otros combustibles fósiles lo hace más preferido en su uso. El carbón libera energía al quemarse y hay dos tipos de ellos conocidos como la hulla y el coque. El carbón se utiliza principalmente en la generación de energía en el campo de la electricidad y para proporcionar calor en los hogares y la industria.

La producción de electricidad a partir del carbón se realiza a través de centrales térmicas. Las centrales térmicas funcionan en forma de generación de vapor calentando agua con la energía térmica generada por la quema de combustibles fósiles y generando energía eléctrica operando generadores eléctricos con vapor.

Según las investigaciones del World Energy Council; las reservas de carbón procesable en el mundo suman 892 mil millones de toneladas. Aunque las reservas de carbón se calculan en 1261 mil millones de toneladas a 2018, cuando se toma en cuenta la producción total de carbón en 2021, se calcula que las reservas totales de carbón tienen una vida útil de aproximadamente 110 años.

2.3.2. Petróleo.

El petróleo es un compuesto muy complejo que consta principalmente de hidrógeno y carbono y que contiene pequeñas cantidades de nitrógeno, oxígeno y azufre. Se puede encontrar en estado sólido, líquido y gaseoso. El petróleo se formó como resultado de la fosilización de plantas y animales durante muchos años. Con el desarrollo de la tecnología, el petróleo se extrae del subsuelo a través de pozos de petróleo perforados mediante perforación. El petróleo ha jugado papeles estratégicos muy importantes en la historia del desarrollo económico de los países en el período del pasado al presente. También se utiliza en industria, vivienda, transporte e incluso cosmética.

2.3.3. Gas natural

El gas natural es un derivado del petróleo. Es un gas inflamable, más ligero que el aire, incoloro e inodoro. El gas natural, que se puede utilizar sin

ningún proceso ya que se extrae de su fuente, se transporta por gasoductos o cisternas licuadas. El gas natural, es el combustible fósil más limpio del siglo XXI, se utiliza en la generación de electricidad, la industria y para calefacción y cocina en los hogares.

Se realizan estudios de exploración y desarrollo para la creciente demanda de gas natural. Especialmente en los últimos años, gracias a los crecientes desarrollos tecnológicos, se realizan estudios de exploración en los mares. No requiere costos muy altos en términos de almacenamiento y transporte de gas natural. Por lo tanto, tiene una posición más ventajosa en comparación con otros combustibles fósiles en términos de costos.

2.3.4. Energía atómica (nuclear)

La energía nuclear es la energía liberada como resultado de la descomposición de grandes átomos como el uranio y el torio o la combinación de pequeños átomos y se produce en las centrales nucleares. Como en otros desarrollos tecnológicos, los estudios que se iniciaron primero en el campo de la defensa militar fueron efectivos en el campo comercial. Su objetivo es desarrollar sistemas que conviertan la energía térmica liberada como resultado de la fragmentación de átomos con energía nuclear en energía eléctrica.

Si bien es una ventaja que la energía nuclear no causa contaminación ambiental, la radiación que pueden emitir las centrales nucleares plantea serias amenazas para todos los seres vivos. En 1996, 437 plantas de energía nuclear en varios países estaban operando activamente. Cuando se evalúa en términos de impactos ambientales, se determina que los residuos que generará la energía nuclear en 40-50 años será de aproximadamente 200 metros cúbicos. Cuando se compara este valor con 1 año, la cifra resultante es de aproximadamente 4-5 m³. Si se lo compara con otra fuente de energía, la energía de biomasa, los residuos biológicos provocados por las fuentes que componen la energía de biomasa tienen un valor de aproximadamente 2% anual, este valor es igual a 0,02 m³. Esta situación nos indica que la energía de la biomasa genera menos residuos anualmente que la energía nuclear.

2.4. Recursos energéticos renovables.

Considerando el hecho de que los combustibles fósiles ocupan un lugar muy importante en el proceso del pasado al presente, así como el hecho de que estos recursos se están agotando rápidamente debido a sus escasos recursos, las fuentes de energía renovable, que son mucho más sensibles al medio ambiente fuentes fósiles o fuentes de energía limpia aumentaron el interés y la demanda. La energía procedente de la naturaleza se pasa a través de los procesos técnicos necesarios y se aporta energía renovable. Por ejemplo, en el trabajo de García et al., (2016) se presenta los recursos y sistemas energéticos renovables del entorno marino.

Hoy en día, la explotación de las energías renovables se ha hecho posible gracias a las nuevas tecnologías, estas energías son energías disponibles en cantidades ilimitadas en la tierra con diferentes fuentes como: hidroeléctrica, biomasa, eólica, solar y geotérmica. La energía solar es una energía que está disponible en todas partes, no contamina y nunca se agota. Gracias al desarrollo de los semiconductores, la producción de electricidad a partir de esta fuente probablemente sea factible para varias y diferentes aplicaciones.

La palabra "fotovoltaica" proviene del griego "foto" que significa luz y "voltaica" que tiene su origen en el nombre de un físico italiano Alessandro Volta (1754 -1827), quien contribuyó mucho al descubrimiento de la electricidad, luego la palabra fotovoltaica literalmente significa luz-electricidad. En esta sección, se presentan las generalidades sobre las nociones de fotovoltaica.

2.5. Energía solar.

La energía solar está disponible en grandes cantidades y abundantes en el planeta tierra, es una energía importante y alternativa frente a otras fuentes de energía renovable, gracias a su principio que se basa en la transformación de la radiación solar en energía eléctrica. Esta energía está disponible los días y está ausente las noches y los días de mal tiempo, lo que se denomina energía intermitente. Es decir, que la energía solar puede transformarse en

dos formas diferentes de energía, tal como se muestra en la figura 2.3. Las dos formas de energía que se pueden extraer de la energía solar son:

- a. energía térmica debida a una conversión de la energía solar en calor.
- b. energía eléctrica debido a una conversión de la energía solar en electricidad.

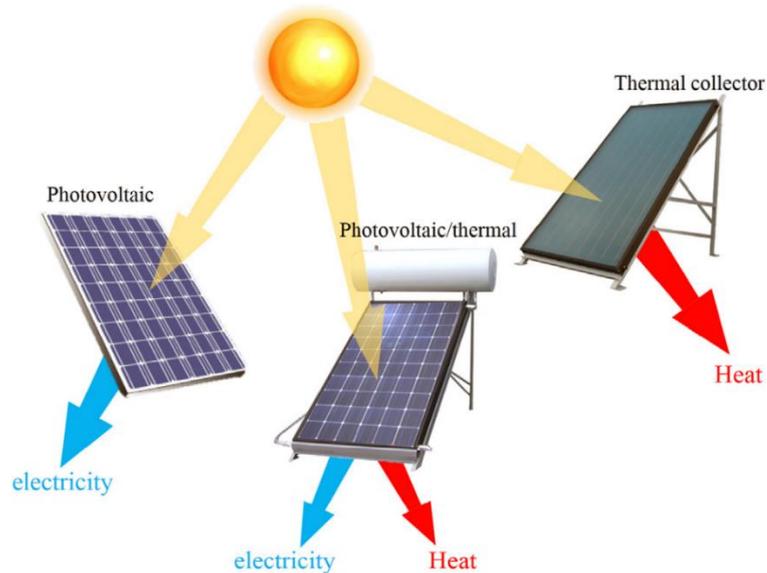


Figura 2. 3: Tipos de tecnologías de la energía solar.

Fuente: (Yazdanifard & Ameri, 2018)

2.6. Historia de la energía fotovoltaica

Esta sección presenta la historia de la energía fotovoltaica, que demuestra que el uso de esta energía es muy antiguo.

- 1839: el físico francés Edmond Becquerel descubre el efecto fotovoltaico.
- 1875: Werner Von Siemens presenta un documento sobre el efecto fotovoltaico a la Academia de Ciencias de Berlín.
- 1954: tres investigadores estadounidenses, Chapin, Pearson y Prince, producen una célula fotovoltaica.
- 1958: se desarrolla una célula solar con una eficiencia del 9%. Los primeros satélites alimentados por células solares se envían al espacio en la década de 1960.
- 1973: se construye la primera casa alimentada por células fotovoltaicas en la Universidad de Delaware.
- 1983: el primer coche impulsado por energía fotovoltaica recorre 4000 km en Australia.

- 2013: la producción mundial de módulos fotovoltaicos superó los 5 MW en 1982 con 18 GW.
- 2013: el grupo argelino Condor Électronique, lanza la producción de paneles fotovoltaicos con potencias que van de 70 W a 285 W.
- 2019: la producción de energía fotovoltaica está disponible para la industria, empresas y particulares, incluidas las aplicaciones domésticas.

2.7. Principio de conversión fotovoltaica.

El voltaje máximo de la célula es de unos 0.6 V. Se trata del voltaje en circuito abierto (V_{oc}) y la corriente máxima es la corriente de cortocircuito (I_{sc}). La figura 2.4 muestra el principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica.

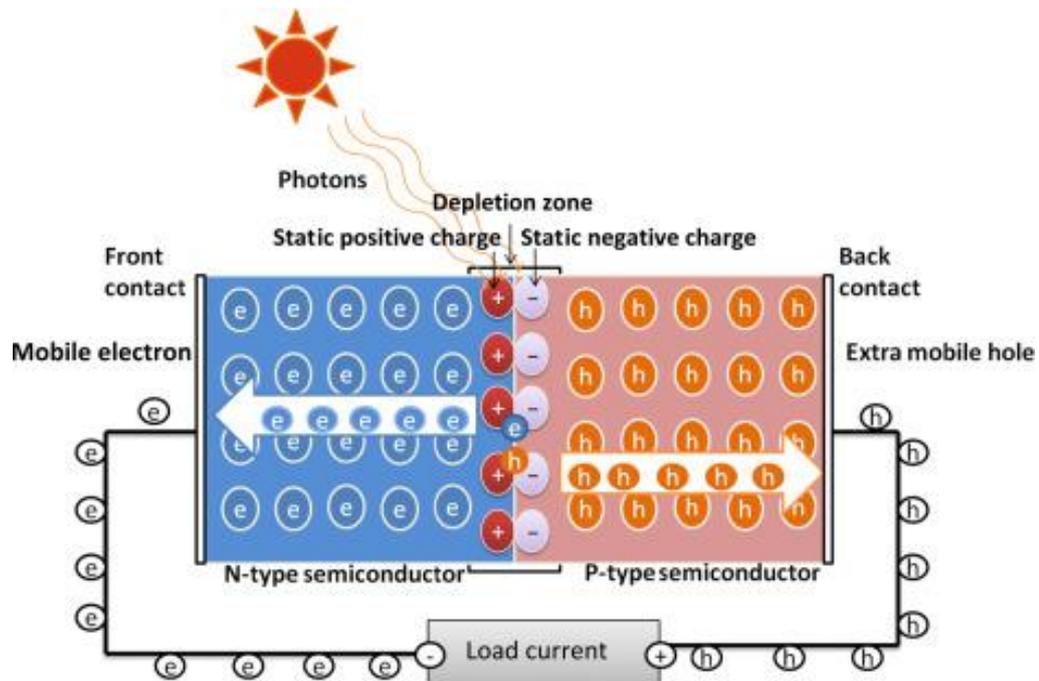


Figura 2. 4: Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica.
Fuente: (Mustansar Hussain, 2018)

Una célula fotovoltaica se compone de dos capas superpuestas de silicio, una de ellas dopada con Boro que carece de un electrón en su última capa, es decir, una carga positiva P (agujeros), y la otra dopada con Fósforo que contiene un electrón adicional en su última capa, es decir, una carga negativa N (electrones), cuando la luz incide en la superficie de la célula, los electrones y los huecos se mueven para poder combinarse entre sí, este movimiento crea una zona llamada unión PN con una diferencia de potencial

eléctrico entre la zona N y la zona P, acompañada de un campo eléctrico que sirve para separar las cargas positivas y negativas, de manera que los electrones buscan combinarse con los huecos, se ven obligados a pasar por el circuito externo que genera una corriente eléctrica.

2.3.5. Células fotovoltaicas o células solares

Las células fotovoltaicas son elementos semiconductores y son la base de la transformación fotovoltaica, actualmente existen varios tipos de células que se fabrican posteriormente a partir de diferentes materiales semiconductores como: silicio (Si), sulfuro de cadmio (Cds), arseniuro de galio (GaAs), telurio de cadmio (CdTe), germanio (Ge) y fósforo de indio (InP).

a. Células monocristalinas

Las células monocristalinas son las células de primera generación, generalmente son de color azul uniforme y están hechas de silicio cristalizado, como se muestra en la figura 2.5. Tienen un rendimiento muy bueno del 12-16% y una larga vida útil de más de 30 años, pero su coste es relativamente muy alto en relación con otros tipos de células solares fotovoltaicas.



Figura 2. 5: Célula solar fotovoltaica monocristalina.
Fuente: (Mustansar Hussain, 2018)

b. Células amorfas

La figura 2.6 muestra un ejemplo de células amorfas, que son las células de segunda generación; estas células tienen capas muy finas de silicio, lo que hace que su eficiencia sea muy baja en comparación con otras, del 6 al 10%, con una vida útil limitada +/- 10 años. A menudo se encuentran en calculadoras y relojes solares.



Figura 2. 6: Módulo de celdas solares fotovoltaica amorfa.
Fuente: (Mouatasim & Darmane, 2018)

c. Células de colorante y orgánicas

Esta tercera generación apareció alrededor de la década de 1990 y se encuentra generalmente en la electrónica de baja potencia como: Reproductores de MP3, calculadoras y cargadores portátiles, etc. Esta categoría se caracteriza por su producción (rollo a rollo), con esta generación se reducen los precios de los paneles fotovoltaicos, la figura 2.7 ilustra la célula solar fotovoltaica orgánica.

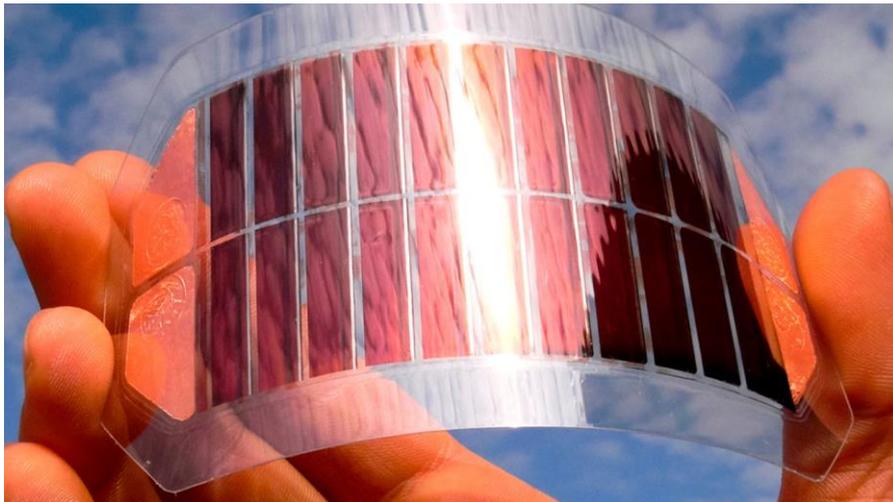


Figura 2. 7: Célula solar fotovoltaica orgánica.
Fuente: (Güizado R. & Rangel A., 2020)

Capítulo3: Diagnostico, diseño y análisis de factibilidad.

3.1. Sistemas de riego agrícola usando energía solar fotovoltaica.

El propósito principal de los sistemas fotovoltaicos es aliviar al máximo la dependencia de las fuentes de energía no renovables. En países en desarrollo como Ecuador, que dependen de fuentes de energía convencionales para sus necesidades energéticas, satisfacer la necesidad con fuentes de energía renovables es muy importante para reducir los déficits de corriente y prevenir la salida neta de recursos.

Los países en desarrollo, que han avanzado en estos temas, han pasado a primer plano de los países en situaciones similares y han comenzado a desarrollarse más rápidamente. El ejemplo más evidente a este respecto es Brasil. Brasil ha conectado el combustible que utiliza, especialmente en vehículos, a fuentes producidas en plantas como el etanol. De esta manera, la salida de divisas y recursos del país, que en otro tiempo fue muy grande (debido a las importaciones de materias primas), se detuvo y con el tiempo se convirtió en un superávit.

Así, la situación económica del país se volvió más estable en respuesta a la actual crisis económica mundial. Ecuador puede seguir un camino similar y avanzar hacia la plena independencia económica y el rápido crecimiento. La condición más importante para esto es satisfacer la necesidad de energía desde el interior, no desde el exterior. Ecuador es muy rico en recursos energéticos renovables. Es uno de los tres primeros países con mayor potencial de América del Sur, especialmente en energía solar. El uso eficiente de este recurso aliviará a los usuarios individuales y contribuirá indirectamente a la economía del país.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas de una determinada región, la satisfacción de las necesidades de agua de una planta previamente determinada con apoyo solar es el tema principal de la tesis. El soporte solar fue proporcionado por el sistema fotovoltaico y se aseguró el funcionamiento regular del sistema, primero se explicaron en detalle los parámetros y

variables definidos y luego se ordenaron de forma adecuada y se adaptaron a la aplicación a dar.

3.1.1. Áreas donde se utilizan sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos se pueden utilizar en todas las áreas donde se necesita energía. Estos sistemas pueden reducir el precio que paga el usuario por la electricidad, dependiendo de la red de las casas. Esta forma de uso se practica y fomenta en muchos países. Los países desarrollados compran la electricidad obtenida por estos sistemas, que se denominan en particular sistemas de red, con una garantía de precio superior (como incentivo) y la entregan a la red principal de distribución.

Aunque los sistemas en red se utilizan generalmente para satisfacer las necesidades de carga doméstica, se utilizan en sistemas independientes en algunos lugares. Se utilizan especialmente en lugares donde existe una necesidad constante y regular (no afectada por efectos externos como cortes de energía) y en situaciones donde la electricidad no se puede obtener de la red o es costoso (inútil) conseguirla.

La otra forma de uso son los sistemas conectados directamente. Los tres de estos sistemas pueden responder a cualquier requisito de carga que pueda ocurrir. Por esta razón, han encontrado la oportunidad de ser ampliamente utilizados en muchos campos diferentes. Las más habituales y conocidas son las aplicaciones destinadas a satisfacer la necesidad de agua. Los datos del Energy and Power Research Institute (EPRI) de EE. UU. Para 1990 muestran que hay una rápida transición del uso de la red eléctrica al sistema fotovoltaico en granjas con un consumo anual de agua de aproximadamente 300 mil millones de litros por año, distribuidos en 15 estados.

La energía eléctrica consumida en aplicaciones de riego se encuentra en niveles muy graves en Ecuador, que tiene una estructura económica basada en la agricultura. Estos tipos de aplicaciones se establecieron especialmente en EE. UU. Con el fin de satisfacer la necesidad de riego de

granjas y campos con la inversión más barata gracias a la energía solar directa o un sistema híbrido.

3.1.2. Importancia de los sistemas fotovoltaicos para satisfacer la necesidad de agua de riego agrícola.

La población mundial aumenta rápidamente, mientras que el agua utilizable disminuye cada año. Sin duda, el mayor responsable de esto es la contaminación de la naturaleza y el consumo inconsciente de agua. Por ejemplo, todo combustible no renovable utilizado contamina el medio ambiente y provoca que el efecto invernadero se deteriore como resultado del calentamiento global.

Por esta razón, nuestro mundo deja de ser un lugar habitable cada año. Para que nuestra humanidad continúe su vida, deben considerarse medidas al respecto lo antes posible y sin demora. En resumen, se deben utilizar los recursos que se tienen de la manera más eficiente y económica posible. Teniendo en cuenta que hay millones de personas que necesitan agua, será beneficioso en todos los sentidos si se actúa con moderación para satisfacer todo tipo de necesidades de agua.

El agua se consume más con fines agrícolas en los países que dependen en cierta medida de la agricultura. Lo importante en este consumo es dar tanto agua como la necesidad neta del suelo. El riego excesivo no solo hará que el suelo sea improductivo, sino que también violará los derechos de agua de otros. Está claro que el riego medido proporciona productos más eficientes. Por tanto, se obtienen tanta eficiencia como beneficios reduciendo el consumo de agua.

Cumplir con el requisito de carga del sistema de bombeo establecido para cumplir con estos y otros propósitos similares con energía solar se denomina bombeo de agua solar. Este sistema ha encontrado un uso generalizado en todo el mundo y se basa en satisfacer las necesidades de electricidad de los sistemas fotovoltaicos.

Teniendo en cuenta que la participación de la energía eléctrica consumida para riego en el consumo total en regiones donde las prácticas agrícolas son intensas está entre el 20% y 40%, incluso en el centro de las ciudades, se puede entender fácilmente la utilidad de este sistema, que está cubierto por el sol, puede ser para satisfacer las necesidades energéticas. Los beneficios más importantes de estos sistemas son:

- ❖ Cuota de mantenimiento reducida
- ❖ No trae contaminación
- ❖ Fácil instalación y uso.
- ❖ Fiabilidad y continuidad
- ❖ Menor exposición a influencias externas.
- ❖ Respondiendo a los requisitos de carga con exactamente la capacidad adecuada

Por todas estas ventajas, hoy en día, entre las aplicaciones donde los sistemas fotovoltaicos son los más preferidos como fuente de energía, no cabe duda de que cubren la necesidad de agua (sistemas de bombeo de agua). El bombeo de agua del sistema de energía fotovoltaica se puede utilizar de manera económica, especialmente en áreas rurales que no están conectadas a la red de agua y electricidad de la ciudad, para suministrar agua de pozos o canales o para distribuir agua de canales de riego en tierras agrícolas. Porque el costo de inversión inicial debido a la construcción de nuevas líneas de energía a tales regiones suele alcanzar montos muy elevados.

Las áreas agrícolas generalizadas en Ecuador se encuentran generalmente en áreas rurales. La distribución de agua desde un tomacorriente fijo, ríos o canales de riego a todas las partes de la tierra en áreas extensas, como tierras agrícolas, requiere una disposición de cables adicional. La red de distribución principal, que se lleva a esta área en cierta cantidad para fines de riego, puede causar pérdidas de electricidad extremadamente grandes y un aumento de costos.

La magnitud de las pérdidas puede representar una enorme carga financiera para el usuario agrícola y el estado. Lo más importante es que la energía eléctrica consumida durante el período de riego y obtenida con fuentes de energía no renovables, que generalmente está al borde del agotamiento, se utiliza a un costo muy elevado. La desventaja más importante son los elevados costes de inversión inicial.

3.1.3. Característica de bombeo de agua asistida fotovoltaica

Al diseñar estos sistemas, el primer parámetro que se debe conocer es la determinación del requerimiento de agua. Si el sistema está diseñado para satisfacer las necesidades de agua potable y de servicios públicos, el consumo promedio por persona en el área de uso se toma de los estudios debidamente preparados. Este valor se calcula por el número de personas y se encuentra el requerimiento neto promedio de agua y el cálculo se realiza en consecuencia.

De igual manera, en los métodos aplicados en las granjas, se calcula a partir de las cantidades estándar según el número de animales. En uso agrícola, los cálculos son un poco más complicados. Hay algunos métodos de uso común en la literatura para calcular esta necesidad. Los más comunes son; **(a)** método de la ecuación de Penman-Monteith de la FAO (método recomendado por la FAO), que es muy complejo y se resuelve con el apoyo del programa y por intervalos de tiempo cortos, aunque brinda resultados más precisos y relativamente simple, **(b)** método de Breenell Criddle, que son fáciles de usar, ya que emplean intervalos de tiempo prolongados y datos climáticos.

Según Güven y Şenol (2005), la bomba se selecciona de acuerdo con la necesidad que se va a determinar utilizando estos métodos y se realiza el dimensionamiento. Sin embargo, otro factor a considerar al hacer esto es si el recurso responderá a esta necesidad en el peor de los casos. Si el suministro de agua es insuficiente, se debe buscar apoyo adicional o se debe reducir el área a regar. En este caso, el agua de manantial se puede utilizar de manera

más eficiente (frugal) prefiriendo los métodos de riego por aspersión y goteo, que también son métodos de riego económicos.

Las desventajas más importantes de estos métodos son los altos costos de instalación, la necesidad de mantenimiento y control regulares, la necesidad de paneles más grandes, las unidades utilizadas para el almacenamiento y la dificultad del control del sistema. Entre estas desventajas, otro factor que incrementa los costos junto con el método de riego es la necesidad de almacenamiento. Como señaló Eker (2005), si el sistema a utilizar se desea para cubrir la necesidad de agua en cualquier momento, inevitablemente se utilizan métodos de almacenamiento.

Normalmente se utilizan dos métodos para almacenar la energía obtenida de los sistemas fotovoltaicos. El primero de ellos es inundar el tanque físico en el lugar alto y llevar agua a los lugares muy bajos haciendo uso de su energía potencial. El segundo es el método de almacenamiento que permite almacenar químicamente la energía obtenida y utilizarla en cualquier momento deseado. Aunque el almacenamiento se realiza principalmente mediante baterías, también hay relativamente pocas aplicaciones de almacenamiento de hidrógeno.

Si bien el uso de baterías hace que el sistema sea más confiable, eficiente, organizado y útil, aumenta los costos considerablemente. Por este motivo, se evitan las baterías en los sistemas fotovoltaicos. Cuando la batería no está en uso y no hay sol, se necesitan tanques altos para satisfacer las necesidades de agua. Cuando el sol está presente, el agua bombeada al tanque disminuye con el efecto de su potencial (la energía potencial debe vencer la fricción de la tubería). Estos tanques y tuberías aumentan los costos. Además, los almacenes altos se pueden utilizar de acuerdo con la estructura física del entorno (véase la figura 3.2). Puede que no todos sean adecuados. En tales lugares, el uso de baterías es obligatorio siempre que requiera de mayor carga para el almacenamiento de agua que permita el riego por goteo o aspersión en el cultivo agrícola.

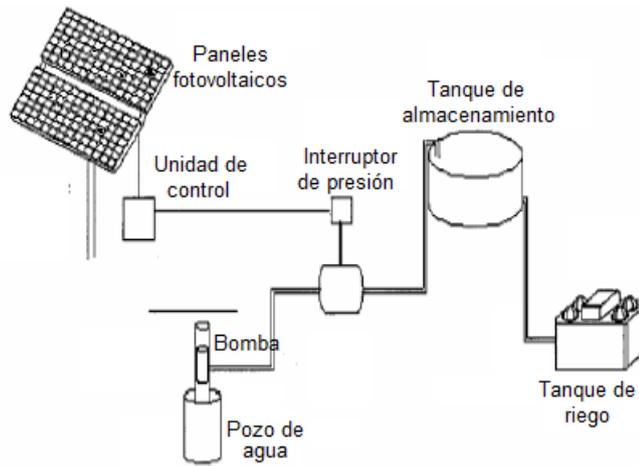


Figura 3. 1: Almacenamiento de energía mediante provisión en tierra.
Elaborado por: Autor.

Uno de los métodos para aumentar la eficiencia del sistema fotovoltaico es reemplazar el subcomponente o componente con mayor eficiencia. Por lo general, el sistema de bomba fotovoltaico (PVP) usa la bomba centrífuga, pero en el experimento actual opera la bomba de pistón como el nuevo subcomponente. El sistema PVP consta del componente principal: matriz fotovoltaica, convertidor, motor, bomba y otros soportes del equipo (véase la figura 3.3). Según información tomada de Hadi, (2003) la configuración experimental se ilustra esquemáticamente en la figura 3.3.

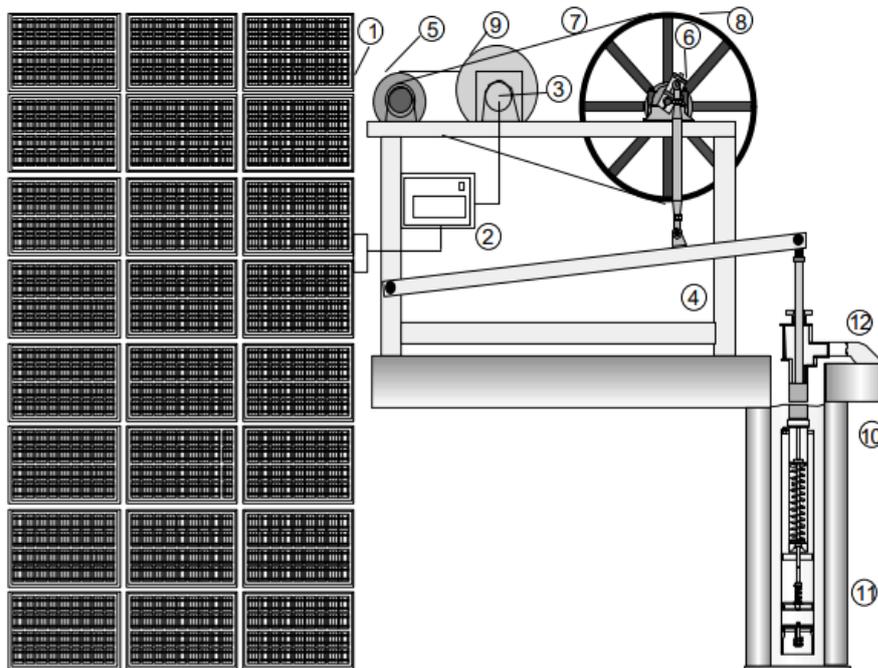


Figura 3. 2: Típico sistema de bombeo de agua fotovoltaico autónomo alimentado por batería y sus componentes.
Fuente: Hadi, (2003)

De la figura 3.2 (ítem 1) se aprecia la parte del generador solar que consta de 24 módulos con 36 celda solares monocristalinas en cada módulo. El número paralelo de la celda solar en cada módulo es 1. El número paralelo del módulo en la matriz fotovoltaica es 3. La capacidad del generador solar es un pico de 2040 Vatios. Se utiliza un motor DC (véase figura 3.2 ítem 3) de 510 Vatios como impulsor mecánico que está conectado por la correa a un volante. La potencia nominal del motor se elige menor que la capacidad del generador para permitir que el sistema PVP funcione con baja irradiación. Para rastrear la salida de potencia óptima del generador solar, se instala el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) y un convertidor DC-DC de 1400 Vatios (véase figura 3.2 ítem 2). El MPPT se encarga de controlar y ajustar la salida de voltaje. Debido a que el motor está conectado directamente al seguidor MPP sin la energía almacenada (batería), la velocidad del motor es relativamente no constante.

La fluctuación de la irradiación hace que cambien la corriente y voltaje de salida del generador solar. La cabeza de la bomba se utiliza como simulador de cabeza que acciona la válvula de control. La cabeza de la bomba de pistón está preparada para trabajar de 15 a 35 metros. Los experimentos se llevan a cabo en un día claro, desde las 08h00 o cuando la radiación es de unos 180 W/m² hasta las 16h00 aproximadamente.

3.2. Factores que afectan a las plantas en términos de requerimientos del sistema de riego agrícola.

Los sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua tienen como objetivo suplir la energía requerida por la bomba, que suple la cantidad de agua a dar a las áreas a regar (el agua será consumida), en energía solar. La carga en estos sistemas es la cantidad de energía que consumirá la bomba. Dado que esta energía depende del agua a bombear, el diseño de estos sistemas comienza con el cálculo de la cantidad de agua necesaria y suficiente. Una vez determinado el requerimiento de agua y calculadas las caídas de presión (H), se selecciona una bomba capaz de cumplir con estos valores y se comienza con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Calcular la cantidad de agua consumida por la planta plantada en el área a regar es parte esencial de un sistema de riego eficiente que responda con precisión y claridad a las necesidades. Las plantas deben recibir tanta agua como necesiten. Valores más altos provocan una pérdida de sal en la planta y disminución en el rendimiento del suelo. Para evitar esta situación, se deben utilizar métodos de riego más eficientes como la aspersion y el riego por goteo en lugar de los métodos de riego convencionales. Está claro que los sistemas de riego diseñados con ambos métodos cubrirán mejor los requerimientos netos de agua de riego de la planta.

3.2.1. Consumo de agua de las plantas por evapotranspiración.

El consumo de agua de las plantas es la suma de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las hojas de las plantas, tal como se muestra en la figura 3.3. El consumo de agua del cultivo (CWC) se determina para las dimensiones de tiempo diarias, mensuales y estacionales. El valor del período con mayor CWC se utiliza en la capacidad del sistema de riego, los valores diarios determinan la duración y el intervalo de riego, y los valores estacionales se utilizan para determinar la cantidad de agua de riego que se necesita almacenar.

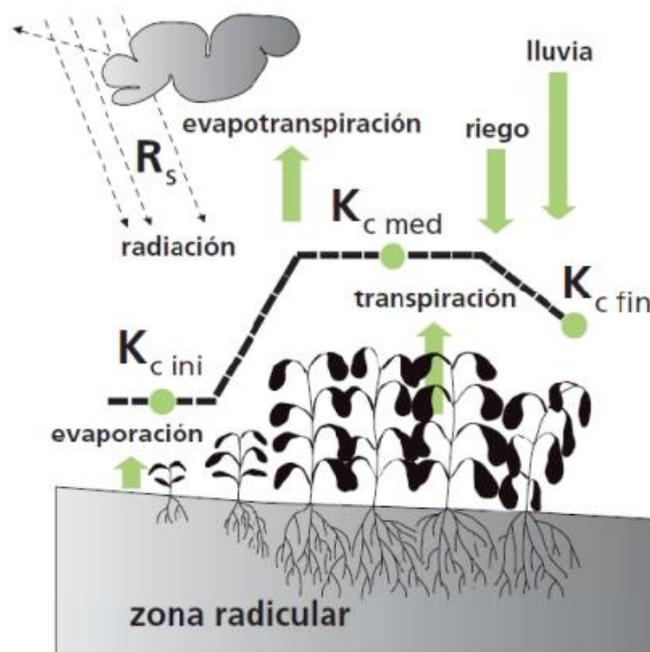


Figura 3. 3: Explicación de evapotranspiración en plantas.
Fuente: (Allen & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998)

3.3. Cálculo de las necesidades de agua en sistemas de riego.

Al calcular la necesidad de agua de riego, en primer lugar, se tiene en cuenta la duración de la aplicación y se calcula a partir de los valores del consumo de agua de la planta determinados en consecuencia. Los valores de consumo de agua de la planta se determinan para periodos cortos como diario, semanal y decenal, y para periodos largos como mensual y estacional.

Los valores de consumo de agua de la planta a corto plazo se utilizan para determinar el intervalo de riego en la planificación del tiempo de riego. Los valores de consumo de agua de la planta a largo plazo se utilizan para estimar el consumo promedio de agua de la planta en un área de proyecto de riego determinada. Por lo tanto, las ecuaciones a utilizar para la estimación a corto plazo del consumo de agua de la planta incluyen muchos factores climáticos que afectan el consumo de agua de la planta y dan resultados más saludables que las ecuaciones de estimación a largo plazo del consumo de agua de la planta.

Para la previsión a corto plazo se utiliza el método de la ecuación de FAO Penman-Monteith, que da mejores resultados, mientras que para la previsión a largo plazo se utiliza el método de Blaney-Criddle. El método Blaney-Criddle se utilizará en el ejemplo de aplicación que se realizará sobre la base de pronósticos a largo plazo y datos climáticos.

3.3.1. Método Blaney-Criddle para la estimación del consumo de agua de la planta.

El método Blaney-Criddle es una modificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Para calcular el consumo de agua de la planta, se utiliza el punto de referencia para estimar el consumo de agua de la planta. El Método Blaney-Criddle, que se describirá aquí, es una modificación del USDA-SCS. Con esta modificación, los valores de consumo de agua de la planta mensual se estiman y se utilizan para calcular el requerimiento de agua de riego del área del proyecto y el módulo de riego.

3.3.2. Cálculo del consumo de agua de cultivos agrícolas.

El consumo de agua de los cultivos se determina mediante métodos de medición directa y métodos de estimación a partir de datos climáticos. Si bien los métodos de medición directa brindan resultados más saludables, son bastante costosos y consumen mucho tiempo. Por esta razón, la medición directa del consumo de agua de las plantas se realiza únicamente con el fin de calibrar las ecuaciones de estimación a partir de los datos climáticos y encontrar los coeficientes locales de las plantas. En la práctica, los valores de consumo de agua de las plantas se determinan comúnmente mediante ecuaciones de estimación basadas en datos climáticos. Se han introducido numerosas ecuaciones que se pueden utilizar en la estimación del consumo de agua de la planta utilizando datos climáticos.

La forma común de estimar los valores de consumo de agua de la planta en la práctica es usando la ecuación 3.1; en primer lugar, se define un consumo potencial de agua de la planta en el que solo los factores climáticos son efectivos y se desarrollan ecuaciones experimentales que pueden usarse para calcular el consumo potencial de agua de la planta. Luego, los valores de consumo potencial de agua de la planta se corrigen con los coeficientes de la planta (ver ecuación 3.2), que son función del tipo de planta y la etapa de crecimiento.

$$u = k_c f k_T \quad (3.1)$$

$$f = \frac{(45.7T_n + 813) * P}{100} \quad (3.2)$$

Donde,

u : es el consumo medio diario de agua del mes considerado,

f : es el factor climático diario del mes considerado,

P : es la relación entre el promedio de horas de luz diarias y las horas de luz anuales del mes considerado, % y

T_n : es la temperatura media diaria del mes considerado, °C.

Da resultados bastante aproximados ya que solo se utilizan unos pocos factores climáticos. Por esta razón, se utiliza para estimar el consumo de agua

de la planta por periodos al menos mensuales. Por otro lado, se ha adoptado en algunos países de América como método oficial de cálculo de las necesidades de agua de riego porque es simple, fácil de usar, no requiere muchos datos y es adecuado para las condiciones climáticas de Ecuador.

k_T : es el coeficiente climático y se expresa en función de la temperatura media mensual (ver ecuación 3.3).

$$k_T = 0.031T_n + 0.24 \quad (3.3)$$

k_C : es el coeficiente de la planta y es un factor importante en el cálculo del requerimiento de agua de riego, como se indicó anteriormente. La necesidad de riego cambia a medida que la planta crece. Este valor, que es muy pequeño en la fase inicial, aumenta ligeramente durante la fase de desarrollo y alcanza su punto máximo a mitad de temporada (véase la tabla 3.1). Si es hacia el período de cosecha, este valor vuelve a disminuir. El valor de este coeficiente en que época se encuentra a partir de los estudios realizados en la literatura o de los datos obtenidos de las prácticas agrícolas.

Tabla 3. 1: Duración de las fases de desarrollo y coeficientes de las plantas.

Tipo de plantas	Inicio (días)	Crecimiento (días)	Temporada media (días)	Fin de temporada (días)	Kc1	Kc2	Kc3
Trigo	30	140	40	30	0,4	1,15	0,4
Remolacha	25	35	50	50	0,35	1,2	0,7
Papas	30	35	50	50	0,5	1,15	0,75
Verduras	30	40	60	20	0,7	1,05	0,95
Frijol	20	30	35	15	0,4	1,15	0,35
Girasol	25	35	45	25	0,35	1,15	0,35
Maíz	30	40	50	30	0,3	1,2	0,6
Frutas	20	70	90	30	0,45	0,95	0,7

Las cuatro estaciones tienen lugar en diferentes momentos. Saber qué temporada tiene lugar en qué momento nos permite encontrar la característica

de la planta para un mes determinado. Con esto, se obtiene el coeficiente promedio de la planta en cualquier mes. En la planificación mensual, con la ayuda de la tabla 3.1 se puede encontrar qué temporada se experimenta en qué mes y qué coeficiente de planta se debe tomar.

Los valores calculados del coeficiente de cultivo (k_c), el factor de consumo de agua mensual (f) y el coeficiente k_T del clima se reemplazan en la ecuación 3.1 con el método Blaney-Criddle y el consumo mensual de agua de la planta u (mm/mes). Las plantas cubren parte de su consumo mensual de agua con la lluvia. Por esta razón, al calcular el requerimiento de agua de riego de la planta (d_n) en la ecuación 3.4, el valor de la precipitación efectiva (u) se resta del requerimiento de agua de la planta (r_{eff}).

$$d_n = u - r_{eff} \quad (3.4)$$

Mientras se realizan los proyectos de riego, la eficiencia total de riego (ver ecuación 3,5) es una medida del agua que se puede perder en los cálculos del requerimiento de agua de riego del área del proyecto, por lo que se incrementa el valor de requerimiento de agua de riego de la planta (d_n). Con la ecuación 3.6 se encuentra el requerimiento neto mensual de agua de riego de la planta (d_t).

$$E = E_c E_a \quad (3.5)$$

$$d_t = \frac{d_n}{E} \cdot \frac{1}{n_m} \quad (3.6)$$

Donde,

n_m : es el número de días en el mes de riego,

E : es la eficiencia total de riego (%),

E_c : es la eficiencia de transporte de agua (%), y

E_a : es la eficiencia de aplicación de agua (%)

El módulo de riego se utiliza para determinar la cantidad de agua a transmitir por cada canal de la red de distribución de agua. El módulo de riego se define como la cantidad de agua requerida por unidad de área de riego y se encuentra a partir de la ecuación 3.7:

$$q = \frac{10d_t}{3.6T_d} \quad (3.7)$$

Donde,

T_d : es el tiempo de duración del riego (horas)

q : módulo de riego (lt/ha.seg)

La ecuación 3.7 se ha obtenido sustituyendo y corrigiendo las dimensiones del área de riego unitaria en hectáreas, la duración del riego en horas y el requerimiento neto de agua de riego en mm/día. Mediante la ecuación 3.8 se calcula la cantidad de agua a extraer (Q) de la fuente para el área a regar (qA), el módulo de riego se multiplica por el área seleccionada (hectáreas).

$$Q = qA \text{ (lt/s)} \quad (3.8)$$

Con la ecuación 3.9 se calcula el requerimiento diario de agua del área del proyecto (V), en donde T_d es el tiempo de duración del riego (horas) y Q se expresa en la ecuación 3.8

$$V = 3.6T_dQ \text{ (m}^3\text{)} \quad (3.9)$$

El requerimiento mensual de agua del área del proyecto (V_m) se expresa como la ecuación 3.10,

$$V_m = Vn_s \quad (3.10)$$

n_s : es el número de riegos en el mes seleccionado y V es el resultado de la ecuación 3.8.

A partir de aquí, la selección de la bomba se realiza para el caudal dado y el valor bajo (H). Si el requerimiento diario de agua se divide por el caudal de la bomba seleccionada, se obtiene el tiempo de funcionamiento neto de la bomba (ver ecuación 3.11).

$$T_{neto} = \frac{V}{Q_{bomba}} \quad (3.11)$$

T_{neto} : es el tiempo neto de funcionamiento de la bomba y Q_{bomba} representa la cantidad de agua a extraer por la bomba.

3.4. Análisis de recursos solares en Ecuador.

La figura 3.4 muestra el mapa de recursos solares y del potencial eléctrico fotovoltaico en Ecuador durante el período 1999-2018. Se puede observar que el mayor potencial se da en la región interandina (o sierra). Ciudades como Ibarra, Quito, Ambato, Riobamba, Cuenca y Loja tienen el mayor recurso solar para implementación de sistemas fotovoltaicos. Ciudades como Guayaquil, Machala, Portoviejo, Santo Domingo de los Colorados y Esmeraldas tienen un recurso solar importante y que permite tener sistemas fotovoltaicos óptimos.

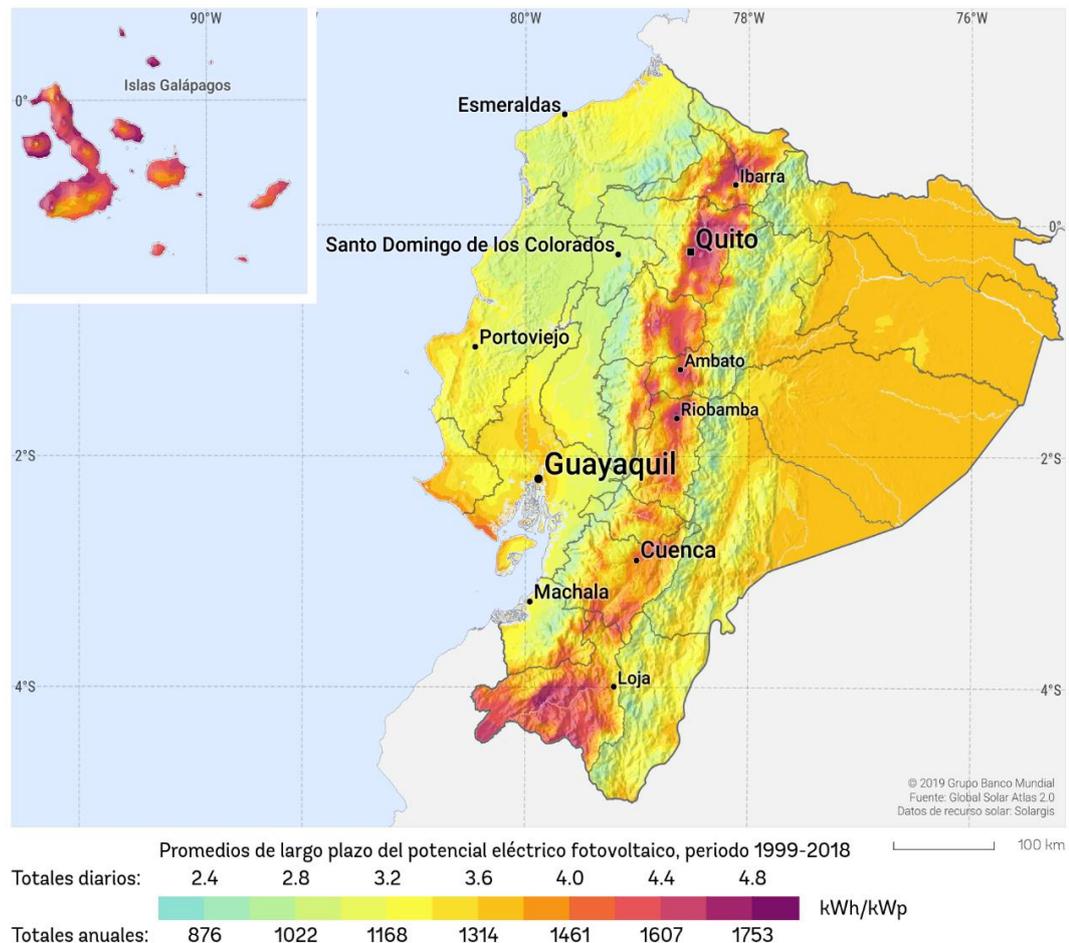


Figura 3. 4: mapa de recursos solares y del potencial eléctrico fotovoltaico en Ecuador durante el período 1999-2018.

Fuente: (The World Bank, 2017)

La implementación de sistemas fotovoltaicos para el sector agrícola es óptima de desplegarse en la región costa, sierra y oriente. Aunque en el país no existe política de incentivos económicos para implementar energía solar fotovoltaica. En la figura 3.5 se muestra los datos de la cantidad de horas en la que el sol es visible en la ciudad de Riobamba de la Provincia del Chimborazo. Como se puede apreciar la cantidad de horas promedio por día durante todo el año 2022 indican que se tiene mayor visibilidad de los rayos del sol, lo que ayudaría en el almacenamiento de energía y aprovechar para el funcionamiento del sistema de riego por aspersión o goteo.



Figura 3. 5: Cantidad de horas de radiación solar en Riobamba.
Fuente: (Weather Spark, 2022)

Además, esta provincia es considerada como un recurso agrícola muy importante del país. En Riobamba los veranos son cómodos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, húmedos y nublados. Durante el año la temperatura suele oscilar entre 8°C y 19°C y rara vez es inferior a 5°C o superior a 22°C, tal como se muestra en la figura 3.6.

Según las atracciones turísticas, la mejor época del año para visitar Riobamba para actividades de clima cálido es desde mediados de abril hasta mediados de junio y desde finales de agosto hasta mediados de enero. (Weather Spark, 2022). Los datos climatológicos del Ecuador se pueden encontrar en la web Weather Spark, según las ciudades que se desea analizar. Aunque para este caso (ver las figuras 3.5 y 3.6) se escoge a Riobamba como referencia, pero se puede revisar la información de las demás ciudades cuyas provincias se dedican a la agricultura.

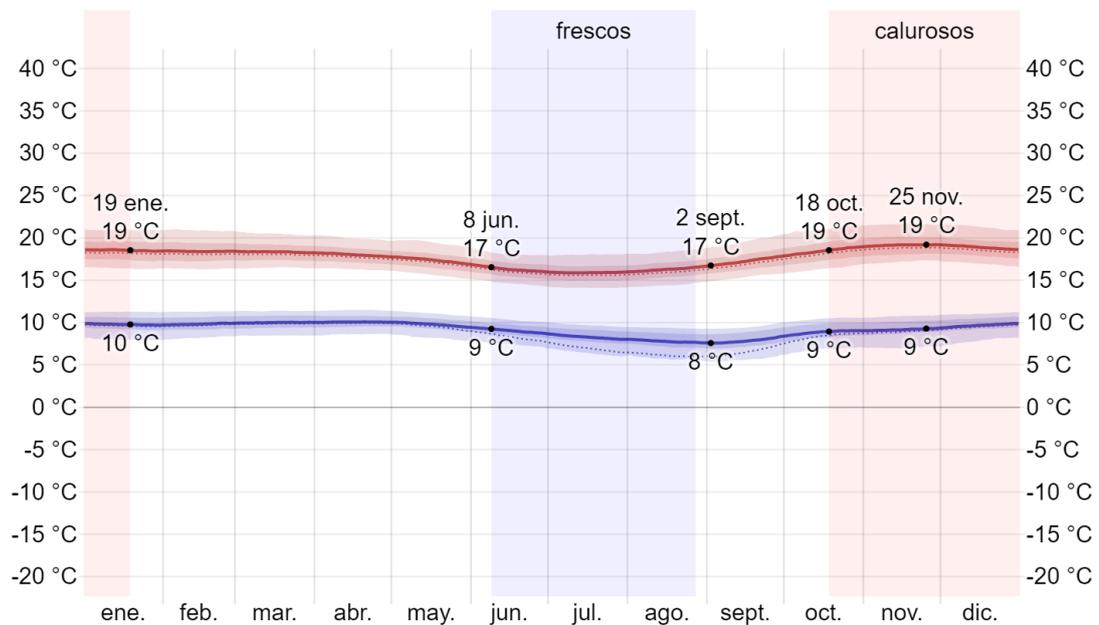


Figura 3. 6: Valores máximo y mínimo de temperatura en Riobamba.

Fuente: (Weather Spark, 2022)

3.5. Análisis de factibilidad del sistema de riego usando energía solar fotovoltaica.

El análisis económico es un estudio de factibilidad realizado antes de que se establezca el sistema. Para que este análisis se entienda mejor, se debe establecer claramente qué es la economía. Después de eso, se debe continuar con las ecuaciones y métodos a utilizar.

3.5.1. La economía como ciencia.

Como es sabido, las necesidades humanas son infinitas, pero los bienes y servicios para satisfacerlas son limitados. Los diversos recursos de la naturaleza no pueden utilizarse para satisfacer las necesidades humanas porque se encuentran en la naturaleza. Estos recursos deben ponerse a disposición de todos como resultado de un determinado proceso de producción que utiliza diferentes tecnologías.

Además, los propietarios de estos bienes y recursos no pueden satisfacer todas sus necesidades con todos los bienes y recursos de que disponen. En otras palabras, mientras que algunas personas tienen más bienes y servicios de los que necesitan, otras no pueden poseerlos o parte de ellos. En este caso, los que tienen excedentes de bienes y recursos los

intercambiarán por otros. Este valor puede ser otro bien o servicio. En este sentido, la economía es una rama de la ciencia que incluye las actividades relacionadas con la producción y el intercambio de bienes para satisfacer las necesidades humanas.

Tomar decisiones en el uso de los recursos disponibles decidiendo en qué proporción y en qué cantidades se producirán los bienes y servicios y para quién entre los sujetos de la economía. Ésta resuelve directamente estos problemas y maximiza la capacidad limitada en todos los niveles con una demanda infinita.

La ciencia que trata de difundirla satisfactoriamente se llama economía. En este caso, la economía es la ciencia que examina los recursos económicos escasos para que las personas y las sociedades produzcan diversos bienes a lo largo del tiempo con o sin dinero y los distribuyan entre los individuos y grupos de la sociedad para consumirlos hoy o en el futuro. El elemento más importante de esta distribución científica es el equilibrio entre producción y consumo.

3.5.2. Métodos utilizados en el análisis económico

A continuación, se describen brevemente los diferentes métodos que se utilizan para el análisis económico:

a. Procedimiento de valores presentes:

La inversión compara el rendimiento de todos los ingresos, gastos y ganancias futuros con los valores actuales a la luz de la evolución económica a lo largo de la vida de la inversión. Se puede considerar que el gasto de inversión inicial se realiza una sola vez. Los equivalentes presentes de ingresos y gastos se reducen a valor presente según la ecuación 3.12:

$$P = \frac{F}{(1 + i)^N} \quad (3.12)$$

P : es el dinero total en valores presentes

F : es el dinero total equivalente en n años

N : es el tiempo transcurrido

i : es la tasa de interés

b. Método de gastos anuales:

Es el reverso del primer método. Se asume que todos los gastos que puedan ocurrir durante la vida de la inversión serán pagados al inicio de cada año y dependiendo de las variables económicas, mediante la reducción del valor de chatarra, si lo hubiere.

c. Procedimiento de amortización:

Suponiendo que el primer gasto de la inversión no se gasta en la inversión, sino que se opera contra intereses, se encuentra a qué tasa de interés se obtendrá la ganancia. La comparación se realiza entre la tasa de interés y el interés alternativo. Con la aceptación de los gastos de inversión al comienzo de cada año y bajo condiciones económicas cambiantes en toda la empresa, la tasa de interés requerida para la determinación de la cuota se calcula de modo que la cuota del primer año sea igual a las ganancias del primer año.

d. Método de ganancia de tiempo:

se basa en el supuesto de que los gastos de inversión son prestados, a diferencia del método anterior. ¿Cuánto tiempo se tarda en pagar esta deuda lo antes posible?

3.5.3. Efecto inflación

La inflación es el factor más importante que provoca cambios en los precios corrientes. Hay que tenerlo en cuenta a la hora de hacer un análisis económico. El cálculo del costo se puede hacer fácilmente de acuerdo con el método deseado por medio de las cifras que se dan a continuación, o se puede hacer fácilmente con la ayuda de tablas preparadas para este propósito. Si se desea corregir las ecuaciones por inflación, entonces se requiere encontrar un valor de tasa de interés ajustado por inflación (f) y encontrar los valores deseados con el equivalente de este valor. La ecuación 3.13 expresa un entorno no inflacionario (i) ,

$$i = i' \quad (3.13)$$

y, la ecuación 3.14 expresa un entorno inflacionario (i'),

$$i' = \frac{i - \bar{f}}{1 + \bar{f}} \quad (3.14)$$

3.5.4. Análisis económico para sistemas fotovoltaicos

Como en todos los demás campos, el análisis económico es de gran importancia en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. En primer lugar, la difusión de la energía fotovoltaica, que requiere importantes costes de inversión inicial, es posible porque es más barata o tiene más ventajas que productos comparables. Si estos sistemas cuestan más que sus sistemas equivalentes, claramente no son viables. Porque lo más importante para los usuarios es cuánto dinero obtendrán o tendrán derecho a utilizar. La energía limpia y fácil de usar utilizada es lo siguiente que viene a la mente.

Sin tener esto en cuenta, es fácil decir que los sistemas fotovoltaicos no pueden competir con la distribución de energía de la red en las condiciones actuales. Sin embargo, un sistema bien optimizado es fácilmente rentable si proporciona incentivos y garantiza la compra de la electricidad generada. Además, si la batería, que es un producto relativamente caro, se elimina del sistema y parte de la demanda de electricidad se cubre con la red eléctrica (sistema de red), el costo caerá a un nivel muy razonable (la cantidad pagada por el panel y otros equipos). debido al número de paneles).

Por esta razón, los sistemas de red se han utilizado ampliamente en América, Europa y el Lejano Oriente. Los incentivos estatales (como sucede, por ejemplo, en Estados Unidos) han reducido el costo que los usuarios tienen que pagar por la electricidad. Los usuarios han pasado de consumidores netos a consumidores productivos. Los costes de estos incentivos para los países son extremadamente bajos.

En la figura 3.7 se presenta los costos de electricidad producida a partir de energía solar fotovoltaica en Europa continental cuyo consumo es menor de 5 kWh. Se puede ver que el valor más alto es de 0.75 €/kWh y el valor más

bajo de 0.25 €/kWh. La organización de investigación BNEF ha publicado su informe sobre el mercado fotovoltaico mundial para el último trimestre del 2021 donde indica que se instalarán al menos 163 GW de energía solar para el 2022, tal como se muestra en la figura 3.8. Aunque, de forma optimista se prevé 221 GW para el 2022.

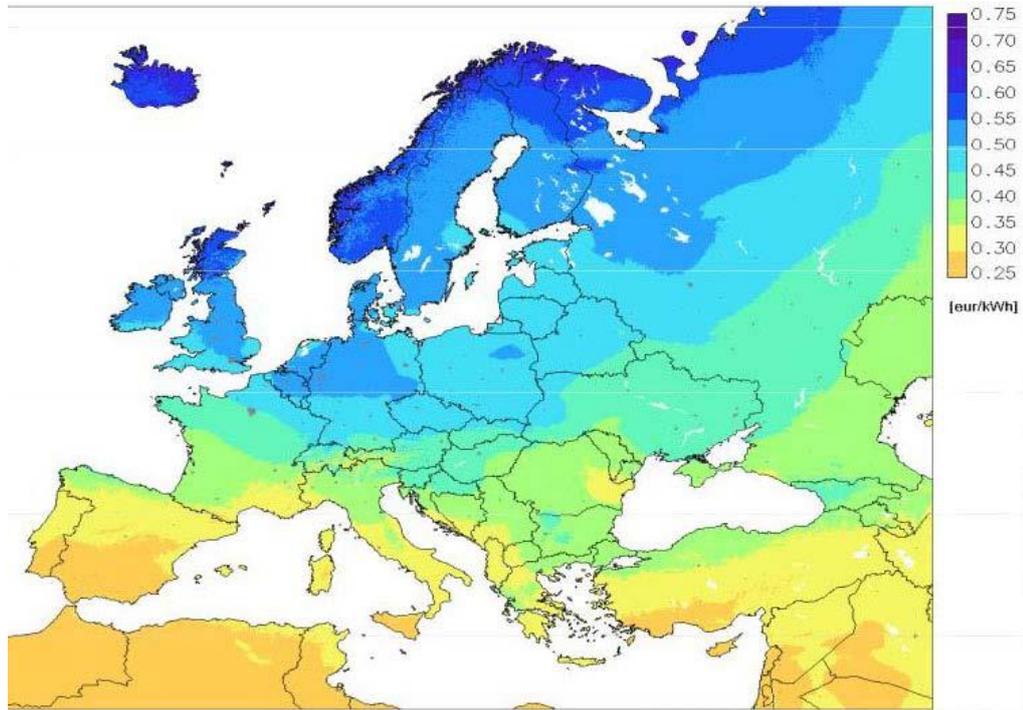


Figura 3. 7: Coste de la electricidad producida a partir de energía solar fotovoltaica en Europa continental.
Fuente: (PV Tech, 2021)

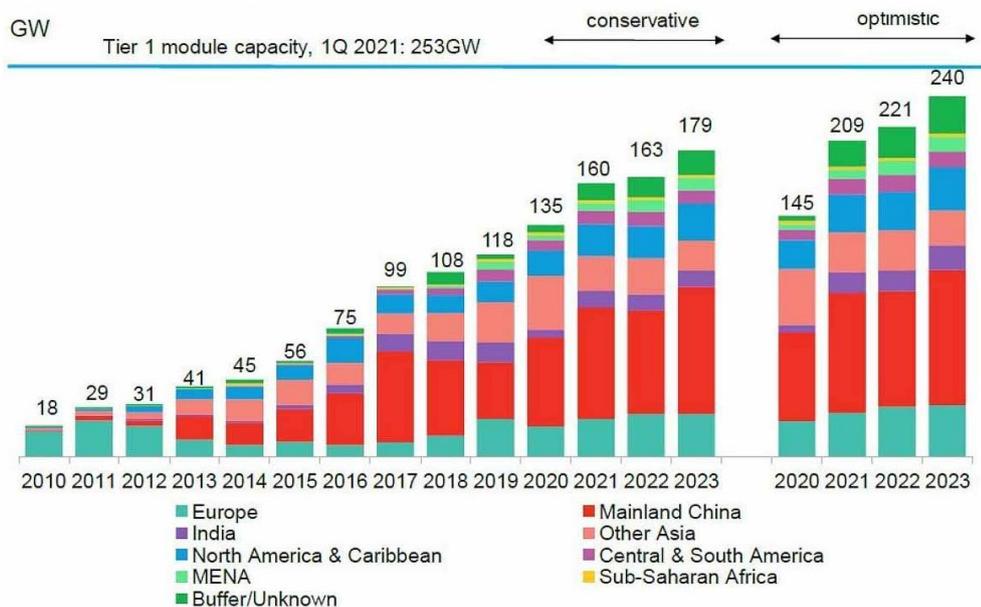


Figura 3. 8: Capacidad de potencia de energía solar fotovoltaica en el mundo.
Fuente: (PV Tech, 2021)

3.5.5. Costo del ciclo de vida

El análisis del ciclo de vida (LCC) es un método ampliamente utilizado en los sistemas fotovoltaicos. Dado que lo primero que se tiene en cuenta a la hora de comprar un producto es el tiempo que se puede utilizar, lo primero que se piensa en estos sistemas fotovoltaicos, cuyos costes de inversión inicial son extremadamente caros, será sin duda el tiempo que funcionará y lo que aportará. Aquí es donde entra la importancia del análisis LCC.

Presentar los beneficios al usuario a cambio del dinero que invertirá es condición indispensable para la realización de la inversión. Para ello, en primer lugar, se realiza un análisis de idoneidad de la inversión y se realiza la inversión en consecuencia. Al hacer esto, los cambios en los parámetros económicos deben reflejarse con precisión en las cuentas. El análisis LCC es un análisis que se puede utilizar con fines de viabilidad en los costos cambiantes de las variables económicas (bienes).

Un análisis LCC permite al usuario comparar diferentes partes en términos de durabilidad y vida útil. Por ejemplo, una batería de bajo costo tiene una vida útil de unos 4 años, mientras que otra costosa tiene una vida útil de 7 años. El análisis LCC da la respuesta a cuál se prefiere. Sin embargo, el factor más importante a considerar al realizar este análisis es que los valores económicos a comparar deben tener la misma seguridad y ser utilizados para el mismo fin comercial.

En el ejemplo, es posible comparar las baterías ya que ambas baterías son igualmente seguras y responden a la misma carga. En resumen, los mismos valores se pueden examinar bajo las mismas condiciones de criterio. Un ejemplo similar es el sistema asistido por generador y los sistemas asistidos fotovoltaicos comparados en el análisis LCC. El criterio más importante a la hora de ver cuál es más económico es que ambos respondan al mismo requerimiento de carga bajo las mismas condiciones de seguridad.

La ecuación 3.15 define al costo del ciclo de vida para los sistemas solares fotovoltaicos (*LCC*),

$$LCC = C + M_{PW} + E_{PW} + R_{PW} - S_{PW} \quad (3.15)$$

Donde,

C : es el costo de capital siendo la suma de los montos pagados por la instalación del sistema y los dispositivos a utilizar. Este costo se considera un pago único en el año de implementación, independientemente de cómo se financie el proyecto.

M_{PW} : son los costos de mantenimiento que corresponden a los costos anuales de reparación o revisión del sistema, y que no están incluidos en este costo el combustible y la reposición de repuestos. Se calcula incluyendo gastos como mantenimiento anual, inspección y seguro.

E_{PW} : es el costo de la energía que se expresa como la suma de los precios anuales de los combustibles utilizados.

R_{PW} : es el costo de renovación; esto significa el costo a pagar para comprar piezas nuevas que se rompen o necesitan ser cambiadas debido a problemas que pueden ocurrir en el sistema. Por ejemplo, la vida útil de las baterías en los sistemas fotovoltaicos es generalmente de 5 a 10 años, mientras que la vida útil del sistema fotovoltaico es de al menos 25 años. Por esta razón, el análisis debe hacerse teniendo en cuenta que las baterías se reemplazarán cuando termine su vida útil, de lo contrario es seguro que surgirán costos adicionales.

S_{PW} : es el costo de la chatarra; es el ingreso que el salvamento puede traer al usuario en el último año si se retira el sistema que ha cumplido su vida. Solo el costo de desecho se considera un ingreso, mientras que todos los demás elementos desaparecen. Aunque no existe una medida exacta de este costo, generalmente se considera como una quinta parte del costo de las partes mecánicas que se pueden mover.

3.5.6. Costos del sistema fotovoltaico.

El costo total del sistema se puede calcular utilizando los valores que se muestran en la tabla 3.2 en lugar de los costos de las piezas que se utilizarán en los sistemas fotovoltaicos.

Tabla 3. 2: Duración de las fases de desarrollo y coeficientes de las plantas.

Fotovoltaica:	\$ 4.00/W o \$ 4.2/W
Baterías	\$ 0.07/Wh; descarga profunda \$ 0.10/Wh o \$ 0.207/Wh
Dispositivos de control de carga del inversor:	\$ 0.60/W o \$ 0.718/Wh
Generador	\$ 0.50/W; \$ 0.75/W
Configuración + BOS	20% x (PV + Baterías + inversor + generador)

Elaborado por: Autor.

Los costos anuales de combustible (ver ecuación 3.16) se pueden calcular en función del precio del combustible y la tasa de uso (predeterminado \$2.55/galx0.2gal/kWh=\$0.51/kWh, los valores más adecuados se pueden utilizar leyendo los catálogos del producto seleccionado.)

$$F = G \cdot P_c \cdot T_c \quad (3.16)$$

Donde,

F : es el costo del combustible por año (\$/año),

G : es el generador (kWh/año)

P_c : es el precio del combustible por galón (\$/gal), y

T_c : es la tasa de uso de combustible por kWh (gal/kWh)

El importe del mantenimiento principal (ver ecuación 3.17) depende del período de uso, el intervalo de mantenimiento y el precio unitario. (predeterminado \$200 ajuste-mantenimiento a 300h, \$500 mantenimiento mayor a 4000h).

$$M = \frac{T_g \cdot P_s}{I_m} \quad (3.17)$$

Donde,

M : es el costo de mantenimiento por año (\$/año),

T_g : es el tiempo de funcionamiento del generador por año (h/año),

P_s : es la tarifa por servicio

I_m , es el intervalo de mantenimiento

Todos los valores encontrados se calculan y tabulan por separado para sistemas independientes compatibles con fotovoltaicos y generadores. Finalmente, se comparan los totales netos obtenidos para saber cuál es más económico. Los valores económicos como generador, batería y combustible a reponer en sistemas fotovoltaicos y asistidos por generador se encuentran tomando los correspondientes de las ecuaciones dadas. Teniendo en cuenta que la vida útil de las baterías y los generadores es breve, los cálculos se inician asumiendo que los costos de reemplazo estarán cubiertos a partir de la ecuación 3.18 para la batería y generador:

$$P = \frac{F}{(1 + i')^N} \quad (3.18)$$

Además, la ecuación 3.18 también se usa para encontrar el valor presente de los costos de chatarra.

Los gastos de combustible y mantenimiento-reparación son gastos que se dan en cantidades iguales en períodos determinados cada año. La ecuación 3.19 se expresan estos gastos en valores presentes (serie de igualdad salarial)

$$P = A \left[\frac{(1 + i')^N - 1}{i'(1 + i')^N} \right] \quad (3.19)$$

A : es la cantidad pagada a intervalos regulares en cada período.

P : es el valor presente equivalente de las cantidades pagadas.

i' : es la cuenta sin inflación, la tasa de interés es la tasa de interés ajustada por inflación en la cuenta inflacionaria.

3.6. Análisis de resultados.

En el apartado anterior se detallan las ecuaciones y planteamientos utilizados en la instalación de sistemas fotovoltaicos. Los parámetros utilizados se indican con la mayor claridad posible y las etapas de establecimiento del sistema fotovoltaico se mencionan paso a paso. Aquí se

incluye una aplicación con un sistema autónomo, independiente de los tipos de sistemas fotovoltaicos descritos en el apartado anterior. La razón para elegir el sistema independiente en la aplicación que se va a dar es la siguiente:

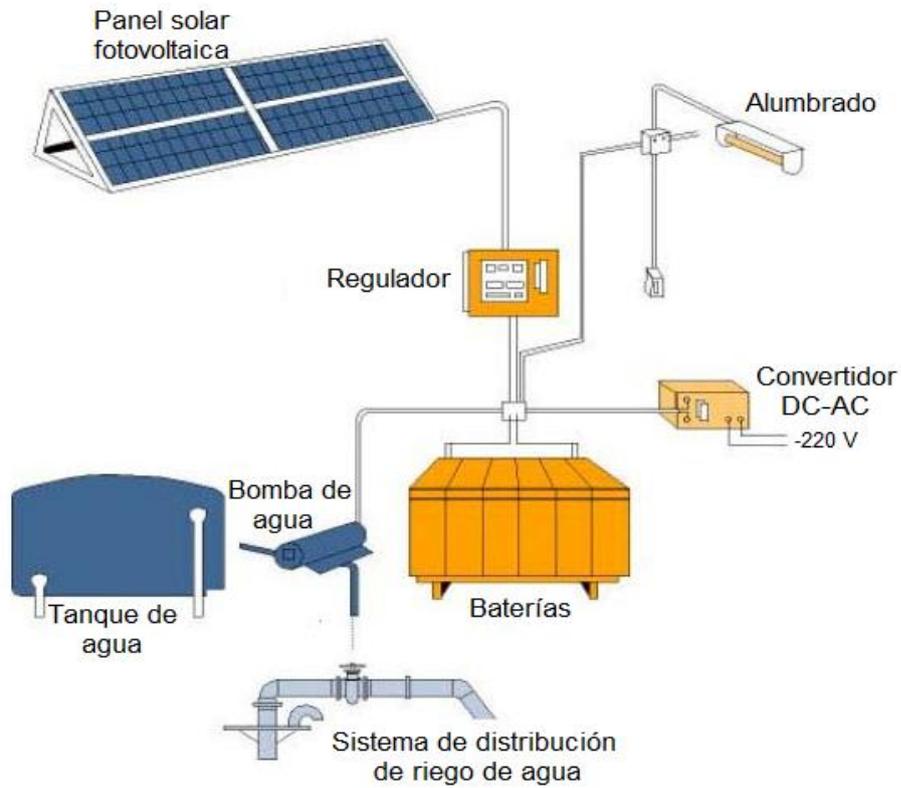
- a. Los sistemas en red dependen de menos parámetros
- b. Los cálculos de valores críticos del sistema independiente son mucho más importantes para el usuario. Porque la cuenta equivocada deja al usuario sin luz. No hay tal problema con la red. Por esta razón, no se presta atención a los valores críticos en los sistemas en red. (Después de todo, la electricidad puede ser suministrada desde la red)
- c. Los sistemas en red son extremadamente fáciles de configurar. Un implementador que entiende la aplicación del sistema independiente puede hacer lo contrario fácilmente.
- d. Todos los enfoques utilizados en otros sistemas están disponibles en sistemas independientes.
- e. El uso de sistemas autónomos en áreas rurales es mucho más común.

3.6.1. Implementación.

La aplicación incluye el cálculo de la necesidad hídrica de tomates a plantar en una superficie agrícola de 0.2 hectáreas en la provincia del Chimborazo, mediante energía solar y sistema independiente. La necesidad de agua de riego agrícola se calculará mediante el método Brennel Criddle. La figura 3.9 muestra el diagrama esquemático de la propuesta de implementar un sistema de riego de agua mediante energía solar fotovoltaica.

La siembra está prevista para abril y la cosecha prevista para agosto o septiembre. Se pensó que el tiempo de riego adecuado seleccionado para la planta era de alrededor de 3 horas para que el agua llegara a las partes más bajas del suelo y se absorbiera por completo. Además, dado que el riego se realizará de noche, que es el momento de riego más adecuado, se incluyen en la aplicación unidades de iluminación para iluminar la zona (ver figura 3.9) y un ordenador portátil de 100 W para el control y mantenimiento del sistema.

Figura 3. 9: Esquemático del sistema de energía fotovoltaica en riego e iluminación agrícola.



Elaborado por: Autor.

3.6.2. Cálculo y recopilación de datos meteorológicos en la ciudad de Riobamba.

En primer lugar, se toman datos meteorológicos sobre la ciudad de Riobamba. Algunos valores se leen de las tablas dadas anteriormente.

Tabla 3. 3: Datos meteorológico de la ciudad de Riobamba para el año 2022.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Tn (°C)	18	17	19	16	16	17	18
Tk (°C)	10	10	9	9	8	8	9
t0	12,1	12	12	12	12,1	12,1	12,1
p	0,299	0,325	0,339	0,332	0,309	0,280	0,249
pm	8,970	9,750	10,170	9,960	9,270	8,400	7,470

Fuente:(Weather Spark, 2022)

T_n : valores medios de temperatura durante 2022

T_k : valores de temperatura más bajos durante 2022

t_0 : es el tiempo promedio de luz solar (horas) durante 2022

p : la relación entre las horas de luz diarias y las horas de luz anuales

p_m : es la relación de horas mensuales a horas de luz anuales

3.6.3. Obtención del coeficiente de cosecha mensual.

En esta sección se procede a encontrar el coeficiente de planta (K_c) aproximado promedio mensual de tomate, ecuación 3.20. El valor promedio mensual de K_c se encuentra de acuerdo con el rango de desarrollo de la planta en ese mes, por ejemplo, si la temporada media es de 10 días en agosto y la cosecha es de 20 días, entonces el coeficiente de planta promedio para este mes es:

$$K_c = \frac{10}{30} * 1.15 + \frac{20}{30} * 0.80 = 0.92 \quad (3.20)$$

Estos valores que se expresan son tomados de la tabla 3.4

Los coeficientes de plantas mensuales en otros meses se encontraron de manera similar y se colocaron en la tabla 3.3.

3.6.4. Encontrar la necesidad de agua de riego de los tomates

El requerimiento neto de agua de riego y el módulo de riego se encuentran colocando todos los valores obtenidos en las ecuaciones dadas usando el método Blaney-Criddle.

Observando resultados aproximados en relación con los ya obtenidos en otras pruebas han sido realizadas utilizando unos pocos factores climáticos. Por esta razón, se requiere para estimar el consumo de agua de la planta por periodos al menos mensuales, tal como se muestran los datos tabulados en la tabla 3.4. Por otro lado, se ha recomienda como método oficial de cálculo de las necesidades de agua de riego porque es simple, fácil de usar, no requiere muchos datos y es adecuado para las condiciones climatológicas en Ecuador.

Tabla 3. 4: Coeficiente de planta promedio mensual y requerimiento de agua de planta para tomate.

Meses	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
f	4,067	5,098	6,101	6,402	5,796	4,787
Rango de crecimiento	A partir de 25 días	Desarrollo 35 días	Temporada media 70 días		Recolección 20 días	
Kc para cada rango	0,45	0,75	1,15		0,8	
Kc mensual	0,5	0,75	1,15	1,15	0,92	
Kt	0,615	0,758	0,907	0,978	0,969	
u (mm/mes)	37,597	87,416	190,288	212,778	155,901	

Elaborado por: Autor.

3.6.5. Selección de bomba

A partir de aquí, comienza la selección de la bomba. Los dos parámetros más necesarios para la selección de la bomba son el caudal y la cabeza. Si se conocen estos dos valores, la bomba adecuada se puede seleccionar fácilmente de los catálogos o los programas preparados para este fin. En esta etapa, si se desea, se puede determinar una bomba especial que cumpla con las especificaciones deseadas cambiando al tamaño de la bomba. El diseño de una bomba especial aumenta la eficiencia del sistema, al mismo tiempo que aumenta los costos.

El valor de cabeza H_m se tomó como aproximadamente 30 m, como en aplicaciones similares, y no se realizaron cálculos detallados ya que estaba fuera del tema de tesis. La tabla 3.5 muestra las bombas requeridas para el riego de plantas de tomate sembradas a razón del 100% en un área de 1–2–5–10 hectáreas. La primera y segunda columna contienen los criterios a seleccionar. La segunda columna contiene los nombres de las bombas seleccionadas. En estos nombres, SKM significa bomba centrífuga multietapa, SKMV-H significa bomba centrífuga multietapa de etapa vertical. Las bombas de etapa vertical son adecuadas para lugares donde la cabeza de succión es alta.

Todas las bombas que se muestran en la tabla 3.5 son adecuadas para aplicaciones de aspersión. El único inconveniente es que funcionan a 50 Hz con carga de CA. Por esta razón, se requiere un inversor en el sistema propuesto.

Tabla 3. 5: Bombas seleccionadas para diferentes necesidades de riego.

Qs (lt/s)	Hm (m)	Modelo de la bomba para aspersión	Pmotor (kW)	Rendimiento (%)	RPM	Caudal de la bomba (lt/s)	tbomba (h)
1,121	30	SKM32/12	0,75	60,3	900	1,1	3,06-3,1
1,121	30	SKMV-H32/12	0,75	60,3	900	1,1	3,06-3,1
2,241	30	SKM40/9	1,5	63,1	925	2,2	3,06-3,1
2,241	30	SKMV-H40/9	1,5	63,1	925	2,2	3,06-3,1
5,6	30	SKM50/4	3	63,8	1410	5,6	3-3
5,6	30	SKMV-H50/4	3	63,8	1410	5,6	3-3
11,205	30	SKM65/3	5,5	67,2	1430	11,2	3-3
11,205	30	SKMV-H65/3	5,5	67,2	1430	11,2	3-3

Elaborado por: Autor.

Nuestra aplicación constará de 10 lámparas funcionando durante 6 horas, una computadora y un sistema de riego. El sistema de riego funcionará durante 3 horas cada 3 días. Otros dispositivos tienen tiempos de funcionamiento por hora. Mientras que las lámparas se utilizarán en el control del área de riego, la computadora se utilizará en el control del sistema. Se sumará la energía consumida por todos los sistemas consumidores y se tomará como valor de carga la energía neta consumida por el sistema y los dispositivos durante una semana.

El área a regar se determinó en 0.2 hectáreas = 2000 m² y el tomate de campo se consideró sembrado en su totalidad en todo el campo. La bomba que puede satisfacer esta necesidad de agua se puede seleccionar de la tabla 3.6. El valor bajo se toma como 30 m, que es un valor medio para este tipo de aplicaciones. Sin duda, el valor neto de la cabeza se puede encontrar instalando el sistema en el campo donde se realiza la aplicación.

3.6.6. Análisis de carga

El mes con mayor requerimiento de agua para el sistema de riego agrícola usando energía solar fotovoltaica es el mes de julio. Se necesita tener esto en cuenta al ubicar el mes crítico, para ello se consideran los siguientes caudales:

$$Q_{\text{Julio}}=4.79 \text{ lt/s}$$

$$Q_{\text{junio}}=5.6 \text{ lt/s}$$

La bomba seleccionada para el sistema de riego es SKMV-H40/9 con ayuda de la tabla 3.6. A continuación, se presenta la ecuación que permite calcular el tiempo de operación o funcionamiento de la bomba t_f (ecuación 3.21):

$$t_f = \frac{V_d}{Q_{\text{bomba}}} \quad (3.21)$$

Con la ayuda de la ecuación anterior, el tiempo de funcionamiento de esta bomba para junio es de 2.55 horas, mientras que el tiempo de funcionamiento para julio es de 3 horas. Con un cálculo sencillo, la potencia que consumirá la bomba en estos dos meses es de 3.825 y 4.5 kW, respectivamente. En el cálculo del mes crítico, deben cumplir con esto del sol tanto como sea posible. El mes con la menor cobertura sería el mes crítico. Por ello, mientras se encuentra el mes crítico, se hace una comparación entre los valores máximos de radiación que pueden llegar al sistema para estos dos meses.

En la ciudad de Riobamba, en estos dos meses, todos los valores de radiación (véase la tabla 3.4) que llegan al sistema solar fotovoltaico deben ser colocados sobre un suelo de hierba seca con una inclinación de 40° son:

$$6.101 \text{ kWh/m}^2\text{-día en junio}$$

$$6.402 \text{ kWh/m}^2\text{-día en julio}$$

$$6.101-3.82=2.281 \text{ kWh /m}^2\text{-día para junio}$$

$$6.402-4.5=1.902 \text{ kWh/m}^2\text{-día para julio}$$

Dado que la potencia de esta bomba es de 1.5 kW y la bomba funcionará durante 3 horas, la carga máxima que consumirá la bomba en cada riego es de 4.5 kW. Se encontró que el mes crítico para la aplicación de riego es julio. El mes crítico para el sistema fotovoltaico también es julio. Como resultado, ambos sistemas están dimensionados de acuerdo con el mes de julio.

El área en el sistema de riego se ha determinado como 50mX40m. En esta área, para el control y monitoreo del sistema se utilizan 18 lámparas de 22W (CC), que funcionan durante cinco horas diarias a intervalos de 10 m, y una computadora portátil de 100 W. En consecuencia, la carga total por semana y por día se expresan en las ecuaciones 3.22 y 3.23, respectivamente.

$$Carga(Wh/semana) = P_d * t_u * t_{u1} \quad (3.22)$$

donde,

P_d : es la potencia del dispositivo en Vatios,

t_u : es el tiempo de uso de hora por día (h/día)

t_{u1} : es el tiempo de uso de cada día por semana (día/semana)

$$Carga(Wh/día) = \frac{Carga(Wh/semana)}{7} \quad (3.23)$$

A continuación, se utilizan las ecuaciones 3.22 y 3.23 en las que se emplean los valores de carga para la bomba de agua, laptop y luminaria que son válidos para cada dispositivo. Si el número de dispositivos se incrementa, el valor de la carga se encuentra multiplicando el número de dispositivos.

$$Carga AC_{bomba}(Wh/semana) = 1.5kW \left(3 \frac{h}{día}\right) \left(3 \frac{día}{semana}\right) = 13.5 kW/semana$$

$$Carga AC_{bomba}(Wh/día) = \frac{13.5 kW/semana}{7} = 1.929 kW/día$$

$$Carga AC_{laptop}(Wh/semana) = 100 W \left(5 \frac{h}{día}\right) \left(7 \frac{día}{semana}\right) = 3.5 kW/semana$$

$$Carga AC_{laptop}(Wh/día) = \frac{3.5 kW/semana}{7} = 0.5 kW/día$$

$$Carga AC_{luminaria}(Wh/semana) = 22 W \left(5 \frac{h}{día}\right) \left(7 \frac{día}{semana}\right) \quad (18)$$

$$= 13.86 kW/semana$$

$$Carga AC_{luminarias}(Wh/día) = \frac{13.86 kW/semana}{7} = 1.98 kW/día$$

La selección del inversor y del convertidor DC-AC se realiza después de este paso. Para esto, en primer lugar, se debe encontrar el voltaje promedio del sistema. Todas las cargas que llegan al sistema, 1.5 kW de bomba, 396 W iluminación (22x18) y 100 W de la laptop, dando como resultado una carga total de 2 kW que debe cumplir el sistema en una hora. Con la ayuda de la tabla 3.6, se puede comprender fácilmente que para una carga total entre 1.2 kW y 2.4 kW el voltaje del sistema debe ser de 24 V.

Tabla 3. 6: Voltajes recomendados en sistemas solares fotovoltaico.

Potencia AC	Voltaje DC del Sistema
< 1.2 kW	12 V
1.2 kW - 2.4 kW	24 V
2.4 kW - 4.8 kW	48 V

Elaborado por: Autor.

3.6.7. Selección de inversor

La potencia que necesita la carga en una hora es de 2 kW y este sistema está determinado como 24 V. Se debe seleccionar un inversor con salida de 220-230V@50-60hz y su potencia debe ser de al menos 2 kW cuando el voltaje de entrada del inversor es de 24V. Se mantiene lo más grande posible con dispositivos adicionales que se pueden agregar al valor de potencia. En general, los dispositivos que pueden realizar muchas operaciones juntas en un sistema fotovoltaico son más económicos y útiles, sin embargo, se consideran demasiados criterios para determinar el adecuado. Uno de estos criterios es si el valor máximo de corriente que ingresa a la parte de control de carga será adecuado para nuestro sistema. Por este motivo, se puede seleccionar un inversor adecuado a las condiciones deseadas con los valores obtenidos tras la instalación de todo el sistema fotovoltaico.

Al dejar la selección del inversor para el final, se asume aproximadamente que el valor de eficiencia del inversor es 0.9 y la configuración del sistema continúa. Si el inversor finalmente seleccionado tiene una eficiencia inferior a este valor de eficiencia, se corrige este valor. Aunque este método puede parecer una aproximación poco precisa, teniendo en cuenta que la eficiencia de los inversores está entre el 85-95%, se ve que se acerca a la realidad.

3.6.8. Cálculo de la carga total

Se encuentra con la ayuda de las siguientes ecuaciones (si también hay un convertidor DC-AC en el sistema, la carga DC se divide por este valor de eficiencia DC-AC). Al sumar las cargas DC y AC se encuentra la carga DC total en el inversor y la entrada DC-AC. (La eficiencia del inversor es de aproximadamente 0.90, la eficiencia del convertidor DC-AC es de 0.95)

Con la ayuda de la carga total de DC (ecuación 3.23)

$$Carga DC_{total}(Wh/día) = \frac{1.929 kW + 0.5 kW}{0.9} + \frac{1.98 kW}{0.95} = 4.783 kWh/día$$

$$Carga Ah_{total} = \frac{4.783 kW/día}{24 V} = 200 Ah/día$$

Ahora se calcula el requisito de carga neta corregida y que debe calcularse teniendo en cuenta las pérdidas entre la fuente de energía y la carga. Estas pérdidas son elementos intermedios y cables. Los dispositivos más conocidos como elementos intermedios son las baterías. El valor de carga total de Ah (Amperios-hora) obtenido anteriormente debe ampliarse con el valor de eficiencia de la batería. Porque no todas las baterías pueden dar parte de su energía al sistema. Aparte de las baterías, la otra pérdida es de los cables. Las pérdidas de cable generalmente se eligen como 2-3% (se eligió la pérdida de batería como aproximadamente 0.9 inicialmente y la pérdida del cable como 2%).

$$Carga\ DC_{correctada}(Ah/día) = \frac{Carga\ Ah_{total}}{Eficiencia_{cable}\ (generalmente\ 0.98) * Eficiencia_{batería}\ (generalmente\ 0.90)}$$

$$= 226.8 \frac{Ah}{día} \quad (3.24)$$

$$Carga\ DC_{correctada}(Ah/día) = \frac{200\ Ah/día}{0.98 * 0.90} = 226.8\ Ah/día$$

3.6.9. Determinación de la corriente y la pendiente del panel fotovoltaico.

El mes crítico tiene un lugar importante en la determinación del ángulo de inclinación óptimo. Este mes se toma como base para determinar la pendiente del sistema fotovoltaico. Sin embargo, si el período de aplicación continúa a intervalos prolongados, la elección de un valor de pendiente más general que incluya estos meses en lugar de la pendiente adecuada en el mes crítico podrá responder al requisito de carga adicional que puede ocurrir en otros meses.

En resumen, es más adecuado para nuestro sistema de solución periódica en lugar de una solución parcial mensual. Porque, aunque se acortará el tiempo de uso de la bomba, el valor de radiación disminuirá en los meses no críticos y el sistema necesitará soporte adicional. Podemos proporcionar este soporte como un híbrido (generador-eólico, etc.) o podemos resolverlo aplicando el enfoque de pendiente de valor periódico más conveniente. Aquí, el factor de preferencia está a favor del más económico. Sin embargo, en general, tales detalles no se detallan y se prefiere la pendiente óptima para el período.

Las pendientes óptimas comúnmente utilizadas en los sistemas fotovoltaicos son las siguientes:

- a. Temporada de verano -15° para valor máximo de irradiancia solar.
- b. Temporada de invierno +15° para valor máximo de irradiancia solar.

Se encontró que toda la radiación solar en la superficie inclinada de 15° en julio es de 6.5 kWh-m²-día. Este valor es el valor de la pendiente sobre la que se instalará nuestro sistema. Con la aproximación de la hora pico, es igual a 6.5 kWh-m²-día = 6.5 h/día de irradiancia máxima (1000 Vatios). En

consecuencia, el diseño propuesto se requiere una corriente de (ecuación 3.25):

$$I_D(A) = \frac{226.8 \text{ Ah/día}}{6.5 \text{ h/día} * 1000 \text{ Vatios}} = 34.9 \text{ A} \quad (3.25)$$

Después de calcular el voltaje y la corriente del sistema, se calcula el tamaño de la batería.

3.6.10. Tamaño de la batería.

Primero se va a encontrar el número de días de almacenamiento: la expresión número de días de almacenamiento se refiere al número de días que el sistema puede alimentar la carga sin recibir energía cuando está completamente cargado. Este valor, que también se expresa como número de días de autonomía y número de días de almacenamiento, se toma como 5 días para aplicaciones críticas y 3 días para aplicaciones no críticas. Sin embargo, se utilizan dos fórmulas para comprobar los días críticos (ver ecuaciones 3.26 y 3.27) y no críticos (ver ecuaciones 3.28 y 3.29) de almacenamiento de las baterías del sistema fotovoltaico propuesto:

$$D_{\text{crítico}}(99\%) = -1.90T_{\text{min}} + 18.3 \quad (3.26)$$

$$D_{\text{crítico}}(99\%) = 24 - 4.73T_{\text{min}} + 0.3T_{\text{min}}^2 \quad (3.27)$$

$$D_{\text{no-crítico}}(95\%) = -0.48T_{\text{min}} + 4.58 \quad (3.28)$$

$$D_{\text{no-crítico}}(95\%) = 9.43 - 1.9T_{\text{min}} + 0.11T_{\text{min}}^2 \quad (3.29)$$

A continuación, se obtienen los días de almacenamiento:

$$D_{\text{crítico}}(99\%) = -1.90(6.5) + 18.3 = 5.95 \approx 6$$

$$D_{\text{crítico}}(99\%) = 24 - 4.73(6.5) + 0.3(6.5)^2 = 5.93 \approx 6$$

$$D_{\text{no-crítico}}(95\%) = -0.48(6.5) + 4.58 = 1.46 \approx 1.5$$

$$D_{\text{no-crítico}}(95\%) = 9.43 - 1.9(6.5) + 0.11(6.5)^2 = 1.72 \approx 2$$

Por lo, tanto la capacidad utilizable se obtiene ecuación 3.30.

$$\text{Capacidad}_{\text{útil}}(\text{Ah}) = 226.8 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} (2 \text{ días}) = 453.6 \text{ Ah} \quad (3.30)$$

Este valor encontrado es el valor de carga de la batería. Las baterías deben dar este valor al sistema de forma segura y eficiente. Por esta razón, en dichos sistemas se utilizan baterías de descarga profunda.

Posteriormente se determina las correcciones de temperatura-descarga promedio de la batería: las baterías son muy sensibles a la temperatura. Sin embargo, este valor aumenta especialmente a medida que disminuye la temperatura. La razón de esto es que la solución ácida que se utiliza en las baterías se acerca más fácilmente al punto de congelación durante el movimiento de los electrones. Para minimizar este problema, las baterías de gel ácido han sido populares últimamente. Sin embargo, su desventaja más importante es su costo. El efecto de la temperatura se describe en los siguientes dos enfoques, que son:

1. Enfoque práctico: en general, se refiere al valor calculado considerando los resultados obtenidos de aplicaciones similares y el clima. Este valor puede tomarse como aproximadamente 0.9.
2. Enfoque de hallazgo por ecuación: al igual que en el enfoque práctico, se encuentran beneficios de aplicaciones similares y la expresión se corrige con la temperatura ambiente y se refleja en el sistema. Por lo tanto, se calcula (ver ecuación 3.31) el coeficiente de corrección de temperatura (C_T):

$$C_T = 0.00575(1.8T + 32) + 0.54 \quad (3.31)$$

$$C_T = 0.00575(1.8 * 16 + 32) + 0.54 = 0.89$$

La temperatura promedio de julio para Riobamba es 16 °C. Dado que el descenso de temperatura en el mes de aplicación reducirá a la mitad la vida útil de las baterías, las baterías deben colocarse aisladas y que no les afecte el aire frío.

Finalmente, se encuentra el factor de descarga máxima de la batería ($D_{m\acute{a}x}$): cada batería seleccionada puede descargarse hasta cierto nivel como máximo. Cuando las descargas por encima de este valor provocan que la batería se deteriore en poco tiempo, los controladores de carga lo impiden.

Por lo tanto, el valor de amperios-hora (Ah) de la capacidad utilizable encontrado previamente debe expandirse por este factor. Este valor puede tomarse como 0.80 para baterías de descarga profunda, 0.25 para baterías SLI (Starter-arranque, Lighting-iluminación e Ignition-ignición) y 0.90 para baterías Nikad (Níquel-Cadmio).

3.6.11. Cálculo de la capacidad requerida de la batería.

En aplicaciones fotovoltaicas, las baterías de descarga profunda generalmente se eligen porque tienen altas tasas de descarga y vida útil. En consecuencia, el factor máximo de descarga profunda puede tomarse como 0.8. Recientemente, las baterías Nikad han sido ampliamente utilizadas en estos sistemas. Sin embargo, sus costos son más caros (0.9% para Nikad).

Al dividir el valor de amperios-hora (Ah) de la capacidad utilizable por la corrección de temperatura de descarga y la corrección de profundidad de descarga máxima, se llega al valor de "capacidad de batería requerida" (ver ecuación 3.32), que tiene un lugar muy importante para determinar la cantidad de batería que se elegirá.

$$Capacidad_{batería}(Ah) = \frac{Capacidad_{útil}}{C_T D_{máx}} \quad (3.32)$$

$$Capacidad_{batería}(Ah) = \frac{453.6 Ah}{0.89 * 0.80} = 637.1 Ah$$

El valor de "capacidad requerida de la batería obtenida" es igual a la capacidad de una batería en Ah C/20,25°C. Por lo tanto, la batería que proporcionará la capacidad deseada se puede seleccionar de los catálogos de baterías apropiados. Al hacer esta elección, se prefieren baterías con una capacidad que pueda dar el mayor resultado numérico posible a la capacidad requerida de la batería. Como batería, la celda solar de energía ilimitada de batería de gel HAZE HZY 12-200 tiene un voltaje promedio de 12 V y una capacidad de 200 Ah (C/20).

Ahora, se procede a encontrar el número necesario de baterías (ver ecuación 3.33) y su idoneidad. Si el valor de la capacidad de la batería

requerida se divide por la capacidad de una sola batería seleccionada, se encuentra la cantidad de batería que debe conectarse en paralelo (B_p).

$$B_p = \frac{\text{Capacidad}_{batería}}{\text{Capacidad}_{batería-seleccionada}} \quad (3.33)$$

$$B_p = \frac{637.1 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah}} = 3.19 \approx 3$$

El número de baterías conectadas en serie (B_s) se encuentra dividiendo el voltaje promedio del sistema por el voltaje promedio de la batería y se define por la ecuación 3.34:

$$B_s = \frac{V_{sistema}}{V_{batería}} \quad (3.34)$$

$$B_s = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 2$$

Finalmente, el total de baterías es definida por la ecuación 3.35:

$$B_T = B_p B_s \quad (3.35)$$

$$B_T = (3)(2) \quad B_T = 6$$

3.6.12. Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos

En la práctica, a la hora de elegir módulos fotovoltaicos, los profesionales parten de los catálogos que tienen y de sus costes. Dado que los valores leídos para el módulo fotovoltaico del catálogo expresan la respuesta del módulo en condiciones estándar (1.5 masa de aire, 25 °C de temperatura de la celda a 1000 Wh/m² de radiación solar), inevitablemente se producen ciertos errores de cálculo en los resultados. Porque una celda real se calienta entre 1.5 y 2 veces más que en condiciones estándar durante el funcionamiento. Como se indicó anteriormente, si bien el aumento de temperatura en la celda afecta muy poco a la corriente (un pequeño aumento en la corriente reduce en gran medida el voltaje), muestra el efecto principal en el valor del voltaje.

Desde este punto de vista, en la práctica se corrigen los valores del catálogo multiplicándolos por unos coeficientes de corrección (estos valores están disponibles en los catálogos). Aunque los valores obtenidos con este enfoque se acercan a los valores reales, no dejan de ser una medida aproximada.

En cambio, encontrar los valores requeridos del módulo seleccionado mediante el análisis técnico de la celda brindará los resultados más realistas. Suponiendo una reducción de tasa del módulo de 0.9, se selecciona un módulo para que el voltaje del sistema fotovoltaico sea de 24 V y la corriente de 32.6 A. Uno de los módulos que se pueden elegir es ECO GREEN ENERGY EGE-400M (véase la figura 3.10) y los valores requeridos se dan a continuación:

Voltaje de alimentación máx. ($V_{m\acute{a}x}$)– 16.9 V_{DC}

Voltaje de circuito abierto (V_{oc}) - 21.5 V_{DC}

Coefficiente de Eficiencia Tensión-Temperatura - V_{toc} -0,0824 V/°C

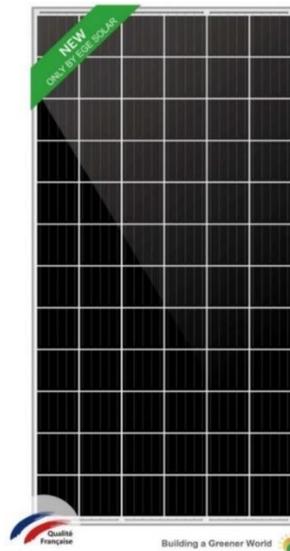


Figura 3. 10: Panel solar fotovoltaico EGE-400M.

Elaborado por: Autor.

A continuación, la ecuación 3.36 permite calcular el número de módulos de paneles fotovoltaicos en paralelo (M_p),

$$M_p = \frac{I_D(A)}{I_{m\acute{o}dulo}} \quad (3.36)$$

$$M_p = \frac{34.9 A}{7 A} = 4.98 \approx 5$$

3.6.13. Selección de la unidad de control de carga

Como en todas las demás unidades de control, la selección de la unidad de control de carga se elige para cumplir con el valor de corriente ($I_{\text{mín-controlador}}$) definida en la ecuación 3.37. Esta corriente es obtenida al multiplicar el valor de corriente de cortocircuito del sistema fotovoltaico por el factor de corrección y seguridad igual a 1.25.

$$\begin{aligned} (I_{\text{mín-controlador}}) &= 1.25I_{PV} & (3.37) \\ (I_{\text{mín-controlador}}) &= 1.25(45.6) = 57 \text{ A} \end{aligned}$$

La selección se realiza observando la potencia de la unidad de control de carga. Si se revisa los catálogos adecuados para la selección de controladores de carga con MPPT, se ve que hay un elemento nuevo al que debemos prestar atención. Este factor es el valor máximo de voltaje de entrada al que puede operar la unidad. Si los valores de corriente o voltaje de entrada de la unidad de control de carga que se elija no cumplen con los valores obtenidos del sistema fotovoltaico, entonces se puede conectar más de una unidad de control de carga en serie o en paralelo, según la situación.

Los controladores de carga conjunta con corriente de carga más baja se pueden conectar en paralelo para cargar las baterías. Por lo tanto, el número de control de carga en paralelo (N_{CP}) es definida por la ecuación 3.38:

$$\begin{aligned} N_{CP} &= \frac{I_{\text{mín-controlador}}}{I_{\text{controlador}}} & (3.38) \\ N_{CP} &= \frac{57}{60} \approx 1 \end{aligned}$$

Como selección, de la unidad de control de carga, cuyas características se especifican a continuación. Se puede seleccionar un solo controlador de carga de 60 A para el sistema de la siguiente manera, o las baterías se pueden cargar conectando dos controladores de carga de 30 A en paralelo. La seguridad del sistema y el análisis de costos determinan cuál será el preferido aquí. La figura 3.11 muestra el controlador de carga Conext MPPT elegido de la marca Schneider Electric. El Conext MPPT 60 150 es un controlador de carga fotovoltaica que rastrea el punto de máxima potencia de una matriz

fotovoltaica para entregar la corriente máxima disponible para cargar baterías. Durante la carga, el equipo regula el voltaje de la batería y la corriente de salida en función de la cantidad de energía disponible del conjunto fotovoltaico y el estado de carga de la batería.



Figura 3. 11: Dispositivo de control de carga Conext MPPT 60 150.
Elaborado por: Autor.

La unidad de control seleccionada puede satisfacer fácilmente la corriente de cortocircuito del panel (19 A) y el voltaje de circuito abierto del panel (152 V) por sí sola.

3.6.14. Selección de inversor

Se sugiere considerar como voltaje de entrada 24 V y valor de potencia mínima de 1600 W para el inversor. Pero, hay que considerar las cargas que se pueden agregar más adelante, es más apropiado elegir un Inversor de potencia de 3000 W. Los inversores sinusoidales modificados son mucho más baratos y pueden satisfacer las necesidades de los esfuerzos existentes del sistema. La figura 3.12 se muestra el inversor 3000W Onda Senoidal ZONHAN.



Figura 3. 12: Dispositivo inversor de onda senoidal ZONHAN.
Elaborado por: Autor.

3.6.15. Análisis económico.

El análisis económico de los sistemas fotovoltaicos con una vida útil de hasta 25 años y que se realiza en función de la comparación de precios de los sistemas que se pueden utilizar en su lugar. El primer sistema que viene a la mente para utilizar en lugar del sistema solar fotovoltaico es el sistema asistido por generador. Las tablas 3.7 y 3.8 muestran los costos mutuos de estos dos sistemas (fotovoltaico y asistido por generador). El primero muestra el valor total del sistema solar fotovoltaico para riego agrícola y el segundo mediante sistema por generador.

Tabla 3. 7: Costos del sistema solar fotovoltaico para riego agrícola.

Inversión inicial y costos de instalación	
Sistema fotovoltaico	\$ 5100
Baterías	\$ 3050
Inversor	\$ 1630
Unidad de control de carga	\$ 750
Convertidor DC-AC	\$ 1250
BOS	\$ 1430
Operación y mantenimiento	
Costos de instalación	\$ 3300
Mano de obra	\$ 750
Mantenimiento anual	\$ 925
Costos de diseño	\$ 1300
Reparación y renovación	
Convertidor DC-AC (10 años)	\$ 250
Inversor (10 años)	\$ 1100
Unidad de control de carga	\$ 675
Baterías (8 años)	\$ 2900
TOTAL	\$ 24410

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 8: Costos del sistema asistido por generador para riego agrícola.

Inversión inicial y costos de instalación	
Costo de combustible del generador	\$ 10100
Baterías	\$ 3150
Inversor	\$ 1630
Unidad de control de carga	\$ 750
Convertidor DC-AC	\$ 1250
BOS	\$ 1430
Operación y mantenimiento	
Costos de instalación	\$ 2708
Mano de obra	\$ 750
Mantenimiento anual	\$ 2955
Costos de diseño	\$ 1300
Reparación y renovación	
Convertidor DC-AC (10 años)	\$ 250
Inversor (10 años)	\$ 1100
Unidad de control de carga	\$ 675
Baterías (8 años)	\$ 2900
Reparación del generador (10 años)	\$ 4500
TOTAL	\$ 35448

Elaborado por: Autor.

Como resultado, el costo del sistema fotovoltaico es de \$ 24410, mientras que el costo total del sistema generador es de \$ 35448. En el sistema fotovoltaico propuesto el mayor costo son las baterías, mientras que, en el sistema generador, los costos de reparación tienen el mayor gasto.

Para la implementación de este sistema fotovoltaico se consideró regirse a las disposiciones y reglamentaciones asociadas a las normativas vigentes que exige el marco legal del país, esto es las Resoluciones Nro. ARCONEL-042/18 y la Nro. ARCERNNR-013/2021, respectivamente, así como la regulación Nro. ARCONEL 003/18

CONCLUSIONES

- Los sistemas fotovoltaicos son fabricados para que actúen con el principio de generar electricidad por medio de la radiación solar en el material semiconductor especial del que están hechos y pueden ser utilizados para diferentes propósitos. El tipo de uso común es el sistema de red que alimenta el sistema con el apoyo de la red eléctrica. Sin embargo, además de este sistema, se utiliza en diferentes aplicaciones en sistemas independientes y conectados directamente.
- A la luz de los datos obtenidos especialmente en la parte de análisis económico del proyecto propuesto, se revela claramente que el uso del sistema fotovoltaico es sumamente económico en comparación con un sistema asistido por generador. Sin embargo, con un examen detallado, el precio por unidad de electricidad en este sistema es mucho más alto que la electricidad de la red. Este es el factor más importante que limita el uso de sistemas fotovoltaicos. Si bien es posible obtener electricidad más barata de la red, ningún usuario realiza nuevas inversiones.
- Como resultado, es claro que los costos del sistema fotovoltaico son más económicos que el sistema asistido por generador para fines similares. Incluso si se quitan las baterías del sistema del generador, todavía existen serias diferencias materiales entre los dos sistemas. Incluso desde este punto de vista, está claro que los sistemas fotovoltaicos serán más ventajosos. Las baterías constituyen aproximadamente el 35% del costo. Se puede ver fácilmente que será un diseño muy utilizable y económico si el costo de las baterías se elimina de alguna manera en el sistema. Con las mejoras explicadas detalladamente en los apartados anteriores, si se eliminan las baterías, los costes se reducen en un 35% aproximadamente. Se revela que la mayor carga económica de los sistemas fotovoltaicos son los reemplazos de dispositivos.
- Los sistemas fotovoltaicos, por otro lado, dan un período de amortización de 10-15 años. Este puede ser un período de tiempo fuera

de los límites de tolerancia del usuario. Por esta razón, mediante el uso generalizado del análisis económico en sistemas fotovoltaicos, las preferencias óptimas para el sistema y usted son adecuadas. Pero el hecho esencial aquí es que es muy, muy difícil reducir este período a valores razonables sin incentivos gubernamentales.

- Sobre la base de la factibilidad de implementación del sistema fotovoltaico autónomo se determinó mediante los respectivos parámetros, tablas y valores formulados, considerando una irradiación base de 6.5 kWh-m²-día; se obtuvo los siguientes datos: a) Potencia de 1,98 kW/día; b) Tensión del sistema de 24 voltios DC; c) Eficiencia del inversor entre el 85 y 95%; d) Carga total de 226,8 Ah/día; e) Corriente eléctrica de 34,9 Amperios; f) Tamaño de la batería de 453, Ah; g) Capacidad de la batería de 637,1 Ah en función de sus factores de corrección; h) Cantidad de baterías de 6 unidades; i) Cantidad de módulos de paneles fotovoltaicos en paralelo de 5; j) Unidad de control de carga de 57 amperios; k) Cantidad de control de carga de 1.

RECOMENDACIONES.

- Promocionar a nivel nacional de un proyecto de este tipo podría aumentar significativamente la producción agrícola nacional para lograr la autosuficiencia alimentaria.
- Subvencionar los precios de todos los equipos solares para que estén disponibles y accesibles para todos.
- Se recomienda realizar de manera programada el respectivo mantenimiento preventivo, así como el correctivo para todo el equipamiento del sistema fotovoltaico con especialistas calificados en el tema, lo cual nos permita garantizar su operatividad referenciándose también como lo indica la resolución ARCERNNR-013/2021 para el ciclo de vida útil de generadores renovables.

Bibliografía

- Allen, R. G., & Food and Agriculture Organization of the United Nations (Eds.). (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Barragán-Escandón, E., Zalamea-León, E., Terrados-Cepeda, J., & Vanegas-Peralta, P. (2019). Factores que influyen en la selección de energías renovables en la ciudad. *EURE (Santiago)*, 45(134), 259–277. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000100259>
- Campos, A. (2011). *Andalucía renovable*. Junta de Andalucía.
- Correa Álvarez, P. F., González González, D., & Pacheco Alemán, J. G. (2016). Energías renovables y medio ambiente: Su regulación jurídica en Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 179–183.
- Fontaine, G., FLACSO (Organization), & PETROECUADOR (Organization) (Eds.). (2003). *Petróleo y desarrollo sostenible en Ecuador* (1a. ed). FLACSO, Sede Académica de Ecuador : PETROECUADOR.
- García, E., Correcher, A., Quiles, E., & Morant, F. (2016). Recursos y sistemas energéticos renovables del entorno marino y sus requerimientos de control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 13(2), 141–161. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2016.03.002>
- Güizado R., M., & Rangel A., M. (2020). *Poli(3-hexiltiofeno) en celdas solares orgánicas: Simple, estable y asequible—Revista C2*. <https://www.revistac2.com/poli3-hexiltiofeno-en-celdas-solares-organicas-simple-estable-y-asequible/>
- Hadi, H. (2003). *Photovoltaic Water Pump System*. 95.
- Ibárcena E., M., & Scheelje B., J. M. (2003). *El cambio climático principales causantes, consecuencias y compromisos de los países involucrados*.

XII Congreso Forestal Mundial, Québec City, Canadá.
<https://www.fao.org/3/xii/0523-b2.htm>

Lucas Herguedas, A. I. de. (2012). *Biomasa, combustibles y sostenibilidad*. ITAGRA.

Melendi, D. (2020). *Energía*. CONICET Mendoza.
<https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Energ.htm>

Mouatasim, A. E., & Darmane, Y. (2018). *Regression analysis of a photovoltaic (PV) system in FPO*. 020008. <https://doi.org/10.1063/1.5084981>

Mustansar Hussain, C. (Ed.). (2018). Chapter 41—Engineered Nanomaterials for Energy Applications. En *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications* (pp. 751–767). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00043-2>

PV Tech. (2021). *Hasta 209 GW de energía solar fotovoltaica se instalarán en 2021, según estimaciones de BloombergNEF*. World Energy Trade. <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/hasta-209-gw-de-energia-solar-fotovoltaica-se-instalaran-en-2021-segun-estimaciones-de-bloombergnef>

Querol Carceller, X. (2018). *La calidad del aire en las ciudades: Un reto mundial*.

Remica. (2016). Tipos de Energía: Renovables y no Renovables. *Blog Oficial de Remica*. <https://remicaserviciosenergeticos.es/blog/tipos-de-energia/>

The World Bank. (2017). *Mapas de recursos solares de Ecuador* [Solar resource data]. Solargis. <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/ecuador>

Watt, W. (2021). *Fuentes de energía: Primaria vs. secundaria*. Watt Watchers de Texas. <https://www.watt-watchers.com/activity/fuentes-de-energia-primaria-vs-secundaria/?lang=es>

Weather Spark. (2022). *El clima en Riobamba, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador)*. <https://es.weatherspark.com/y/20020/Clima-promedio-en-Riobamba-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Yazdanifard, F., & Ameri, M. (2018). Exergetic advancement of photovoltaic/thermal systems (PV/T): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 529–553. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.053>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Estupiñán Muñoz, Miguel Ángel** con C.C: # 080211410-8 autor del Trabajo de Titulación: **Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas**, previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de noviembre del 2022

f. _____

Nombre: Estupiñán Muñoz, Miguel Ángel

C.C: 080211410-8

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas		
AUTOR(ES)	Estupiñán Muñoz, Miguel Ángel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo; M. Sc. Mazzini Muñoz, Gustavo Miguel; M. Sc. Bohórquez Heras, Diana Carolina		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Electricidad con mención en energías renovables y eficiencia energética		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	18 de noviembre del 2022	No. DE PÁGINAS:	65
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energías Renovables, Sistemas Eléctricos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía, Renovable, Fotovoltaica, Producción, Riego, Paneles		
RESUMEN/ABSTRACT			
<p>Este documento analiza el sistema de riego con energía solar fotovoltaica como estrategia para mejorar la sostenibilidad alimentaria en regiones rurales de la Sierra del Ecuador, y cuyo tema de titulación se denomina "Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para aplicaciones en cultivos agrícolas". En el presente proyecto se describe las generalidades del trabajo de titulación mediante el uso de la energía fotovoltaica y las tecnologías básicas de este campo. En el capítulo 2, se presenta los fundamentos teóricos de la energía solar, el efecto fotovoltaico y la conversión, así como el principio de funcionamiento de una célula como elemento básico de este campo, para mostrar dónde y cómo se obtiene la electricidad de esta fuente. A continuación, el capítulo 3 se presenta el estudio del sistema de riego agrícola mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos y los diferentes parámetros que influyen en su comportamiento en la producción agrícola. Se ha comprobado que el sistema por riego de energía fotovoltaica aumenta significativamente tanto los ingresos que perciben las familias e incrementa considerablemente las aportaciones en materia de alimentos, especialmente durante la estación seca, y es rentable en comparación con otras tecnologías alternativas.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-985366151	E-mail: miguel.estupinan@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE TITULACIÓN	Nombre: Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, MSC		
	Teléfono: 0995147293		
	E-mail: Celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			