



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

Proyecto de Investigación y Desarrollo en opción al Grado Académico
de Magister en Gestión de Energías

TEMA:

“Diseño del sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo del complejo deportivo PLATAFORMA DEPORTIVA ubicada en el cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi.”

Autor:

HERRERA VACA LUIS EDUARDO

Tutor:

MSc. EDWIN MARCELO LEMA GUAMAN

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo - 2018

**AVAL DEL TUTOR PARA LA APROBACIÓN DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN EL CONSEJO DE POSGRADO**

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE TUTOR

**En mi calidad de Tutor del Programa de Maestría en GESTIÓN DE
ENERGÍAS, nombrado por el Consejo de Posgrado.**

CERTIFICO:

**Que: Analizado el Proyecto de Investigación y Desarrollo del Trabajo de
Titulación, presentado como requisito previo a la aprobación y desarrollo de la
investigación para optar por el grado de Magister en PROGRAMA DE
POSGRADOS**

El problema de investigación se refiere a:

“Diseño del sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles
fotovoltaicos para el autoconsumo del complejo deportivo PLATAFORMA
DEPORTIVA ubicada en el cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi”.

**Presentado por: HERRERA VACA LUIS EDUARDO con cédula de
ciudadanía N° 0503155145. Sugiero su aprobación y permita continuar con la
ejecución del proyecto de investigación y desarrollo.**

Latacunga, Marzo del 2018

MSc. Edwin Marcelo Lema Guamán

Tutor

AUTOR

Los criterios emitidos en el presente trabajo de investigación es propiedad y de exclusiva responsabilidad del autor, lo que incluye su autenticidad y su originalidad. La información citada o presentada tiene y se respeta sus derechos Reservados de Autoría.

Luis Eduardo Herrera Vaca
C.I. 0503155145

Agradecimiento

Mi agradecimiento primero a Dios y a la Virgen Santísima de las Mercedes, por darme la sabiduría para concluir el presente trabajo, a mis padres y familiares porque me brindaron su apoyo tanto moral como económico para estudiar y lograr el objetivo trazado para un futuro mejor y ser orgullo de ellos y de toda la familia.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, alma mater de la Ciencia y la Tecnología porque en ella me forme para un futuro prometedor como Magister en Gestión de Energías

De igual manera a mis queridos formadores, en especial al Ing. Edwin Lema pues él fue quien guio para hacer el presente trabajo, quien se encargó de encarar la complicada tarea de transferir sus conocimientos a otra persona, ofreciéndome lo mejor de él.

LUIS EDU (NEGRO)

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mis padres quienes fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentando en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, en ellos tengo el espejo en el que me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me lleva a admirarles cada día más.

A mis hermanos Jessica y Bryan, quienes me han ofrecido amor y calidez de familia a la cual respeto y amo por sus palabras de aliento y confianza.

A mi sobrina Naomi reflejo de mi hermana, de la mujer luchadora y amorosa, quien con tu cariño, tu amor y tus grandes manifestaciones de afecto, eres una gran bendición de Dios.

A mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

LUIS EDU (NEGRO)

Contenido

<i>Agradecimiento</i>	iv
<i>Dedicatoria</i>	v
ÍNDICE FIGURAS	xi
ÍNDICE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xviii
A. Situación Problemática.....	xix
• Justificación de la investigación	xx
• Objeto de estudio de la investigación	xxii
• Campo de acción de la investigación.....	xxii
• Hipótesis	xxii
• Objetivo General.....	xxii
• Sistema de objetivos específicos.....	xxiii
• Visión epistemológica de la investigación.....	xxiii
• Alcance de la investigación	xxiv
• Descripción breve del Proyecto de Investigación.....	xxiv
CAPÍTULO 1	1
1. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED	1
1.1 Caracterización detallada del objeto	1
1.2 Marco Teórico de la Investigación.....	3
1.2.1 Argumentación acerca de la necesidad de la investigación	4
1.3 Aspectos Teóricos Fundamentales	4
1.4 Energía Solar	4

1.5 La Energía Solar en el Ecuador	5
1.5.1 Energía solar disponible en Ecuador	5
1.6 Energía Solar Fotovoltaica	7
1.6.1. Implementos de medición de la radiación solar	9
1.7 Medida de Radiación.....	11
1.7.1 Irradiación Eficiente sobre el Panel Fotovoltaico	13
1.8 Sistemas fotovoltaicos conectados a red	15
1.8.1 Definición de un sistema fotovoltaico conectado a red.....	19
1.8.2 Tipos de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red	20
1.9 Componentes de un sistema solar fotovoltaico conectado a red	22
1.9.1 Paneles solares.....	22
1.9.2 Inversores	30
1.10 Equipo de medida (Medidor Bidireccional).....	36
1.11 Descripción del sistema de distribución	37
1.11.1 Sistema de Subtransmisión.....	37
1.11.2 Subestación de Distribución La Cocha.	38
1.11.3 Alimentador Primario (Yugsiloma).....	39
1.11.4 Parámetros del centro de transformación Plataforma Deportiva.....	39
CAPÍTULO 2.....	42
2. METODOLOGÍA	42
2.1 Diseño de la investigación.....	42
2.2 Población y muestra	42
2.3 Operacionalización de variables.....	49
2.4 Gestión de datos	50
2.5 Metodología para el diseño del sistema de generación conectado a la red	50
2.5.1 Cálculo de la demanda del complejo deportivo	52
2.5.2 Energía eléctrica consumida por el complejo deportivo	52
2.5.3 Selección de módulos fotovoltaicos e inversores.....	52
2.5.4 Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.....	53
2.5.5 Cálculo del arreglo de los módulos FV.....	54

2.5.6	Cálculo del número de inversores.	54
2.5.7	Inclinación de los Módulos FV.	54
2.5.8	Dimensionamiento del panel FV	55
2.5.9	Orientación de los módulos FV	55
2.5.10	Cálculo del cableado de CC.	58
2.5.10.1	Criterio térmico para la selección del cable en CC.	58
2.5.11	Cálculo del cableado de CA	58
2.5.12	Protecciones.....	58
2.5.13	Diagrama unifilar del sistema de generación FV conectado a la red y esquema de instalación del SFV en la azotea del complejo deportivo.....	60
2.5.14	Cálculo de la energía producida anualmente.....	60
2.5.15	Cálculo del costo de la energía producida anualmente.	60
2.6	Software Utilizados	61
CAPÍTULO 3		64
3	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	64
3.1	Parámetros iniciales.....	64
3.2	Análisis de datos medidos en campo (Radiación).....	65
3.3	Análisis comparativo entre la radiación medida con el Piranómetro y los datos de radiación de la NASA.	67
3.4	Resumen de los datos NASA- Medición Piranómetro	68
3.5	Análisis comparativo entre la radiación medida con el Piranómetro y los datos de radiación del SOFTWARE SOLARIUS P-V.	68
3.6	Resumen de los datos	69
3.7	Consumo de Energía	69
CAPÍTULO 4.....		73
4	PROPUESTA.....	73
4.1	Datos Informativo.....	73
4.1.1	Título de la propuesta	73
4.1.2	Beneficiarios.....	73
4.1.3	Equipo Técnico Responsable	73

4.1.4	Justificación de la Propuesta.	73
4.2	Objetivos de la Propuesta	75
4.2.1	Objetivo General.	75
4.2.2	Objetivos Específicos.	75
4.3	Análisis de Factibilidad.	75
4.3.1	Análisis Técnico	75
4.3.2	Económico – Financiero.....	76
4.4	Diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red	76
4.4.1	Demanda del complejo deportivo.....	76
4.4.3	Energía consumida	78
4.4.4	Selección de módulos fotovoltaicos e inversores.....	78
4.4.5	Número de módulos fotovoltaicos	79
4.4.6	Arreglo de los módulos FV	79
4.4.7	Número de inversores.....	81
4.4.8	Inclinación de los Módulos FV.	81
4.4.9	Dimensionamiento del panel FV	82
4.4.10	Orientación de los módulos FV.....	83
4.4.11	Diagrama de conexión de los módulos FV.	84
4.4.12	Cableado de CC.....	84
4.4.13	Cableado de CA.....	85
4.4.14	Protecciones.....	86
4.4.15	Energía producida anualmente.	89
4.4.16	Cálculo del costo de la energía producida anualmente.	89
4.4.17	Análisis comparativo con el programa Solarius P-V	91
4.4.18	Análisis Centro de transformación 15 kVA 9390	92
4.5	Balance Energético.....	93
4.5.1	Curva de carga del complejo deportivo.....	93
4.5.2	Curva de generación del sistema FV.....	95
4.5.3	Curva de carga del complejo deportivo fuera de horas de generación SFV.....	97

4.5.4 Curva de carga del complejo deportivo dentro del horario de generación SFV.....	99
4.5.5 Análisis energía generada vs demandada en periodo de tiempo de 6:00 a 18:30.....	100
4.6 Estudio Económico.....	103
4.6.1 Datos Informativos	103
4.6.1.1 Presupuesto de la Instalación.	103
4.6.2 Tiempo de recuperación de inversión del sistema de generación FV conectado a la red.	108
4.6.3 Análisis costo-beneficio	109
4.7 Estudio Ambiental - Legal	111
4.7.1 Datos Informativo.....	111
4.7.1.1 Emisiones de CO ₂	111
4.7.1.2 Ahorro de toneladas de CO ₂ emitidas a la Atmosfera	112
4.8. Estudio Legal.....	113
4.8.1 Registro del Sistema FV en el ARCONEL	113
4.8.2 Registro - Comercialización De Sistema FV Conectado A La Red De Bajo Voltaje Con Capacidad Hasta 30 kW	115
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA.....	122
ANEXOS.....	125

ÍNDICE FIGURAS.

Figura 1. Ubicación Geográfica del complejo deportivo -----	2
Figura 2. Nivel de radiación promedio Anual-----	6
Figura 3. Irradiación solar global de las provincias y ciudades del Ecuador -----	7
Figura 4. Componentes de la radiación solar terrestre -----	8
Figura 5. Heliógrafos empleados para medir la duración de la luz solar-----	10
Figura 6. Piranómetro, medición de la radiación global, directa y difusa-----	10
Figura 7. Medidas Piranométricas para diferentes condiciones ambientales -----	11
Figura 8. Horas solares pico -----	13
Figura 9. Efecto de la inclinación del colector sobre el área respecto a la componente directa. Fuente: Photovoltaic Systems Engineering -----	14
Figura 10. Potencia nominal de centrales de generación con energía renovable -	17
Figura 11. Ubicación central de generación con energía renovable -----	18
Figura 12. Esquema Sistema fotovoltaico conectado a la red-----	20
Figura 13. Edificio con fachada fotovoltaica-----	21
Figura 14. Huerto solar fotovoltaico-----	22
Figura 15. Efecto Fotovoltaico -----	23
Figura 16. Panel de silicio monocristalino, panel de silicio policristalino -----	24
Figura 17. Elementos de un panel FV -----	24
Figura 18. Curva Tensión/Corriente/Potencia módulo fotovoltaico -----	25
Figura 19 Curvas I-V para diferentes irradiancias a 25°C y para diferentes temperaturas a Una irradiancia de 1000W/m2-----	29
Figura 20. Rendimiento del Inversor -----	33
Figura 21. Inversor Conectado a la Red Eléctrica. -----	35
Figura 22. Medidor bidireccional -----	37
Figura 23. Datos del Centro de Transformación -----	40
Figura 24. Diagrama Unifilar Centro de Transformación -----	41
Figura 25. Ubicación geográfica PLATAFORMA DEPORTIVA -----	43
Figura 26. Piranómetro, Medición de la Radiación Global, Directa y Difusa -----	45

Figura 27. Especificación técnica del equipo de medición (Piranómetro) -----	46
Figura 28. <i>Cosine Response of SP Series Pyranometers</i> -----	46
Figura 29. Datos meteorológicos-----	48
Figura 30. Diagrama de flujo diseño del SGFV conectado a la red-----	51
Figura 31. Orientación de la estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año-----	56
Figura 32. Distancia mínima entre aristas de paneles. -----	56
Figura 33. Software SOLARIUS PV -----	62
Figura 34. Equipo piranómetro haciendo las mediciones de los datos -----	64
Figura 35. Curva de radiación solar de Septiembre- Octubre-Noviembre -----	65
Figura 36. Datos de niveles de radiación NASA 2017-----	67
Figura 37. Demanda Complejo Deportivo Fuente: -----	77
Figura 38. Consumo energía eléctrica 2017 complejo deportivo-----	78
Figura 39. Arreglo de los paneles FV -----	80
Figura 40. Ubicación de los módulos en la azotea del complejo deportivo -----	82
Figura 41. Conexión de 3 arreglos conectados en serie-----	84
Figura 42. Curva de carga PLATAFORMA DEPORTIVA-----	93
Figura 43. Energía Generada SFV 6:30-18:00-----	96
Figura 44. Energía complejo deportivo fuera del periodo de generación -----	97
Figura 45. Cálculo energía – Curva de carga complejo fuera de horas de generación del FV. -----	98
Figura 46. Curva de carga consumida en horario SFV 6:30-18:00 -----	99
Figura 47. Calculo de la energía- Curva consumida en el complejo deportivo 6:00-18:00 -----	100
Figura 48. Genera vs carga 6:30- 18:00-----	102

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Matriz de la Operacionalización de variables	49
Tabla 2. Radiación media en el periodo establecido (Septiembre-Octubre- Noviembre).....	66
Tabla 3. Comparación de las medidas de radiación (Medición Campo – NASA)	68
Tabla 4. Comparación de las medidas de radiación de (Medición Campo – Software Solarius F-V).....	69
Tabla 5. Consumo de energía eléctrica del complejo deportivo	70
Tabla 6. Resumen análisis de Varianza.....	71
Tabla 7. Análisis calculado-software	91
Tabla 8. Análisis Centro de Transformación.....	92
Tabla 9. Datos de mediciones demanda de carga.....	94
Tabla 10. Resumen de Energía generada vs carga	101
Tabla 11. Costo de inversión de equipos.....	104
Tabla 12. Costo inversión cables.....	105
Tabla 13. Costo personal Construcción SFV	106
Tabla 14. Costo diseño construcción y funcionamiento.....	106
Tabla 15. Costo factibilidad ARCONEL	107
Tabla 16. Costo total sistema FV conectado a la red	108
Tabla 17. Flujo Neto del Efectivo	109
Tabla 18. Calculo VAN - TIR	110



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
Maestría en Gestión de Energías

DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CONECTADO A LA RED UTILIZANDO PANELES FOTOVOLTAICOS PARA EL AUTOCONSUMO DEL COMPLEJO DEPORTIVO PLATAFORMA DEPORTIVA UBICADA EN EL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI

Autor: Ing. Herrera Vaca Luis Eduardo
Tutor: MSc. Edwin Marcelo Lema Guamán

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema de generación FV (Foto Voltaico) conectado a la red de distribución, para autoconsumo del complejo deportivo (Plataforma Deportiva) ubicada en el barrio Isimbo 1, Cantón Latacunga, Provincia Cotopaxi. En este proyecto se realiza la evaluación del recurso solar (radiación solar) en el sitio, durante un periodo de 3 meses del año 2017, para compararlo con el software Solarius P-V utilizado para la simulación. Una vez culminadas las mediciones, se procede a determinar el consumo máximo de energía por el complejo deportivo, para posteriormente dimensionar los distintos elementos que conforman el sistema de generación FV. Se compara el diseño calculado con el simulado, obteniéndose resultados similares. Además se realiza el análisis económico de la propuesta presentada, con lo referente a recuperación de la inversión, VAN y TIR. Como estudio complementario, se analiza la legislación referente a normativas de comercialización y despacho de energía de sistemas FV conectados a la red para autoconsumo ya que en la actualidad ELEPCO S.A. no ha realizado convenio con este tipo de sistemas de generación. Mediante un análisis de impacto ambiental, se particulariza los beneficios para el ecosistema, siendo el presente proyecto pionero en este tipo de generación. Se presenta además el balance energético del proyecto, en el cual se determina que la energía inyectada a la red será mayor a la consumida en el

complejo, en los periodos de tiempo donde exista generación FV. Por tal razón, se concluye que existirá un ahorro energético

Descriptor: Potencial energético solar, generación fotovoltaica conectada a la red, energía alternativa



COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

POSGRADUATE DEPARTMENT

Magister in Energy Management

TOPIC: DESIGN OF THE ELECTRICAL GENERATION SYSTEM CONNECTED TO THE DISTRIBUTION NETWORK USING PHOTOVOLTAIC PANELS FOR THE SELF-CONSUMPTION OF THE SPORTS CENTER “PLATAFORMA DEPORTIVA” LOCATED ON LATACUNGA CITY, COTOPAXI PROVINCE

Autor: Ing. Herrera Vaca Luis Eduardo

ABSTRACT

This paper consists of the design of a P-V generation system, connected to distribution network, for self-consumption of sports center “Plataforma Deportiva” located at Isimbo 1, in Latacunga city. In this project, the solar resource evaluation (solar radiation) is performed in this place, during a period of 3 months in the year 2017, to compare it with the simulation software “Solarius P-V”. Once the measurements are completed, was determined the maximum energy consumption that will be consumed by the sport center, to subsequently dimension the different elements that make up the P-V generation system. The calculated design is compared with the simulated one, obtaining similar results. In addition, the economic analysis of the submitted proposal is made, with respect to recovery of the investment, VAN and TIR. As a complementary study, the referring legislation is analyzed, in which it is detailed, that at present there are no marketing regulations with ELEPCO S.A. Through an environmental impact analysis, the benefits for the ecosystem of our planet are particularized, being the present project a pioneer in this type of energy generation. The energy balance of the project determined that the energy injected into the distribution network will be greater than that consumed in

the sport center, in the periods of time where there is no P-V generation. For this reason, there will be energy savings.

Descriptors: Descriptors: Potential solar energy, Photovoltaic generation connected to the grid, Alternative energy

INTRODUCCIÓN

El modelo de desarrollo económico actual en el Ecuador y todos los países del mundo, basado en el uso intensivo de recursos energéticos de origen fósil, provoca impactos medioambientales negativos y desequilibrios socioeconómicos que obligan a definir un nuevo modelo de desarrollo sostenible. El desarrollo sostenible es aquél que trata de garantizar tres objetivos principales de manera simultánea: el crecimiento económico, el progreso social y el uso racional de los recursos.

Parece impensable un mundo futuro en el cual aparezcan carencias del tipo energético como la falta de suministro eléctrico teniendo a disposición la energía eólica, geotérmica, energía solar, entre otros tipos de energía de poca o nula afectación al ecosistema. La visión para el futuro es la utilización de los recursos disponibles en el entorno para el aprovechamiento energético del ser humano, energías limpias que no afecten la biología y la integridad del planeta.

La energía solar emblema de las energías renovables ha protagonizado en los últimos años una progresión debido a las mejoras de la tecnología, asociada a la reducción de costos y principalmente gracias al interés mostrado por las diferentes administraciones en distintos países.

El cambio de matriz energética en el país, permite que este tipo de instalaciones se hayan convertido en viables; entrelazando la voluntad de contribuir en la medida de lo posible a la sostenibilidad energética, y el incremento exponencial de proyectos de energía solar fotovoltaica integrados en edificios o en granjas solares.

A. Situación Problemática

El mundo está sometido al uso de energía producida por motores de combustión y/o turbinas generadoras de energía por medio de la fuerza hidráulica, o también el uso de la energía nuclear. Este tipo de producción de energía son las que predominan pero contaminan y destruyen el medio ambiente; sobre todo la energía por combustión que utiliza sustancias derivadas del petróleo, por lo cual han surgido ya desde hace varias décadas en muchos países desarrollados, el uso de energías limpias como la eólica o la solar; los desarrolladores de tecnología han llegado a crear paneles solares capaces de captar la energía de radiación lumínica del sol en una aglomeración de celdas o células que a su vez convierten esa energía en energía eléctrica.

El sol es una fuente energética natural irremplazable para la humanidad porque gracias a su abundante y gratuito potencial energético, se puede tener varias aplicaciones como: calentamiento de agua de uso doméstico, generación de vapor, generación de energía eléctrica, secado de productos, ambientación, climatización, obtención de hidrógeno, obtención de temperaturas elevadas, estas aplicaciones utilizan a diario tanto en los sectores domésticos como industriales.

Razones por las cuales la Organización Latinoamericana de Energía y el Ecuador mediante el Ministerio de Energías Renovables, Universidades y Escuelas Politécnicas han efectuado trabajos de exploración del recurso solar, diseños de tipos y prototipos, que han insertado al país en el campo de la transformación de energía solar y se ha determinado la factibilidad técnica de proceder a desarrollar a pequeña y mediana escala y mediante escala de transformación energética de sol.

Se pretende con el presente trabajo reducir el costo por consumo de energía eléctrica en el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA” ya que en las condiciones actuales la fuente de suministro de energía eléctrica es ELEPCO S.A. y además que el

complejo sea reconocido como los primeros en tener un cambio hacia el futuro con energía renovable y a su vez verificar la factibilidad para que este complejo sea una fuente de generación para el sistema de distribución.

Actualmente se vive en un país donde se está dando un cambio de matriz energética, beneficioso para el Ecuador y para el complejo, en el cual se realizará el Proyecto de Investigación, esto significa una disminución en el costo por consumo de energía en el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA” para lo cual se realizará el diseño del sistema de generación fotovoltaico conectado a la red utilizando e impulsando el uso de energía solar.

El Proyecto de Investigación considera las siguientes variables:

Variable Independiente: Potencial Energético Solar.

Variable Dependiente: Reducción del consumo de energía convencional mediante un sistema de generación eléctrica conectada a la red, empleando energía solar para el en el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”.

El alto costo por consumo de energía eléctrica convencional (ELEPCO S.A) en el complejo deportivo “PLATAFORMA DEPORTIVA” ubicado en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.

- **Justificación de la investigación**

El complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA” dispone de dos espacios para las actividades deportivas y la vivienda de los dueños del mismo; el problema se da por querer reducir el costo de la planilla eléctrica, para lo cual se propone el uso de energías alternativas, particularmente la energía solar.

El proyecto que se plantea relacionado al aprovechamiento de la energía solar se justifica desde los siguientes puntos de vista:

El Ecuador para satisfacer su demanda energética utiliza en los diferentes sectores energía cinética (hidráulica) y la combustión de petróleo (térmica), en función de las diferentes plantas de transformación de energías instaladas a nivel nacional y el componente proveniente del sol es casi nulo.

Es bueno recordar que la transformación de energía primaria proveniente de los derivados del petróleo con lleva una eficiencia térmica de alrededor del 30 %, y la energía hidráulica un 80 % (ARCONEL, 2016), el cambio de transformación con la energía alternativa (sol) en energía eléctrica, útil para todo tipo de instalaciones ya sea residenciales, comerciales e industriales; con la característica de que esta energía primaria es completamente gratuita y abundante, así como inagotable, no así con el elevado precio del petróleo.

El alto grado de contaminación y costo de adquisición que acarrea consigo la utilización de energías provenientes del petróleo y la sedimentación y escases de agua utilizando la energía hidráulica, mientras que la utilización de las energías renovables como fuente de generación eléctrica no conlleva a ninguna clase de contaminación.

El Costo de transformación de energía solar en uso eléctrico, es amortizable en el tiempo, como se demostrará a lo largo de este estudio.

Con la consideración de todo lo anterior se justifica plenamente la realización del proyecto; diseñar el sistema de generación de energía eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo en el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”, proyecto que pretende constituirse en un estudio

demostrativo de las bondades técnicas, económicas y ecológicas del uso de la energía solar.

Este uso de energía alternativa, además de proporcionar el potencial adecuado al complejo, permite un ahorro económico y aporta a la conservación del medio ambiente. A su vez, el área geográfica en la cual se encuentra ubicado el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA” proporciona los recursos solares necesarios para la implementación de sistemas de energía solar, que permitan su aprovechamiento

- **Objeto de estudio de la investigación**

Sistema fotovoltaico para generar energía eléctrica.

- **Campo de acción de la investigación**

Sistema de generación eléctrica conectado a la red empleando energía solar para el autoconsumo del complejo deportivo “PLATAFORMA DEPORTIVA”.

- **Hipótesis**

El estudio del potencial de energía solar en la Parroquia Juan Montalvo, Barrio ISIMBO1, donde se encuentra ubicado el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”, permitirá diseñar un Sistema de Generación Fotovoltaico conectado a la red para el autoconsumo y reducir el costo por consumo de energía convencional.

- **Objetivo General**

Diseñar el sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo del complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”, y reducir el consumo de energía convencional.

- **Sistema de objetivos específicos**

- ✓ Determinar la radiación solar en el complejo deportivo.
- ✓ Simular el sistema de generación FV diseñado en el software “Solarius P-V”
- ✓ Evaluar el proyecto desde el punto de vista ambiental, legal, energético y económico.
- ✓ Realizar el balance energético del sistema de generación FV.

- **Visión epistemológica de la investigación**

Paradigma o Enfoques

El presente Proyecto de Investigación tendrá una modalidad de investigación aplicada, con un enfoque cualitativo y cuantitativo. Cualitativo porque trabajará de manera dinámica en la consecución de objetivos a partir de una problemática, para sustentar el desarrollo de una propuesta. Cuantitativo porque relacionará concepciones científicas, teorías y principios para su contextualización teórica; además proporcionará datos y valores métricos que ponderan la solución del problema, en una metodología de diseño. El estudio utilizará la estadística para la comprobación de hipótesis; y en función de los datos, variables e información se efectuarán conclusiones y recomendaciones.

- **Alcance de la investigación**

El proyecto consistirá en el diseño, descripción y cálculo de todos los componentes necesarios que forman parte de un Sistema de Generación Fotovoltaico conectado a la Red para el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”.

Todos los componentes necesarios serán descritos y calculados en los apartados siguientes del Sistema de Generación Fotovoltaico conectado a la Red. Además, se realizará un análisis de rentabilidad económica, para determinar el consumo energético.

También se realizará un análisis ambiental para determinar las toneladas de CO₂ que son emitidas a la atmósfera cuando existe una generación convencional.

Además nos involucraremos en la parte Legal debido a que en la actualidad no existe una norma o procedimiento de comercialización con la empresa distribuidora.

Y por último realizaremos un balance energético para verificar si la energía inyectada a la red será la suficiente para abastecer la carga de complejo en el periodo de tiempo donde no exista generación por parte del sistema propuesto.

- **Descripción breve del Proyecto de Investigación**

El presente Proyecto de Investigación realiza un estudio de pre factibilidad para la implementación de un Sistema de Generación Fotovoltaico conectado a la Red en el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”, del Barrio ISIMBO1, Parroquia Juan Montalvo de la ciudad de Latacunga, a través de distintas herramientas de ingeniería y la aplicación de la gestión de proyectos. Este trabajo propone satisfacer la demanda de energía eléctrica para el autoconsumo del complejo deportivo, mediante el uso de energía solar, con la finalidad de lograr un ahorro económico con respecto al gasto tentativo por kWh consumidos que produce un sistema de energía eléctrica convencional de la red pública.

Con el Proyecto de Investigación también se pretende incentivar el cuidado del medio ambiente y diversificar la matriz energética de la ciudad de Latacunga y la provincia de Cotopaxi. Esta propuesta de energía alternativa genera mayores oportunidades en el aspecto económico, ambiental y social, permite el ahorro en costos de generación eléctrica, mitiga el impacto causado al ecosistema y mejora el servicio del complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”. Para complementar la teoría con la práctica, el trabajo científico estará estructurado de la siguiente manera:

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED

En el capítulo se realiza una caracterización del objeto, se determina el marco teórico de la investigación, fundamentación y bases teóricas del problema a investigar.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

Se detalla los métodos para realizar la investigación,

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE PARAMETROS INICIALES OBTENIDOS EN LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Se detalla la recolección y tratamiento de la información

CAPÍTULO 4. PROPUESTA.

Se propone la solución al problema, y se detalla todos los el procedimiento de la elaboración del proyecto. Además un análisis energético del nuevo sistema de generación.

Se detalla la viabilidad del proyecto desde el punto de vista económico. Para lo cual se describe costos de diseño, construcción y funcionamiento del sistema. Además el cálculo del de los índices económicos. Y por último en este capítulo se hace referencia a las normativas de sistemas de generación FV conectadas a la red, y el impacto ambiental que tendrá la instalación del mismo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

ANEXOS.

CAPÍTULO 1

1. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED

1.1 Caracterización detallada del objeto

Objeto: Energías renovables en la generación de energía eléctrica conectada a la red para el autoconsumo del complejo deportivo “PLATAFORMA DEPORTIVA” ubicado en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.

La investigación se realiza tomando en consideración los siguientes aspectos:

- Evaluar el consumo energético en el complejo deportivo.
- Determinar el potencial energético del sol en donde se encuentra ubicado el complejo deportivo y su capacidad para generar energía eléctrica

En el Ecuador, según la regulación 004/11 del CONELEC, que la seguridad energética para el abastecimiento de la electricidad debe considerar la diversificación y participación de las energías renovables no convencionales, a efectos de disminuir la vulnerabilidad y dependencia de generación eléctrica a base de combustibles fósiles (CONELEC, 2011).

El alto grado de contaminación y costo de adquisición que acarrea consigo la utilización de energías provenientes del petróleo y la sedimentación y escases de agua utilizando las energías hidráulicas, mientras que la utilización de las energías renovables como fuente de generación eléctrica no conlleva a ninguna clase de contaminación.

Con la consideración de todo lo anterior se justifica plenamente la realización del proyecto de diseñar el sistema de generación de energía eléctrica conectado a la red

utilizando paneles fotovoltaicos para disminuir el consumo de energía eléctrica del complejo deportivo a la empresa distribuidora (ELEPCO S.A), proyecto que pretende constituirse en un estudio demostrativo de las bondades técnicas económica, ecológicas del uso de la energía solar.

El complejo deportivo donde se va a realizar los análisis para el presente estudio está ubicado en la provincia de Cotopaxi - Cantón Latacunga - Parroquia Juan Montalvo - Barrio ISIMBO1 como se lo muestra en la Figura 1.

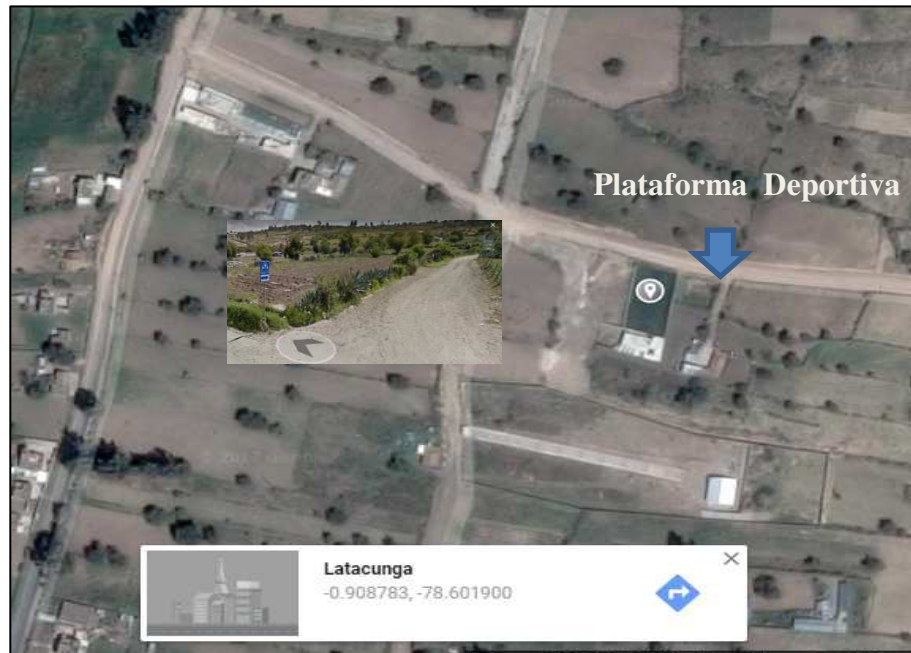


Figura 1. Ubicación Geográfica del complejo deportivo

(Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/>)

Además el período para la investigación para evaluar el potencial energético solar será de tres meses.

1.2 Marco Teórico de la Investigación

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el cambio climático que se ha dado en todo el planeta Tierra, es consecuencia del efecto invernadero que se origina por el estancamiento de ciertos gases en la atmósfera; gases como el dióxido de carbono y el metano originados por combustibles e hidrocarburos al estar suspendidos en la atmosfera encierran la radiación que es reflejada por la superficie terrestre ocasionando un desequilibrio entre la radiación entrante y saliente en la atmosfera, siendo este desbalance el causante de un calentamiento a gran escala en todo el mundo.

Por tal motivo el 11 de diciembre de 1997 se instala en Kioto una convención que cita y propone a los países industrializados a tomar medidas urgentes para mitigar este efecto, acordando **“reducir en al menos un 5% las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012 tomando como referencia los niveles de 1990”** Organización de Naciones Unidas (Wai, 2008).

Por tal motivo a continuación se detallan algunas de las principales fuentes de energías renovables:

- El Sol: mediante la utilización de su calor y radiación
- El agua: capaz de mover el eje de un generador eléctrico
- El viento: que impulsa aerogeneradores de gran volumen
- La gravedad: capaz de mantener en movimiento sistemas mecánicos por largos periodos de tiempo, entre otras.

1.2.1 Argumentación acerca de la necesidad de la investigación

El Ecuador es un país con características topológicas muy variadas, de gran diversidad climática y condiciones únicas que le confieren un elevado potencial de energías renovables y limpias, las cuales no pueden quedar al margen del inventario de los recursos energéticos para producción eléctrica, pues las condiciones de cobertura y satisfacción de la demanda que representan en la actualidad, demuestra un estrecho vínculo especialmente con la electrificación y energización rural.

El diseño de políticas, estrategias y medidas para incentivar el mayor uso de las energías limpias que promuevan el desarrollo especialmente en zonas rurales e incluso en las zonas Urbanas, se fundamenta en su cuantificación, disponibilidad y distribución estacional en el territorio.

En uso de las atribuciones que le confiere la Constitución Política del Estado, que el consumo energético ecuatoriano se sustenta mayormente en hidrocarburos, minerales, combustibles recursos naturales no renovables, es imperioso que se busquen fuentes sustitutivas para producir energía y que a su vez, expide el siguiente.

Artículo 1.- El Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales, a través de las instituciones de investigación y bajo la coordinación del Instituto Nacional de Energía (INE), a fin de adoptar y desarrollar nuevas tecnologías para la utilización de estos recursos (Reglamento, 1982).

1.3 Aspectos Teóricos Fundamentales

1.4 Energía Solar

El sol representa la mayor fuente de energía existente en nuestro planeta. La cantidad de energía emitida y que llega a la tierra en forma de radiación, equivale

aproximadamente 35 millones de veces la energía producida por todas las centrales de generación eléctrica (Barragan, 2014).

La energía solar es una fuente de energía renovable y con la que se pueden generar calor y electricidad. Existen varias maneras de recoger y aprovechar los rayos del sol para generar energía que dan lugar a los distintos tipos de energía solar:

- La fotovoltaica (transforma los rayos en electricidad mediante el uso de paneles solares.)
- La fototérmica (aprovecha el calor a través de los colectores solares) y
- La termoeléctrica (transforma el calor en energía eléctrica de forma indirecta).

1.5 La Energía Solar en el Ecuador

De los datos obtenidos del Consejo Nacional de Electricidad **“El Ecuador es un país con características topográficas muy variadas, de gran diversidad climática y condiciones únicas que le confieren un elevado potencial de energías renovables y limpias”** (Conelec, 2008).

Desde el 2005 funciona un parque fotovoltaico en Galápagos, que cubre el 30% de la energía eléctrica requerida. En octubre del 2012 se inició la construcción de un nuevo parque eólico en Baltra con capacidad de 2,1 MW.

1.5.1 Energía solar disponible en Ecuador

“El primer paso en el diseño de un SFV consiste en conocer si en el sitio existe el recurso suficiente de energía solar. Información sobre la radiación solar diaria promedio se obtiene de sitios Web como el de la NASA o las referencias

indicadas más abajo. El dato que nos interesa es el nivel de radiación promedio anual. En el caso del Ecuador, los niveles de radiación son relativamente altos, entre 4 y 6 kWh/m²/día promedio anual. Se debe tener en cuenta también las condiciones climáticas del sitio (nubosidad, pluviosidad, temperatura, viento).” (NEC-10 PARTE , 2017). En la Figura 2. Se muestra los niveles de radicaion en el Canton Latacunga según el software Solarius P-V.

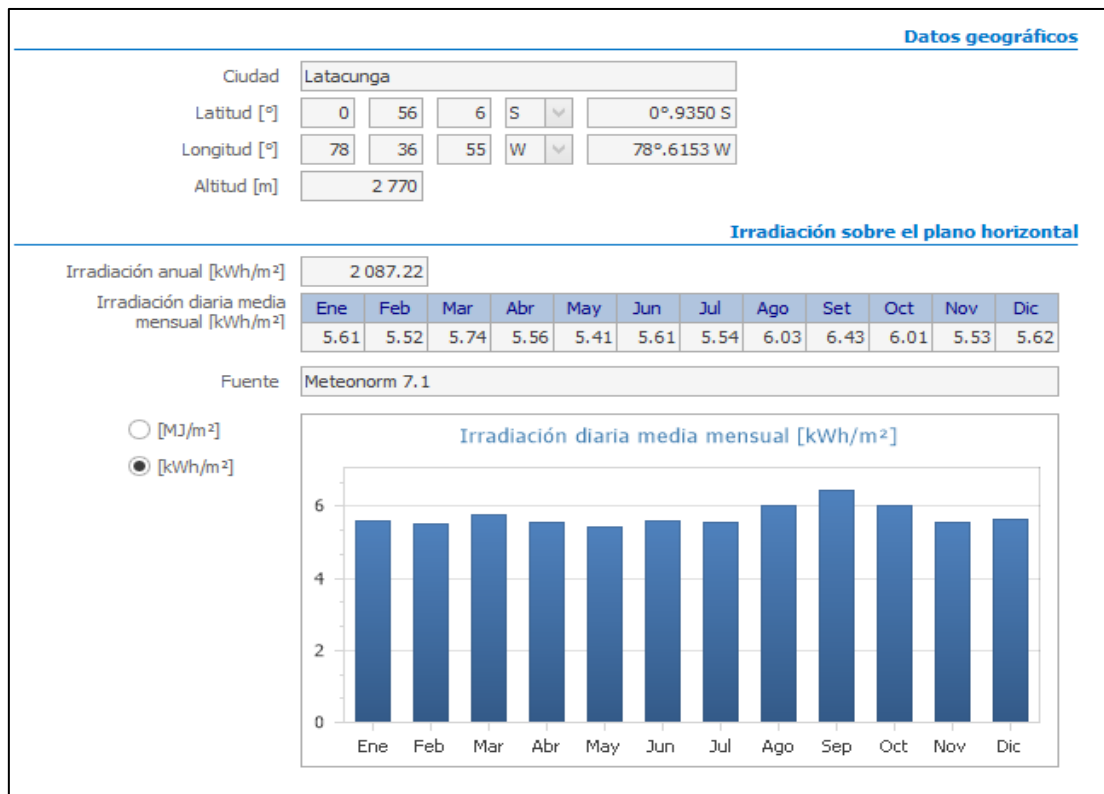


Figura 2. Nivel de radiación promedio Anual
Fuente: Software SOLARIUS P-V

Irradiación solar total incidente o irradiación global, es la suma de las irradiaciones directa y difusa. La tasa de irradiación depende en cada instante del ángulo que forman la normal a la superficie en el punto considerado y la dirección de incidencia de los rayos solares. Por supuesto, dada la lejanía del sol respecto de nuestro planeta, podemos suponer, con muy buena aproximación, que los rayos del sol inciden esencialmente paralelos sobre el planeta. Para el estudio de la presente

investigación, se utiliza la irradiación solar global para posteriores cálculos de su incidencia en la generación de sistemas fotovoltaicos. (Protection, 2011)

1.5.1.1 Datos de irradiación solar en el Latacunga

Al estar atravesado por la línea equinoccial, el Ecuador tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año, lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir electricidad y calor, ya que en promedio hay 12 horas de sol durante el día.

PROVINCIA	CIUDAD	Wh/m ² /día	ZONA
Carchi	Tulcán	4200	II
Esmeraldas	Esmeraldas	4350	II
Imbabura	Ibarra	5250	IV
Manabí	Portoviejo	4650	III
Pichincha	Quito	5075	IV
Tsáchilas	Santo Domingo	4650	III
Cotopaxi	Latacunga	4800	IV
Napo	Tena	4350	II
Santa Elena	Salinas	4350	II
Guayas	Guayaquil	4513	III
Los Ríos	Babahoyo	4650	III
Bolívar	Guaranda	4800	IV
Tungurahua	Ambato	4650	III
Chimborazo	Riobamba	4200	II
Pastaza	Puyo	4200	II
Cañar	Azogues	4500	III
Morona Santiago	Macas	4050	II
Azuay	Cuenca	4350	II
El Oro	Machala	4200	II
Loja	Loja	4350	II
Zamora Chinchipe	Zamora	4350	II
Galápagos	Puerto Ayora	5835	V

Figura 3. Irradiación solar global de las provincias y ciudades del Ecuador

Fuente: (NEC-10 PARTE, 2017)

1.6 Energía Solar Fotovoltaica

“La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Esta transformación en energía eléctrica se consigue aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas.” (Roper, 2016).

Radiación solar.- Es la energía emitida por el Sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar (Rodríguez, 2008).

Además la potencia de la radiación depende del momento del día, las condiciones atmosféricas y la ubicación. Bajo condiciones óptimas se puede asumir un valor aproximado de irradiancia de 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. Esta radiación puede llegar a la tierra en forma directa, indirecta y difusa. En la Figura 4. Se muestra los componentes de la radiación solar.

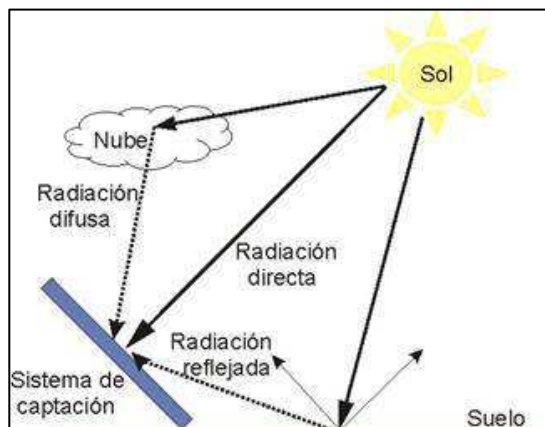


Figura 4. Componentes de la radiación solar terrestre

Fuente: (Herrera, 2010)

La radiación directa: es aquella que proviene directamente del sol. (Perpiñan , 2014).

La radiación difusa: es aquella que proviene de la atmosfera, por dispersión de parte de la radiación solar en ella. En los días más soleados sin presencia de nubosidades este tipo de radiación puede suponer aproximadamente el 15% del

global, pero en los días nublados en los que se reduce la cantidad de radiación directa este tipo de radiación aumenta de manera considerable (Perpiñan , 2014).

La radiación reflejada: es aquella que proviene de la superficie terrestre. La cantidad de este tipo de radiación depende del llamado coeficiente de reflexión de la superficie o “albedo”. Son únicamente las superficies verticales (perpendiculares a la superficie terrestre) las que reciben esta radiación (Perpiñan , 2014).

1.6.1. Implementos de medición de la radiación solar

Los instrumentos utilizados en la medición de la radiación solar, se clasifican según sea la medida a realizar, como por ejemplo la duración de la luz solar, la radiación directa, la radiación difusa y reflejada; a continuación se describen algunos de ellos.

- Heliógrafos

Sirven para medir la duración de la luz solar, que se puede definir como el intervalo de tiempo durante el cual se ve el disco solar y determinan los períodos del día durante los cuales la intensidad de la radiación directa es superior a un cierto umbral, que está reconocido a nivel mundial con un valor de 120 W/m^2 . El intervalo de tiempo transcurrido entre la salida y la puesta de Sol, define el máximo tiempo de radiación solar diaria posible, para un día concreto del año y para un lugar determinado.

Los heliógrafos no comienzan a registrar la radiación solar hasta que la radiación directa es superior a un cierto valor, variable de un tipo de aparato a otro. El registrador de referencia intermedio de luz solar tiene un mínimo de intensidad de 210 W/m^2 , equivalente a $1/5$ de la máxima posible; debido a las variaciones entre los instrumentos, este umbral puede oscilar entre 7 y $28 \mu\text{W/cm}^2$. (Salgado , 2010).



Figura 5. Heliógrafos empleados para medir la duración de la luz solar
Fuente: (Herrera , 2010)

- Piranómetros

Sirven para medir la radiación global, directa y difusa, que se recibe en todas las direcciones. La radiación directa se elimina poniendo el aparato a la sombra, con ayuda de una pantalla, para que la superficie sensible del piranómetro capte sólo la radiación difusa.



Figura 6. Piranómetro, medición de la radiación global, directa y difusa
Fuente: (Schallenberg, 2008)

La banda de frecuencias medida por el piranómetro está comprendida en el intervalo entre 0,3 y 3 mm; si está protegido de la radiación directa por un anillo protector desvanecedor, entonces mide sólo la radiación difusa.

Los piranómetros más usuales se basan en la detección de la diferencia de temperaturas entre una superficie negra y una superficie blanca mediante termopilas o células fotoeléctricas, que deben estar protegidas del viento y compensadas para cambios de temperatura ambientales, mediante una doble semiesfera de vidrio, para suprimir los fenómenos de convección. Mediante un nivel se consigue la horizontalidad del aparato (Pérez, 2007).

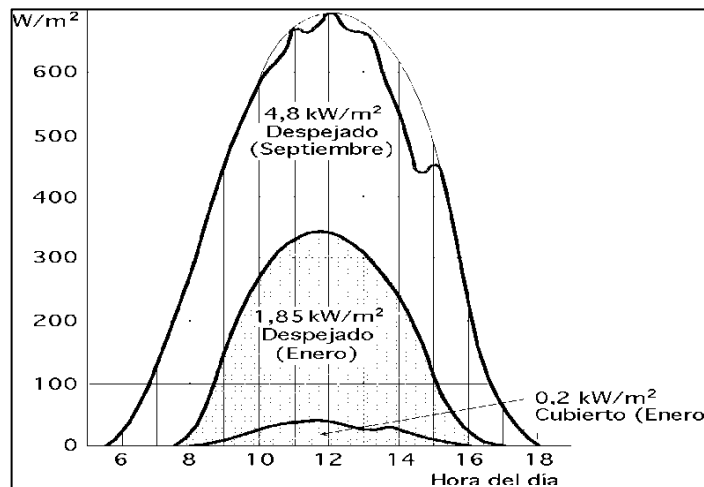


Figura 7. Medidas Piranométricas para diferentes condiciones ambientales
Fuente: (Schallenberg, 2008)

1.7 Medida de Radiación

Las medidas o magnitud para la radiación son las siguientes:

Irradiancia.- Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de

calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es W/m^2 (Pérez, 2007).

Irradiación.- Es la energía del Sol que se proyecta sobre una unidad de superficie en un tiempo determinado y viene dado en Wh/m^2 o kWh/m^2 . Las estimaciones promedio que realizan los satélites que orbitan la Tierra pueden ser modificadas de forma conveniente que podamos obtener datos en diferentes intervalos de tiempo (Roper, 2016).

Hora Sol Pico (Hsp) O Insolación.- Conocidas como horas efectivas de Sol es el resultado de la irradiación en un intervalo de tiempo de un día, sirven para calcular cuanta energía va a generar un panel solar a lo largo de un día, y con este valor se puede interpolar para obtener las HSP en semanas, meses, años o para estimar cuanta energía puede generar un panel durante su vida útil (Taghizadeh, 2011).

Todos los paneles son fabricados bajo Condiciones Estándar de Medida (CEM), una vez cumplida estas condiciones el panel puede generar el 100% de su potencia.

La generación en un panel llega a su pico más alto al momento que incide sobre este una irradiancia de $1000 W/m^2$, para una irradiancia diferente en una hora del día la potencia generada es directamente proporcional a la irradiancia instantánea; por tal motivo un panel solar nunca genera una potencia estable en el tiempo por el contrario es el aporte de las potencias instantáneas (SunFields, 2015).

El área bajo la curva en la figura siguiente muestra la variabilidad de la irradiancia durante un día, obteniendo bajos niveles de irradiancia durante las horas de la mañana y por el atardecer, por el contrario al medio día este valor puede llegar a sobrepasar el límite considerado (Barragan, 2014).

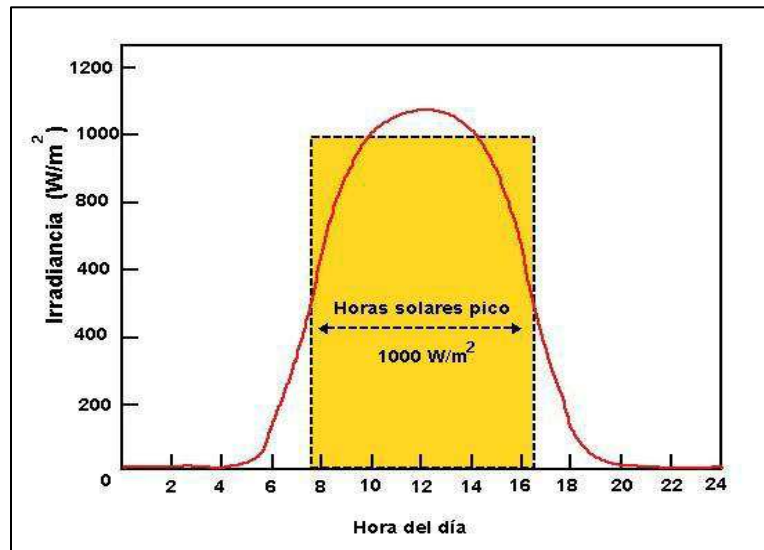


Figura 8. Horas solares pico

Fuente: (Barragan, 2014)

1.7.1 Irradiación Eficiente sobre el Panel Fotovoltaico

Para el correcto diseño de sistemas de generación de energía fotovoltaica la orientación de los paneles tiene un papel fundamental.

La solución menos complicada es montarlo horizontalmente, pero esta opción no optimiza la captación de rayos solares en la mayoría de latitudes, ya que la componente de los mismos incidente sobre el panel es proporcional al coseno del ángulo entre el rayo incidente y la normal del plano del colector, tal como se muestra en la Figura 9. **“La fracción de energía colectada estará entre los valores de $\cos(\gamma)$ y 1, dependiendo de la proporción entre la componente directa y difusa”** (Castelán, 2009).

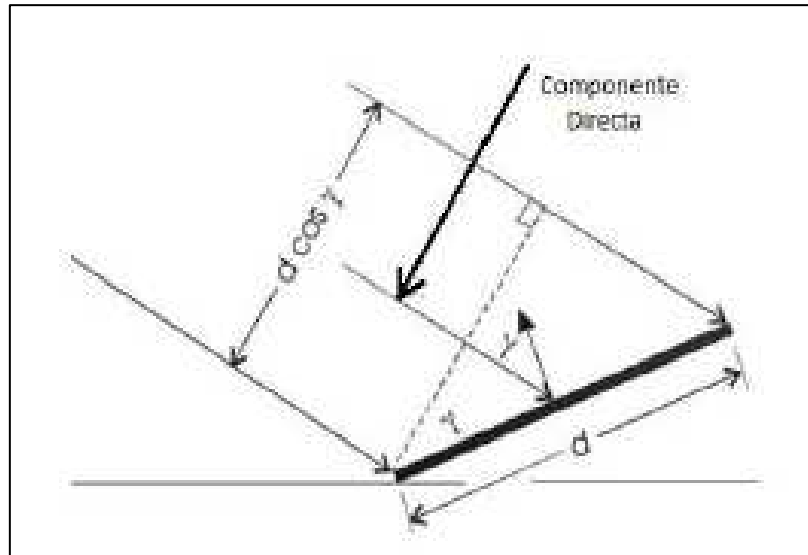


Figura 9. Efecto de la inclinación del colector sobre el área respecto a la componente directa.

Fuente: Photovoltaic Systems Engineering

1.7.2 Inclinación Paneles FV

“La inclinación de los paneles en sistemas fotovoltaicos tiene una gran importancia ya que con la inclinación adecuada se logra captar mayor radiación, se propone la siguiente relación entre el ángulo de inclinación y la latitud (ambos en grados)” (Perpiñan , 2014).

Para obtener el ángulo de inclinación que optimiza el funcionamiento de un sistema fotovoltaico como se indica en la ecuación 1.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\phi| \quad (1)$$

Dónde:

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptimo.

$|\phi|$ = Latitud del lugar de la instalación fotovoltaica.

Los sistemas de rastreo solar aumentan la cantidad de radiación que puede recibir el panel fotovoltaico, y que en climas extremadamente secos como desiertos pueden aumentar el rendimiento en un 35 a 50%, pero en climas más húmedos aumentan el mismo en 9 a 15%. En el caso ecuatoriano, el incorporar este sistema no justificaría su costo y reduciría la fiabilidad del sistema por la presencia de partes móviles que necesitan mantenimiento regularmente (Perpiñan , 2014).

1.8 Sistemas fotovoltaicos conectados a red

En países industrializados, gracias a la maduración alcanzada en las tecnologías de dispositivos fotovoltaicos y convertidores estáticos de potencia, así como a la reducción en sus costos de fabricación, la generación fotovoltaica ligada a la red se ha venido convirtiendo gradualmente en una alternativa viable en el esquema de generación distribuida. Esto hoy en día es una realidad en algunos países como Dinamarca, Holanda, Alemania y Japón (Guerra, 2016).

En términos generales, los generadores fotovoltaicos distribuidos conectados a la red pueden aportar importantes beneficios a los sistemas de distribución, dependiendo de las características y condiciones operativas de red de distribución, así como de la localización de éstos dentro de la misma. Los beneficios potenciales más importantes son:

- Suavización de picos de demanda cuando existe cierto grado de coincidencia entre el perfil de generación fotovoltaica y el perfil de consumo del inmueble o alimentador.
- Alivio térmico a equipos de distribución, lo que implica también la posibilidad de postergar inversiones de capital para incrementar su capacidad o reemplazo.

- Disminución de pérdidas por transmisión y distribución.
- Soporte de voltaje en alimentadores de distribución.
- Compensación de potencia reactiva en el alimentador.

Durante los últimos 30 años, el país dejó de invertir energía con centrales hidroeléctricas, y debido a esa situación tuvo que vivir por varios años con racionamiento de energía en épocas de estiaje (nivel más bajo que tienen las aguas de un río en ciertas épocas del año), lo que provocó la compra de energía a países vecinos a precios elevados, así como altos costos en combustibles en centrales termoeléctricas, generando una inevitable contaminación al medio ambiente (Wai, 2008).

Ahora el Ecuador tiene otra visión ya que ha ido avanzado muchísimo en generación hidroeléctrica, al mismo tiempo, desarrollando proyectos de generación eólica y solar que son fundamentales para el desarrollo varias comunidades. Por tal razón se crea una normativa vigente para el Ecuador con lo referente a sistemas fotovoltaicos (NEC-10 , 2017).

Acontinuacion se presenta las generadoras por provincia y su potencia esto en referencia a como ha ido incrementado el uso de la energia renovable especificamente la Solar.

Provincia	Tipo de central	Número de centrales		Potencia Nominal (MW)		
		2007	2016	2007	2016	Variación
Azuay	Hidráulica	3	6	1.113,43	1.772,49	659,06
Bolivar	Hidráulica	1	1	1,90	8,00	6,10
Cañar	Biomasa	1	1	29,80	29,80	0,00
Cañar	Hidráulica	0	2	-	32,33	32,33
Carchi	Hidráulica	4	3	5,00	4,71	-0,29
Chimborazo	Hidráulica	3	4	13,84	16,33	2,49
Cotopaxi	Hidráulica	6	6	29,36	28,79	-0,56
Cotopaxi	Solar	0	2	-	2,00	2,00
El Oro	Solar	0	6	-	5,99	5,99
Galápagos	Eólica	1	2	2,40	4,65	2,25
Galápagos	Solar	1	7	0,02	1,64	1,63
Guayas	Biomasa	2	2	44,00	114,50	70,50
Guayas	Hidráulica	1	1	213,00	213,00	0,00
Guayas	Fotovoltaica	-	4	-	3,98	3,98
Imbabura	Hidráulica	4	7	9,00	74,56	65,56
Imbabura	Fotovoltaica	-	3	-	4,00	4,00
Loja	Eólica	-	1	-	16,50	16,50
Loja	Fotovoltaica	-	6	-	5,99	5,99
Los Rios	Hidráulica	1	2	16,00	57,57	41,57
Manabi	Hidráulica	2	-	9,00	-	-9,00
Manabi	Fotovoltaica	-	2	-	1,50	1,50
Morona Santiago	Hidráulica	2	2	38,83	88,40	49,57
Morona Santiago	Fotovoltaica	-	1	-	0,37	0,37
Napo	Hidráulica	2	3	6,73	1.516,95	1.510,22
Orellana	Hidráulica	1	1	2,30	2,30	0,00
Pichincha	Hidráulica	14	17	129,90	134,38	4,48
Pichincha	Fotovoltaica	-	1	-	1,00	1,00
Pichincha	Biogas	-	1	-	2,00	2,00
Sucumbios	Hidráulica	1	-	0,40	-	-0,40
Tungurahua	Hidráulica	4	6	466,00	494,15	28,15
Zamora Chinchipe	Hidráulica	1	1	2,40	2,40	0,00
Total		55	101	2.133,30	4.640,29	2.506,99



Figura 10. Potencia nominal de centrales de generación con energía renovable

Fuente: (ARCONEL, 2016)

En la provincia de Cotopaxi en la actualidad se encuentran instaladas dos granjas solares como se las aprecia en la siguiente figura , de 1 MW en los siguientes sectores:

- Mulalo
- Pastocalle

Estos son algunos de los proyectos puestos en funcionamiento pero cabe recalcar que con lo referente a Sistemas de generacion FV conectados a la red para autoconsumo hasta la actualidad no existe ninguna implementacion .

1.8.1 Definición de un sistema fotovoltaico conectado a red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) constituyen una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos años, debido a su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica (González,2003).

Estos sistemas están compuestos por un generador fotovoltaico que se encuentra conectado a la red eléctrica de la empresa distribuidora a través de un inversor, produciéndose un intercambio energético entre ésta y el sistema fotovoltaico. El sistema inyecta energía a la red cuando su producción supera al consumo local, y extrae energía de ella en caso contrario.

La diferencia entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia del sistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga. Además el inversor en los sistemas conectados a red deberá estar en fase con la con la tensión de la red eléctrica. En la Figura 12 se presenta el esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red (Boletín IIE ,2003).

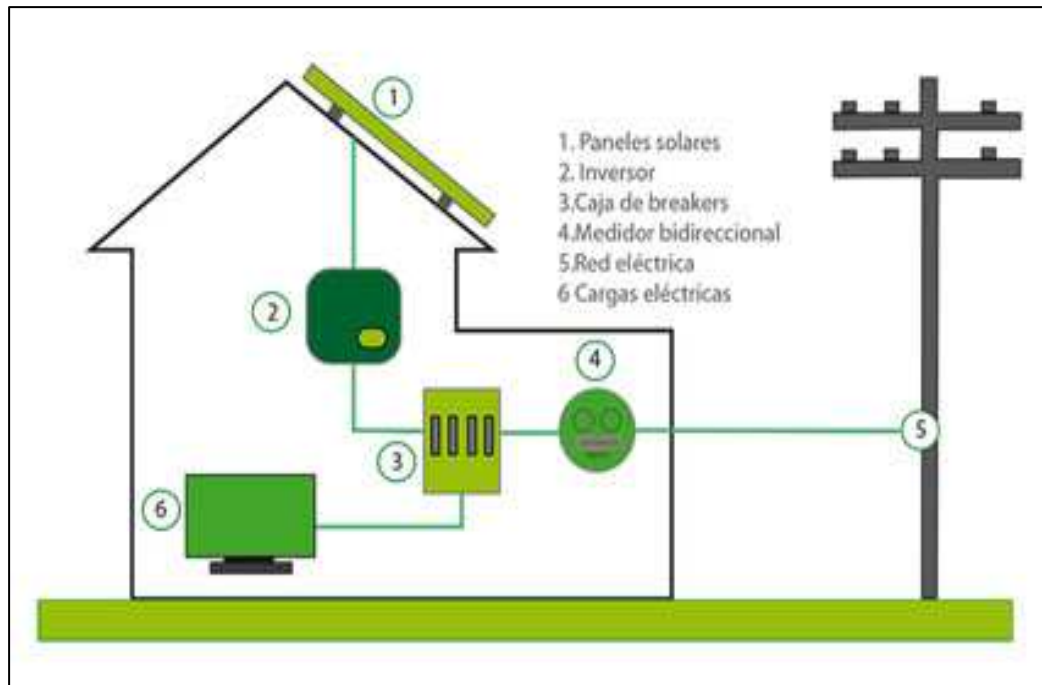


Figura 12. Esquema Sistema fotovoltaico conectado a la red

Fuente: (Boletín IIE ,2003)

1.8.2 Tipos de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Sistemas fotovoltaicos en edificios
- Centrales o huertos solares.

1.8.2.1 Sistemas fotovoltaicos en edificios.

Los edificios que integran sistemas fotovoltaicos se conocen como Sistemas Fotovoltaicos Integrados en Edificios (SFIE) o Edificios Fotovoltaicos Conectados a Red (EFCR) (Building Integrated Photovoltaic Systems, BIP-V). Tienen como función específica entregar toda la energía generada por el sistema a la red eléctrica. (Castelán, 2009)



Figura 13. Edificio con fachada fotovoltaica

Fuente: (News Soliclima)

1.8.2.2 Huertos o centrales eléctricas fotovoltaicas.

Los huertos fotovoltaicos ofrecen varias ventajas como:

- El incremento de la rentabilidad del proyecto al abaratar costes en infraestructura, mantenimiento, limpieza, vigilancia y gestión administrativa.
- Los pocos efectos medioambientales negativos se concentran en zonas con escaso valor medioambiental.

Los elementos comunes en un huerto son los paneles fotovoltaicos, que pueden ser fijos o con rotores giratorios para seguir el movimiento del sol, lo cual permite un aumento en la capacidad de captación de la radiación (Harper, 2005). En la Figura 14 se muestra un huerto solar.



Figura 14. Huerto solar fotovoltaico

Fuente: (Entrepreneur, 2008)

1.9 Componentes de un sistema solar fotovoltaico conectado a red

Dentro de una instalación solar fotovoltaica tenemos varios dispositivos o equipos que debemos dimensionar para que sea posible la transformación de la radiación solar en energía eléctrica que inyectamos a la red.

1.9.1 Paneles solares

Los paneles solares están formados por la interconexión de células solares encapsuladas en materiales que las protegen de los efectos de la intemperie y son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica por el efecto fotovoltaico (Engineering, 2015).

El efecto fotovoltaico se produce al incidir la radiación solar sobre los materiales definidos como semiconductores extrínsecos. Es decir cuando sobre la célula solar incide la radiación, en ella aparece una tensión análoga como se muestra en la siguiente Figura 15.

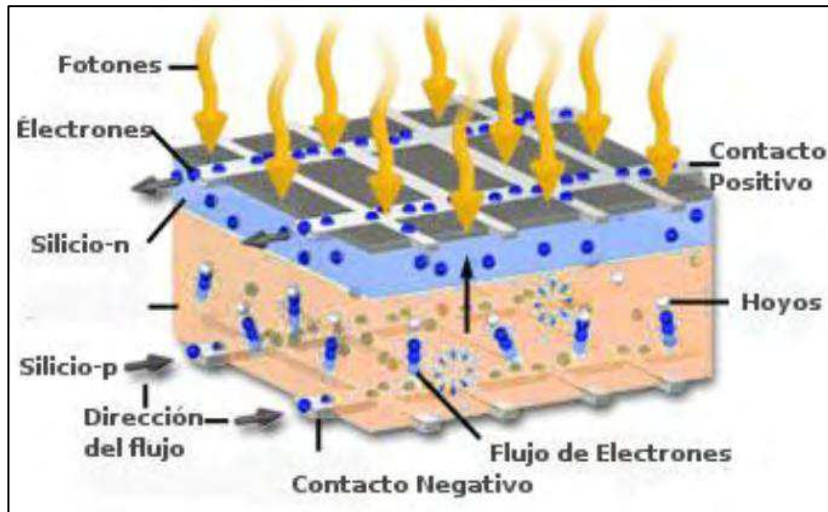


Figura 15. Efecto Fotovoltaico

Fuente: (Castelán, 2009)

La mayoría de las células solares están constituidas de silicio mono o policristalino. Las células solares de silicio monocristalino se fabrican a partir de un único cristal de silicio extraído de un baño de silicio fundido, este tipo de células son las más utilizadas en la tecnología solar y la más comercializada ya que su rendimiento es el mayor de todos los tipos de células solares siendo este de entre el 15 % y el 18 %.

Debido a su alto coste, está empezando a utilizarse de forma masiva el silicio policristalino, mucho más barato de fabricar ya que está formado por un conjunto de estructuras macrocristalinas de silicio además su rendimiento es bastante próximo al de las células monocristalinas, en torno al 12 % y 14 %.

Por último existe otra familia de células solares constituidas de silicio amorfo que aparecen debido a que la fabricación de células solares de silicio cristalino sigue siendo muy alta, la fabricación de este tipo de células es mucho más simple y por lo tanto son mucho más baratas pero aunque tienen un buen comportamiento ante agentes externos, se degradan más rápidamente y su rendimiento es bastante inferior al de las células cristalinas, inferior al 10 % (MESSENGER, 2004).

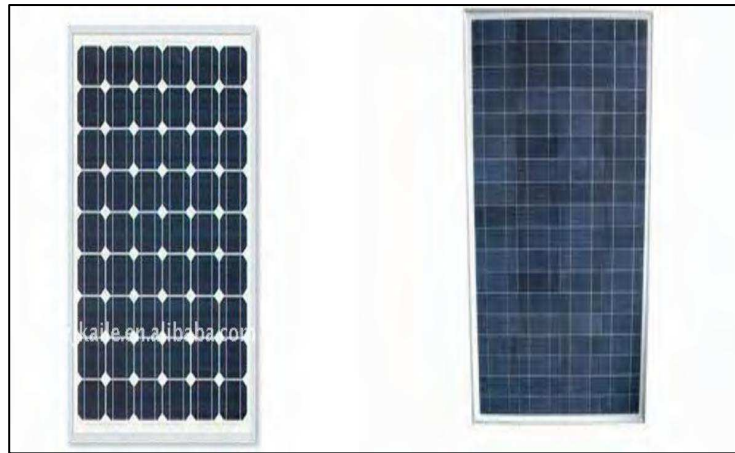


Figura 16. Panel de silicio monocristalino, panel de silicio policristalino

Fuente: (www.isofoton.com)

Un panel solar está constituido por varias células iguales conectadas entre sí, en serie y/o paralelo de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado.

Como norma general, los paneles solares se fabrican disponiendo primero las células necesarias en serie para alcanzar la tensión que deseamos a la salida del generador fotovoltaico y a continuación se asocian ramales de células en serie y en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseado (Barragan, 2014). A continuación en la Figura 17. Se muestra los elementos de un panel fotovoltaico.

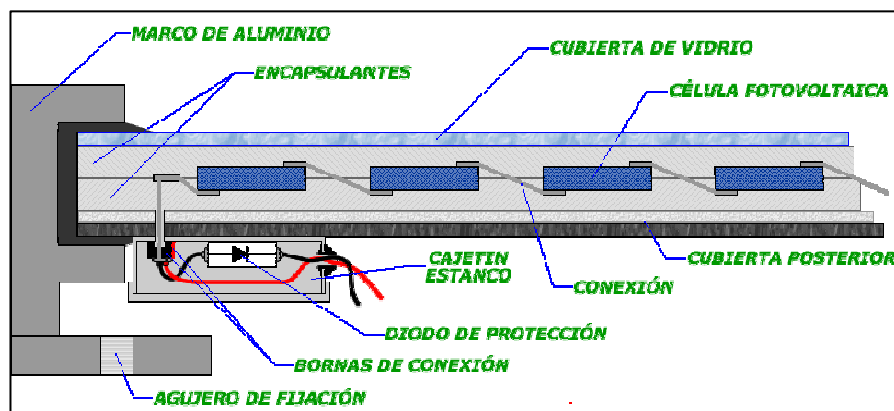


Figura 17. Elementos de un panel FV

Fuente: (Barragan, 2014)

1.9.1.1 Parámetros eléctricos fundamentales de los módulos fotovoltaicos

A la hora de dimensionar la instalación solar fotovoltaica, es primordial conocer los parámetros eléctricos fundamentales de los módulos fotovoltaicos que están comercialmente disponibles, en la siguiente figura se muestra gráficamente dichos parámetros.

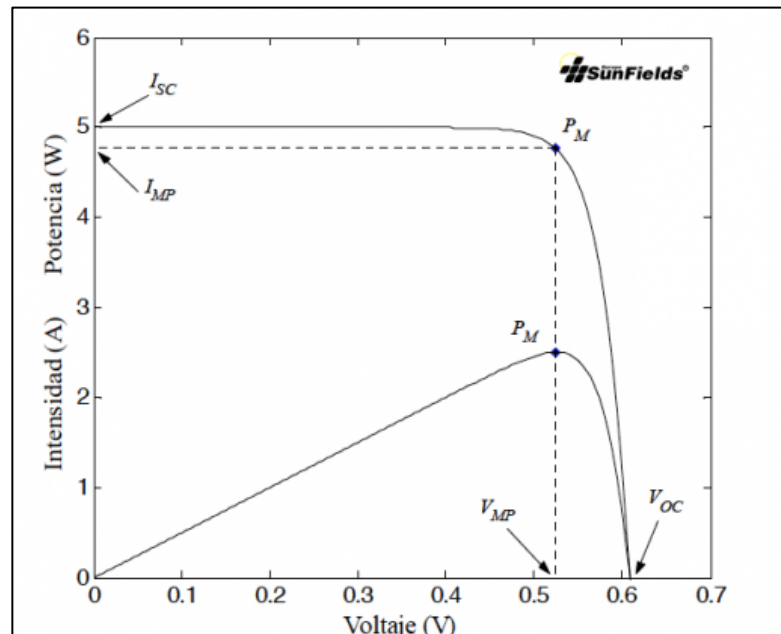


Figura 18. Curva Tensión/Corriente/Potencia módulo fotovoltaico

Fuente: (SunFields Europe, 2015)

- **Punto de máxima potencia (PMP):** Es un punto de trabajo en el que la potencia entregada por el panel solar a la carga externa, es máxima. La potencia P entregada por el panel es: $P = I \cdot V$ que se ha representado también en la Figura 10. El punto de trabajo correspondiente, (V_M , I_M), define los valores nominales de la tensión y la corriente en el punto de máxima potencia (no confundir con tensión y corriente máximas), siendo: $P_M = I_M \cdot V_M$ (SunFields Europe, 2015).

- **Factor de forma (FF):** Es la relación entre la potencia máxima y el producto de ISC y VOC. Su valor es más alto cuanto mejor es la célula. Por lo general, un valor bajo de FF está asociado con la existencias de pérdidas de eficiencia en el dispositivo, mientras que una célula de buena calidad suele tener valores de FF superiores a 0,70 (SunFields Europe, 2015).

$$FF = \frac{I_p \cdot V_p}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (2)$$

Dónde:

I_p = Intensidad o corriente de máxima potencia (A).

V_p = Tensión a máxima potencia (V).

I_{sc} = Corriente de cortocircuito (A).

V_{oc} = Tensión en circuito abierto (V).

- **Eficiencia de conversión energética:** Cociente entre la potencia eléctrica máxima y la potencia dependiente de la irradiancia incidente (PL) sobre la célula (Taghizadeh, 2011).
- **Temperatura:** Es importante considerar los efectos de la temperatura ya que influye en cada uno de los parámetros de la célula mencionados. A tener en cuenta, a mayor temperatura (Taghizadeh, 2011).
 - ✓ Aumenta la intensidad de cortocircuito (I_{cc})
 - ✓ Disminuye la tensión a circuito abierto (V_o)
 - ✓ Disminuye el factor de forma (FF)
 - ✓ Decrece el rendimiento

Esto se debe principalmente al calentamiento que sufren las células por su continuada exposición al sol, pudiéndose alcanzar temperaturas muy elevadas.

Por ello, este factor es determinante a la hora de diseñar los sistemas fotovoltaicos, principalmente los de concentración, contando siempre con sistemas de disipación del calor.

- **Tensión de circuito abierto (Voc):** al dejar los terminales del panel en circuito abierto (intensidad cero), la tensión que proporciona la radiación será máxima (Guerra, 2016).
- **Corriente de cortocircuito (Icc):** al cortocircuitar los terminales del panel (tensión cero), la radiación solar proporcionara una corriente máxima. Dado que la potencia eléctrica viene definida como $P = V \cdot I$, podemos distinguir:
- **Potencia pico (Pp):** potencia máxima (en vatios, W) que genera un módulo en condiciones normales de radiación. Es el producto de la tensión pico, por la corriente pico.
- **Intensidad pico (Ip) y Tensión pico (Vp)** son los valores de intensidad y tensión que hacen máxima la potencia en condiciones normales.

La importancia de este parámetro eléctrico no reside en su valor numérico, sino en qué condiciones físicas y eléctricas deben cumplirse en todo momento para obtenerlo. Esto introduce el concepto de **Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (SPMP)** o Maximum Power Point Tracking (**MPPT**) (Roper,L, 2016).

El seguimiento del punto de máxima potencia se realiza en dos bloques funcionales. En el bloque de generación, se realiza un seguimiento mecánico del sol, para obtener la máxima irradiancia al colocar los paneles fotovoltaicos perpendicularmente al sol. En el bloque de conversión se realiza un MPPT electrónico llevado a cabo por los inversores, que permite entregar la máxima potencia bajo cualquier condición de carga en todo momento (Roper L, 2016).

Todos estos parámetros fundamentales son proporcionados por los fabricantes en las hojas de características de los paneles fotovoltaicos. Debe tenerse en cuenta que estos parámetros no son constantes ya que los fabricantes toman como referencia unas condiciones de funcionamiento estándar conocidas como Condiciones Estándar de Medida (CEM) que son unas condiciones de irradiancia y temperatura a nivel del mar determinadas en la célula solar, estas condiciones son:

- Irradiancia: 1000W/m^2
- Temperatura de célula: 25°C

Así pues, si las condiciones a las que se ve sometido el panel son diferentes a las de estándar de medida, las características de los paneles fotovoltaicos cambiarán. La medida en que cambian los parámetros fundamentales de los paneles es de vital importancia para el diseño de la instalación ya que es muy posible que en condiciones normales de funcionamiento estemos lejos de las condiciones estándar de medida y la instalación puede verse afectada (Sreedevi, 2016).

Para ello es necesario conocer dos parámetros importantes de los paneles:

- **Coefficiente de temperatura VOC:** Es el coeficiente de corrección para la tensión máxima que se produce a circuito abierto cuando no existe ninguna carga conectada, este coeficiente muestra como varía la tensión con una

variación de temperatura. La tensión de circuito abierto aumenta cuando la temperatura disminuye y disminuye cuando la temperatura aumenta (Sreedevi, 2016).

- **Coefficiente de temperatura ISC:** Es el coeficiente de corrección para la corriente máxima que se produce en el panel cuando no hay conectada ninguna carga y cortocircuitamos los bornes del panel, este coeficiente muestra como varia la intensidad con una variación de la temperatura. La intensidad de cortocircuito aumenta cuando aumenta la temperatura y disminuye cuando disminuye la temperatura (Sreedevi, 2016).

Con estos coeficientes de temperatura se puede representarse el comportamiento de los paneles ante variaciones de temperatura observando cómo cambian la tensión y corriente de máxima potencia, la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito (Sreedevi, 2016). En la siguiente figura se muestra como varía la curva “voltaje-corriente” para distintos valores de irradiancia y para distintos valores de temperatura.

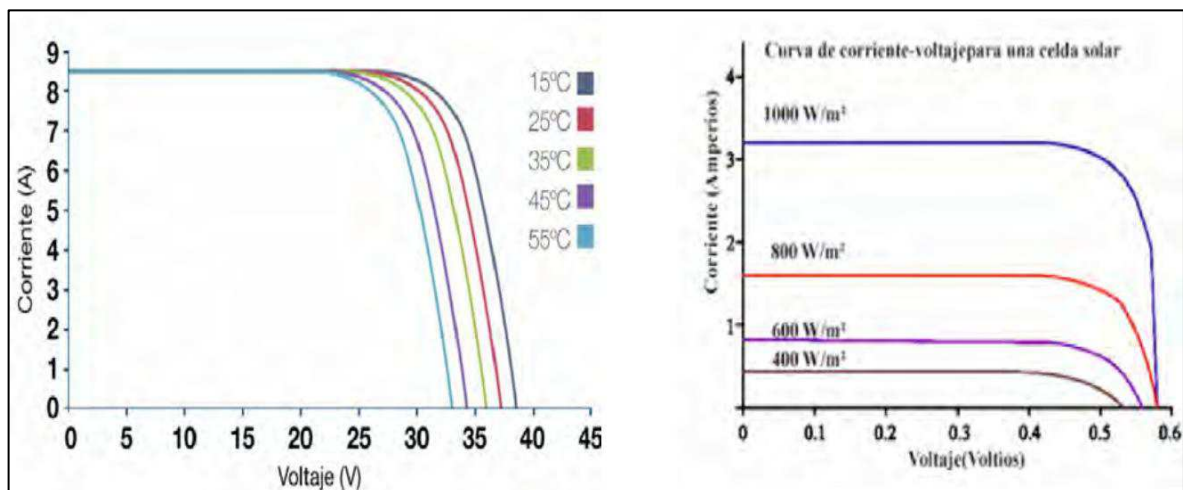


Figura 19 Curvas I-V para diferentes irradiancias a 25°C y para diferentes temperaturas a Una irradiancia de 1000W/m2

Fuente: (Sreedevi, 2016).

1.9.2 Inversores

La corriente alterna es más fácil de transportar a grandes distancias. Por consiguiente, los aparatos más comunes y las cargas se diseñan para operar con corriente alterna. Como se sabe los módulos fotovoltaicos generan solo energía en forma de corriente directa. Además, las baterías solo pueden almacenar la energía en forma de corriente directa. Las corrientes alterna y directa son, por naturaleza básicamente incompatibles. Por lo que se hace necesario un "puente"- un inversor- entre las dos (Pérez, 2007).

Históricamente, los inversores han sido un eslabón débil en los sistemas fotovoltaicos. Los primeros inversores eran ineficientes y poco confiables, creando muchos inconvenientes en el desempeño del sistema en general. Las ineficiencias del sistema aparecían por el hecho que la mayoría de los aparatos de corriente alterna usaban una gran cantidad de energía. Mejoras recientes en los inversores y los equipos eléctricos han reducido estos inconvenientes y han convertido a los inversores en un "puente" viable entre la energía de corriente directa y los requisitos de las cargas de corriente alterna (ITC, 2002).

El propósito fundamental del inversor de un sistema fotovoltaico es cambiar la corriente directa de los módulos FV a corriente alterna y finalmente para alimentar las cargas de corriente alterna. Los inversores también pueden alimentar a la red con electricidad. Los inversores diseñados para interconectarse con la red de servicio eléctrico son llamados conectados a red, conectados a la línea o inversores conectados al servicio eléctrico. Estos inversores son usados en plantas fotovoltaicas de gran escala en poder de compañías de servicios eléctricos que generan electricidad para la red, así como en los sistemas residenciales que brindan electricidad a la red.

1.9.2.1 Tipos de Inversores

Existen tres categorías de inversores:

- Conectados a red
- Conectados a la red con respaldo de baterías
- Autónomos.

Los dos primeros son inversores sincrónicos o conectados a la red, estos son usados con los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de servicio eléctrico. La tercera categoría es la de los inversores autónomos o fuera de la red, que están diseñados para sistemas independientes, desconectados de las compañías de suministro de energía eléctrica y son apropiados para instalaciones fotovoltaicas ubicadas en lugares remotos. Algunos inversores pueden tener características de varios de estos tipos (Engineering, 2015).

Otra forma de clasificar a los inversores es por la forma de la onda que producen. Las tres formas de ondas más comunes incluyen las siguientes:

- **Inversores de onda cuadrada**

Estas unidades cambian la entrada de corriente directa en una salida de corriente en función de paso o "cuadrada" alterna. Ellas brindan poco control del voltaje de salida, capacidad de sobretensión limitada y una distorsión armónica considerable. Por consiguiente, los inversores de onda cuadrada son apropiados solo para pequeñas cargas de calentamiento por medio de resistencias es decir solo cuando se desea alimentar a un sistema de iluminación (Taghizadeh, 2011).

- **Inversores de onda cuadrada modificada**

Este tipo de inversores utiliza transistores de efecto de campo (FET) o rectificadores de control de silicio (SCR) para cambiar la entrada de corriente directa en salida de corriente alterna. Estos circuitos complejos pueden manejar grandes sobretensiones y producir salidas con mucha menos distorsión armónica. Este estilo de inversor es más apropiado para operar una amplia variedad de cargas, incluyendo motores, luces y equipos electrónicos estándar como televisores y equipos de música. Sin embargo, ciertos dispositivos electrónicos pueden sacar el ruido del inversor cuando trabajan con un inversor de onda cuadrada modificada (Sreedevi, 2016).

- **Inversores de onda sinusoidal**

Los inversores de onda sinusoidal se utilizan para operar aparatos electrónicos sensibles que requieren una forma de onda de alta calidad. Ellos son los inversores más comunes en las aplicaciones residenciales y tienen muchas ventajas sobre los de onda cuadrada modificada.

Esos inversores están diseñados específicamente para producir salidas con poca distorsión armónica lo que les permite operar aun los más sensibles equipos electrónicos. Tienen una alta capacidad de sobretensión y pueden arrancar muchos tipos de motores fácilmente. Para aplicación es interconectadas a la red debe usar un inversor de onda sinusoidal (Guerra, 2016).

1.9.2.2 Características de los inversores

Un diseñador de sistemas debe conocer las características óptimas de un inversor antes de seleccionar uno.

A. Características estándar de los inversores

Hay algunas características comunes a todos los inversores:

- **Alta eficiencia.**

La mayor parte de los inversores hoy día convierten 90% o más de la corriente directa de entrada en corriente alterna de salida. Muchos fabricantes de inversores aseguran una alta eficiencia, sin embargo los inversores solo son eficientes cuando se operan con algunos valores de salida o cerca de ellos. Frecuentemente el inversor se usa para alimentar cargas por debajo de su capacidad nominal (Castelán, 2009).

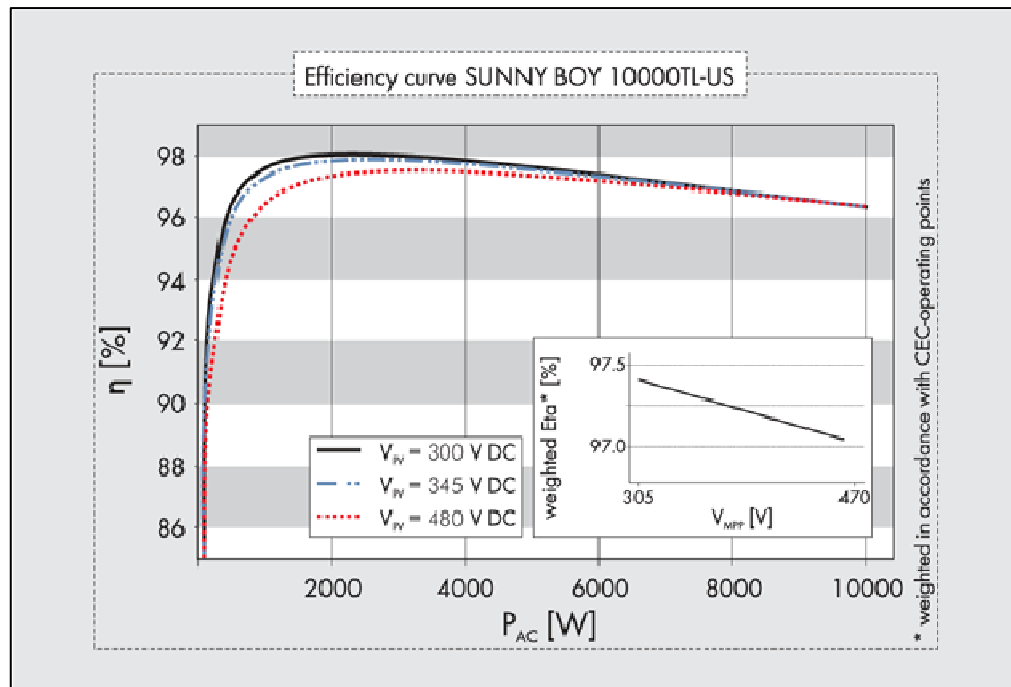


Figura 20. Rendimiento del Inversor

Fuente: (Castelán, 2009)

- **Bajas pérdidas de espera o standby.**

El inversor debe ser altamente eficiente cuando no haya cargas en operación.

- **Regulación de frecuencia.**

El inversor debe mantener 60Hz a la salida que es la frecuencia en Ecuador a pesar de que varíen las condiciones de entrada.

- **Distorsión armónica.**

El inversor debe reducir los armónicos de salida con esto se puede minimizar efectos de calentamientos dañinos en los aparatos conectados.

- **Facilidad de reparación y mantenimiento.**

El inversor debe contener circuitos modulares que sean fácilmente reemplazables en el campo.

- **Factor de corrección de potencia.**

El inversor debe mantener un balance óptimo entre la fuente de energía y los requerimientos de las cargas.

1.9.2.3 Inversores conectados a la red sin baterías

Esta clase de inversores no utilizan un banco de baterías sino que por el contrario conectan directamente con la red de servicio público como se indica en la Figura 21.

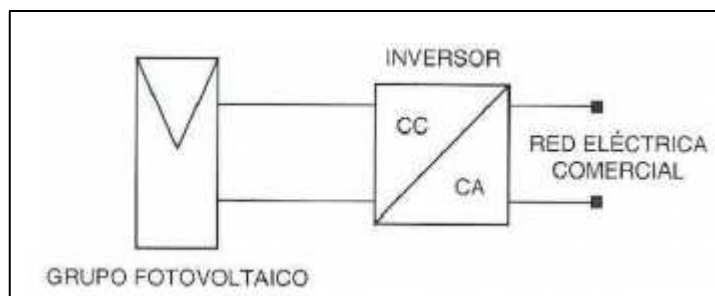


Figura 21. Inversor Conectado a la Red Eléctrica.

Fuente: (ISOFOTON, 2009)

Cuando existe radiación solar la electricidad proviene del generador FV a través del inversor. Si el generador FV está produciendo más energía de la que se está utilizando, el excedente se vende a la empresa distribuidora a través del medidor eléctrico. Si se utiliza más energía de la que puede entregar el generador FV, la red eléctrica le proporcionara la diferencia. También, en la noche y durante el tiempo nublado, toda la energía es proporcionada por de la red (ISOFOTON, 2009).

Las partes fundamentales que conforman el inversor conectado a la red son:

- **Control principal.**

Incluye todos los elementos y dispositivos generales de control, los sistemas de generación de onda y del sistema de protecciones (Salgado, 2010).

- **Etapa de potencia.**

Esta etapa se la puede modular o puede ser fija en función de la potencia deseada. Se opta por tener una tecnología a baja frecuencia ya que ofrece buenos resultados con una alta viabilidad y bajo costo (Salgado, 2010).

- **Control de red.**

Provee el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo, etc. Es decir, es la interface entre la red y el control principal (Salgado, 2010).

- **Seguidor del punto de máxima potencia.**

Su función es acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador que requiere la carga, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible (Salgado, 2010).

- **Protecciones.**

De manera general, los inversores deben estar protegidos ante tensión y frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada, tensión baja del generador, intensidad del generador fotovoltaico insuficiente, fallo de la red eléctrica y transformador de aislamiento, y una eficiente puesta a tierra (Salgado, 2010).

- **Monitorización de datos.**

Es necesario tener un control de los datos que el generador provee, por lo tanto, los inversores dispondrán de microprocesadores que facilitará una gran cantidad de datos tanto de los parámetros habituales (tensión, corriente, frecuencia, etc.) parámetros internos (temperaturas de trabajo) y externos (radiación, temperatura ambiente, etc.)

1.10 Equipo de medida (Medidor Bidireccional)

Este tipo de medidor, además de poder medir el consumo de energía eléctrica de la empresa distribuidora girando en el sentido normal puede contabilizar de manera

contraria, haciendo posible que la empresa distribuidora reste a nuestro planilla la energía que estamos generando y sume a nuestro favor la energía de exceso (ELECTRICAS, 2010).



Figura 22. Medidor bidireccional

Fuente: (ELECTRICAS, 2010)

1.11 Descripción del sistema de distribución

1.11.1 Sistema de Subtransmisión.

El sistema de Subtransmisión de ELEPCO S.A. está conformada por fuentes de energía (Centrales de generación), por nodos de interconexión al sistema nacional interconectado S.N.I, subestaciones de distribución y redes que interconectan a esas instalaciones.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCOS.A. Cuenta con dos fuentes de suministro de potencia y energía, conectadas por nodos al (S.N.I.) Sistema Nacional Interconectado, que aportan aproximadamente el 81% de la demanda energética total.

El primer nodo y el más principal por su ubicación estratégica dentro del sistema eléctrico de ELEPCO S.A. Y por la cantidad de potencia y energía que circula por él. Este nodo es la Subestación (S/E) Mulalo que esta interconectado con la línea de

transmisión de la central de generación Pucara – Santa Rosa a un nivel de voltaje de 138 kV. Esta S/E tiene una capacidad de transformación de 50/63 MVA, que reduce el voltaje de 138 kV a 69 kV.

El segundo nodo está es la S/E Ambato que esta interconectada con la línea de transmisión Pucara – Totoras a un nivel de voltaje de 138 kV y cuenta con una capacidad de transformación de 33/44 MVA, que reduce el voltaje de 138 kV a 69 kV.

Las centrales con mayor aporte energético son: central ILLUCHI 1 con una capacidad de 5,24 MVA y la central ILLUCHI 2 con una capacidad de 6,5 MVA ubicadas al oriente de la ciudad de Latacunga

Las centrales de menor aporte, se encuentran ubicadas en el sector occidental de la provincia y son: Central El Estado con una capacidad de 2,125 MVA ubicada en el cantón La Mana, Central Catazacón con una capacidad de 1,0 MVA ubicada en el cantón Pangua y la Central Angamarca con una capacidad de 0,375 MVA ubicada en el cantón Pujili.

1.11.2 Subestación de Distribución La Cocha.

La subestación de distribución el Calvario se encuentra ubicado en el Barrio Isimbo1 sector oriental de la ciudad de Latacunga. Esta S/E tiene interconexión con la S/E El Calvario a 13,8 kV, Posee un transformador con una capacidad de 16/20 MVA que reduce el voltaje de 69 kV a 13,8 kV. Tiene protección en alta y media tensión con relés de sobrecorriente y relés diferenciales.

De esta subestación se derivan cinco alimentadores primarios a un nivel de voltaje de 13,8 kV, los cuales están clasificados en un alimentador urbano (Latacunga Norte – Aláquez – 0606CH0T05), un alimentador privado (FAE -0606CH0T04), un rural

(Yugsiloma-0606CHT01) y por último la Interconexión con la S/E El Calvario – 06060CH0T02.

1.11.3 Alimentador Primario (Yugsiloma).

El alimentador del cual se alimenta el centro de transformación del Complejo deportivo es de tipo rural urbano marginal radial, abastece de servicio eléctrico a la zona oriental de la ciudad de Latacunga, además tiene un área de concesión aproximada de 57 688 km² que abastece de servicio eléctrico a las Parroquias Juan Montalvo, Alaquez y Yugsiloma. La carga que alimenta en su mayoría es residencial y también existen cargas de pequeñas industrias y talleres.

Características:

- Nivel de voltaje 13,8 kV (Trifásica) y 7,9 kV (Monofásica).
- Longitud: 158,547 Km.
- Carga instalada 5025 kVA.
- Centros de transformación: Tipo convencional y auto protegido.

1.11.4 Parámetros del centro de transformación Plataforma Deportiva.

El centro de transformación del complejo es el 9390 de 15 kVA, calculado oportunamente como se muestra en la siguiente figura, para su capacidad instalada en el año 2015 en el mes de noviembre

Las características del centro de transformación son las siguientes:

- Capacidad : 15 kVA
- Voltaje primario :13,2 kV
- Voltaje Secundario : 240 V
- Corriente secundario : 41 A
- Impedancia : 1,53 %
- Lugar de Instalación : Barrio Isimbo 1
- Tipo : Autoprotegido – Particular

```
Cod. transformador. . . . . 9390
Tipo Propiet.Trans. (F4) . PRI Privado
Trsf.Publ.Arrendado S/N. N Factura Activacion Primar. S/N: N
Calle principal. . . . . ISIMBO 1
Calle secundaria . . . . ISIMBO 1
Número de serie. . . . . 14317812
Capacidad. . . . . 15 KVA Nmo. Medidores PIT : 0000
Voltaje Primario . . . . 13,20 KV
Voltaje Secundario . . . 240 Voltios
Corriente Secundaria . . 41 Amperios
Impedancia . . . . . 1,53 %
Fases (F4) . . . . . MON Transf. Monofásico
Subestación (F4) . . . . 6 Cocha
Alimentador (F4) . . . . 1 YUGSILOMA SALIDA 1
Nro.Contrato Ext.red . .
Observaciones. . . . . ING. VALLEJO 13/11/2015
F3=Salir F5=Renovar F12=Regresar
```

Figura 23. Datos del Centro de Transformación

Fuente: ELEPCO S.A.

A continuación presentaremos un diagrama unifilar del centro de transformación calculado e instalado para suministrar energía al complejo deportivo

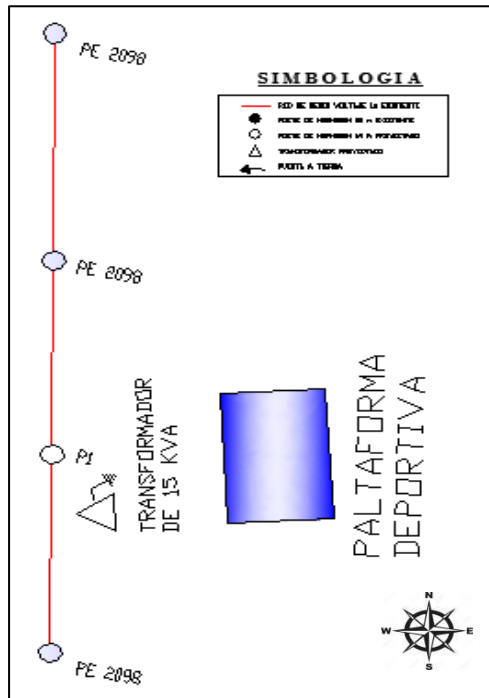


Figura 24. Diagrama Unifilar Centro de Transformación

Fuente: ELEPCO S.A.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Este capítulo abarca la metodología y técnicas que se utilizan para el desarrollo del presente trabajo, así como la Operacionalización de las variables y el procedimiento de la investigación.

2.1 Diseño de la investigación

El proceso de la presente investigación está basado en una metodología experimental, a través de un estado descriptivo – correlacional, ya que se trabajará en función del objeto de estudio, se intervenga directamente sobre las variables, registrando sus medidas en la aplicación de aspectos tecnológicos a situaciones puntuales de potencial de energía en Sistema Fotovoltaicos conectados a la red para generar energía eléctrica para el autoconsumo del complejo deportivo.

2.2 Población y muestra

La investigación se realiza tomando en consideración los siguientes aspectos:

- Evaluar el potencial energético del sol.
- Determinar los portadores energéticos del complejo deportivo y potencia total requerida por el complejo deportivo.
- Metodología para el diseño de sistema de generación conectado a la red.

El complejo deportivo “PLATAFORMA DEPORTIVA” donde se va a realizar el estudio está ubicada en Ecuador – Provincia de Cotopaxi – Cantón Latacunga – Parroquia Juan Montalvo – Barrio Isimbo 1

Latitud: -0,90884

Longitud: -78,601864

Altitud: 2817 [m]

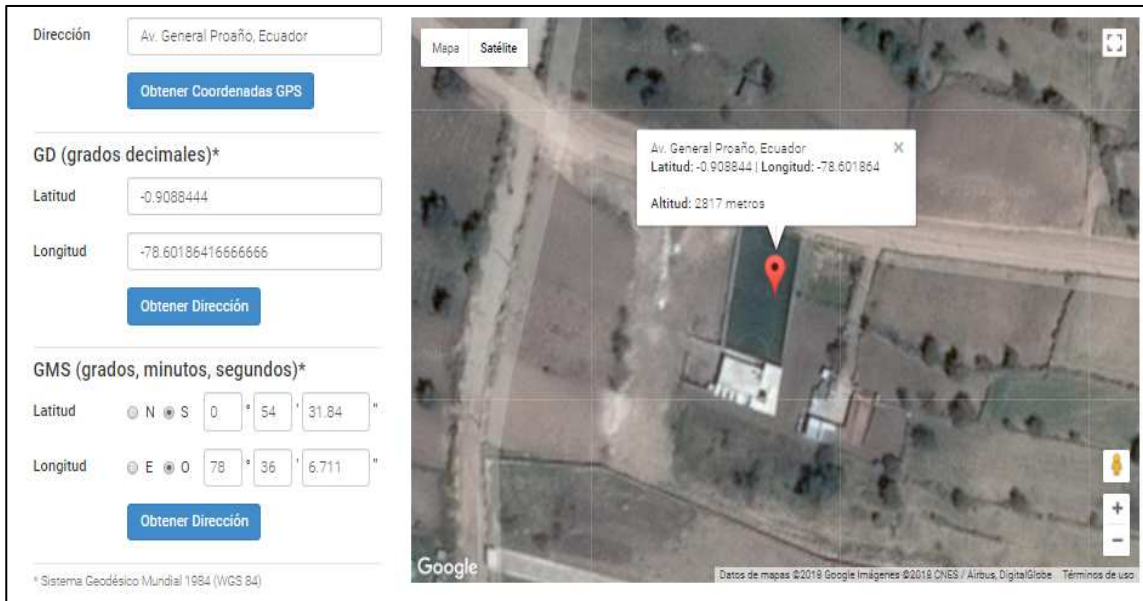


Figura 25. Ubicación geográfica PLATAFORMA DEPORTIVA

Fuente: (www.google.com.ec/maps)

El periodo para la investigación es en tres meses de registros para ver el potencial energético solar. Unas ves culminadas los registros procesaremos los datos para compararlos con los obtenidos en el programa y ver el error que poseemos. Para poder utilizar los datos referentes a los 12 meses de año.

Para lo cual evaluaremos el potencial energético solar con el equipo que a continuación se detalla.

- **Piranómetro, medición de la radiación global, directa y difusa**

Incorporan un fotodiodo - célula de silicio que mide la radiación de onda corta total. El cual posee un sensor separado mientras que el medidor muestra y almacena mediciones de mano.

Las características del diseño de la carcasa del sensor de una cabeza completamente en maceta, con forma de cúpula que el sensor sea totalmente resistente a la intemperie y la auto-limpieza. Total de radiación de onda corta es un componente importante en la determinación de las tasas de evaporación, balance de energía, radiación neta, así como el seguimiento de los paneles de energía solar.

Los piranómetros de células de silicio están calibrados para estimar la radiación de onda corta total a través de la totalidad espectro solar. Especificaciones piranómetro de células de silicio se comparan favorablemente con las especificaciones para la Organización Mundial Meteorológica (OMM).

Las aplicaciones típicas de piranómetros de células de silicio incluyen la medición radiación de onda corta entrante en redes meteorológicas agrícolas, ecológicos e hidrológicos, y las matrices de paneles solares.

Apogeo de la serie MP instrumentos medidores de radiación solar consisten en un instrumento portátil y un dedicado piranómetro que está integrado en la parte superior de la carcasa metros (MP-100) o conectado por cable a una carcasa de aluminio anodizado (MP-200). Integrado y sensores separados consisten en un difusor de acrílico del molde (Filtro), fotodiodo, y están en maceta sólida sin espacio de aire interno.



Figura 26. Piranómetro, Medición de la Radiación Global, Directa y Difusa
Fuente: (www.apogeeinstruments.com)

Especificación Técnica:

Las especificaciones vienen descritas en la siguiente figura:

Calibration Uncertainty	$\pm 5\%$ (see Calibration Traceability below)
Measurement Repeatability	$< 1\%$
Non-stability (Long-term Drift)	$< 2\%$ per year
Non-linearity	$< 1\%$ (up to 1750 W m^{-2})
Response Time	$< 1 \text{ ms}$
Field of View	180°
Spectral Range	360 to 1120 nm (wavelengths where response is 10% of maximum; see Spectral Response below)
Directional (Cosine) Response	$\pm 5\%$ at 75° zenith angle (see Cosine Response below)
Temperature Response	$0.04 \pm 0.04\%$ per C (see Temperature Response below)
Operating Environment	0 to 50 C
	$< 90\%$ non-condensing relative humidity up to 30 C
	$< 70\%$ non-condensing relative humidity from 30 to 50 C
Sensor Dimension	MP-200 24 cm diameter and 2,8 cm height
Mass	MP-200 180 g
Cable	2 m of shielded, twisted-pair wire.
	Additional cable available
	Santoprene rubber jacket (high water resistance, high UV stability, flexibility in cold conditions)

Figura 27. Especificación técnica del equipo de medición (Piranómetro)
Fuente: (www.apogeeinstruments.com)

- **Coseno de respuesta**

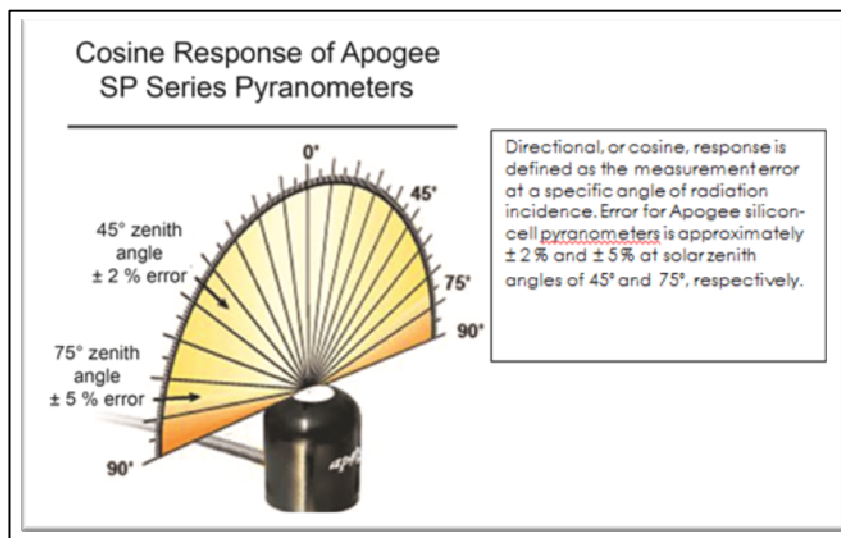


Figura 28. Cosine Response of SP Series Pyranometers
Fuente: (www.apogeeinstruments.com)

- **Datos meteorológicos**

Mediante Decreto Ejecutivo No. 1446, firmado por el Dr. José María Velasco Ibarra en agosto de 1961, el INAMI fue creado como Servicio Nacional de Meteorología, en toda la República, Personería Jurídica, Autonomía Técnica y Administrativa y representación Oficial, Nacional e Internacional. El instituto nacional de Meteorología e Hidrología es el organismo rector, coordinador y normalizador de la política nacional en todo cuanto se refiere a Meteorología e Hidrografía.

El INAMHI contribuye al progreso del Ecuador, mediante la entrega de información oportuna y veraz sobre el tiempo. La información, meteorológica e hidrológica es de gran utilidad para los diferentes sectores de la economía, principalmente para apoyar el desarrollo de la matriz productiva nacional, con énfasis en los sectores: energéticos, hidroeléctricos, transporte, agua potable, alcantarillado, agropecuario, manejo ambiental, turismo, minería, sanidad e higiene, seguridad, desarrollo urbano, gestión de riesgo y otros sectores estratégicos.

Parte del ejercicio de la rectoría del INAMHI en el sector meteorológico consiste en ser un referente de su propia actividad, es decir, garantizar la validez de esa información. En este sentido, la información que ha sido sometida a un proceso de análisis, revisión y procesamiento básico con estadísticas primarias para facilitar su aplicabilidad.

En la siguiente figura se muestra la publicación entregada a los profesionales, catedráticos, científicos, investigadores, estudiantes, trabajadores y públicos en general, información que contribuirá al conocimiento de la Meteorología y su consiguiente en el tiempo.

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCÍO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación		
		ABSOLUTAS		M E D I A S				Máxima	día	Mínima	día			Media	Mensual	Máxima en 24hrs		día	
		Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima												Mensual
ENERO	133.6	22.9	3	6.7	11	20.1	10.1	14.1	98	9	42	3	79	10.2	12.4	102.1	24.6	20	18
FEBRERO	102.5	22.6	16	0.8	29	19.5	9.0	13.5	98	9	45	13	79	9.7	12.0	65.9	8.7	29	22
MARZO	134.2	25.1	24	0.9	16	20.3	9.5	14.0					78	9.9	12.2	29.1	11.9	24	11
ABRIL	120.1	23.6	30	4.0	28	21.3	9.1	14.2	100	7	39	14	77	9.9	12.2	69.7	13.6	12	22
MAYO	125.9	23.5	23	5.3	27	20.0	8.8	13.6	98	17	39	23	77	9.4	11.8	15.1	7.1	16	14
JUNIO	168.1	23.0	12	3.2	4	20.2	8.2	13.5	100	12	43	12	75	8.8	11.4	9.6	4.7	17	13
JULIO	176.0	23.4	12			19.8	7.7	13.2	99	26	38	12	73	8.0	10.8	6.5	1.6	18	11
AGOSTO	161.4	23.4	2			19.4	6.9	12.9	99	9	31	6	70	7.1	10.1	13.0	4.9	24	9
SEPTIEMBRE	149.3			1.1	17	19.5	6.8	12.8	99	4	35	16	74	7.8	10.7	20.5	9.9	20	10
OCTUBRE	128.4	24.5	22	4.5	28	21.0	9.3	14.6	98	1	41	11	75	9.8	12.1	70.5	14.9	23	15
NOVIEMBRE	139.3	24.8	11	4.8	17	21.3	9.1	14.5	99	5	40	16	76	9.9	12.2	70.5	12.6	11	16
DICIEMBRE	164.5	26.8	15	2.8	16	22.3	8.4	14.4	99	23	30	15	73	8.9	11.5	24.6	8.5	25	11
VALOR ANUAL	1703.3					20.4	8.6	13.8					75	9.1	11.6	497.1	24.6		

MES	EVAPORACION (mm)			NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO																Vel. Mayor Observada (m/s)	DIR	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)		
	Suma	Máxima en			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	Nro	OBS										
	Mensual	24hrs	día													(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)				%	(m/s)
ENERO	104.4	4.8	2	6	1.8	11	2.5	2	2.0	1	3.0	18	2.9	30	1.0	1	0.0	0	2.3	4	32	93	8.0	S	3.4
FEBRERO	82.3	4.9	29	7	3.0	2	1.0	6	0.0	0	3.3	17	3.1	29	2.0	1	2.0	1	1.7	3	40	87	6.0	S	3.4
MARZO	118.3	7.6	25	6																					5.0
ABRIL	95.7	5.3	28	6	1.5	12	1.0	1	2.0	1	2.8	20	3.8	21	3.0	1	1.0	1	0.0	0	42	90	6.0	S	3.4
MAYO	104.4	6.0	23	6	0.0	0	1.0	3	6.0	1	2.9	33	4.1	34	0.0	0	0.0	0	1.0	2	26	93	6.0	S	4.6
JUNIO	111.3	6.9	5	5	1.3	3	0.0	0	4.7	3	2.7	40	5.3	33	0.0	0	0.0	0	0.0	0	20	90	20.0	S	5.2
JULIO	116.0	5.9	13	5	0.0	0	0.0	0	0.0	0	3.3	26	4.2	45	0.0	0	0.0	0	0.0	0	29	93	7.0	SE	5.8
AGOSTO	119.8	5.9	6	5	1.0	2	0.0	0	6.0	1	3.6	29	5.2	45	0.0	0	0.0	0	0.0	0	23	93	8.0	S	5.2
SEPTIEMBRE	112.4	6.5	19	6	1.0	6	0.0	0	0.0	0	4.2	32	5.1	36	0.0	0	0.0	0	0.0	0	27	90	8.0	SE	4.9
OCTUBRE	122.1	6.6	11	7	3.1	9	0.0	0	2.0	1	4.3	26	4.4	30	0.0	0	0.0	0	2.0	1	33	93	8.0	S	3.9
NOVIEMBRE	113.5	5.4	27	6	3.1	11	2.0	3	3.3	3	4.0	27	4.1	20	0.0	0	8.0	1	0.0	0	34	90	8.0	SE	3.6
DICIEMBRE	116.5	6.0	18	6	3.5	4	2.5	4	2.0	1	4.7	26	3.7	32	0.0	0	0.0	0	6.0	2	30	93	8.0	S	3.9
VALOR ANUAL	1316.7	7.6		6																					4.0

Figura 29. Datos meteorológicos
Fuente: (www.serviciometeorologico.gob.ec)

2.3 Operacionalización de variables

En la Tabla 1. Se realiza la Operacionalización de la variable independiente e dependiente.

Tabla 1.

Matriz de la Operacionalización de variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
VARIABLE INDEPENDIENTE:		Potencial Energético Solar			
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
El potencial energético solar para el diseño del sistema de generación fotovoltaico conectado a la red para el complejo PLATAFORMA DEPORTIVA	Portadores Energéticos	Radiación Global, Directa y Difusa	W/m ²	Medición	Piranómetro
		Heliógrafo	Horas	Registros	INAMHI
		Temperatura ambiente	°C	Registros	INAMHI
		Carga Instalada	kVA	Cálculos	ECUACIONES
	Dimensionamiento del Sistema de Generación Fotovoltaico Conectado a la Red	Área para Instalación	m ²	Cálculos	Ecuaciones
		Energía eléctrica	kWh	Cálculos	Ecuaciones
VARIABLE DEPENDIENTE:		Reducción del consumo de energía convencional mediante un sistema de generación eléctrica conectada a la red, empleando energía solar para el en el complejo			
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Dependencia de energías convencionales	Eficiencia energética	Energía Alternativa Aprovechada	W	Cálculos	Ecuaciones
	Energías convencionales	Consumo de Energía eléctrica	kWh	Registros	Planillas

Fuente: Herrera L. (2018)

2.4 Gestión de datos

La recopilación de información para la presente investigación tiene como objetivos establecer varias fases de ordenamiento que permitan captar información que aporte con la investigación de forma directa, de tal forma que durante el proceso desarrollado en el Capítulo 3, se establezcan lineamientos que aporten al análisis de resultados.

2.5 Metodología para el diseño del sistema de generación conectado a la red

El diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red está basado en la fundamentación teórica del Capítulo I desarrollado en esta tesis, se propone una metodología para el diseño del sistema y lo compararemos con la simulación en el software Solarius P-V. Los cuales nos proporcionaran todos los parámetros necesarios y formas de funcionamientos de estos equipos. A continuación se presenta un diagrama de flujos con el cual se pudo diseñar el sistema de generación FV.

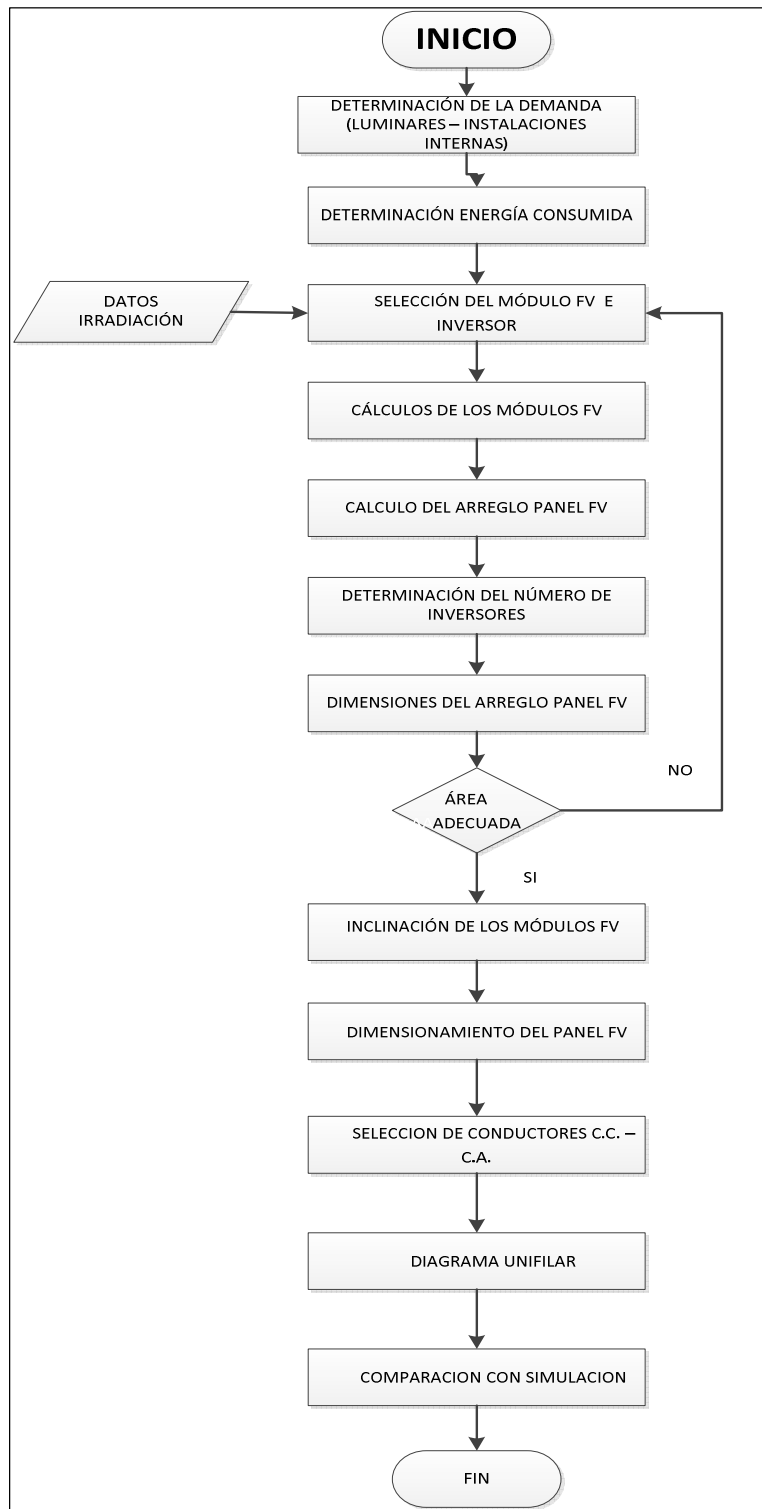


Figura 30. Diagrama de flujo diseño del SGFV conectado a la red
FUENTE: Herrera L. (2018)

2.5.1 Cálculo de la demanda del complejo deportivo

El cálculo de la demanda del complejo se lo realizó en función de las guías de diseño de ELEPCO SA, las cuales determina la potencia del centro de transformación que se encuentra instalado y en funcionamiento en el complejo deportivo con la potencia instalada de dicho complejo.

Cabe mencionar que este cálculo está basado en los diseños presentados a la empresa eléctrica para su aprobación y construcción.

2.5.2 Energía eléctrica consumida por el complejo deportivo

Para el presente diseño la energía consumida no será calculada por lo contrario será obtenida del sistema comercial de la ELEPCO S.A. los datos obtenidos son de un año completo como se muestra en el Anexo 1. Cabe mencionar que por temas de diseño se trabajara con la demanda máxima de energía de todos los meses del año 2017.

Una vez determinado el máximo consumo del usuario procedemos determinar el máximo consumo diario Ecuación 3. Para lo cual realizaremos una división para el periodo de medición del abonado en el caso de ELEPCO son periodos de 30 días.

$$\text{Consumo Diario} = \frac{\text{Consumo mensual máximo}}{\text{Periodo de facturación}} \quad (3)$$

2.5.3 Selección de módulos fotovoltaicos e inversores

Para la selección de los paneles solares podremos gran énfasis en la eficiencia y su potencia pico, ya que a mayor eficiencia y potencia, menor número de módulos por instalación y área a utilizar.

Para la selección del inversor debemos considerar que la forma de onda es senoidal pura. Esto es debido a que a la salida, la forma de onda debe ser prácticamente idéntica a la de la red eléctrica de la empresa distribuidora para permitir la conexión a la misma.

Además proporcionara una frecuencia correcta y regulara la tensión de salida, haciéndola coincidir con unos valores de trabajo de la red de distribución y por último el inversor se encarga de ajustar las variaciones de irradiación solar, temperatura y la carga eléctrica realizando un seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) o Maximum Power Point Tracking (MPPT).

2.5.4 Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

El cálculo del número de módulos fotovoltaicos se lo realiza mediante la siguiente ecuación 4. Tomando en cuenta las especificaciones técnicas del panel seleccionado y los datos de radiación en el caso particular de este proyecto será en de menor valor de radiación ya que si lo diseñamos con el peor escenario, los otros meses del año el sistema fotovoltaico operara con normalidad debido a que los niveles de radiación son más elevados

$$M = \frac{E_c}{E_M \cdot I_M \cdot h_p} \quad (4)$$

Dónde:

E_c = Energía consumida diariamente (Wh)

E_M = Tensión máxima del módulo (V)

I_M = Corriente máxima del módulo (A)

h_p = Radiación en la localidad (kWh/m²)

M= Numero de módulos FV

2.5.5 Cálculo del arreglo de los módulos FV

Para calcular el número de filas de módulos en serie que se van a conectar para un inversor, se emplea la ecuación 5 y para calcular el número de columnas de módulos en paralelo, se emplea la ecuación 6. El arreglo de los módulos FV se determina con base a las especificaciones de entrada del inversor y especificaciones de salida del panel FV.

$$\text{Numero de filas en serie} = \frac{V_{\max} in}{V_{oc} \text{ modulo}} \quad (5)$$

Dónde:

$V_{\max} in$ = Voltaje máximo de entrada del inversor.

$V_{oc} \text{ modulo}$ = voltaje de circuito abierto el panel fotovoltaico.

$$\text{Número de columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_{modulo}} \quad (6)$$

2.5.6 Cálculo del número de inversores.

Para realizar el cálculo de inversores que necesitara nuestro diseño Tomamos en cuenta el total de módulos FV en el arreglo y el número de módulos que necesita el sistema FV para cubrir la demanda de energía y se obtiene mediante la ecuación 7.

$$\# \text{ Inversores} = \frac{M}{\# \text{ de modulos del arreglo}} \quad (7)$$

2.5.7 Inclinación de los Módulos FV.

La inclinación es importante en un sistema fotovoltaico debido a que debe ser la óptima ya que de esta depende que el modulo capte la mayor cantidad de radiación posible, y se la puede calcular mediante la Ecuación 1 que se encuentra detallada en el Capítulo 1.

2.5.8 Dimensionamiento del panel FV

El panel FV se puede dimensionar de muchas formas dependiendo del área que se tenga disponible en el techo donde se va instalar. En este caso las dimensiones de la construcción donde se va instalara se las presenta en el Anexo 2.

Para garantizar que el área donde vamos a instalar es adecuada para los arreglos fotovoltaicos se realiza la siguiente comprobación utilizando la siguiente ecuación.

$$\textit{Area total SFV} = \textit{Area del modulo} \cdot \textit{\# total de paneles} \quad (8)$$

2.5.9 Orientación de los módulos FV

Tomaremos en cuenta que la trayectoria del sol durante un día es de Este a Oeste pero la trayectoria de un año es de Norte a Sur como indica la siguiente figura. Se requiere que los paneles se coloquen en dirección al sur y además el ángulo en el ecuador no será mayor a 15 °.

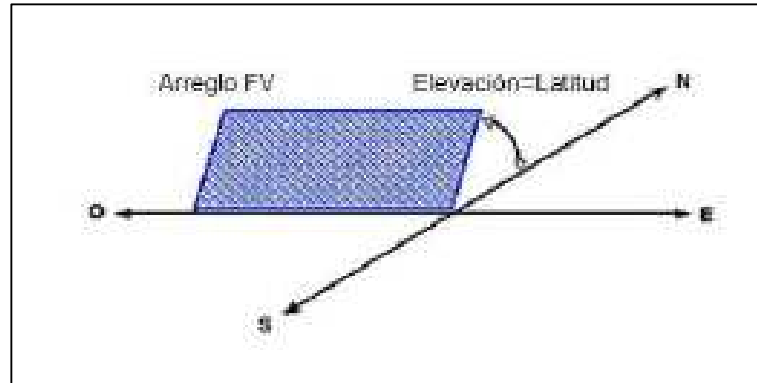


Figura 31. Orientación de la estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año
Fuente:(Perpiñan , 2014)

La distancia entre paneles se establece de tal forma que al medio día, la sombra de la arista superior del panel se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior del panel siguiente, tal y como se observa en la Figura 32.

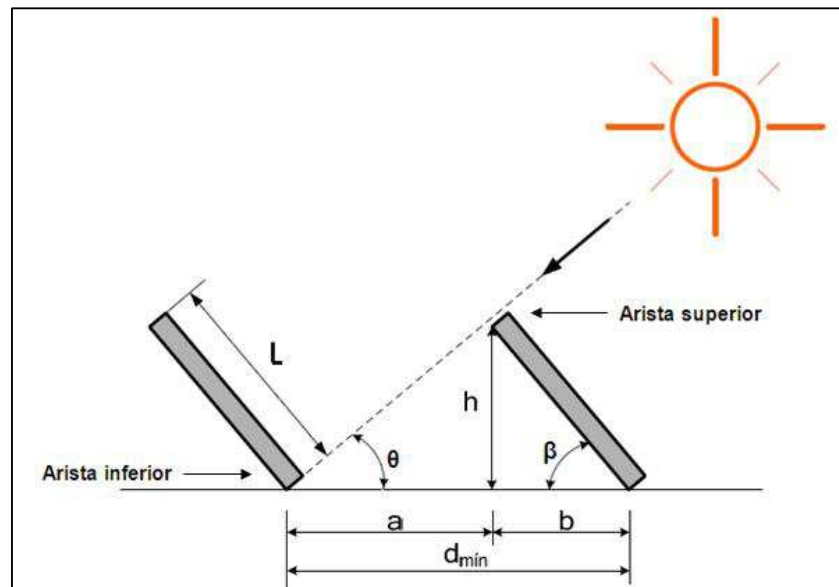


Figura 32. Distancia mínima entre aristas de paneles.
Fuente: (Soliclíma, 2008)

Donde :

D_{min} : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras m.

L: Longitud del panel (columna de módulos en paralelo)
m.

h: Altura solar al medio día m.

β : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal °.

θ : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal °.

a: Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro, m.

b: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal, m.

Una vez obtenido el grado de inclinación del panel y la longitud del panel (L) se calcula la altura solar al medio día con la siguiente ecuación.

$$h = \sin \beta \cdot L \quad (9)$$

Con los mismos datos se calcula la distancia b con la ecuación 10.

$$b = \cos \beta \cdot L \quad (10)$$

Luego de calcular la distancia b, se procede a calcular la distancia “a”, utilizando como dato la altura (h) y el ángulo θ .

$$a = \frac{h}{\tan \theta} \quad (11)$$

Por último se suma la distancia “a” más la distancia “b” para obtener la distancia mínima entre aristas de paneles, para evitar la sombra sobre otro panel.

$$\text{dist}_{\min} = a + b \quad (12)$$

2.5.10 Cálculo del cableado de CC.

El cable que se seleccionara es apto para instalaciones fotovoltaicas, tanto en servicio móvil como en instalación fija certificado por TÜV y EN. Especialmente indicado para la conexión entre paneles fotovoltaicos, y desde los paneles al inversor de corriente continua a alterna.

2.5.10.1 Criterio térmico para la selección del cable en CC.

Para el dimensionamiento del cable en función del máxima corriente de salida del arreglo FV se tomara en cuenta un 125 % de la intensidad máxima del arreglo (Harper, 2005).

$$I_{\max \text{ arreglo FV}} = I_{mp} \text{ ArregloFV} \cdot 1,25 \quad (13)$$

2.5.11 Cálculo del cableado de CA

Se lo a realizar tomando en cuenta que el cableado se lo va a realizar desde cada inversor que se encuentra en el cuarto a de máquinas hasta el tablero de distribución del complejo deportivo.

2.5.11.1 Criterio térmico para la selección del cable en CA

De igual manera el cable que utilizaremos es (TOPSOLAR P-VZZ-F / H1Z2Z2-K). Gracias al diseño de sus materiales, puede ser instalado a la intemperie en plenas garantías las especificaciones del cable se encuentran en el Anexo 3.

2.5.12 Protecciones

El cálculo de las protecciones se las realiza para los tramos de corriente continua y de corriente alterna, Aunque los fusibles e interruptores para corriente continua son diferentes

a los de corriente alterna, su cálculo es similar; según la norma (ITC –BT-22, 18 Septiembre 2002) un dispositivo protege contra sobrecargas a un conductor si se verifican las siguientes condiciones:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (14)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (15)$$

Dónde:

I_B es la corriente de empleo o de utilización.

I_N es la corriente nominal del dispositivo de protección.

I_2 es la corriente convencional de funcionamiento del dispositivo de protección.

I_Z es la corriente máxima admisible por el elemento protector.

Para la protección por magneto térmico normalizado siempre se cumple la condición $I_Z \leq 1,45 \cdot I_2$ por lo que deben verificarse las condiciones de la norma ITC-BT-22.

2.5.12.1 Protección lado CC.

La línea de CC será protegido contra sobretensiones mediante fusibles para cada uno de los ramales del generador que provoquen apertura del circuito en caso de producir una corriente superior a la admisible por los equipos o por conductores de la instalación. Cada ramal estará diseñado con dos fusibles de protección, para la polaridad negativa y la otra para la polaridad positiva.

2.5.12.2 Protección lado CA

En lo que se refiere a la protección en el lado de corriente alterna (inversor- tablero de distribución) se instalara interruptores termomagnéticos de acuerdo al criterio antes mencionado para CC.

2.5.13 Diagrama unifilar del sistema de generación FV conectado a la red y esquema de instalación del SFV en la azotea del complejo deportivo

El esquema y diagrama del sistema FV conectado a la red se los presenta en los Anexo 4 , Anexo 5 respectivamente.

2.5.14 Cálculo de la energía producida anualmente.

Primero realizaremos el cálculo de la energía producida durante la vida útil del sistema de generación FV, tomado en cuenta que los autores dan una vida útil de 25 años, este cálculo se lo realiza con la siguiente ecuación

$$E_G = \frac{P_M \cdot \# \text{ Modulos} \cdot h_p \cdot 365 \text{ dias} \cdot \# \text{ años}}{1000} \quad (16)$$

Dónde:

E_G : Energía generada (Wh).

P_M : Potencia del módulo (W).

h_p : Radiación en la localidad (kWh/m²).

2.5.15 Cálculo del costo de la energía producida anualmente.

Para el cálculo del costo de la energía producida por el sistema de generación FV utilizaremos la siguiente ecuación.

$$\text{Valor}_{kW \text{ generado}} = E_G \cdot \text{Costo } kWh \quad (17)$$

Dónde:

E_G : Energía generada (Wh).

2.6 Software Utilizados

- **SOLARIUS P-V**

Solarus PV es el software para el dimensionamiento y el cálculo de la instalación Fotovoltaica, el cual es una versión demo por 30 días y utilizaremos para simular el sistema diseñado y compara los resultados. Además el software posee las siguientes características:

- ✓ Dimensionamiento instalación fotovoltaica con procedimiento guiado.
- ✓ Irradiación solar para todas las localidades a partir de datos climáticos Meteonorm o PVGIS (Europa – África).
- ✓ Cálculo sombreado fotovoltaico a partir de fotos o imágenes.
- ✓ Esquema de la instalación fotovoltaica (paneles, inversores, baterías) con modelado automático o libre y soporte de diagnóstico.
- ✓ Esquema eléctrico de la instalación fotovoltaica (cuadros, cableado, protecciones).
- ✓ Análisis económico (Business Plan Fotovoltaico) profesional.
- ✓ Memoria técnica y económica, planos y documentos generados en automáticos desde el proyecto.
- ✓ Librerías de soporte en todas las fases de diseño (módulos, inversores etc.)



Figura 33. Software SOLARIUS PV

(Fuente: SOLARIUS PV)

- **MATLAB**

MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

Este software lo utilizaremos para calcular la energía en el análisis del balance energético.

CAPÍTULO 3

3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Parámetros iniciales

En este capítulo realizaremos el procesamiento y la interpretación de los datos obtenidos en la investigación de campo, como de datos referentes a consumos de energía eléctrica del complejo deportivo.

Análisis de las mediciones del equipo piranómetro que se instaló en el sitio de la investigación en la Figura 34. Se muestra el equipo piranómetro tomando las mediciones en el complejo deportivo.



Figura 34. Equipo piranómetro haciendo las mediciones de los datos
Fuente: Herrera L. (2018)

En el Anexo 6. Se presenta los valores de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas durante el estudio, las cuales fueron realizados en condiciones climatológicas favorables y no favorables, dichas mediciones nos permitirán obtener iniciar el estudio para poder tener una eficiencia acorde con el potencial energético en el sitio.

3.2 Análisis de datos medidos en campo (Radiación)

Con los datos obtenidos en las mediciones de radiación Solar en los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre en un periodo de 30 minutos se procedió a procesar los datos y realizar la curva de radiación que se presentan a continuación:

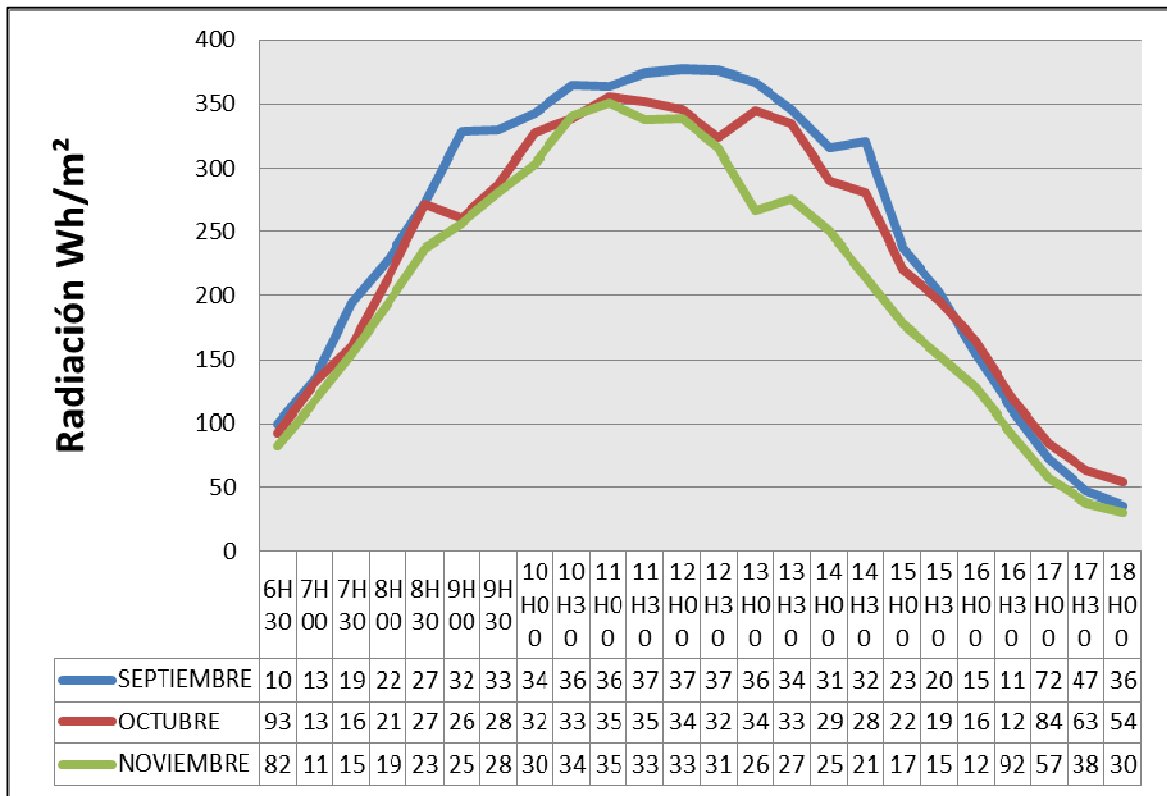


Figura 35. Curva de radiación solar de Septiembre- Octubre-Noviembre
Fuente: Herrera L (2018)

En la figura anterior se puede observar graficado la radiación solar en el periodo de tiempo establecido en el año 2017 y servirá para determinar que septiembre es el mes con más radiación solar.

Cabe mencionar que para nuestro estudio tendremos que calcular la radiación media de cada mes como se lo muestra en la siguiente Tabla, respectivamente en cada mes para luego poder compararlo con el software.

Tabla 2.

Radiación media en el periodo establecido (Septiembre-Octubre- Noviembre)

HORAS	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
6H30	100,12	93,21	82,17
7H00	135,65	132,12	117,71
7H30	194,55	160,33	154,21
8H00	228,63	214,64	194,10
8H30	272,87	271,60	237,50
9H00	328,57	260,29	256,36
9H30	329,50	286,67	280,45
10H00	343,22	327,86	302,64
10H30	365,39	338,74	340,33
11H00	364,37	355,53	350,93
11H30	374,61	351,79	337,98
12H00	376,84	345,31	338,34
12H30	376,58	323,59	315,76
13H00	366,78	345,22	266,21
13H30	345,67	334,31	276,07
14H00	315,47	290,36	250,14
14H30	320,33	280,52	215,12
15H00	238,00	220,41	178,07
15H30	202,98	196,64	153,79
16H00	155,10	164,91	127,97
16H30	111,27	120,55	91,59
17H00	72,08	84,10	57,33
17H30	46,88	62,83	37,74
18H00	35,70	53,76	30,41
KWh/m² Media	6,00	5,62	4,99

Fuente: Herrera L (2018)

El período de medición como lo mencionamos es de 3 meses en el año 2017 esto debido a que se realizó la consulta de datos de radiación de la NASA del 2016 y se analizó que septiembre es el mes con más niveles de radiación, motivo por el cual se decidió analizar el trimestre a partir de este mes y compáralos con los datos medios en nuestra investigación y verificar el margen de error que existe ya que nuestras mediciones se las realizó en el sitio exacto del complejo deportivo. A continuación mostramos los datos obtenidos de los registros de la NASA

Latitude -0.909 / Longitude -78.602 was chosen.							
	Unit	Climate data location					
Latitude	°N	-0.909					
Longitude	°E	-78.602					
Elevation	m	2752					
Heating design temperature	°C	12.61					
Cooling design temperature	°C	23.09					
Earth temperature amplitude	°C	10.87					
Frost days at site	day	0					

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh·m ² /d	kPa	°C	°C-d	°C-d
January	17.5	80.2%	5.14	83.3	19.2	21	232
February	17.6	80.3%	5.35	83.3	19.2	16	217
March	18.0	78.7%	5.23	83.3	19.8	10	250
April	17.9	76.6%	5.33	83.3	19.8	12	239
May	17.8	70.9%	5.12	83.4	19.8	14	243
June	17.3	66.8%	5.02	83.5	19.2	26	218
July	17.5	57.8%	5.27	83.5	19.9	24	233
August	18.6	51.4%	5.46	83.5	21.8	8	264
September	19.3	53.8%	5.75	83.4	22.9	4	276
October	19.3	60.3%	5.24	83.3	23.1	4	288
November	18.3	71.2%	5.30	83.3	21.3	10	251
December	17.6	79.8%	4.98	83.3	19.6	17	237

Figura. 36 Datos de niveles de radiación NASA 2017

Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy

3.3 Análisis comparativo entre la radiación medida con el Piranómetro y los datos de radiación de la NASA.

En la Tabla 3 se presenta la comparación de los datos que nos proporciona la NASA y los que fueron recolectados y procesados para nuestro estudio

Tabla 3.

Comparación de las medidas de radiación (Medición Campo – NASA)

	Septiembre	Octubre	Noviembre	Promedio
NASA	5,75	5,24	5,3	5,43
Mediciones Campo	6	5,61	4,99	5,53
Porcentaje Error (NASA-Mediciones Campo)	4,08	6,38	5,68	1,72

Fuente: Herrera L (2018)

3.4 Resumen de los datos NASA- Medición Piranómetro

Como podemos observar en la tabla anterior el margen de error no supera el 10 %, por lo pasaremos a realizar la comparación con los datos del software ya que estos nos proporcionaran los niveles de radiación media del año completo y así poder comparar el diseño calculado con lo simulado.

3.5 Análisis comparativo entre la radiación medida con el Piranómetro y los datos de radiación del SOFTWARE SOLARIUS P-V.

El modelo CRS (Climatological Solar Radiation Model), que permite conocer la insolación diaria total sobre una superficie horizontal en celdas de aproximadamente 40 km x 40 km alrededor del mundo y cuyos resultados han sido validados a través de la medición de datos efectuados por estaciones, estableciéndose que el error de los datos es del 10 %.

En la Tabla 4. Se muestra la comparación de los datos de radiación promedio mensual obtenidos en campo y niveles de radiación promedio mensual que la base de datos del software nos proporciona. Obteniendo como resultado que los meses comparados no superan el rango de error del 10 %.

Tabla 4.

Comparación de las medidas de radiación de (Medición Campo – Software Solarius P-V)

	Septiembre	Octubre	Noviembre	Promedio
Software Solarius P-V	6,43	6,01	5,53	5,99
Mediciones Campo	6	5,61	4,99	5,53
Porcentaje Error (Software-Mediciones Campo)	6,47 %	6,44 %	9,31 %	7,39 %

Fuente: Herrera L (2018)

3.6 Resumen de los datos

Una vez concluida la adquisición y procesamiento de datos de 3 meses con el equipo de medición de radiación (Piranómetro) como se muestra en el Anexo 6. Se valida que los niveles de radiación promedio mensual que posee el software (SOLARIUS P-V) Figura 2. Servirá para para los meses siguientes que no logramos ejecutar las mediciones en campo y así realizar la planificación del sistema de generación fotovoltaica conectado a la red.

Cabe mencionar que para nuestro diseño no se busca el máximo nivel de radiación media por lo contrario este diseño va estar contemplando la mínima radiación que será de $5,41 \text{ kWh/m}^2$, debido a que con este dato quedara cubierto los demás meses del año en lo referente a radiación solar.

3.7 Consumo de Energía

Para determinara el consumo de energía con el que vamos a diseñar el sistema FV, como lo mencionamos partiremos del histórico de consumo de energía por parte de ELEPCO S.A. como se lo muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.

Consumo de energía eléctrica del complejo deportivo

Mes de consumo	Año 2016 (kWh)	Gasto (\$)	Año 2017 (kWh)	Gasto (\$)
Enero	0	8,51	837	109,35
Febrero	0	10,07	1110	151,50
Marzo	0	9,56	753	104,08
Abril	868	115,43	1297	177,08
Mayo	0	7,22	1034	141,69
Junio	627	82,76	1007	138,07
Julio	184	27,99	1352	184,30
Agosto	280	39,46	837	116,39
Septiembre	327	45,91	1911	253,88
Octubre	381	52,59	603	84,19
Noviembre	4909	567,61	904	124,47
Diciembre	578	77,00	831	114,49
TOTAL	8154	1044,11	12476	1699,49

Fuente: Empresa Eléctrica ELEPCO S.A

Al analizar la tabla anterior presentada podemos encontrar un consumo pico de 1 911 kWh, el cual será elegido debido a que ese será el consumo máximo del complejo y por motivos de experiencia los diseños eléctricos se los realiza con la demanda máxima del sistema. Pero para justificar este pico de demanda realizaremos el siguiente análisis.

- **Análisis del pico de demanda del complejo deportivo**

Primeramente partiremos mencionando que se realizó un conversatorio con los dueños del complejo, por el motivo de saber el porqué de ese pico de demanda, los cuales

manifestaron que en el mes de Septiembre se realizó un campeonato, en el cual el complejo prestaba su servicio hasta las 12 de la noche. Además de este justificativo se realizará un análisis de variancia de los datos obtenidos a todos los datos

- **Análisis de Varianza**

En la tabla que se presenta a continuación se presenta el resumen de los resultados al realizar el análisis de variancia.

Tabla 6.

Resumen análisis de Varianza

RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
(kWh) 2017	12	12476	1039,666667	122362,7879		
(kWh) 2018	12	8154	679,5	1854783,727		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	778320,1667	1	778320,1667	0,787316631	0,384510635	4,300949502
Dentro de los grupos	21748611,67	22	988573,2576			
Total	22526931,83	23				

Fuente: Herrera L. (2018)

Como podemos observar al realizar el análisis tenemos como resultado que la frecuencia es menor que el valor crítico y esto nos quiere decir que existe coincidencia entre los valores analizados. Por lo que podremos utilizar un valor promedio entre estos datos.

$$kWh_{promedio} = 1039.66$$

Por lo manifestado anteriormente existió un evento deportivo por lo que se generó un pico de demanda energética de 1911 kWh y al utilizar un valor promedio para el diseño nos faltaría cubrir una demanda de 871.33 kWh.

Debido a que el propietario manifestó que desea seguir realizando este tipo de eventos deportivos y a mas por experiencia adquirida en diseños eléctricos , se debe analizar los proyectos en base al pico de demanda presentada el sitio de estudio.

CAPÍTULO 4

4. PROPUESTA

4.1 Datos Informativo

4.1.1 Título de la propuesta

Diseño del sistema de generación de energía eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para autoconsumo del complejo deportivo.

4.1.2 Beneficiarios

Beneficiario directo: Complejo deportivo “PLATAFORMA DEPORTIVA”

4.1.3 Equipo Técnico Responsable

Tutor: MSc. Edwin Marcelo Lema Guamán

Investigador: Ing. Herrera Vaca Luis Eduardo

4.1.4 Justificación de la Propuesta.

El complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA” dispone de dos espacios para las actividades deportivas que se suscitan en su infraestructura; el problema surge en el costo de la planilla eléctrica es significativo y necesita ser reducido; para lo cual se propone el uso de energías alternativas, particularmente la energía solar.

El proyecto que se plantea relacionado al aprovechamiento de la energía solar se justifica desde los siguientes puntos de vista:

El Ecuador para satisfacer su demanda energética utiliza en los diferentes sectores energía cinética (hidráulica) y la combustión de petróleo (térmica), en función de las diferentes plantas de transformación de energías instaladas a nivel nacional y el componente proveniente del sol es casi nulo.

El alto grado de contaminación y costo de adquisición que acarrea consigo la utilización de energías provenientes del petróleo y la sedimentación y escases de agua utilizando la energía hidráulica, mientras que la utilización de las energías renovables como fuente de generación eléctrica no conlleva a ninguna clase de contaminación.

El Costo de transformación de energía solar en uso eléctrico, es amortizable en el tiempo, como se demostrará a lo largo de este estudio.

Con la consideración de todo lo anterior se justifica plenamente la realización del proyecto; diseñar el sistema de generación de energía eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para autoconsumo del complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”, proyecto que pretende constituirse en un estudio demostrativo de las bondades técnicas, económicas y ecológicas del uso de la energía solar.

Este uso de energía alternativa, además de proporcionar el potencial adecuado al complejo, permite un ahorro económico y aporta a la conservación del medio ambiente. A su vez, el área geográfica en la cual se encuentra ubicado el complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA” proporciona los recursos solares necesarios para la implementación de sistemas de energía solar, que permitan su aprovechamiento. La ventaja de diseñar un sistema fotovoltaico es que permite garantizar la continuidad

del servicio eléctrico y satisfacer las necesidades de energía eléctrica construida y proyectada.

4.2 Objetivos de la Propuesta

4.2.1 Objetivo General.

Diseñar el sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo del complejo “PLATAFORMA DEPORTIVA”, y reducir el consumo de energía convencional.

4.2.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Determinar la radiación solar en el complejo deportivo.
- ✓ Simular el sistema de generación FV diseñado en el software “Solarius P-V”
- ✓ Evaluar el proyecto desde el punto de vista ambiental, legal, energético y económico.
- ✓ Realizar el balance energético del sistema de generación FV.

4.3 Análisis de Factibilidad.

4.3.1 Análisis Técnico

El diseño del sistema de generación FV conectada a la red se lo pueden realizar con normalidad, ya que este diseño se lo puede realizar con los equipos que sirven para medir la radiación en el sitio de estudio. Además con el software que tendremos

una versión de prueba de 30 días que nos ayudara para comparar con lo calculado en el transcurso de este proyecto.

4.3.2 Económico – Financiero

En el análisis se toma en cuenta todos los componentes necesarios para poder realizar y concluir el estudio planteado; los cuales son: costo de inversión de equipos, costo inversión cables, costo diseño construcción y funcionamiento, costo factibilidad ARCONEL.

4.4 Diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red

El diseño del sistema fotovoltaico conectado a red está basado en el marco teórico del Capítulo 1, la metodología presentada en la Figura 30 del Capítulo 2 y el análisis de los resultados del Capítulo 3. Los cuales cuentan con todos los parámetros necesarios y formas de funcionamientos de estos equipos.

4.4.1 Demanda del complejo deportivo

Se realizó el cálculo de la demanda del complejo deportivo que se la detalla en la Figura 37. Debido a que necesitaremos comparaciones con parámetro calculados en dicha demanda para nuestro diseño del SFV conectado a la red. Además para verificar si el centro de transformación se encuentra operando en un rango normal debido a que los diseños se los realizan con potencias instaladas. Como se puede observar en la Figura 23 el montaje fue realizado en el 2015, y como el sistema eléctrico es dinámico en ocasiones se encuentran operando en rangos fuera de lo normal.

PLANILLA PARA LA DETERMINACIÓN DE DEMANDA UNITARIA DE DISEÑO									
NOMBRE DEL PROYECTO:		COMPLEJO DEPORTIVO " PLATAFORMA DEPORTIVA"							
No DEL PROYECTO:		BARRIO ISIMBO 1							
LOCALIZACIÓN:		BARRIO ISIMBO 1							
REGION	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO PUBLICO				FFUn (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (W)	
	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN V W	CANT.	POTENCIA W					
1	Bomba de Agua	240 756	1	756	100	756	100	756	
2	Cafetera	120 850	1	850	100	850	100	850	
3	Cocina de induccion	240 4000	1	4000	100	4000	100	4000	
4	Congeladora	120 300	1	300	100	300	100	300	
5	Ducha Eléctrica	220 1500	1	1500	90	1350	90	1215	
6	Equipo de Sonido	120 100	1	100	100	100	100	100	
7	Iluminación domicilio	120 100	10	1000	100	1000	100	1000	
8	Nevera	120 150	1	150	100	150	100	150	
9	Refrigeradora	120 575	1	575	100	575	100	575	
10	TV	120 150	1	150	90	135	90	121,5	
11	Iluminación canchas	240 250	10	2500	70	1750	70	1225	
SUB TOTAL				8881	9783,5	10292,5			
<p>Potencia instalada = 8881 W FDM = DMU / CIR = 1,05</p> <p>$f_p = 0,95$ S = 10,78 KVA</p> <p>POT. POR USUARIO = 10,29 KW</p> <p>DMU = 10,78 KVA Ti (%) = 1</p> <p>$DMUp = DMU * (1+Ti/100)^n$</p> <p style="text-align: center;">DMUp = 10,78 KVA</p> <p style="text-align: right;">I PARA ACOMETIDA 48,9903 A</p>									
POTENCIA REQUERIDA 15 KVA									

Figura 37. Demanda Complejo Deportivo Fuente: Herrera L. (2018)

Además el diseño propuesto se lo realizara con el consumo energético debido a que tenemos datos históricos en el sistema comercial de ELEPCO S.A. y no así al realizar un censo de carga o al instalar un analizador debido a que las mediciones para este estudio se lo realizara por 5 días y no tendremos datos de meses completos las cuales ayudaran a realizar el balance energético.

4.4.3 Energía consumida

Para este estudio es el mes de septiembre con un consumo de 1911 kWh, con lo justificado en el Capítulo 2. es el que nos ayudara a realizar el diseño.

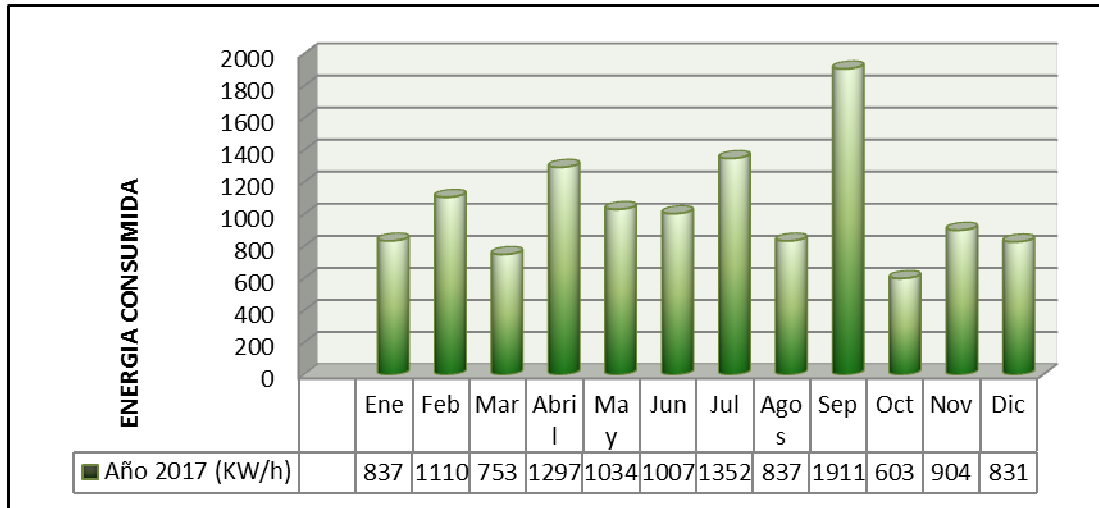


Figura 38. Consumo energía eléctrica 2017 complejo deportivo
Fuente: ELEPCO S.A.

Consumo mensual máximo = 1911 kWh

$$\text{Consumo Diario} = \frac{1911 \text{ kWh}}{30 \text{ Dias}} = 63,7 \text{ kWh(Dia)} = 63700 \text{ Wh(Dia)}$$

Energía proveer por Panel = 63,7 kWh

4.4.4 Selección de módulos fotovoltaicos e inversores

Para el presente estudio se optó por la sección de módulos fotovoltaicos mono cristalinos de 360 W. ya que su potencia es la más alta en su clase y su material tiene una mayor eficiencia a comparación de otros materiales, además de que permite al

módulo operar sin problemas en múltiples configuraciones. Las especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico se la presentan en el Anexo 7.

Considerando que el inversor a utilizar debe proporcionar la potencia que pueda estar conectada al sistema y las características de la instalación (monofásica a dos hilos) en donde el caso más crítico es cuando todas las cargas están conectadas al sistema de generación fotovoltaico, así como los parámetros de entrada del inversor, por lo que se selecciona un inversor para conexión a la red con una potencia máxima de salida de 3 kW, tensión nominal de 220 V/240 V de corriente alterna, cuyas características se muestran en el Anexo 8.

4.4.5 Número de módulos fotovoltaicos

El cálculo del número de módulos fotovoltaicos se lo realiza un nivel de radiación del mes de mayo con un nivel de 5,41 kWh/m²

$$M = \frac{63700}{31,7 \cdot 8,52 \cdot 5,41} = 43,59 \approx 44$$

Según el cálculo realizado para abastecer de energía al complejo deportivo se necesitara instalar 44 módulos FV.

4.4.6. Arreglo de los módulos FV

$$\text{Numero de filas en serie} = \frac{530V}{38,8V} = 13,65 \approx 14$$

$$\text{Número de columnas en paralelo} = \frac{13A}{9,12A} = 1,42 \approx 1$$

Una vez realizado los cálculos de filas y columnas el sistema queda configurado como se presenta en la siguiente figura.

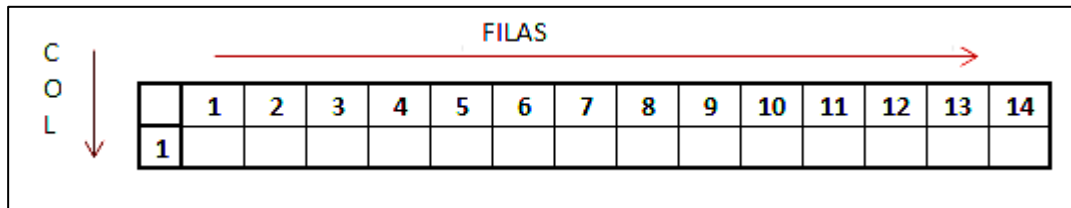


Figura 39. Arreglo de los paneles FV
Fuente: Herrera L. (2018)

En la Figura 39. Podemos observar que las filas están integradas por 14 módulos y las columnas por 1 módulo, por lo que se tiene 14 módulos conectados por inversor. Para asegurar si la tensión de los 14 módulos en serie no supera la tensión de entrada del inversor se hace la siguiente comprobación, multiplicando el número de módulos por la tensión de salida de cada módulo.

$$(14 \text{ módulos}) \cdot (31,7 \text{ V}) = 443,8 \text{ V}$$

El voltaje calculado de los módulos se encuentra dentro del intervalo de tensión del inversor que es 110-480 V, por lo que el arreglo es correcto.

De igual manera se realiza la comprobación de los módulos en paralelo, en este caso se multiplica la corriente de salida del módulo por el número de módulos en paralelo.

$$(1 \text{ módulo}) \cdot (9,12 \text{ A}) = 9,12 \text{ A}$$

El valor de la corriente de los módulos se encuentra dentro del valor de corriente de entrada del inversor que es de 13 A, por lo que es correcto el arreglo.

Cabe mencionar que el arreglo fotovoltaico no necesariamente tiene que tener la configuración diseñada en la Figura 39, esto solo se refiere a las conexiones en serie y paralelo entre los módulos para tener las condiciones necesarias de entrada del inversor.

4.4.7. Número de inversores.

$$\# \text{ Inversores} = \frac{44}{14} = 3,14 \approx 3 \text{ inversores}$$

Para garantizar que los 3 inversores cubren la potencia requerida del complejo deportivo, se realiza la comprobación, multiplicando el número de inversores por la potencia de salida del inversor.

$$(3 \text{ inversores}) 3 \text{ kW} = 9 \text{ kW}$$

La potencia total de los inversores es de 9 kW es mayor que la potencia total de la carga (8,8 kW) por lo que el número de inversores es adecuado para el sistema FV.

4.4.8 Inclinación de los Módulos FV.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\phi|$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|0^{\circ},54',31.84''|$$

$$\beta_{opt} = 4,54 \approx 5^{\circ}$$

El Angulo de inclinación es muy pequeño debido a condiciones de humedad y principalmente la lluvia tomamos la decisión de colocarlos a 10°

4.4.9 Dimensionamiento del panel FV

Una vez obtenida las dimensiones de los módulos y los arreglos por inversor, se distribuye el arreglo como se muestra de la Figura 40, de tal manera que no rebase al área a utilizar. De tal manera que estarán 2 filas de 15 módulos, 1 fila de 14 módulos y en columnas de 1 modulo.

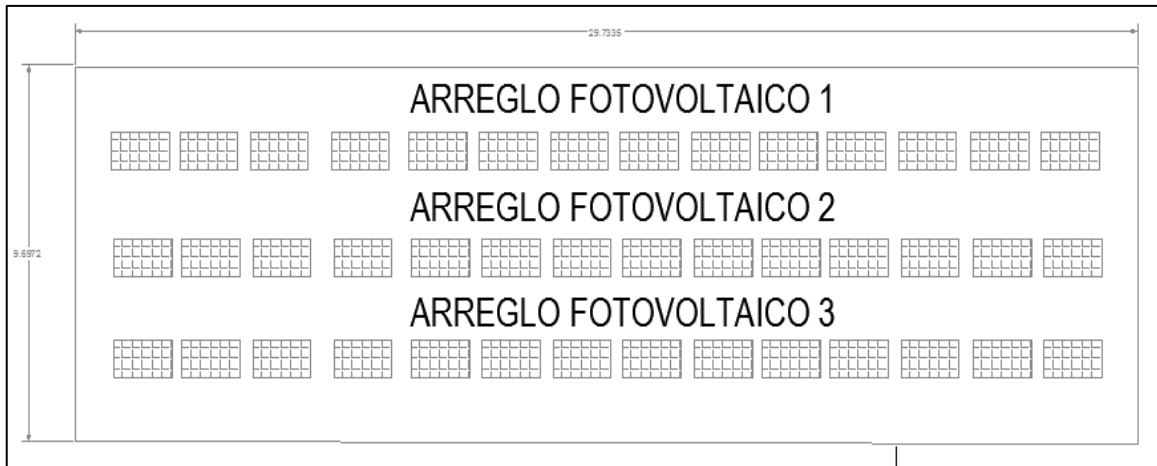


Figura 40. Ubicación de los módulos en la azotea del complejo deportivo

Fuente: Herrera L. (2018)

$$\text{Área sotea complejo deportivo} = 9,69 * 29,73 = 288,08m^2$$

$$\text{Área total sistema FV} = 1,63m^2 * 44 \text{ modulos} = 71,84m^2$$

Área total sistema FV > Área total del sistema FV (si cumple con esta condición)

4.4.10 Orientación de los módulos FV

Con los valores de inclinación del panel que es 10° y la longitud del panel (L) que es 3 m, se calcula los siguientes datos:

- Altura solar al medio día

$$h = (\sin 10^\circ) \cdot (1m)$$

$$h = 0,17m$$

- Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal.

$$b = (\cos 10^\circ) \cdot (1m)$$

$$b = 0,98m$$

- Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro.

$$a = \frac{h}{\tan \theta} = 0,029m$$

$$\text{dist}_{\min} = 0,98 + 0,029 = 1m.$$

Entonces la distancia mínima entre cada arreglo será mínima de 1 metro para que no exista el sombreado entre paneles esto debido a que los arreglos se los va hacer de 1 sola columna respectivamente.

4.4.11 Diagrama de conexión de los módulos FV.

Para mantener las características de los arreglos FV se procede a conectar cada módulo FV que conformo el arreglo en serie debido a que con este tipo de configuración tendremos un voltaje y corriente menor a la de los inversores que irán conectados a cada arreglo como se muestra en la siguiente Figura 41.

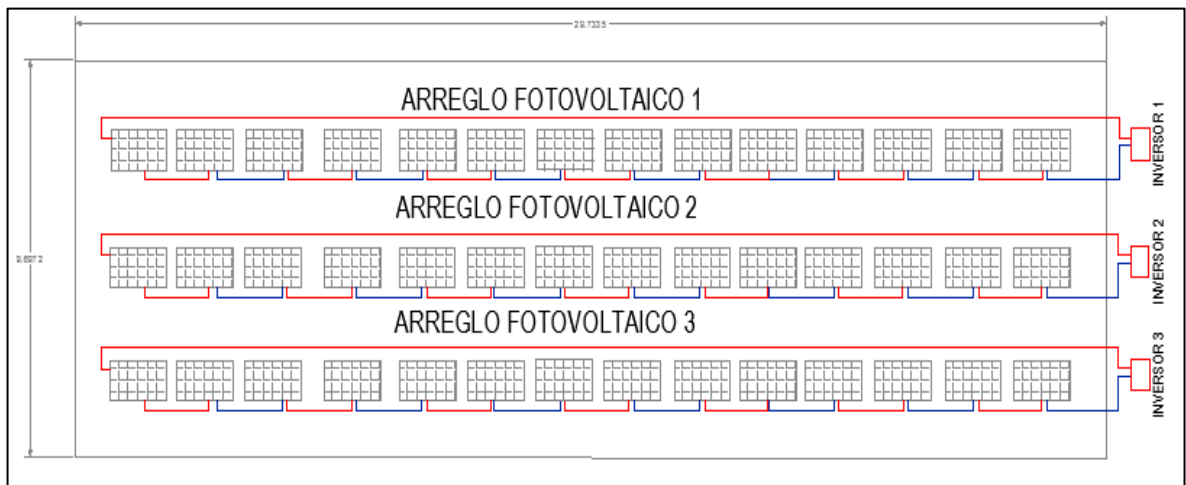


Figura 41. Conexión de 3 arreglos conectados en serie
Fuente: Herrera L. (2018)

De tal manera que los dos arreglos tendrán 15 módulos conectados en serie y el tercer arreglo 14 módulos.

4.4.12 Cableado de CC.

Se debe tomar en cuenta que el sistema fotovoltaico estará dividido en 3 ramales que estarán conectados a inversores por cada ramal, que estarán ubicados en un cuarto de máquinas en el primer piso y a su vez el inversor conectado al tablero de distribución ubicado en el mismo cuarto de máquinas para luego conectarse al medidor y por ultimo al centro de transformación del complejo deportivo.

El cable TOPSOLAR P-V ZZ-F. Gracias al diseño de sus materiales, puede ser instalado a la intemperie en plenas garantías las especificaciones del cable se encuentran en el Anexo 3. (TOPSOLAR P-VZZ-F / H1Z2Z2-K).

4.4.12.1 Criterio térmico para la selección del cable en CC.

$$I_{\max} \text{ arreglo FV} = I_{mp} \text{ ArregloFV} \cdot 1,25 \quad (18)$$

$$I_{\max} \text{ arreglo FV} = 9,12A \cdot 1,25$$

$$I_{\max} \text{ arreglo FV} = 11,04A$$

El cable que se va utilizar es el $1 \times 1,5 \text{ mm}^2$ según las características de corriente que se presenta en el Anexo 3. El cual nos garantiza que soportara la máxima corriente del arreglo hasta el inversor de cada arreglo.

4.4.13 Cableado de CA

Se lo a realizar tomando en lo considerado en el Capítulo 2

4.4.13.1 Criterio térmico para la selección del cable en CA.

El cable a utilizar es (TOPSOLAR P-VZZ-F / H1Z2Z2-K).

$$I_{\max} = 38,26 \text{ A}$$

El cable que vamos a utilizar en este tramo del circuito será $1 \cdot 4 \text{ mm}^2$ que en las especificaciones del fabricante soporta una corriente 40 A. cabe mencionar que este sistema será monofásico a 3 hilos.

4.4.14 Protecciones

Para proporcionar seguridad tanto a los equipos que forman el sistema FV necesario proporcionar una serie de elementos de protección que aseguren un funcionamiento correcto de la instalación.

4.4.14.1 Protección lado CC.

La sección del conductor que forma este tramo de instalación es de $1,5 \text{ mm}^2$. Los parámetros a utilizar para el dimensionado de los fusibles serán:

$$I_B = I_{MPP} \text{ del módulo} = 9,12 \text{ A}$$

$$I_Z = I_{\text{max admisible}} = 11,4 \text{ A}$$

Por lo tanto para que se cumpla la condición como mínimo la corriente nominal del fusible será:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$9,12 \text{ A} \leq I_N \leq 11,4 \text{ A}$$

$$I_N = 10 \text{ A}$$

A continuación se calculará la corriente convencional de fusión de este fusible comprobándose si la dimensión del fusible es la correcta. Esto se lo realizara

utilizando la ecuación 15. Cabe mencionar por ser un fusible gg las especificaciones dicen que el valor de constante de 1.45 será reemplazado por 1,6

$$I_2 \leq 1,6 \cdot I_Z$$

$$I_2 = 1,6 \cdot 10 = 16 \text{ A}$$

$$16 \text{ A} \leq 1,45 \cdot 11,4 \text{ A}$$

$$16 \text{ A} \leq 16,53 \text{ A}$$

Por consiguiente, se utilizarán fusibles de 10A en cada ramal de paneles conectados en serie del generador solar fotovoltaico. En la actualidad los paneles propuestos ya vienen instalados estos fusibles

Calculado esta corriente podremos dimensionar los interruptores termo magnéticos para cada arreglo. Estos interruptores nos servirán para aislar cada arreglo en caso de mantenimiento. A más de eso con la experiencia obtenida en años de instalaciones eléctrica las protecciones a dimensionarse tienen que tener la principal funcionalidad que proteger el circuito o cable al cual estará conectada. Esto quiere decir que para el tramo de CC instalaremos interruptores con corrientes superiores a las nominales del cable de la siguiente manera :

$$I_{\text{termomagnético CC}} > I_{\text{cable}}$$

$$25 \text{ A} > 23 \text{ A}$$

Realizada la anterior relación instalaremos interruptores termo magnéticos por cada arreglo de 25 A debido a que tenemos que adaptarnos los que existe en el mercado, quedando totalmente protegido el sistema aguas debajo de esta protección.

4.4.14.2 Protección lado CA

Tomaremos en cuenta que se instalará una protección por cada inversor como se lo presentará en el diagrama unifilar que se presentará a continuación.

$$I_{\text{termomagnético CA}} > I_{\text{cable}}$$

$$50 \text{ A CA} > 40 \text{ A}$$

Con lo referente a calidad de energía y los parámetros para ingresar en paralelo a un sistema (frecuencia y voltaje) los inversores propuestos vienen ya previstos a través de un interruptor accionado por el sistema de monitoreo. Esto quiere decir que son inversores automáticos.

2.6.14.3 Puesta a tierra

Se deberá instalar un sistema de tierra independiente para el sector de CC a efecto que no transmita ninguna alteración a la red de distribución, de esta forma quedará puesta a tierra propiamente el generador FV.

Para la parte de CA la puesta a tierra ya se encuentra instalada tanto en el medidor como una instalación independiente para los circuitos internos del complejo deportivo. En ambos casos tendremos que tener un valor de resistencia 1 a 10 ohmios según la norma NFPA-70 para no tener entre ellos una diferencia de potencial y garantizar que el sistema esté protegido para sobre voltajes.

4.4.15 Energía producida anualmente.

Primero realizaremos el cálculo de la energía producida durante la vida útil del sistema de generación FV, tomado en cuenta que los autores dan una vida útil de 25 años, este cálculo se lo realiza con la ecuación 16.

$$E_G = 781961,4kWh$$

Para obtener el valor de energía generada anualmente dividiremos el valor anterior para los meses de vida útil del sistema de generación FV

$$E_G \text{ anual} = \frac{781961kWh}{25años} = 31278,456kWh$$

4.4.16 Cálculo del costo de la energía producida anualmente.

El CONELEC actualmente ARCONEL estableció una tarifa para la producción de energía no convencional debido a un fuerte impulso del gobierno para implementar este tipo de sistemas, donde el precio de la energía estaba alrededor de

los 0,40\$/kWh para proyectos puestos en operación. (CONELEC, 2011)

En la actualidad se reformó la tarifa de la producción de la energía de fuentes no convencionales, para el 2014 se fija que el costo de la producción de energía fotovoltaica será de 0,118\$/kWh establecido en el plan Nacional del Buen Vivir (CONELEC_001-13, 2014). Las regulaciones mencionadas se las presenta en el Anexo 9.

$$\text{Valor}_{\text{kW.gener}} = 3690.95 \text{ Dólares}$$

Como lo mencionamos anteriormente el precio del kWh lo regula el ARCONEL para sistemas de generación FV que están conectadas al S.N.I . Para el estudio presentado no existe una base legal para establecer costos por despacho de energía suministrado a la red, debido a que el sistema servirá para autoconsumo del complejo y la diferencia de energía producida por el sistema FV será inyectado al sistema de distribución de ELEPCO S.A. y en los periodos de tiempo donde no exista generación FV, el suministro de energía para el complejo será entregado por la empresa distribuidora.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, se realizó un conversatorio con la empresa distribuidora, para determinar el costo por despacho de energía, puesto que las redes de la empresa distribuidora servirán como un acumulador de energía, debido a que no existe en la actualidad un sistema FV (generación distribuida) de estas características conectada a ELEPCOS.A. Cabe mencionar que el cliente está en la categoría “COMERCIAL” y el costo del kWh para este tipo de usuario tiene el valor de comercialización de \$ 0.12 dólares según los pliegos tarifarios que se los presenta en el Anexo 10. Con esta referencia volveremos a calcular a calcular el costo de la energía producida por el SFV.

$$\text{Valor}_{\text{kW gen. distribuidora}} = \$ 3 753,41$$

En lo concerniente al Estudio Legal profundizaremos sobre el tema, ya que en otros países existen normativas y regulaciones para el despacho y comercialización de sistemas de generación FV conectados a la red hasta 30 kW específicamente (Comisión Federal De Electricidad – México)

4.4.17 Análisis comparativo con el programa Solarius P-V

Una vez simulado el software Solarius P-V. Se puede concluir que los cálculos de diseño realizado arrojan los mismos valores que lo simulado con el programa Solarius P-V. El informe de la simulación del sistema fotovoltaico se encuentra en el Anexo 11.

A continuación compararemos algunos datos que arrojo el software Solarius P-V frente a los datos calculados.

Tabla 7.

Análisis calculado-software

	SOLARIUS P-V	TESISTA
Radiación solar anual	2 087.22 kWh/m ²	2087,22 kWh/m ²
Módulos FV	JKM345M-72 340-360 w	JKM345M-72 340-360 w
Numero de Módulos FV	44	44
Energía anual producida	31378.45 kWh	31578.45 kWh
Área de instalación	71.96m ²	71.84 m ²
Inversor	Blue Solar Grid inverter 3000W 240V	Blue Solar Grid inverter 3000W 240V
Numero de Inversores	3	3
Numero de Arreglos	3	3
Cantidad de Filas	3	3
Cantidad de Columnas	1	1
Inclinación	10°	10°

Fuente: Herrera L. (2018)

De tal manera se puede observar que no hay mayor diferencia entre lo calculado y lo simulado en el software .La simulación completa también ira como parte del Anexo11.

4.4.18 Análisis Centro de transformación 15 kVA 9390

Una vez diseñado el sistema de generación FV, procederemos a analizar el centro de transformación instalado en el complejo deportivo para lo cual realizamos mediciones con el analizador de carga Tabla 8. Las cuales determinan en un día cualquiera (Sábado) la energía consumida por el complejo, con la cual podremos realizar nuestro análisis. En la tabla siguiente se realiza un resumen de dichos datos.

Tabla 8.

Análisis Centro de Transformación

KVA	ENERGÍA	ENERGÍA	KVA	%
Centro de Transformación	ENERGÍA PLANILLA	CENSO DE CARGA	Centro de Transformación	de de aumento
10,78	1911 kWh	1966 kWh	11,09	2,79

Fuente: Herrera L. (2018)

La tabla nos refleja que el momento de la medición hubo un aumento de energía del 2.79 %. Lo cual nos determina que el transformador se encuentra en la capacidad de abastecer con normalidad la potencia requerida por el complejo. Esta comparación se la realizo debido a que la planilla de mayor consumo fue en septiembre del 2017 y las mediciones se las realizo en febrero del presente año.

4.5 Balance Energético.

4.5.1 Curva de carga del complejo deportivo.

Una vez realizado el diseño de sistema de generación FV conectado a la red procederemos a realizar el análisis energético. Para lo cual efectuaremos medicaciones con el analizador de redes yokogawa CW240 en el complejo deportivo para determinar la curva de carga.

Dichas mediciones se las realizó en un periodo de tiempo de 5 días dándonos como resultado la siguiente curva. Los datos obtenidos se presentan en el Anexo 12.

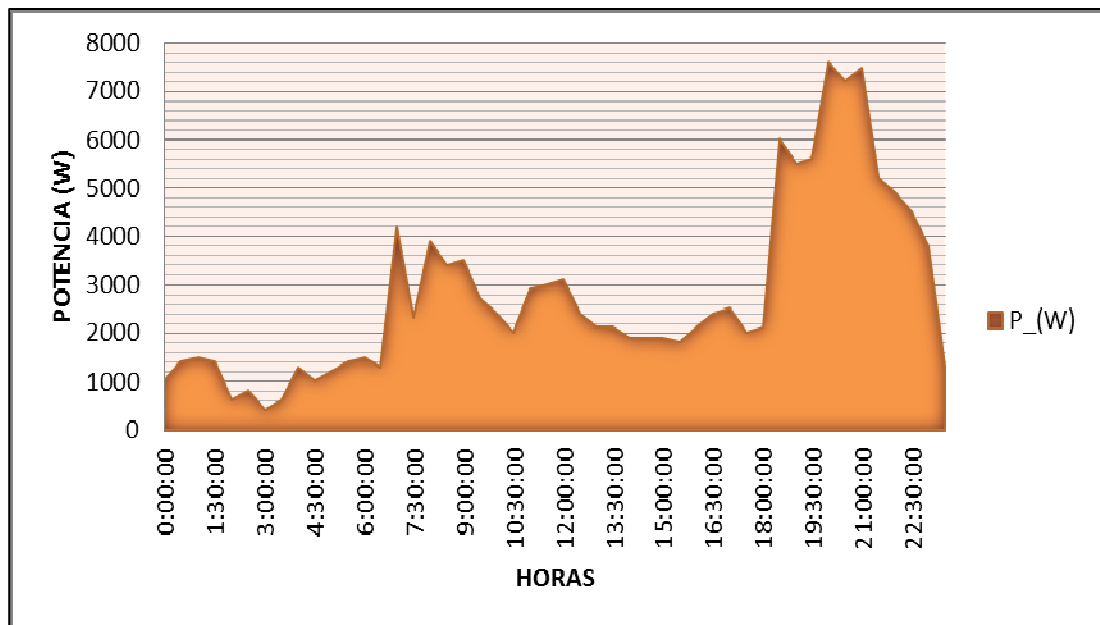


Figura 42. Curva de carga PLATAFORMA DEPORTIVA

Fuente: Herrera L. (2018)

En la figura anterior podemos observar una curva típica de demanda de energía residencial, la cual cuenta con dos picos de energía debido al consumo que existe en

estos periodos de tiempo , aclararemos la tarifa en donde se encuentra categorizada es Tarifa Comercial ,esto es debido a que tiene finalidad de lucro.

Obtenida esta demanda energética se procedió a determinar la energía del mismo cabe mencionar que para determinar la energía se realizó la integración de dicha curva debido a que la energía es igual al área bajo la curva. Para lo cual se analizaron los siguientes datos presentados en la Tabla 9.

Tabla 9.

Datos de mediciones demanda de carga

FECHA	HORAS	P W	HORAS	ENRGIA (Wh)
24/02/2018	0:00:00	1000	0,5	500
24/02/2018	0:30:00	1400	0,5	700
24/02/2018	1:00:00	1500	0,5	750
24/02/2018	1:30:00	1400	0,5	700
24/02/2018	2:00:00	600	0,5	300
24/02/2018	2:30:00	800	0,5	400
24/02/2018	3:00:00	400	0,5	200
24/02/2018	3:30:00	600	0,5	300
24/02/2018	4:00:00	1300	0,5	650
24/02/2018	4:30:00	1000	0,5	500
24/02/2018	5:00:00	1200	0,5	600
24/02/2018	5:30:00	1400	0,5	700
24/02/2018	6:00:00	1500	0,5	750
24/02/2018	6:30:00	1300	0,5	650
24/02/2018	7:00:00	4200	0,5	2100
24/02/2018	7:30:00	2300	0,5	1150
24/02/2018	8:00:00	3900	0,5	1950
24/02/2018	8:30:00	3400	0,5	1700
24/02/2018	9:00:00	3500	0,5	1750
24/02/2018	9:30:00	2700	0,5	1350
24/02/2018	10:00:00	2400	0,5	1200
24/02/2018	10:30:00	2000	0,5	1000
24/02/2018	11:00:00	2900	0,5	1450
24/02/2018	11:30:00	3000	0,5	1500
24/02/2018	12:00:00	3100	0,5	1550

24/02/2018	12:30:00	2400	0,5	1200
24/02/2018	13:00:00	2100	0,5	1050
24/02/2018	13:30:00	2100	0,5	1050
24/02/2018	14:00:00	1900	0,5	950
24/02/2018	14:30:00	1900	0,5	950
24/02/2018	15:00:00	1900	0,5	950
24/02/2018	15:30:00	1800	0,5	900
24/02/2018	16:00:00	2100	0,5	1050
24/02/2018	16:30:00	2400	0,5	1200
24/02/2018	17:00:00	2500	0,5	1250
24/02/2018	17:30:00	2000	0,5	1000
24/02/2018	18:00:00	2100	0,5	1050
24/02/2018	18:30:00	6000	0,5	3000
24/02/2018	19:00:00	5500	0,5	2750
24/02/2018	19:30:00	5600	0,5	2800
24/02/2018	20:00:00	7600	0,5	3800
24/02/2018	20:30:00	7200	0,5	3600
24/02/2018	21:00:00	7500	0,5	3750
24/02/2018	21:30:00	5200	0,5	2600
24/02/2018	22:00:00	4900	0,5	2450
24/02/2018	22:30:00	4500	0,5	2250
24/02/2018	23:00:00	3800	0,5	1900
24/02/2018	23:30:00	1300	0,5	650
			Wh Dia	66550
				1996500
			KWh MES	1996,5

Fuente: Herrera L. (2018)

4.5.2 Curva de generación del sistema FV.

Para determinar dicha curva con ayuda de las mediciones de radiación diaria que las realizamos anteriormente se calculó la energía producida por el sistema FV propuesto obteniendo como resultado lo que se presentara en la siguiente figura. De igual manera los cálculos realizados se los presenta en el Anexo 12.

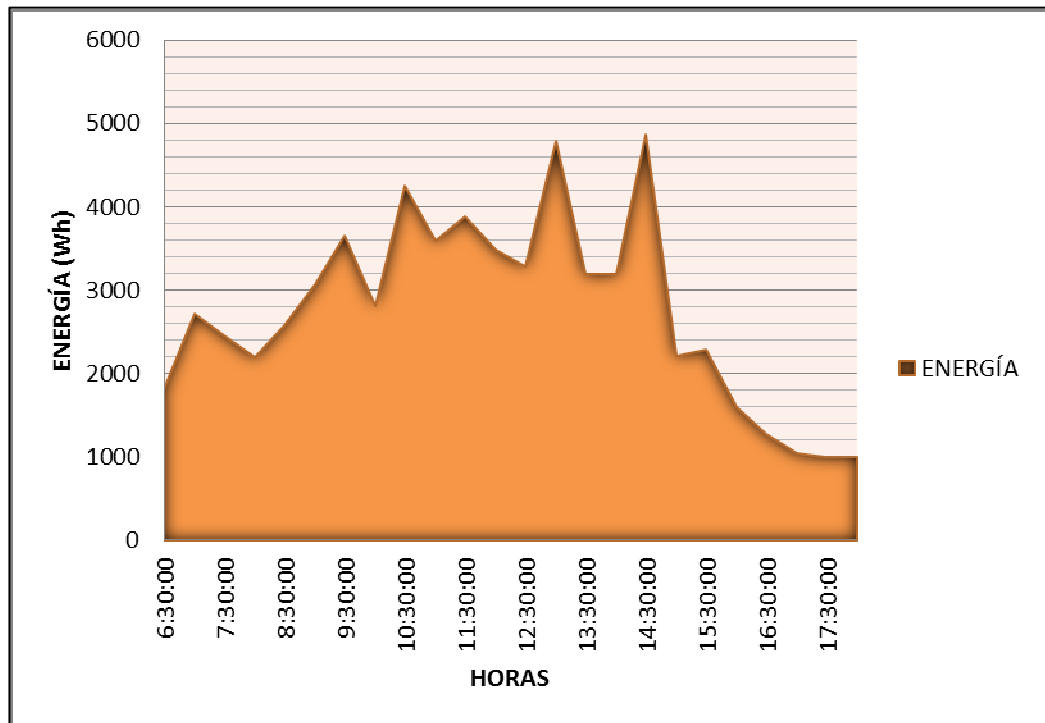


Figura 43. Energía Generada SFV 6:30-18:00

Fuente: Herrera L. (2018)

La curva presentada se la realiza en base a la generación del sistema FV en las horas donde existe radiación solar. Se puede apreciar que existe varios picos de esta energía es debido a que la radiación no es constante.

Con dicha curva obtendremos la energía generada en el periodo de tiempo que se tiene radiación solar que será el siguiente.

$$E_{\text{generadaSFV}} = 66.15 \text{ kWh (periodo 6:30-18:00)}$$

4.5.3 Curva de carga del complejo deportivo fuera de horas de generación SFV.

Para seguir con el balance energético calcularemos la energía requerida por el complejo en la horas que no se encuentra generando el SFV como se lo muestra en las siguientes figura.

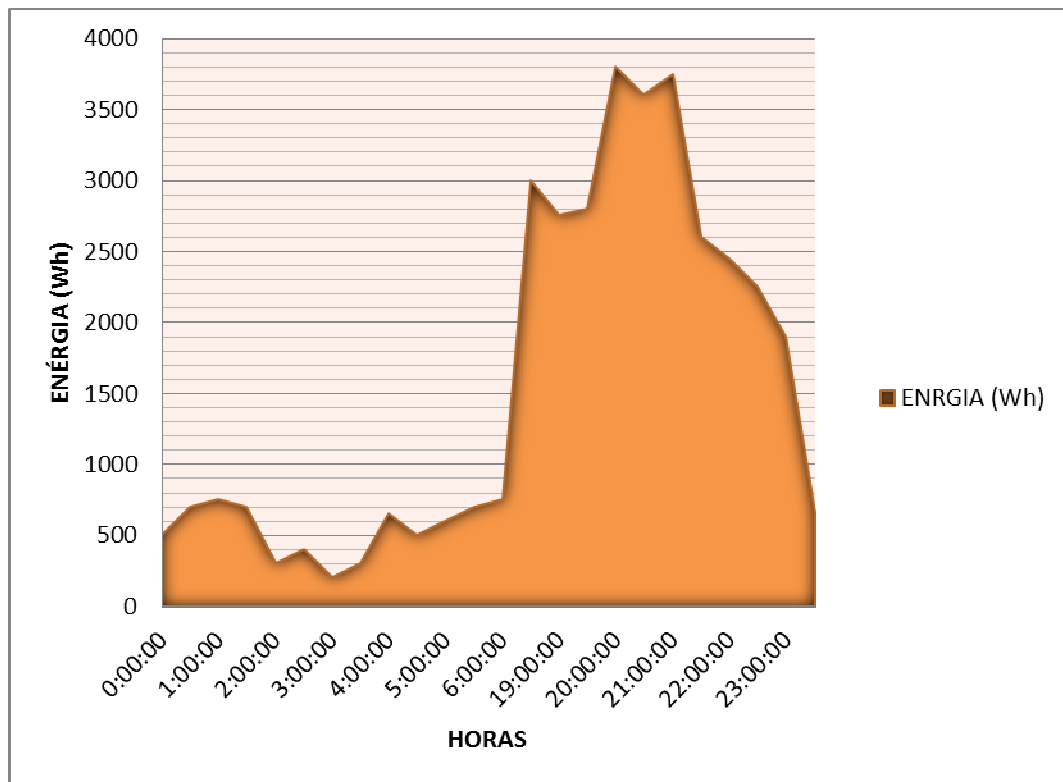


Figura 44. Energía complejo deportivo fuera del periodo de generación

FV Fuente: Herrera L.(2018)

En la figura anterior podemos observar la energía que estará suministrando ELEPCO S.A. debido a que en este periodo de tiempo no existe generación FV.

Este cálculo lo haremos con la ayuda de matlab. A continuación presentamos el cálculo y el dibujo de la curva para compararlo con la obtenida anteriormente.

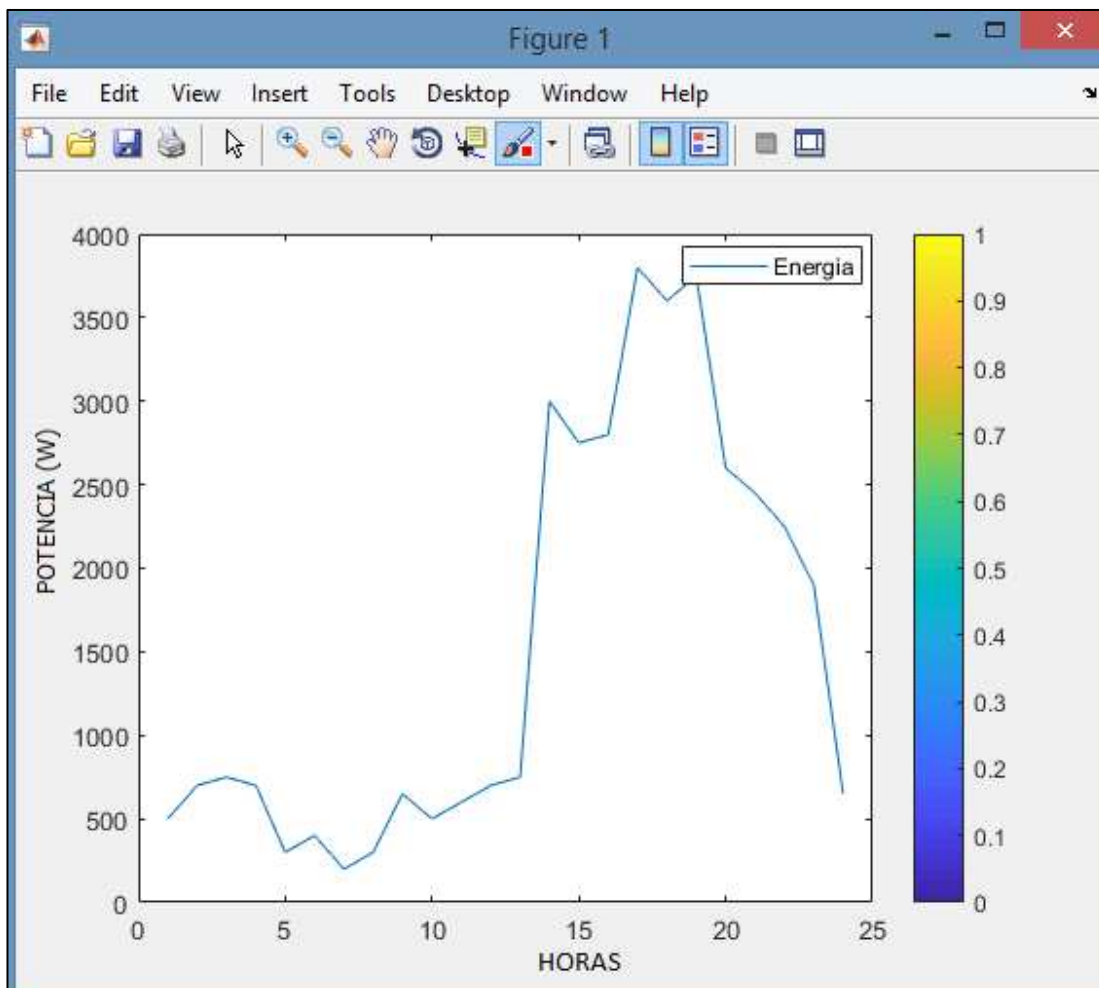


Figura 45. Cálculo energía – Curva de carga complejo fuera de horas de generación del FV.
Fuente: Herrera L. (2018)

Realizado estas comparaciones diremos que la energía requerida por el complejo deportivo en el periodo de tiempo donde no existe generación FV es de 36 025 Wh el cual tendrá que ser abastecido por la red de la empresa eléctrica.

4.5.4 Curva de carga del complejo deportivo dentro del horario de generación SFV.

Como siguiente punto para el balance energético calcularemos la demanda de carga del complejo en el horario donde existe generación FV para saber así cuanta energía estaremos entregando a la red de distribución. Los resultados se presentan en las siguientes figuras.

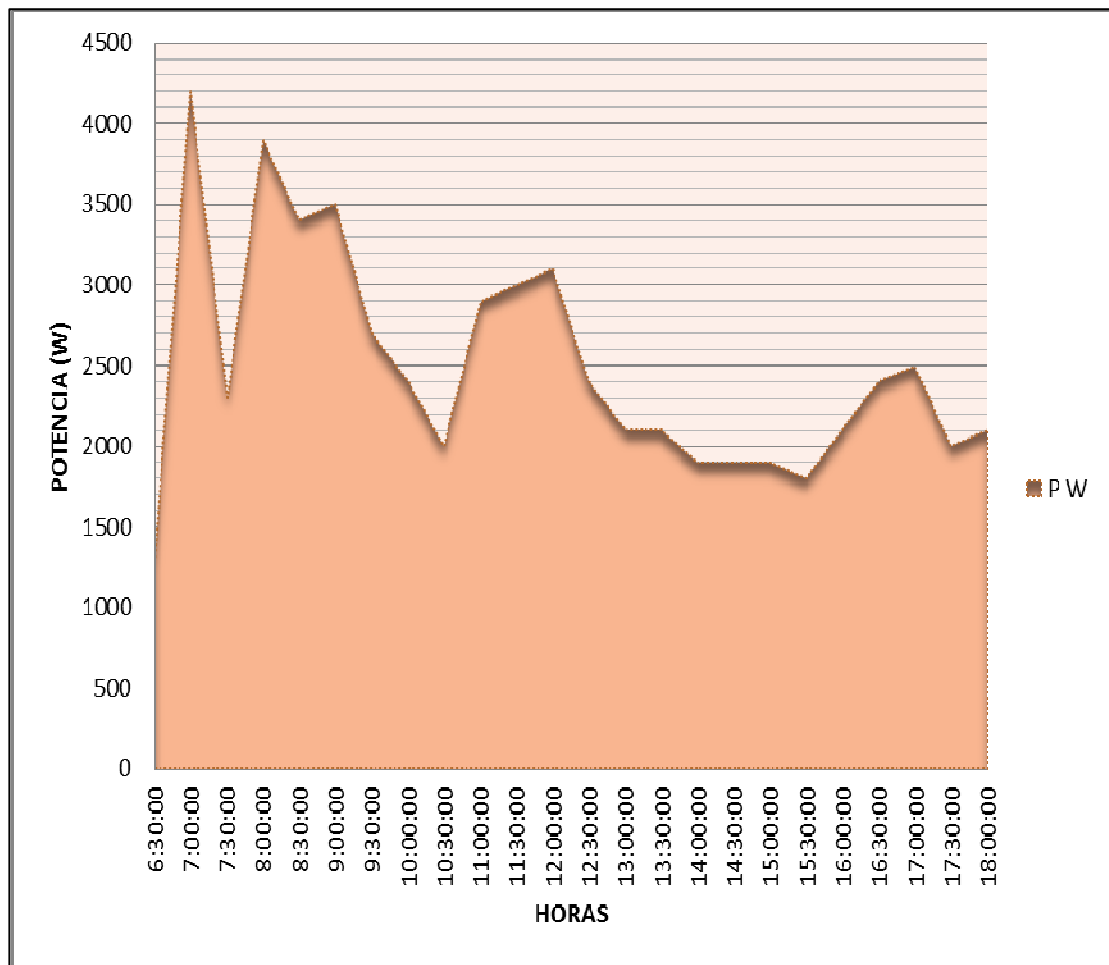


Figura 46. Curva de carga consumida en horario SFV 6:30-18:00

Fuente: Herrera L. (2018)

De igual manera que antes calcularemos el área bajo esta curva para calcular la energía que será consumida por el complejo deportivo en el periodo de tiempo ya indicado. Esto lo realizaremos con ayuda del matlab como se indica en la Figura 48.

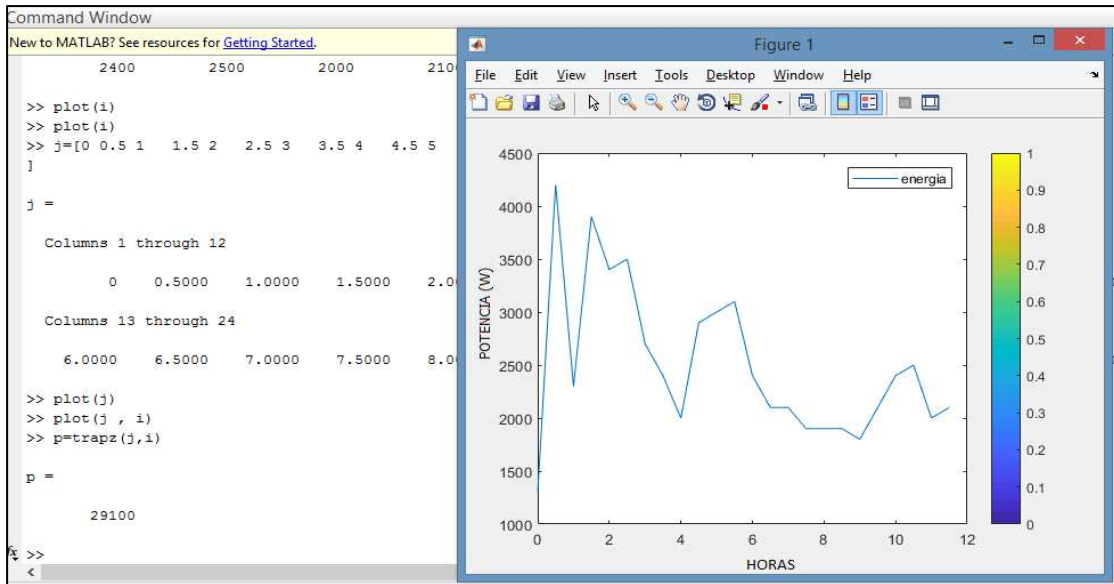


Figura 47. Calculo de la energía- Curva consumida en el complejo deportivo 6:00- 18:00

Fuente: Herrera L. (2018)

Con lo calculado tenemos que la energía que consumirá el complejo será de 29.10 kWh en el periodo donde el SFV se encuentra generando.

4.5.5 Análisis energía generada vs demandada en periodo de tiempo de 6:00 a 18:30

Partiremos el análisis presentando la siguiente figura, donde se aprecia visualmente que existe más energía producida por el sistema FV que la demandada por el sistema para el presente análisis nos servirá calcular la diferencia debido a q esta diferencia tendrá que ser mayor o igual a la del periodo donde ya no existe generación FV. A continuación presentamos un resumen de la energía tanto generada como la consumida por el complejo deportivo

Tabla 10.

Resumen de Energía generada vs carga

ENERGIA GENE. VS CARGA							
HORAS	SEPTIEMBRE 10-2017 Wh/m2	GENERA ENERGÍA (Wh)	CARGA ENERGÍA (Wh)	HORAS	SEPTIEMBRE 10-2017 Wh/m2	GENERA ENERGÍA (Wh)	CARGA ENERGÍA (Wh)
0:00:00			500	12:00:00	158	3484,8	1550
0:30:00			700	12:30:00	145	3278,88	1200
1:00:00			750	13:00:00	240	4783,68	1050
1:30:00			700	13:30:00	139,5	3191,76	1050
2:00:00			300	14:00:00	139	3183,84	950
2:30:00			400	14:30:00	245	4862,88	950
3:00:00			200	15:00:00	77,5	2309,68	950
3:30:00			300	15:30:00	82	2380,96	900
4:00:00			650	16:00:00	39	1599,84	1050
4:30:00			500	16:30:00	18,5	1375,12	1100
5:00:00			600	17:00:00	3,5	1037,52	1250
5:30:00			700	17:30:00	1,2	1001,088	1000
6:00:00			750	18:00:00	0,4	988,416	1050
6:30:00	52	1805,76	650	18:30:00			3000
7:00:00	109	2708,64	2100	19:00:00			2750
7:30:00	93	2455,2	1150	19:30:00			2800
8:00:00	76	2185,92	1950	20:00:00			3800
8:30:00	100,5	2574	1700	20:30:00			3600
9:00:00	132	3072,96	1750	21:00:00			3750
9:30:00	168	3643,2	1350	21:30:00			2600
10:00:00	115	2803,68	1200	22:00:00			2450
10:30:00	206,5	4253,04	1000	22:30:00			2250
11:00:00	165	3595,68	1450	23:00:00			1900
11:30:00	183	3880,8	1500	23:30:00			650
TOTAL						32978,88	29100
ENERGÍA INYEC RED Wh							3878,88
ENERGÍA INYEC RED KWh							3,87888

Fuente: Herrera L. (2018)

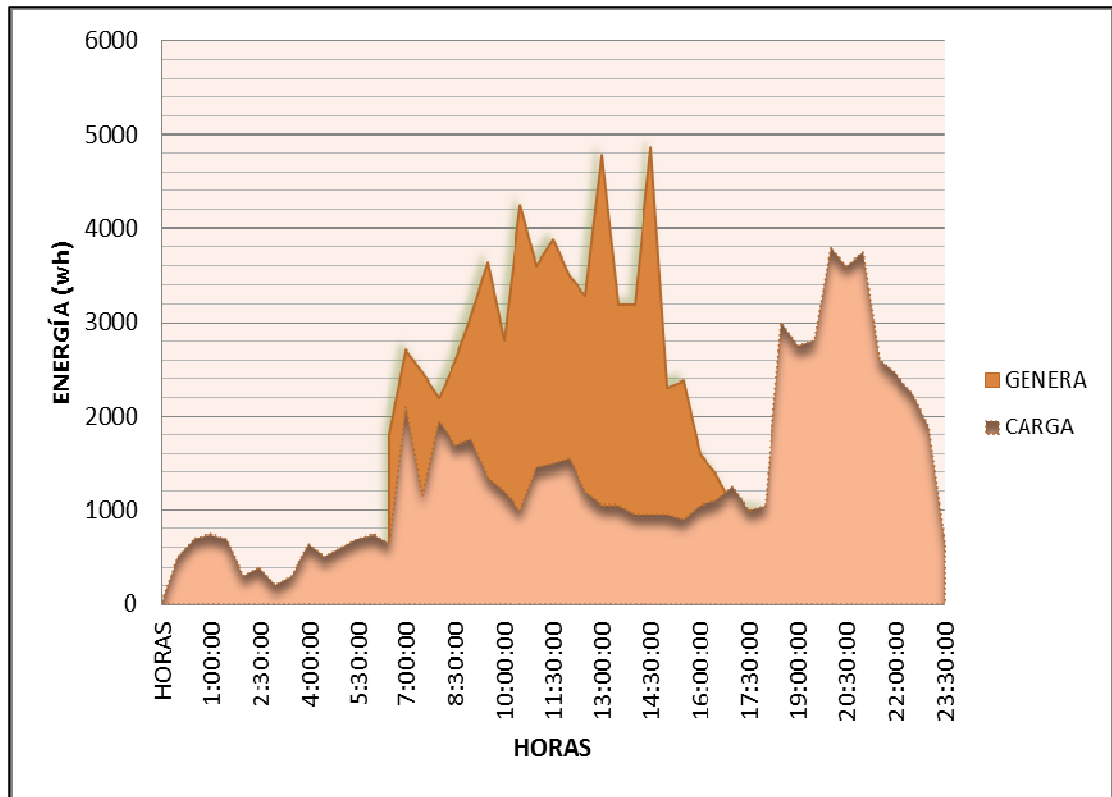


Figura 48. Genera vs carga 6:30- 18:00

Fuente: Herrera L. (2018)

Una vez realizado los cálculos de energía en horas de generación FV y la energía necesaria para operar el sistema eléctrico fuera de horas de generación FV. Se procede a realizar el balance energético de la siguiente forma.

$$E_{\text{Carga fuera del SFV}} \leq E_{\text{inyectada red dentro del SFV}}$$

$$36,6 \text{ kWh} \leq 37,35 \text{ kWh}$$

Realizado el balance de energía diremos que el SFV cubrirá en su totalidad la demanda de energía del complejo deportivo, ya que el sobrante de energía en el

periodo donde existe radiación solar, podrá abastecer de energía eléctrica al complejo.

4.6 Estudio Económico

4.6.1 Datos Informativos

En este capítulo se realizará el análisis económico de la instalación fotovoltaica descrito en el proyecto, para ello se calculará el presupuesto de instalación, el periodo de recuperación y la rentabilidad.

Luego de haber obtenido el presupuesto de la instalación de la central fotovoltaica de 15,840 kW se procedió a realizar el análisis económico de la misma. Cabe recalcar que los costos de instalación de medio voltaje (transformador, acometida y postería) no estarán tomados en cuenta debido a que ya están instalados.

4.6.1.1 Presupuesto de la Instalación.

En la siguiente tabla se muestra los costos de los equipos y elementos a usar para la instalación del sistema de generación fotovoltaica conectada a la red. Las características de la estructura de soporte se encuentran Anexo 13 , además en la tabla siguiente se encuentra el valor que tendrá dicha instalación con lo referente a la estructura donde irán instalados los paneles. La cotización de los elementos a instalarse se presenta en el Anexo 14.

Tabla 11.

Costo de inversión de equipos

PRINCIPALES EQUIPOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FV CONECTADA A LA RED				
ARTÍCULO	CANT.	UNI.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Módulo FV Jinko Solar Modelo JKM345PP-72, 360 Wp	44	Ud.	298,12	13117,28
Inversores de Conexión de Red VICTRON ENERGY BLUE SOLAR GRID INVERTER 3000	3	Ud.	2910,6	8731,8
Estructura-Paneles-Solares- CVE915	1	Ud.	1727,8	1727,8
Tablero de control	1	Ud.	620,18	620,18
Protecciones C.C. tipo gg	1	Ud.	150	150
Protecciones C.A.	1	Ud.	200	200
Sistema a Tierra	1	Ud.	384,2	384,2
Total				24931,26

Fuente: Herrera L. (2018)

De la misma forma a continuación presentamos la tabla de gastos por cableado tanto para CC. Como para C.A. con las características de cables antes mencionados y calculados. La cotización de los cables se los presenta en el Anexo 15.

Tabla 12.

Costo inversión cables.

ARTICULO	CANT.	UNI.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TOPSOLAR PVZZ-F / H1Z2Z2- K 1*1.5 mm2 C.C.	220	m	1,86	409,2
TOPSOLAR PVZZ-F / H1Z2Z2- K 1*4 mm2 C.A.	25	m	12,5	312,5
Total				721,7

Fuente: Herrera L. (2018)

Una vez obtenida los valores de los equipos y materiales para la implementación del sistema FV tendremos que realizar un cálculo para lo que a continuación se muestra:

- Diseño : (gastos de tesis, materiales extras para instalación)
- Construcción : (2 Técnico eléctricos, Postulante,)

Para determinar el sueldo de los trabajadores eléctricos nos basaremos en el Ministerio de Trabajo y así sustentar el valor que presentaremos para el cálculo del costos del proyecto (Trabajo, 2018).

En la tabla siguiente presentaremos el precio por cada involucrado en la construcción.

Tabla 13.

Costo personal Construcción SFV

PERSONAL CONSTRUCCIÓN SFV				
ARTICULO	CANT.	UNI.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Técnicos Eléctricos	2	Cu.	391,05	782,1
Postulante	1	Cu.	391,05	391,05
Varios	1	Cu.	298,5	298,5
Total				1471,65

Fuente: Herrera L. (2018)

A continuación presentamos los costos por Diseño, Construcción y puesto en funcionamiento del SFV conectado a la red.

Tabla 14.

Costo diseño construcción y funcionamiento

DISEÑO, CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO				
ARTICULO	CANT.	UNI.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Diseño	1	Cu.	1200	1200
Construcción del Sistema Generación FV	1	Cu.	1471,65	1471,65
Total				2671,65

Fuente: Herrera L. (2018)

Por ultimo para realizar este diseño y en un futuro su implementación es muy necesario tomar en cuenta los gastos por tener los permisos otorgados por el ente regulador ARCONEL. Para lo cual posteriormente en el estudio legal haremos

referencia a la normativa y todos los requisitos necesarios para conseguir dicho permiso. En este capítulo tomaremos en cuenta solo la parte económica de dicho trámite.

Para el trámite de factibilidad el ARCONEL fija unos valores no reembolsables a pagar a las empresas de transmisión o de distribución que fija según la regulación (CONELEC_001-13, 2014):

- \$10000 para un generador mayor a 1 MW
- \$5000 para un generador menor a 1 MW

Tabla 15.

Costo factibilidad ARCONEL

FACTIBILIDAD ARCONEL				
ARTICULO	CANT.	UNI.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Estudio de impacto ambiental	1	CU	800	800
Permisos	1	CU	5000	5000
Total				5800

Fuente: Herrera L. (2018)

Unas ves calculadas todos estos valores individualmente podremos obtener el costo total que tendría el sistema FV conectado a la red puesto en funcionamiento

Tabla 16.

Costo total sistema FV conectado a la red

COSTO TOTAL SISTEMA FV CONECTADO A LA RED				
ARTÍCULO	CANT.	UNI.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Equipos	1	CU	24931,26	24931,26
Cableado	1	CU	721,7	721,7
Diseño y Construcción	1	CU	2671,65	2671,65
Factibilidad ARCONEL	1	CU	5800	5800
Otros	1	CU	300	300
Total				34424,61

Fuente: Herrera L. (2018)

4.6.2 Tiempo de recuperación de inversión del sistema de generación FV conectado a la red.

Una vez calculado los valores de la inversión y obtenidos los datos de la generación del sistema de generación procedemos a calcular el tiempo de retorno del capital invertido para lo cual estimaremos un costo de mantenimiento del 1 % anual de la inversión pero menos los costos del registro en el ARCONEL por cuanto este valor se paga una sola vez. (Dhaka, 2015)

Costo mantenimiento anual 1 % = 344,24 DOLARES

Se procede a calcular el flujo neto de efectivo como se muestra en la siguiente tabla, en la cual se puede observar que la recuperación de la inversión será a partir del noveno año. Ya que la recuperación anual es de 3573.41 dólares.

Tabla 17.

Flujo Neto del Efectivo

Años de operación	Ingresos Totales	Inversión para el proyecto		Flujo neto efectivo
		Egresos Totales	Costo Fijo	
0	0	0	34424,61	34424,61
1	3573,41	344,24	30851,2	30851,2
2	3573,41	344,24	27277,79	27277,79
3	3573,41	344,24	23704,38	23704,38
4	3573,41	344,24	20130,97	20130,97
5	3573,41	344,24	16557,56	16557,56
6	3573,41	344,24	12984,15	12984,15
7	3573,41	344,24	9410,74	9410,74
8	3573,41	344,24	5837,33	5837,33
9	3573,41	344,24	2263,92	2263,92
10	3573,41	344,24	-1309,49	-1309,49
11	3573,41	344,24	-4882,9	-4882,9
12	3573,41	344,24	-8456,31	-8456,31
13	3573,41	344,24	-12029,72	-12029,72
14	3573,41	344,24	-15603,13	-15603,13
15	3573,41	344,24	-19176,54	-19176,54

Fuente: Herrera L. (2018)

4.6.3 Análisis costo-beneficio

Este análisis es una técnica muy útil en la técnica de decisiones para el estudio de viabilidad de proyectos, determinando la factibilidad del proyecto en términos monetarios. El análisis se lo va a realizar con la tasa de interés que actualmente posee en BAN ECUADOR que se indica en el Anexo 16 que es el 7.41% y se lo realizara en el periodo de vida útil de 25 años. En la siguiente tabla se muestra el cálculo del TIR- VAN.

Tabla 18.

Calculo VAN - TIR

Años	FNE	(1+i) ⁿ	FNE/(1+i) ⁿ
0	-34424,61	0	-34424,61
1	3573,41	1,07	3339,636
2	3573,41	1,15	3107,313
3	3573,41	1,24	2881,782
4	3573,41	1,33	2686,774
5	3573,41	1,43	2498,888
6	3573,41	1,54	2320,396
7	3573,41	1,65	2165,703
8	3573,41	1,77	2018,876
9	3573,41	1,9	1880,742
10	3573,41	2,04	1751,672
11	3573,41	2,2	1624,277
12	3573,41	2,36	1514,157
13	3573,41	2,53	1412,415
14	3573,41	2,72	1313,754
15	3573,41	2,92	1223,771
16	3573,41	3,14	1138,029
17	3573,41	3,37	1060,359
18	3573,41	3,62	987,130
19	3573,41	3,89	918,614
20	3573,41	4,18	854,883
21	3573,41	4,49	795,860
22	3573,41	4,82	741,371
23	3573,41	5,18	689,847
24	3573,41	5,56	642,700
25	3573,41	5,97	598,561
		VAN	\$ 6.245,40
		TIR	7,45%

Fuente: Herrera L. (2018)

En la tabla presentada podemos observar que tenemos un VAN > 0 y que TIR > tasa de interés por tal motivo diremos que el proyecto es viable.

4.7 Estudio Ambiental - Legal

4.7.1 Datos Informativo

4.7.1.1 Emisiones de CO₂

El Gobierno Nacional, en todos sus sectores estratégicos tiene políticas, de reducción de gases de efecto invernadero, para lo cual el Sector Eléctrico se encuentra impulsando el desarrollo de nuevos proyectos hidroeléctricos y de energías renovables, los que pueden participar en el Mercado Mundial de Carbono, a fin de promover el desarrollo sostenible y aprovechar posibles ingresos adicionales que permitan complementar su gestión financiera. Bajo esta perspectiva, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable –MEER- conjuntamente con el Ministerio del Ambiente – MAE- buscan la participación de los proyectos en este mercado.

Dentro del marco del acuerdo Interministerial suscrito el 16 de diciembre de 2010, se establece la creación de la COMISIÓN TÉCNICA DE DETERMINACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO -CTFE-, para el Sector Eléctrico Ecuatoriano, la misma que será responsable de desarrollar el cálculo del Factor de Emisión de CO₂. La CTFE presenta el Factor de Emisión de CO₂ para el Sistema Nacional Interconectado -SNI- al año 2012 en base a los datos de operación de los años 2009, 2010,2011y 2012. No se encontró información más reciente del factor de emisión de CO₂ en el sitio web del CENACE.

En el 2016 se planifico que entrarán a operar ocho grandes proyectos hidroeléctricos que construye el gobierno nacional, en todo el país. Se trata de Coca-Codo-Sinclair, Sopladora, Minas-San Francisco, Delsintanisagua, Manduriacu, Mazar-Dudas, Toachi-Pilatón y Quijos por lo que el factor de emisión de CO₂ se modificara. (www.celec.gob.ec, 2014)

4.7.1.2 Ahorro de toneladas de CO₂ emitidas a la Atmosfera

La implementación de sistema fotovoltaico renovable de energía repercute en la disminución de las emisiones de CO₂. Y por tanto la reducción de la contaminación atmosférica, del efecto invernadero y del cambio climático que de él se deriva. La instalación fotovoltaica conectada a la red no contamina ni químicamente, ni electromagnética, ni acústicamente, siendo altamente recomendable para la conservación del medio ambiente, para esto se realiza el cálculo de toneladas de CO₂ que no serán emitidas al medio ambiente como lo indica la siguiente Ecuación.

El factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado al año 2012, del margen combinado para proyectos termoeléctricos e hidroeléctricos es de 0,4850 t CO₂” (MEER, 2012)

$$E_{\text{emis. CO}_2} = EF_{\text{grind OM}} \cdot E_{ac} \quad (19)$$

$$E_{\text{emis. CO}_2} = 0,4850 \cdot 31278,45 \text{ kWh Anual}$$

$$E_{\text{emis. CO}_2} = 15,17 \text{ tCO}_2$$

Con el presente trabajo se lograra disminuir 15,17 t de emisión de CO₂ anualmente, lo cual contribuirá a mitigar en parte el deterioro del medio ambiente. Es cierto que no es una cantidad considerable de disminución de CO₂ emitida a la atmosfera, pero estamos dando los primeros pasos en lo que se refiere a la inclusión

de generación FV conectada a la red y así lograremos incentivar el uso de energías renovables.

4.8. Estudio Legal

En lo referente a la parte legal del proyecto partiremos mencionando, que el ente regulador tiene normativas para el registro, calificación, calidad del producto y liquidación de centrales de generación menores y mayores de 1MW estas regulaciones se las presenta en los Anexo 17. (CONELEC, Regulación No. CONELEC – 004/11 Energías Renovables, 2011) (CONELEC_001-13, 2014) (CONELEC-009-08 RegistroMenores1MW, 2008)

En el Artículo 64 de la ley de régimen del sector eléctrico, establece que la organización que debe desarrollar las normas aplicadas para la producción de energía no convencional será por el CONELEC.

4.8.1 Registro del Sistema FV en el ARCONEL

Para los agentes interesados en desarrollar un proyecto de generación deberá acogerse a las condiciones dictadas por el CONELEC hoy llamado ARCONEL que se debe presentar para el proceso, debe cumplirse de manera obligatoria los siguientes puntos:

- Tener las escrituras de la empresa a realizar el trabajo como sociedad anónima, la documentación para la generación, y para las empresas extranjeras tener la domiciliación
- Tener un certificado de cumplimiento de las obligaciones y existencia legal donde se emite el documento en la superintendencia de compañías

- Presentar la copia legal del nombramiento del representante legal
- Tener el estudio de factibilidad de conexión para el sistema de transmisión o distribución, la misma que es otorgada por las empresas de distribución o de transmisión
- La documentación de memoria del proyecto
- Realizar el estudio de pre factibilidad del sistema a instalar
- Tener el certificado de intersección del medio ambiente, para confirmar si el proyecto está dentro de un área de protección ambiental
- Especificar los requerimientos ambientales para el sistema de generación a instalar
- Tener una copia de la aceptación para permiso del uso del recurso
- Carta certificada del financiamiento
- Cronograma de ejecución del estudio

Realizado el registro tendremos en consideración que en la regulación 004/11 existe un literal para lo que son sistemas de generación no incorporados al S.N.I

Los precios fijados en esta Regulación, son también aplicables para el caso de Sistemas no incorporados al S.N.I. La energía producida por este tipo de generadores y entregada a un sistema no incorporado, se considerará, para efectos de liquidación, como entregada al SNI y su sobrecosto se distribuirá entre todos los participantes, con

el procedimiento establecido en el numeral 8. El costo medio también deberá ser asumido por el sistema no incorporado. (CONELEC, Regulación No. CONELEC – 004/11 Energías Renovables, 2011)

Para efectos de las liquidaciones, el CENACE determinará, en conjunto con los generadores no convencionales y distribuidores que no se encuentren incorporados al SNI, el procedimiento necesario para efectuar la liquidación de la energía que entregan y reciben.

Todo lo mencionado anteriormente y lo escrito en las regulaciones tendremos que cumplirlo, Para el estudio presentado no existe una base legal para establecer costos por despacho de energía suministrado a la red, debido a que el sistema servirá para autoconsumo del complejo y la diferencia de energía producida por el sistema FV será inyectado al sistema de distribución de ELEPCO S.A. y en los periodos de tiempo donde no exista generación FV, el suministro de energía para el complejo será entregado por la empresa distribuidora. Por lo cual se realizó una entrevista con el departamento Comercial de la Empresa Eléctrica Cotopaxi, los cuales supieron manifestar que hasta la actualidad no se ha implementado un sistema de generación FV como el que se presenta en este proyecto.

4.8.2 Registro - Comercialización De Sistema FV Conectado A La Red De Bajo Voltaje Con Capacidad Hasta 30 kW

En la actualidad son pocos los países que han incluido en sus sistemas de distribución este tipo de generación FV conectada a la red o llamada generación distribuida. Motivo por el cual analizaremos la normativa para despacho y comercialización aplicada para la interconexión a la red eléctrica de bajo voltaje de sistemas FV con capacidad hasta 30 kW de la ciudad de México (Comisión Federal De Electricidad).

Cabe mencionar que actualmente solo existen normativas y regulaciones para centrales FV que generan e inyectan toda su producción al S.N.I ya sea mayor o menor a un 1 MW.

Con lo referente a la Calidad del producto En la actualidad existe la tecnología que nos ayuda a que nuestra energía producida se adapte a lo requerido por ente regulador ARCONEL bajo las normativas antes mencionadas)

4.8.2.1 Normativa para la interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas FV con capacidad de hasta 30 kW

La presente normativa se la presenta en el Anexo 18. Y tiene como objetivo definir los requerimientos para el diseño, instalación, inspección, autorización y utilización de sistemas FV conectados a la red eléctrica que garantice la calidad de energía en la red, así como la integridad física y operación de la red eléctrica y de los propios sistemas FV.

El campo de aplicación será para sistemas FV conectados a la red con capacidad de hasta 30 kW, los cuales pueden estar instalados en viviendas individuales, inmuebles comerciales, escuelas y edificios públicos (G0100-04, 2008) (ELECTRICAS, 2010)

Al analizar La normativa de la CFE concluimos que nos servirá como punto de partida para ELECPOSA y para otras empresas distribuidoras debido a que esta detallado cada aspecto que interviene en este tipo de sistemas FV, desde la conceptualización de cada elemento del sistema, calidad de energía, protecciones hasta la forma en como etiquetar el sistema FV para que el personal de la empresa distribuidora pueda visualizarlo.

4.8.2.3 Comercialización de energía generada por sistemas FV conectada a la red

De igual manera analizaremos la forma en la que se comercializa la energía en México producida por los sistemas FV conectados a la red:

La manera de comercialización más idónea para el presente diseño y la empresa distribuidora será la Medición Neta entre la red eléctrica y los usuarios que opten por tener capacidad de generación con energía renovable en sus hogares y negocios. A continuación presentaremos los requerimientos para poder acceder al sistema de medición neta.

- Se rige por un contrato de interconexión celebrado entre el usuario (persona física o moral) y la empresa distribuidora (ELEPCO SA) con un tiempo definido o indefinido.
- Es aplicable a servicios de uso general en baja tensión de hasta 30kW o la potencia que la empresa eléctrica lo regule.
- El medidor requerido (bidireccional) se instala por parte de ELEPCO S.A., con un valor estipulado por dicha empresa es decir el costo será diferente a los medidores normales.
- Los usuarios puede instalar un sistema de medición propio siempre y cuando dichos medidores pasen las pruebas de ELEPCO S.A.

Facturación de Medición Neta

Para fines de facturación de la medición neta se determina que será la diferencia entre la energía eléctrica recibida por ELEPCO S.A menos la energía eléctrica generada y entregada a la empresa distribuidora. La medición neta tendrá 3 tipos de casos que se los detallaran a continuación.

- **Diferencia mayor que 0.-** El usuario consumió más energía que la que entrego. se considera un saldo a favor de ELEPCO S.A. y se facturara en la tarifa aplicable de acuerdo al contrato.
- **Diferencia igual a 0.-**El usuario consumió la misma cantidad de energía que la que entrego , por lo que se facturara la tarifa básica de acuerdo al contrato
- **Diferencia mayor que 0.-**El usuario entrego más energía que la que consumió de la red eléctrica, por lo que se considera un crédito energético a favor del usuario que podrá ser compensado dentro de los 12 meses siguientes, de no ser así dicho crédito se cancela. En esto seremos muy claros este tiempo será considerado por ELEPCO S.A.

Como parte extra a la comercialización de la energía enunciaremos los requisitos para realizar la interconexión a la red.

Los requisitos para realizar un contrato de interconexión en pequeña escala son:

- Tener un contrato de suministro normal en baja tensión
- La potencia de tu sistema FV no sea mayor de 10 kW si lo instalaste en tu domicilio, ó de 30 kW si lo instalaste en tu negocio.

CONCLUSIONES

- Las mediciones de la radiación solar realizada en el lugar del problema, sirvieron para determinar que se puede ocupar los datos que posee el software SOLARIUS P-V. Debido a que al compararlos no superan el margen de error del 10 %.
- El diseño se realizó con el consumo más alto del periodo en estudio (1 911 kWh) y el nivel de radiación más bajo(5,41kWh/m²), debido que al adoptar estos dos criterios estaremos cubriendo la mayor demanda de energía y el peor escenario de radiación del COMPLEJO DEPORTIVO
- Para cubrir la demanda energética del complejo se realizó el cálculo de los elementos que intervienen en el mismo dándonos que necesitaremos 44 módulos FV y 3 inversores que estarán conectados a los 3 arreglos FV dimensionados .Obteniendo una potencia nominal de salida de 15,840 kW
- Se realizó un análisis ambiental de acuerdo a las toneladas de CO₂ que no se emitirá al medio ambiente al utilizar el sistema de generación FV propuesta .Obteniendo 15,17 toneladas de CO₂ anuales lo cual ayudará mitigar el deterioro de nuestro planeta. Además estaremos contribuyendo al uso de energías renovables, para así no depender de energías convencionales.
- Al realizar el estudio económico se verifico que la inversión será recuperado en 10 Años que es casi la mitad de vida útil del sistema FV, además los valores de TIR y VAN calculados no indican que el proyecto es rentable.

- Evaluamos el balance energético del sistema propuesto donde pudimos observar que la energía que requiere el complejo deportivo en el periodo de tiempo donde no existe generación FV estará compensado con la energía que será inyectada a la red.

RECOMENDACIONES

- Realizar el reemplazo de las luminarias de sodio por luminarias led, para así disminuir el consumo de energía del complejo deportivo.
- Se debe analizar que en la actualidad no se cuenta con una normativa para el despacho y la comercialización de energía generadas por sistemas FV conectados a la red, por tal motivo se presenta un esquema acogiendo a lo investigado en México .Es decir que el excedente de energía que no se ocupen las instalaciones será inyectado a la red pero al llegar la noche donde no se pueda generar con nuestro sistema, la demanda será cubierta por la empresa distribuidora teniendo una diferencia que se lo verá reflejado en el medidor bidireccional
- Se deberá analizar el sistema cuando exista una falla en la red eléctrica (ELEPCO S.A.) ya que el sistema fotovoltaico se desconectará de inmediato con las protecciones que tiene el inversor debido a problemas de sincronización y exigencias en las normativas de seguridad, por lo tanto en esos momentos de falla de la red, el sistema fotovoltaico no va a generar y no habrá respaldo la carga del complejo. Por tal motivo se deberá analizar el uso de baterías para estos casos

BIBLIOGRAFÍA

- ISOFOTON. (2009). Manual de módulos ISF-250.
- 001_13, C. (2014). Regulacion 001_13 Energias Renovables.
- ARCONEL. (2016). *Atlas Sector Eléctrico 2016*. Quito.
- Barragan, E. (2014). Barragan, E. (2014, 02 08). Seminario de Introducción a las Energías Renovables. Energía Solar Fotovoltaica. Cuenca, Azuay, Ecuador: S/E.
- CARELEC, S. . (2016). Curso de especialización en energía solar fotovoltaica y térmica SENCICO - CARELEC.
- Castelán, J. A. (2009). aplicación de sistemas fotovoltaicos. En *curso de la asociación nacional de energía solar*.
- CONELEC. (Agosto de 2008). *Atlas solar del Ecuador con fines de Generación*.
- CONELEC. (2008). CONELEC-009-08 RegistroMenores1MW.
- CONELEC. (2011). Regulación No. CONELEC – 004/11 Energias Renovables.
- CONELEC_001-13. (2014). Codificación Regulacion-001_13 Energias-Renovables.
- Dhaka, B. (2015). International Conference on Advances in Electrical Engineering. *Proceeding*.
- DURÁN LARA , J. J. (2014). *PROPUESTA Y EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA PARA APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR EN EDIFICIOS*. Mexico.
- ELECTRICAS, I. D. (2010). *GUIA DE USUARIO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED APLICACIONES DE PEQUEÑA ESCALA*. MEXICO: PRIMERA.
- Engineering, I. C. (2015). Design & Simulation of Grid Connected Photovoltaic System using Simulink. *Proceedings*.

- Entrepreneur. (2008). *www.entrepreneur.com*.
- Fernández Salgado, J. M. (2010). *Guía Completa de la Energía Solar Térmica y Termoeléctrica*. Madrid: 4ta edición.
- G0100-04, E. C. (2008). INTERCONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD HASTA 30 kW.
- Harper, E. (2005). *El ABC de las Instalaciones Electricas Industriales*. Mexico D.F LIMUSA.SA.
- Herrera, E., & M, F. (2010). *Tutoria de la Investigación científica*. Ambato: Maxtudio.
- Ing. Juárez Guerra, F. (2016). Energía solar fotovoltaica sistemas conectados a la red eléctrica. *Norma tecnica*.
- ITC, N. (2002). *ITC-BT-07*.
- Lorenzo, E. (1994.). *Electricidad Sola*. UPM.
- MEER. (2012). Factor de Emisión del Sistema Nacional Interconectado al año 2012.
- MESSENGER, R. y. (2004). *Photovoltaic Systems Engineering, vol. 2*.
- NEC-10 PARTE , 14. (2017). *ENERGÍA RENOVABLE SISTEMAS DE GENERACIÓN CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA SISTEMAS AISLADOS Y CONEXIÓN A RED DE HASTA 100 KW EN EL ECUADOR*.
- News Soli clima. (s.f.). *news.soliclima.com/noticias/energia-solar/fachadas-fotovoltaicas*.
- Norma Europea EN, 1. (1999). Iluminacion de instalaciones deportivas.
- ORGANIZACION DE NACIONES UNIDAS. (s.f.).
- Pérez, H. (2007). *Manual de Diseño de Instalación Fotovoltaica*. Canada: Solar Energy Internationa.
- Perpiñan , O. (2014). *Perpiñan, O. (2014, Mayo). Libro de Energia Solar fotovoltaica. Retrieved enero 29, 2015, from https://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf/*.

- Protection, T. I. (2011). Protection of grid connected photovoltaic system during voltage sag.
- Raúl Gonzáles G. Humberto R. Jiménez G. y Javier L. (Octubre-Diciembre 2003). Sistemass fotovoltaicos conectados a la red. *Boletín IIE*.
- Reglamento. (1982). *Ley de Fomento de Energías no Convencionales*. Recuperado el 10 de 08 de 2014, de <http://www.derecho-ambiental.org/Derecho/Legislacion/Ley-Fomento-Energias-No-Convencionales.html>
- Roper,L. (Abril de 2016). *Roper, L. David. World Photovoltaic Energy*.
- Schallenberg Rodríguez, J. C. (2008). *Libro de Energias Renovables y Eficiencia Energetica*. Canarias: Edición 2008.
- SN. (01 de 01 de 2013). *Ecuador Antecedentes y Actualidad de Energia Solar*. Obtenido de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-se-une-a-carrera.html>
- Sreedevi, J. (2016). Study on Grid Connected PV system.
- SunFields Europe. (2015). www.sfe-solar.com.
- supply, s. r. (s.f.). www.solarelectricsupply.com/sunny-boy-sb9000tl-us-inverters.
- Taghizadeh, M. (2011). Protection of grid connected photovoltaic system during voltage sag.
- Telecomunicacion, C. d. (2009). Grupo de nuevas actividades profesionales.
- Trabajo, M. d. (2018). Ministerio del trabajo Acuerdo ministerial N.- Mdt-2018-0001 expide el acuerdo Ministerial de fijación de sueldos, salarios/ Tarifas para el sector Privado por ramas de actividad que abarcan las diferentes Comisiones sectoriales.
- Wai, R.-J. (2008). Grid-Connected Photovoltaic Generation System.
- www.apogeeinstruments.com. (s.f.).
- www.celec.gob.ec/hidropaute/index.php/noticias?start=5.
- www.google.com.ec/maps. (2018). <https://www.google.com.ec/maps/@>.

Anexos