



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELECTRICOS DE
POTENCIA

TESIS DE GRADO

TEMA:

“ENSAMBLAJE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE SISTEMA CUANDO SE VARIA LA RADIACIÓN INCIDENTE Y LAS CARGAS CON PREDOMINIO RESISTIVO, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2014”.

Línea de Investigación

Tesis presentada previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Autor:

Villavicencio Avila Alex Jeovanny

Director:

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso. Mg.C.

Asesor Metodológico:

Lcda.Msc. Pallasco Venegas Mirian Susana

LATACUNGA – ECUADOR

Diciembre - 2015



FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante:

- Villavicencio Avila Alex Jeovanny

Con la tesis, cuyo título es: **“ENSAMBLAJE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE SISTEMA CUANDO SE VARIA LA RADIACIÓN INCIDENTE Y LAS CARGAS CON PREDOMINIO RESISTIVO, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2014”.**

Ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometido al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Diciembre - 2015

Para constancia firman:


.....
ING. FRANKLIN MEDINA
PRESIDENTE


.....
DR. MARCELO BAUTISTA
MIEMBRO


.....
ING. DANIEL CHAMORRO
OPOSITOR


.....
ING. XAVIER PROAÑO
DIRECTOR



AUTORIA

Yo, Alex Jeovanny Villavicencio Avila, con C.I. 160048194-7, Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, declaro que los resultados obtenidos en el presente trabajo, previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia son auténticos, originales y personales.

En tal virtud declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos académicos y legales que se desprenden del trabajo propuesto son de exclusiva responsabilidad académica y legal del autor.

.....
Villavicencio Avila Alex Jeovanny
C.I. 160048194-7



AVAL DE DIRECTOR DE TESIS

HONORABLE CONSEJO ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

De mi consideración:

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que el postulante **Villavicencio Avila Alex Jeovanny**, con C.I. 160048194-7, Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, ha desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“ENSAMBLAJE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE SISTEMA CUANDO SE VARIA LA RADIACIÓN INCIDENTE Y LAS CARGAS CON PREDOMINIO RESISTIVO, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2014”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo antes expuesto, considero que la presente Tesis de Grado se encuentra habilitada para presentarse al acto de defensa.

Latacunga, Diciembre - 2015

EL DIRECTOR

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso. Mg.C

C.I. 050265642-4

DIRECTOR DE TESIS



AVAL DE ASESOR METODOLÓGICO

HONORABLE CONSEJO ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

De mi consideración:

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que el postulante **VILLAVICENCIO AVILA ALEX JEOVANNY**, con C.I. 160048194-7, Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, ha desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“ENSAMBLAJE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE SISTEMA CUANDO SE VARIA LA RADIACIÓN INCIDENTE Y LAS CARGAS CON PREDOMINIO RESISTIVO, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2014”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo antes expuesto, considero que la presente Tesis de Grado se encuentra habilitada para presentarse al acto de defensa.

Latacunga, Diciembre - 2015

Lcda. Msc. MIRIAN SUSANA PALLASCO VENEGAS

C.I. 050186287-4

ASESOR METODOLÓGICO DE LA TESIS



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, Diciembre - 2015

En calidad de coordinador de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, me permito certificar que el señor Alex Jeovanny Villavicencio Avila con CI. 160048194-7 ha desarrollado la Tesis de Grado con el tema: **"ENSAMBLAJE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE SISTEMA CUANDO SE VARIA LA RADIACIÓN INCIDENTE Y LAS CARGAS CON PREDOMINIO RESISTIVO, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2014"**, en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Es todo cuanto puedo certificar, facultando al interesado, hacer uso de este documento en forma de que estimen conveniente.

Atentamente:


.....
INCO
COORDINADOR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
COORDINACION





AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis, primeramente agradezco a Dios por haberme permitido llegar a este punto. A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por acogerme en sus aulas y brindarme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. A mi director de tesis, Ing. Xavier Proaño. MgC., quien con sus conocimientos, experiencia, motivación y paciencia ha facilitado la culminación de este proyecto. También aprovecho para agradecer a cada uno de mis docentes pues cada uno de ellos apporto sus conocimientos en el transcurso de mi formación. Muchas son las personas que han formado parte de mi vida estudiantil a las que me gustaría agradecer por su amistad, apoyo, consejos, compañía y ánimo en los momentos más difíciles. Algunas de esas personas se encuentran aquí y otras en los recuerdos y corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias, por todo lo que me brindaron. Agradezco de manera especial a mi familia, sobre todo a mi madre quien siempre estuvo apoyándome, permitiéndome llegar hasta este punto de mi vida profesional.

Alex



DEDICATORIA

Esta tesis de grado está dedicada a mi amada madre Margarita Ávila, por su apoyo incondicional en toda mi educación, tanto académica, como en la vida, pues ha sido mi motivación inculcándome valores que me han permitido ser mejor persona y en el futuro un buen profesional.

A mis hermanos Paola y Edwin quienes siempre han estado a mi lado, para que mi decisión y esfuerzo les sirva como un ejemplo de superación.

A toda mi familia quienes me apoyaron y alentaron para la culminación del presente trabajo. Gracias a todas estas personas que forman parte de mi vida hoy puedo alcanzar mi meta.

Alex

ÍNDICE GENERAL

FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
AUTORIA	iii
AVAL DE DIRECTOR DE TESIS.....	iv
AVAL DE ASESOR METODOLÓGICO	v
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
AVAL DE TRADUCCIÓN	xxi
INTRODUCCIÓN.....	xxii
CAPÍTULO I	1
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1. Situación de las energías renovables en el Ecuador	1
1.2. Antecedentes Históricos en el uso de la Energía Solar	2
1.3. Fuentes de Energía	3
1.4. Energía solar en el Ecuador.....	4
1.5. Importancia y desarrollo de la energía solar en el Ecuador.....	5
1.6. Energía Solar Fotovoltaica	5
1.7. Radiación Solar.	6
1.7.1. Tipos de Radiación.	7
1.7.1.1. Radiación Directa.	7
1.7.1.2. Radiación Difusa.....	7
1.8. Constante Solar.....	8
1.9. Horas de Sol Perfecto.	9
1.10. Celdas Solares.....	10
1.10.1. Tipos de Celdas Solares.	11
1.10.1.1. Celdas Solares Monocristalinas.	12

1.10.1.2.	<i>Celdas Solares Policristalinas.</i>	13
1.10.1.3.	<i>Celdas Solares Amorfas.</i>	14
1.10.2.	<i>Eficiencia de las Celdas Solares</i>	15
1.11.	Regulador de Carga Solar.	15
1.12.	Cableado	16
1.13.	Dispositivos de protección	17
1.14.	Cargas	18
1.15.	Baterías Solares.	18
1.15.1.	<i>Conexiones de Bancos de Baterías.</i>	19
1.15.1.1.	<i>Conexión Serie</i>	19
1.15.1.2.	<i>Conexión Paralelo</i>	20
1.15.1.3.	<i>Conexión Serie-Paralelo o Mixta.</i>	21
1.15.2.	<i>Factores que afectan a la vida de la batería.</i>	22
1.15.3.	<i>Rendimiento de la batería</i>	24
1.16.	Módulos Fotovoltaicos.	24
1.16.1.	<i>Características eléctricas de un módulo fotovoltaico.</i>	25
1.16.2.	<i>Partes de un módulo fotovoltaico</i>	25
1.16.3.	<i>Potencia del módulo fotovoltaico.</i>	27
1.16.4.	<i>Curva característica del módulo Fotovoltaico</i>	27
1.16.4.1.	<i>Principales parámetros de la curva característica I-V.</i>	28
1.17.	Sistemas Fotovoltaicos	30
1.17.1.	<i>Tipos de Sistemas Fotovoltaicos</i>	30
1.17.1.1.	<i>Sistemas Fotovoltaicos Aislados o Autónomos</i>	30
1.17.1.2.	<i>Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red.</i>	31
1.18.	Equipos de Medición de Radiación Solar	32
1.18.1.	<i>Piranómetro o Piranógrafo.</i>	32
1.18.2.	<i>Heliógrafo</i>	33
1.18.3.	<i>Pirheliómetro o Actinómetro.</i>	34
1.19.	Beneficios ambientales de los sistemas fotovoltaicos	35
CAPÍTULO II		37
2.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	37
2.1.	Entorno del lugar de investigación	37

2.1.1.	<i>Antecedentes históricos de la empresa o institución</i>	37
2.1.2.	<i>Filosofía institucional</i>	38
2.1.2.1.	<i>Misión</i>	38
2.1.2.2.	<i>Visión</i>	38
2.1.3.	<i>Análisis de la infraestructura tecnológica de la institución</i>	39
2.1.4.	<i>Unidades Académicas</i>	40
2.1.5.	<i>Carrera de Ingeniería Eléctrica</i>	40
2.2.	<i>Diseño Metodológico</i>	41
2.2.1.	<i>Métodos de la investigación</i>	41
2.2.1.1.	<i>Método Científico</i>	41
2.2.1.2.	<i>Método Analítico</i>	41
2.2.1.3.	<i>Método Hipotético Deductivo</i>	41
2.2.1.4.	<i>Método Bibliográfico</i>	42
2.2.2.	<i>Tipos de investigación</i>	42
2.2.2.1.	<i>Investigación de Campo</i>	42
2.2.2.2.	<i>Investigación Descriptiva</i>	42
2.2.2.3.	<i>Investigación Bibliográfica</i>	42
2.2.3.	<i>Técnicas</i>	43
2.2.3.1.	<i>La Percepción</i>	43
2.2.3.2.	<i>La Observación</i>	43
2.2.3.3.	<i>Lectura Comprensiva</i>	43
2.2.3.4.	<i>La Entrevista</i>	43
2.2.3.5.	<i>La Encuesta</i>	43
2.2.4.	<i>Instrumentos</i>	44
2.2.4.1.	<i>Ficha de Entrevista</i>	44
2.2.4.2.	<i>Cuestionario de Encuesta</i>	44
2.2.4.3.	<i>Ficha de Observación</i>	44
2.2.4.4.	<i>Tarjeta de adquisición de datos</i>	45
2.2.4.5.	<i>Fuentes de Información</i>	45
2.3.	<i>Población y muestra</i>	45
2.4.	<i>Operacionalización de variables</i>	45
2.5.	<i>Análisis e Interpretación de Resultados</i>	47

2.5.1.	<i>Resultados y análisis de la Entrevista</i>	47
2.5.2.	<i>Resultados y análisis de la Encuesta</i>	47
2.5.2.1.	<i>Análisis e Interpretación por pregunta</i>	48
2.5.3.	<i>Observación</i>	58
2.5.3.1.	<i>Ficha de Observación</i>	58
2.5.3.2.	<i>Resultado</i>	58
2.6.	<i>Verificación de la Hipótesis</i>	59
2.6.1.	<i>Modelo lógico</i>	59
2.6.2.	<i>Modelo matemático</i>	59
2.6.3.	<i>Estadística de prueba</i>	60
2.6.3.1.	<i>Grados de libertad</i>	62
2.6.3.2.	<i>Regla de decisión</i>	62
CAPÍTULO III		64
3.	PROPUESTA ALTERNATIVA	64
3.1.	Tema de la propuesta	64
3.2.	Presentación de la propuesta	64
3.3.	Justificación de la propuesta	65
3.4.	Objetivos de la propuesta	65
3.4.1.	<i>General</i>	66
3.4.2.	<i>Específicos</i>	66
3.5.	Descripción de la Investigación	66
3.5.1.	<i>alcance de la propuesta</i>	67
3.5.2.	<i>Limitaciones de la Investigación</i>	67
3.5.3.	<i>Impacto de la Investigación</i>	68
3.5.4.	<i>Identificación de los Actores</i>	68
3.6.	Programa labVIEW	69
3.6.1.	<i>Descripción</i>	69
3.6.2.	<i>Menús (Paletas)</i>	71
3.6.3.	<i>Creación y Ejecución de Programas</i>	73
3.6.4.	<i>Adquisición de datos</i>	75
3.7.	Desarrollo de la propuesta	76

3.7.1. <i>Elaboración de las guías de laboratorio para mejorar la comprensión del comportamiento de un sistema fotovoltaico cuando es expuesto a variaciones.</i>	76
3.7.2. <i>Estrategias para complementar la enseñanza de sistemas fotovoltaicos en la Universidad Técnica de Cotopaxi.</i>	77
3.7.3. <i>Aplicación de las guías para la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad técnica de Cotopaxi.</i>	77
3.8. <i>Ensamblaje del sistema fotovoltaico</i>	77
3.8.1. <i>Introducción</i>	77
3.8.2. <i>Elementos del sistema fotovoltaico.</i>	78
3.8.3. <i>Conexión de los paneles fotovoltaicos mediante el método de carga resistiva.</i> 85	
3.9. <i>Análisis de factibilidad</i>	86
3.9.1. <i>Factibilidad técnica</i>	86
3.9.1.1. <i>Resultados del módulo con un panel solar de 50W expuesto a radiación artificial constante.</i>	87
3.9.1.2. <i>Resultados del módulo con dos paneles solares de 50W conectados en serie y expuestos a radiación artificial constante.</i>	93
3.9.1.3. <i>Resultados del módulo con dos paneles solares de 50W conectados en paralelo y expuestos a radiación artificial constante.</i>	95
3.9.1.4. <i>Resultados de los efectos de la sombra en las diferentes configuraciones del módulo.</i>	98
3.9.1.5. <i>Resultados de la variación de las curvas características con respecto a la variación de la radiación incidente.</i>	101
3.9.2. <i>Factibilidad económica</i>	103
3.9.3. <i>Factibilidad operacional</i>	104
3.10.1. <i>Conclusiones</i>	105
3.10.2. <i>Recomendaciones</i>	106
3.11. <i>Glosario de términos</i>	108
3.11.1. <i>Glosario</i>	108
3.11.2. <i>Siglas</i>	109
3.11.3. <i>Unidades</i>	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS	113

<i>ANEXO N°1 ENTREVISTAS</i>	114
<i>ANEXO N°2 CUESTIONARIO DE ENCUESTA.....</i>	117
<i>ANEXO N°3 GUIAS DE LABORATORIO PARA PRÁCTICAS CON UN SISTEMA FOTOVOLTAICO</i>	120
<i>ANEXO N°4 MANUAL DE UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA LABVIEW....</i>	153

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

TABLA 1. 1: CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA SOLAR	6
TABLA 1. 2: CICLOS EN FUNCIÓN DE LA MÁXIMA PROFUNDIDAD DE DESCARGA PERMITIDA DE DOS FABRICANTES DE BATERÍAS	23

CAPITULO II

TABLA 2. 1: OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE	46
TABLA 2. 2: OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE DEPENDIENTE .	46
TABLA 2. 3: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #1.....	48
TABLA 2. 4: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #2.....	49
TABLA 2. 5: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #3.....	50
TABLA 2. 6: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #4.....	51
TABLA 2. 7: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #5.....	52
TABLA 2. 8: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #6.....	53
TABLA 2. 9: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #7.....	54
TABLA 2. 10: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #8.....	55
TABLA 2. 11: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #9.....	56
TABLA 2. 12: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #10.....	57
TABLA 2. 13: FRECUENCIA OBSERVADA	60
TABLA 2. 14: FRECUENCIA ESPERADA.....	61
TABLA 2. 15: RESOLUCIÓN DE CHI CUADRADO.....	62
TABLA 2. 16: DISTRIBUCIÓN DE CHI – CUADRADO	63

CAPITULO III

TABLA 3. 1: USOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	68
TABLA 3. 2: MEDICION VOLTAJE-CORRIENTE DE UN PANEL SOLAR DE 50W CONECTADO A UNA CARGA RESISTIVA VARIABLE.	89
TABLA 3. 3: VOLTAJES DE UN PANEL SOLAR DE 50W EXPUESTO A DIFERENTES VALORES DE RADIACION.	92
TABLA 3. 4: MEDICION VOLTAJE-CORRIENTE DEL MODULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W EN SERIE CONECTADOS A UNA CARGA RESISTIVA VARIABLE.	93
TABLA 3. 5: MEDICION VOLTAJE-CORRIENTE DEL MODULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W EN PARALELO CONECTADOS A UNA CARGA RESISTIVA VARIABLE.	97
TABLA 3. 6: EFECTOS DE LA SOMBRA EN UN PANEL DE 50W	99
TABLA 3. 7: EFECTOS DE LA SOMBRA EN 2 PANELES DE 50W CONECTADOS EN SERIE.....	100
TABLA 3. 8: EFECTOS DE LA SOMBRA EN 2 PANELES DE 50W CONECTADOS EN PARALELO	101
TABLA 3. 9: ELEMENTOS PARA LA INSTALACION FOTOVOLTAICA	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPITULO I

GRÁFICO 1. 1: TIPOS DE RADIACIÓN	8
GRÁFICO 1. 2: IRRADIANCIA Y HORAS SOLARES PICO DURANTE UN DÍA SOLEADO	9
GRÁFICO 1. 3: CELDAS SOLARES.....	10
GRÁFICO 1. 4: CELDA SOLAR MONOCRISTALINA.....	12
GRÁFICO 1. 5: CELDA SOLAR POLICRISTALINA.	13
GRÁFICO 1. 6: CELDA SOLAR AMORFA.....	14
GRÁFICO 1. 7: BATERIAS SOLARES.....	19
GRÁFICO 1. 8: CONEXIONES DE UN BANCO DE BATERÍAS TIPO SERIE..	20

GRÁFICO 1. 9: CONEXIONES DE UN BANCO DE BATERÍAS TIPO PARALELO.....	21
GRÁFICO 1. 10: CONEXIONES DE UN BANCO DE BATERÍAS TIPO SERIE-PARALELO O MIXTO.	22
GRÁFICO 1. 11: EFECTOS DE LA DESCARGA EN EL TIEMPO DE VIDA PARA LAS BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO Y DE CICLO SUPERFICIAL	23
GRÁFICO 1. 12: PARTES DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO	26
GRÁFICO 1. 13: CURVA CARACTERÍSTICA	28
GRÁFICO 1. 14: SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO.....	31
GRÁFICO 1. 15: SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED.	32
GRÁFICO 1. 16: PIRANÓMETRO	33
GRÁFICO 1. 17: BANDAS DE CARTULINA PARA HELIÓGRAFO.....	34
GRÁFICO 1. 18: ACTINÓMETRO.....	35

CAPITULO II

GRÁFICO 2. 1: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #1.	48
GRÁFICO 2. 2: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #2.	49
GRÁFICO 2. 3: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #3.	50
GRÁFICO 2. 4: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #4.	51
GRÁFICO 2. 5: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #5.	52
GRÁFICO 2. 6: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #6.	53
GRÁFICO 2. 7: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #7.	54
GRÁFICO 2. 8: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #8.	55
GRÁFICO 2. 9: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #9.	56
GRÁFICO 2. 10: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #10.	57

CAPITULO III

GRÁFICO 3. 1: PANEL FRONTAL.....	70
GRÁFICO 3. 2: DIAGRAMA DE BLOQUES.....	70
GRÁFICO 3. 3: PALETA DE HERRAMIENTAS	71
GRÁFICO 3. 4: PALETA DE CONTROLES.	72

GRÁFICO 3. 5: PALETA DE FUNCIONES.	73
GRÁFICO 3. 6: EJEMPLO DE PROGRAMA EN LABVIEW.	74
GRÁFICO 3. 7: EJECUCION DEL PROGRAMA.	75
GRÁFICO 3. 8: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	78
GRÁFICO 3. 9: SOPORTE SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	79
GRÁFICO 3. 10: DIMENSIONES DEL SOPORTE.....	80
GRÁFICO 3. 11: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LAS RESISTENCIAS.....	81
GRÁFICO 3. 12: VISTA EXTERIOR E INTERIOR DE LA CAJA DE RESISTENCIAS.	81
GRÁFICO 3. 13: REFLECTOR Y SU UBICACIÓN EN EL SOPORTE METALICO	82
GRÁFICO 3. 14: VARIADOR DE INTENSIDAD LUMINOSA.....	83
GRÁFICO 3. 15: TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS	83
GRÁFICO 3. 16: TARJETA PRINCIPAL	84
GRÁFICO 3. 17: TARGETA ARDUINO	84
GRÁFICO 3. 18: CONEXIÓN PARA EL MÉTODO DE CARGA RESISTIVA ...	85
GRÁFICO 3. 19: PANEL SOLAR DE 50W Y PLACA CARACTERISTICA.....	87
GRÁFICO 3. 20: PANEL SOLAR EXPUESTO A 2 LAMPARAS HALOGENAS.	87
GRÁFICO 3. 21: CURVA CARACTERISTICA DEL PANEL SOLAR DE 50W (DATOS OBTENIDOS DE LABVIEW).....	88
GRÁFICO 3. 22: CURVAS CARACTERISTICAS DEL PANEL SOLAR DE 50W.	91
GRÁFICO 3. 23: CURVA CARACTERISTICA DEL VOLTAJE DE SALIDA CON RESPECTO A LA RADIACION.	92
GRÁFICO 3. 24: CURVAS CARACTERISTICAS DEL MODULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W CONECTADOS EN SERIE.	94
GRÁFICO 3. 25: CURVA DEL MODULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W CONECTADOS EN PARALELO (DATOS OBTENIDOS DE LABVIEW).	96
GRÁFICO 3. 26: CURVAS CARACTERISTICAS DEL MODULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W CONECTADOS EN PARALELO	98

GRÁFICO 3. 27: VENTILADOR CORRIENTE CONTINUA	99
GRÁFICO 3. 28: EFECTOS DE LA SOMBRA EN UN PANEL DE 50W	99
GRÁFICO 3. 29: EFECTOS DE LA SOMBRA EN 2 PANLES DE 50W CONECTADOS EN SERIE.....	100
GRÁFICO 3. 30: EFECTOS DE LA SOMBRA EN 2 PANELES DE 50W CONECTADOS EN PARALELO	101
GRÁFICO 3. 31: VARIACION DE LAS CURVAS CON RESPECTOS A LA RADIACION INCIDENTE	102
GRÁFICO 3. 32: COMPARACION DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS EN LAS 3 CONFIGURACIONES.....	103

RESUMEN

En este trabajo investigativo se presenta la temática del análisis técnico del comportamiento de un sistema fotovoltaico cuando existan variaciones tanto en la radiación incidente del panel como en la carga conectada al mismo, el comportamiento del sistema se lo visualiza mediante las curvas características que se obtienen del análisis.

La implementación de un módulo didáctico en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi permitirá que los estudiantes complementen los conocimientos adquiridos en las aulas sobre la energía solar y el comportamiento de un módulo solar al existir variaciones, de esta manera se incentiva el uso de energías alternativas.

Para obtener los datos necesarios para el análisis, el panel solar es expuesto a variaciones controladas de resistencia que van desde cero hasta un nivel alto de resistencia tendiendo al infinito, mediante estas variaciones se obtienen los valores de voltaje y corriente para graficar las curvas características I-V. Este proceso se lo repite para los diferentes niveles de radiación.

La toma de datos se la realizó de forma manual pero también mediante el software Labview, con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos; los datos generados son transferidos a un computador para su almacenamiento, Labview tiene un acceso sencillo a la base de datos de esta manera se puede comparar, visualizar y analizar las curvas características I-V en las diferentes configuraciones a las que sea expuesto el módulo fotovoltaico.

ABSTRACT

This research introduces the technical analysis of the behavior of a photovoltaic system when variations in the incident radiation of the panel and the connected load are present. The system behavior is visualized by the characteristic curves obtained from the analysis.

The implementation of a training module in the laboratory of Electrical Engineering at the Technical University of Cotopaxi will allow students to complement the knowledge acquired in classroom about solar power and solar module with variations. Thus, the use of alternative energy is encouraged.

To obtain the data needed for the analysis, the solar panel is exposed to variations of controlled resistance, ranging from zero to a high levels which tend to infinity, through these changes, the values of voltages and currents are obtained to show the characteristic curves I-V. This process is repeated for each of the different levels of radiation.

The collection of the data is the done manually and using the Labview software. Using an acquisition card, the data generated are transferred to a computer for storage. Labview has access to the database which facilitates the comparison, visualization, and analysis of the characteristic curves I-V in different configurations to which the photovoltaic module is exposed.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **VILLAVICENCIO AVILA ALEX JEOVANNY**, cuyo título versa **“ENSAMBLAJE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE SISTEMA CUANDO SE VARIA LA RADIACIÓN INCIDENTE Y LAS CARGAS CON PREDOMINIO RESISTIVO, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2014”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Diciembre - 2015

Atentamente,

Lic. Verónica Rosales

DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

C.C. 100310698-4

INTRODUCCIÓN

En este trabajo investigativo se realiza el ensamblaje y análisis de un módulo fotovoltaico mediante la obtención y almacenamiento de datos los cuales permiten analizar las curvas características I-V obtenidas al exponer el módulo fotovoltaico a variaciones tanto de carga como de radiación incidente sobre el panel.

En el Capítulo I se realiza el marco teórico necesario para elaborar el presente trabajo investigativo. En este capítulo se describe la información necesaria para realizar el proyecto como son conceptos generales y elementos a utilizar.

En el Capítulo II se realiza el análisis e interpretación de los resultados obtenidos durante la ejecución de este proyecto, en el contenido de este capítulo se encuentran los métodos, técnicas e instrumentos utilizados para comprobar la factibilidad de realizar el proyecto. También se presentan las configuraciones utilizadas para obtener las curvas características I-V en distintos niveles de radiación.

En el Capítulo III se muestra la alternativa para desarrollar el proyecto, también se describe el software Labview utilizado para almacenar y comparar las curvas características por último se presentan las principales conclusiones y recomendaciones del trabajo investigativo.

En los anexos se presenta la información de la encuesta y entrevista realizada a estudiantes y docentes respectivamente así como una guía de laboratorio para realizar diversas prácticas demostrativas.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Situación de las energías renovables en el Ecuador

De acuerdo con (NEIRA GONZÁLEZ Raúl Hernán y VELECELA ZHINDÓN Marco Vinicio, 2014) mencionan que:

“Ecuador es un país privilegiado porque cuenta con un gran potencial de recursos, la prioridad es aprovechar los recursos renovables, a pesar de ser un país petrolero y tener la opción de incrementar su generación térmica a base de combustibles fósiles.

El Plan Nacional de Eficiencia Energética se dio en el Ecuador recién por el año 2007. El gobierno ecuatoriano apoya la generación de energía con fuentes de generación renovables, como se puede ver en los siguientes artículos de la constitución política del Ecuador:

- Art.15. El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto...
- Art. 313. El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de

- sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas...
- Art. 314. El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias y los demás que determine la ley.
- Art. 413. El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.”

La situación de las energías renovables en el Ecuador es positiva, gracias al apoyo e incentivación que se ha venido dando al uso de estas energías en estos últimos años.

1.2. Antecedentes Históricos en el uso de la Energía Solar

La energía solar es una fuente de energía renovable que ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad.

De acuerdo con **(CALVACHE ALARCÓN David y SOPALO MOPOSITA Juan, 2009)** mencionan que:

“Las primeras investigaciones para captar y explotar la energía solar se remontan a la antigüedad. Los egipcios descubrieron el efecto que tiene el vidrio, el hecho de que un cuerpo expuesto al Sol en un recipiente de vidrio se calienta más que al aire libre. Arquímedes incendió una flota enemiga que atacaba su ciudad en el siglo III con ayuda de pequeños espejos planos agrupados de manera de formar grandes espejos cóncavos.

En el siglo XIX la conversión de la energía solar en otras formas de energía giró alrededor de la generación de vapor para alimentar máquinas de vapor, aunque también adquirió cierto interés la destilación de agua para su potabilización.

En los inicios del siglo XX aumenta el interés por esta fuente de energía, registrándose numerosas patentes para calentadores solares de agua domésticos durante los años 30 y 40. Después de la Segunda Guerra Mundial la energía solar adquiere gran relieve, alcanzando su máximo apogeo en EE.UU. durante la década de los 50.

Por entonces se desarrollaron desde cocinas solares a máquinas de vapor, y algunos dispositivos eléctricos y naves espaciales que utilizaban las entonces nuevas células solares.”

La energía solar ha sido utilizada desde la antigüedad, esta energía ha tenido diferentes aplicaciones a lo largo de la historia como son; en el campo de batalla, generación de vapor, cocinas solares y generación eléctrica para naves espaciales. Esta última aplicación quizás es la más importante ya que la energía solar es la única o la más factible para generar electricidad en el espacio.

1.3. Fuentes de Energía

De acuerdo con **(BERMEO BERMEO Juan Esteban y RODRÍGUEZ MÉNDEZ Juan Carlos, 2012)** mencionan que:

“Las fuentes de energía se pueden clasificar en primarias o secundarias, dependiendo de que la misma pueda obtenerse de manera directa a partir del sol, o recurriendo a otra fuente. Además de esto, se puede clasificar a las fuentes de energía como renovables y no renovables, en el campo de la energía renovable se considera a aquella que se siga produciendo y que su consumo represente un repuesto, que a la larga se volverá a utilizar, mientras que la energía no renovable es aquella que ya no se produzca y cuyo consumo termine por agotar la reserva.

Por lo tanto dentro de la energía no renovable se encuentran las reservas fósiles como: el petróleo, gas natural y el carbón; mientras tanto son energías renovables la energía solar, la hidráulica, la eólica, la biomasa, y la energía debida a mareas, olas y gradientes térmicos permanentes.”

Las fuentes de energía tanto las renovables como las no renovables han sido de gran importancia para el avance tecnológico, pero el uso de las energías no renovables provoca un grave daño a nuestro medio ambiente, debido a esto es fundamental utilizar al máximo las energías renovables.

1.4. Energía solar en el Ecuador

De acuerdo con **(NEIRA GONZÁLEZ Raúl Hernán y VELECELA ZHINDÓN Marco Vinicio, 2014)** mencionan que:

“La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere, ya que tiene un potencial solar que, sin ser el mejor del planeta, se sitúa en niveles muy importantes, y se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a su superficie durante todo el año, es por tanto que esta ventaja posicional de Ecuador se traduce en la recepción de una mayor y constante cantidad de radiación solar.

Por lo tanto podemos decir que dentro de nuestro país, la gran incidencia de radiación solar, además de ser constante la mayor parte del año, hace que sea muy confiable y rentable el uso tecnológico de este recurso para aplicaciones solares fotovoltaicas, aunque debemos aclarar que aún es muy costosa su implementación y existe falta de conocimiento, difusión e incentivos, para que las empresas o grandes edificios se autoabastezcan utilizando este tipo de generación, además que la energía hidroeléctrica, es la mayor fuente de generación eléctrica del país, siendo también energía limpia y barata.”

La energía solar en el Ecuador tiene mucho potencial ya que se encuentra en una buena ubicación, en la cual se puede aprovechar una gran cantidad de radiación solar.

1.5. Importancia y desarrollo de la energía solar en el Ecuador

De acuerdo con **(NEIRA GONZÁLEZ Raúl Hernán y VELECELA ZHINDÓN Marco Vinicio, 2014)** mencionan que:

“Los proyectos fotovoltaicos que existen en el Ecuador, son principalmente implementados en lugares aislados, por la dificultad de llegar a estos sitios mediante la red eléctrica, sin embargo existen proyectos piloto que tienen como objetivo autoabastecerse de energía eléctrica, como por ejemplo la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, implemento un sistema solar fotovoltaico, que cubre un porcentaje de la demanda eléctrica del edificio.”

En este año también se implementó el catamarán solar la primera embarcación solar en las islas galápagos, esta embarcación es una alternativa para las personas que desean viajar desde la isla Baltra a Santa Cruz.

1.6. Energía Solar Fotovoltaica

De acuerdo con **(BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013)** mencionan que:

“La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de la luz solar que emite el sol y que es interceptada por la Tierra.

Energía Térmica: Se denomina “térmica” la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, etc., son aplicaciones térmicas.

Energía Fotovoltaica: Es la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico y sin pasar por un efecto térmico.”

La energía solar fotovoltaica es aquella que produce energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la radiación solar, por medio de las células fotovoltaicas. En la tabla 1.1 se muestran las ventajas y desventajas de utilizar energía solar.

Tabla 1. 1: CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA SOLAR

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Totalmente limpia	La radiación utilizada es variable
No emite ruidos	Se necesita una inversión alta
Los mantenimientos no son muy seguidos	Se produce electricidad solo durante el día
Fuente de energía Inagotable	Se necesita una gran extensión de terreno para colocar los paneles solares

Fuente: (El Postulante)

1.7. Radiación Solar.

De acuerdo con (BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013) mencionan que:

“Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. La radiación solar distribuye sus longitudes de onda desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación que emite el sol alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono.

La magnitud de radiación solar que llega a la Tierra puede ser medida y su unidad es el W/m² (vatio por metro cuadrado). La radiación que atraviesa la superficie del sol tiene una potencia de alrededor de 60 MW/m², llegando al tope de la

atmósfera terrestre sólo algo más de 1,3 kW/m²; este valor es conocido como constante solar Ics.”

Se conoce como radiación solar al conjunto de radiaciones emitidas por el sol, las cuales al llegar a la superficie de la tierra pueden ser aprovechadas para generar energía eléctrica.

1.7.1. Tipos de Radiación.

De acuerdo con (BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013) mencionan que:

“La diferencia de los tipos de radiaciones es cómo inciden los rayos solares en la superficie de la tierra, las principales radiaciones son:

1.7.1.1. Radiación Directa.

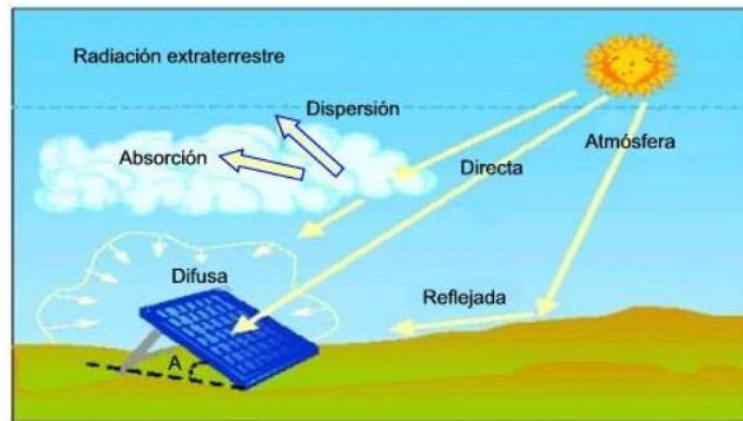
A la radiación que llega a la superficie de la tierra sin haber sufrido cambio en su trayectoria lineal desde el disco solar.

1.7.1.2. Radiación Difusa.

La radiación que es dispersada por la atmosfera. Cuando la atmósfera terrestre difumina o desvía los rayos solares, la llamamos radiación difusa. Éste desvío de los rayos solares, se produce por el choque directo con ciertas moléculas y partículas contenidas en el aire, por este motivo, los rayos solares no tienen una dirección directa.”

En el gráfico 1.1 se observa los diferentes tipos de radiación que inciden sobre la superficie terrestre, teniendo como principales la radiación directa y la radiación difusa.

Gráfico 1. 1: TIPOS DE RADIACIÓN



Fuente: (BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013)

1.8. Constante Solar.

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Con el fin de cuantificar la cantidad de energía solar por unidad de tiempo, se define la “Constante Solar”. Ésta se mide de manera perpendicular sobre una superficie de 1 m², la cual debe estar ubicada fuera de la atmósfera terrestre a una distancia igual a la distancia promedio entre el sol y la tierra. Esta constante representa la densidad de potencia sobre el tope de la atmósfera.

El World Radiation Center (WRC) es el organismo encargado de establecer un valor de referencia radiométrica mundial WRR (World Radiometric Reference) para la constante solar. (Brusa, C. Fröhlich y R., 1981, págs. 209-215). Actualmente, el valor de esta referencia es: **Isc = 1380 W/m²**

Isc = Intensidad de constante solar.”

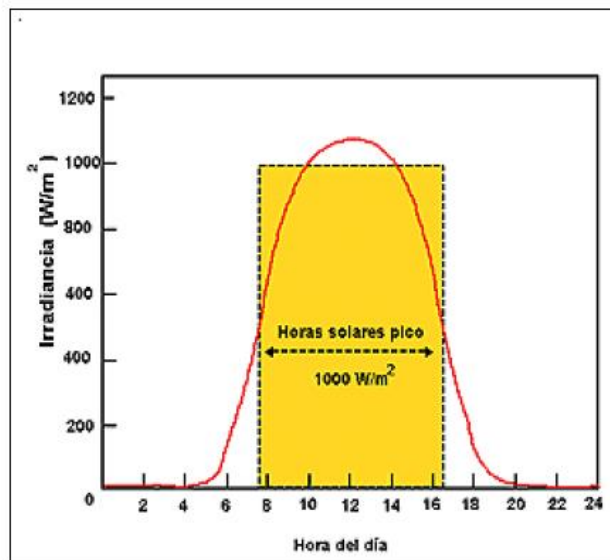
La constante solar es la cantidad de potencia eléctrica que podemos generar en un metro cuadrado, este valor puede variar a lo largo de la superficie terrestre.

1.9. Horas de Sol Perfecto.

De acuerdo con (BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013) mencionan que:

“Para poder diseñar un sistema fotovoltaico, se debe conocer con cuanta energía solar existe en el lugar donde se va a instalar. Este promedio se mide en Horas de sol perfecto o HSP (PSH en inglés). Una hora perfecta de sol representa una hora de sol luminoso, sin nubes. Por lo tanto, si una región tiene un HSP de 4, significa que se puede contar con un promedio de 4 horas de sol radiante, sin nubes, por día.

Gráfico 1. 2: IRRADIANCIA Y HORAS SOLARES PICO DURANTE UN DÍA SOLEADO



Fuente: (BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013).

Una hora perfecta de sol equivale a una radiación de 1000 w (vatios) por m² durante una hora. Por lo tanto el HSP se obtiene sumando toda la energía recibida en el día y dividiendo esta suma por 1000 w/m². El área definida por el rectángulo (irradiación en base a HPS) es aproximadamente igual al área definida por la curva horaria de irradiancia real a lo largo de todo el día.

Desgraciadamente, no todos los días tienen la misma cantidad de luz solar. Para obtener la HSP de una región específica, es necesario obtener las cifras de cada día durante un año y sacar el promedio. Por ejemplo, en la región amazónica del Ecuador, las HSP son 3, ciertos días es 5 y otros 1, pero el promedio es 3.”

Las horas de sol perfecto son aquellas en las que el sol brilla con un cielo despejado, la radiación promedio en una hora de sol perfecto es de 1000 w/m^2 , la cantidad de horas de sol perfecto nunca serán constantes. En el gráfico 1.2 se observa las horas de sol perfecto y su radiación en un día soleado.

1.10. Celdas Solares.

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Las células o celdas solares son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del fotovoltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil.”

Gráfico 1. 3: CELDAS SOLARES.



Fuente: (El Postulante)

Las celdas solares son utilizadas para generar energía eléctrica aprovechando la radiación solar, en el gráfico 1.3 se aprecia un conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre sí.

1.10.1. Tipos de Celdas Solares.

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Las celdas fotovoltaicas generalmente están compuestas por silicio tratado o dopado, de modo de cuando recibe luz solar se liberan electrones y por ende se genera electricidad.

El silicio para utilizarse en electrónica debe de tener una pureza extraordinaria, así como una estructura a escala atómica muy ordenada, un 27% de la corteza terrestre está hecha de silicio.

En mercado se puede encontrar silicio relativamente puro a un precio muy bajo, sin embargo, este silicio no puede utilizarse aun como semiconductor en electrónica o como parte de un panel solar, ya que tiene impurezas y sus átomos se encuentran desordenados, lo que hace que los electrones no se desplacen adecuadamente. Hay tres tipos de celdas fotovoltaicas, las cristalinas (monocristalinas o policristalinas) y las amorfa.”

Existen tres tipos de celdas solares las cuales por lo general están hechas de silicio, siendo las celdas monocristalinas las mejores y por lo tanto las más costosas.

1.10.1.1. Celdas Solares Monocristalinas.

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Cuando se requiere de un silicio de mayor pureza y eficiencia eléctrica, es posible entonces obtener silicio monocristalino, en el que el bloque entero de silicio es un único cristal perfecto lo que asegura que los electrones se desplacen más libremente.

Las celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino se obtienen a partir de barras largas y cilíndricas de silicio monocristalino producidas mediante procesos complejos y muy costosos; cada barra se corta en forma de obleas de medio milímetro de espesor, para su posterior uso en la fabricación de circuitos integrados. Estas células generalmente son un azul uniforme como se aprecia en el gráfico 1.4.

Gráfico 1. 4: CELDA SOLAR MONOCRISTALINA.



Fuente: (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014).

Este tipo de celdas alcanzan eficiencias de alrededor 16%.”

Las celdas solares monocristalinas están hechas de un silicio de alta pureza, esto se logra al someter al silicio por varios procesos costosos lo que incrementa su valor final, las celdas monocristalinas son de color azul uniforme.

1.10.1.2. Celdas Solares Policristalinas.

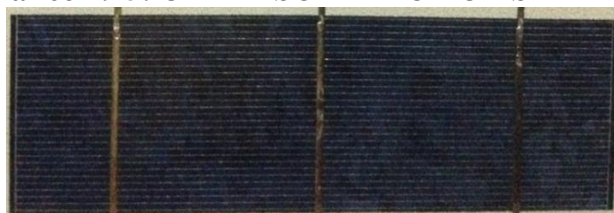
De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“El silicio poli cristalino está conformado por pequeños cristales de una enorme pureza que hace que sus propiedades eléctricas sean muy diferentes del silicio amorfo. Para que un electrón recorra una micra por un cristal ordenado es un verdadero viaje comparado con el silicio amorfo.

El silicio poli cristalino se usa en paneles solares. Las celdas fotovoltaicas policristalinas son más baratas, pero menos eficientes que las celdas fotovoltaicas monocristalinas; son cuadradas, de modo que cubra mayor área del panel solar, sin embargo, los paneles solares con celdas policristalinas producen menos energía eléctrica que las celdas fotovoltaicas monocristalinas tomando en cuenta un panel solar del mismo tamaño.

La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores como se aprecia en el gráfico 1. 5.

Gráfico 1. 5: CELDA SOLAR POLICRISTALINA.



Fuente: (El Postulante)

Este tipo de celdas alcanzan eficiencias de conversión de alrededor 14%.”

Las celdas solares policristalinas son más económicas que las monocristalinas pero menos eficientes, se caracterizan por ser de un color azul no uniforme.

1.10.1.3. Celdas Solares Amorfas.

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Este tipo de celdas fotovoltaicas normalmente se utilizan en pequeños paneles solares, como los de las calculadoras, relojes o las lámparas de jardín, aunque cada vez son más utilizadas en aplicaciones de mayor tamaño. Se fabrican depositando una película delgada de silicio sobre una hoja de otro material tal como acero.

La eficiencia de paneles solares fabricados con celdas fotovoltaicas amorfas no es tan alta como las hechas de celdas fotovoltaicas individuales, aunque esto ha mejorado en los últimos años al punto donde pueden verse como una alternativa practica a los paneles realizados con celdas fotovoltaicas cristalinas.

Su gran ventaja reside en su costo ya que este es relativamente bajo. Sin embargo, por su baja eficiencia, se requieren más paneles solares en un mayor espacio para generar la misma potencia de salida y el espacio que los paneles solares fabricados de celdas fotovoltaicas cristalinas apreciándose así en el gráfico 1.6. Su eficiencia de conversión es de aproximadamente un 8%.”

Gráfico 1. 6: CELDA SOLAR AMORFA.



Fuente: (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014).

Las celdas solares amorfas son las más económicas del mercado pero también las de peor eficiencia por este motivo su aplicación se enfoca en juguetes o aparatos pequeños, estas celdas no se utilizan en centrales solares ya que se necesita de un

mayor número de paneles para igualar la generación con paneles policristalinos y monocristalinos.

1.10.2. Eficiencia de las Celdas Solares

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“La eficiencia de una célula solar, es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda, irradiación (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar y el área superficial de la célula solar (A_c en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E * A_c}$$

Los estándares especifican una temperatura de 25 °C y una irradiación de 1000 W/m^2 con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5).”

La eficiencia de las celdas solares es el porcentaje convertido en energía eléctrica del total de radiación absorbida por el panel solar, las celdas monocristalinas tienen una eficiencia aproximada del 16%, las policristalinas 14% y las amorfas un 8%.

1.11. Regulador de Carga Solar.

De acuerdo con (BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013) mencionan que:

“Para un funcionamiento satisfactorio de la instalación fotovoltaica en la unión de los paneles solares con la batería ha de instalarse un sistema de regulación de carga, este sistema es siempre necesario.

El regulador tiene como función fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del panel solar, una vez que ha alcanzado la carga máxima. Otra función del regulador es la prevención de la sobre descarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, esto puede provocar una sensible disminución en la capacidad de carga de la batería en sucesivos ciclos.

Varios reguladores incorporan una alarma sonora o luminosa previa a la desconexión para que el usuario pueda tomar medidas adecuadas, como reducción del consumo, u otras. Los reguladores más modernos integran las funciones de prevención de la sobrecarga, y que además suministra información del estado de carga de la batería.”

El regulador de carga es esencial en cualquier sistema fotovoltaico ya que evita que las baterías sigan recibiendo energía de los paneles solares cuando están completamente cargadas.

1.12. Cableado

De acuerdo con **(MORA Carlos Roberto Prado, 2008)** menciona que:

“Bajas tensiones y corrientes elevadas son característicos en sistemas FV, por lo incluso caídas pequeñas de tensión tienden a ser significativas y generan efectos negativos sobre la corriente entregada por el generador fotovoltaico, la regulación de carga de la batería y la vida útil de las lámparas fluorescentes. Por estas razones, debe evitarse las caídas de tensión dimensionando adecuadamente el cableado.

Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean menores al 5% entre el generador y el regulador, menores de 1% entre el regulador y las baterías, e inferiores a 5% entre el regulador de carga y las cargas. Esto en condiciones de máxima corriente.

Los fusibles se instalan preferiblemente en las líneas de polaridad positiva.”

El cableado en un sistema fotovoltaico debe ser correctamente dimensionado, ya que una pequeña caída de voltaje es muy significativa en este tipo de sistemas que utilizan bajos voltajes y altas corrientes.

1.13. Dispositivos de protección

De acuerdo con (MORA Carlos Roberto Prado, 2008) menciona que:

“Los sistemas FV domésticos generalmente operan con tensiones bajas (del rango de 12-24V). El factor que representa mayor peligro en estos casos es la batería, ya que tienen corrientes de cortocircuito muy altas, además contienen ácido sulfúrico y libera gases inflamables. Para evitar este tipo de riesgos, tanto la batería como el regulador de carga deben estar protegidos contra sobrecorrientes y corrientes de cortocircuito.

Dichas protecciones deben tener efecto tanto sobre la línea del generador fotovoltaico como sobre la línea de las cargas. Dichas protecciones pueden realizarse de manera fácil implementando fusibles, diodos, disyuntores u otros; y pueden o no estar incluidas dentro de la caja del regulador.

En regiones con tormentas eléctricas frecuentes se debe instalar algún medio de aislar manualmente los polos positivo y negativo del lado del generador fotovoltaico. De este modo se puede desconectar el generador fotovoltaico cuando hay riesgo de descargas eléctricas atmosféricas.”

Al tener un sistema fotovoltaico se debe colocar dispositivos de protección para proteger todos los elementos del sistema ante posibles sobrecorrientes las cuales pueden afectar o dañar los elementos, perdiendo así el costo parcial o total de la instalación.

1.14. Cargas

De acuerdo con (**MORA Carlos Roberto Prado, 2008**) menciona que:

“Las cargas típicas en sistemas fotovoltaicos son las luminarias, radios y televisores. La iluminación constituye generalmente la mayor parte del consumo. Los radios y televisores son adquiridos directamente por los usuarios en mercados de aparatos electrodomésticos convencionales, son productos altamente estandarizados y de poco consumo.”

Las cargas más utilizadas en los sistemas fotovoltaicos son de iluminación ya que tienen un consumo bajo en comparación al resto de cargas domiciliarias.

1.15. Baterías Solares.

De acuerdo con (**NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014**) mencionan que:

“Las baterías solares más usadas son las de tipo arranque mejorado que tienen placas más gruesas, más electrolito etc. No son selladas y requieren un mantenimiento bajo de más o menos 1 - 2 veces por año. Permiten un número de 1000 - 2000 ciclos de carga/descarga de 15 - 20 % cada uno (manteniendo permanentemente el 80-85% de la carga total) y son más resistentes a las descargas de 50 % que las baterías normales de arranque.”

Las baterías solares son elementos muy importantes dentro de una instalación fotovoltaica, su principal función es almacenar la energía entregada por los paneles solares para posteriormente alimentar las cargas conectadas al sistema fotovoltaico, en el gráfico 1.7 se muestra una batería solar.

Gráfico 1. 7: BATERIAS SOLARES.



Fuente: (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014).

1.15.1. Conexiones de Bancos de Baterías.

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Es un grupo de baterías interconectadas para almacenar la energía producida por un sistema solar, eólico, etc. En la teoría y en la práctica existen tres tipos de conexiones en baterías de plomo ácido, métodos probados, la conexión en serie, la conexión en paralelo y la conexión mixta, cada una de las conexiones de las baterías realizarán diferente función.”

Las conexiones entre baterías se las realizan para alimentar cargas de mayor tamaño o aumentar el tiempo de descarga de una sola batería.

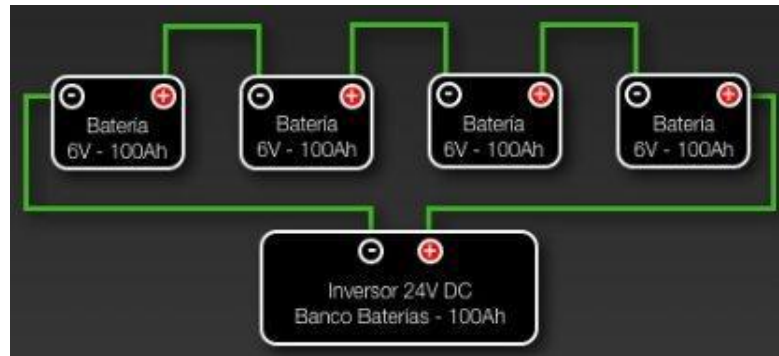
1.15.1.1. Conexión Serie

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Esta asociación en serie es la más conocida. En este caso, el borne positivo o negativo de una celda o batería, se conecta al borne opuesto de otra de idénticas características. De esta manera, la asociación resultante tendrá la sumatoria de los voltajes, mas no así el amperaje manteniendo la misma capacidad de cada batería

en forma individual. En el gráfico 1. 8 se muestra la conexión de un banco tipo serie.”

Gráfico 1. 8: CONEXIONES DE UN BANCO DE BATERÍAS TIPO SERIE.



Fuente: (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014).

La conexión en serie consiste en conectar un polo de una batería con el polo opuesto de otra batería, mediante esta conexión los voltajes se suman y las corrientes se mantienen.

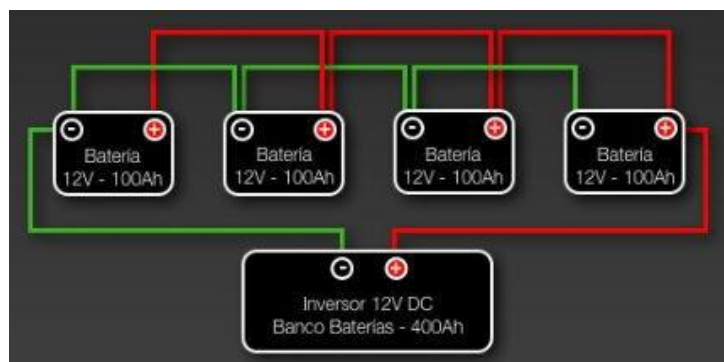
1.15.1.2. Conexión Paralelo

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Asociar en paralelo significa vincular eléctricamente bornes de la misma polaridad. La conexión en paralelo incrementa la capacidad total, es decir el amperaje se suma, más no el voltaje. La asociación en paralelo se utiliza cuando no es posible obtener una batería de la capacidad deseada.

A veces, dicha capacidad existe en un determinado modelo o tipo constructivo y resulta más económico utilizar una asociación en paralelo de otros modelos más baratos. En la gráfico 1. 9 se muestra la conexión de un banco tipo paralelo.”

Gráfico 1. 9: CONEXIONES DE UN BANCO DE BATERÍAS TIPO PARALELO.



Fuente: (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014).

La conexión en paralelo consiste en conectar los terminales de una batería con los terminales de igual polaridad de otra batería, en esta conexión las corrientes se suman y los voltajes se mantienen.

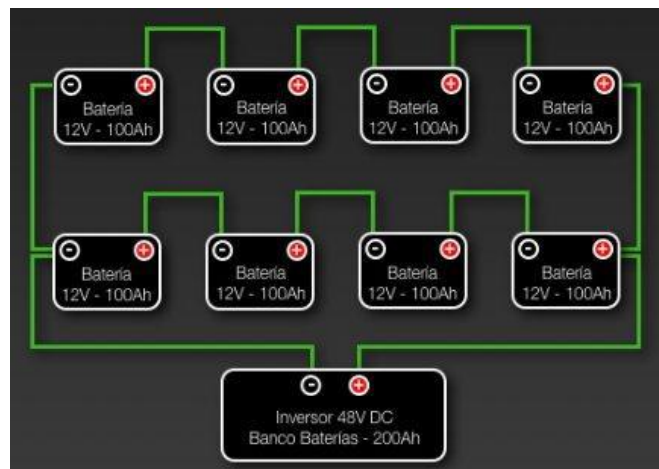
1.15.1.3. Conexión Serie-Paralelo o Mixta.

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“En este tipo de banco se asocian conexiones en serie y paralelo dando como resultado la conexión mixta, con la que se hace un incremento total entre bancos, es decir tanto voltaje como amperaje. En el gráfico 1. 10 se muestra la conexión de un banco tipo serie-paralelo o mixto.”

En una conexión serie-paralelo o mixta se unen conexiones en paralelo con conexiones en serie dando como resultado que se sumen tanto los voltajes como las corrientes.

Gráfico 1. 10: CONEXIONES DE UN BANCO DE BATERÍAS TIPO SERIE-PARALELO O MIXTO.



Fuente: (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014).

1.15.2. Factores que afectan a la vida de la batería

De acuerdo con (ABELLA Miguel Alonso, 2005) menciona que:

“Tiempos de vida menores que los esperados inicialmente es uno de los problemas que aparecen en los sistemas FV. La batería es el componente más caro, después del generador FV, en el sistema. Durante el periodo de vida de un sistema FV, de 20 a 30 años, los costes de reemplazar y mantener la batería pueden suponer la mayor parte de los costes del sistema.

La vida de la batería depende de un gran número de factores de diseño y operacionales, entre los que se encuentran: los materiales y componentes constructivos, la temperatura de operación, la frecuencia y la profundidad de las cargas y descargas, el estado de carga medio y los métodos de carga.

En tanto que la batería no se sobrecargue, sobre descargue u opere a elevadas temperaturas, el tiempo de vida es proporcional a su estado de carga promedio.”

Las baterías están entre los elementos más costosos dentro de la instalación fotovoltaica, entre los principales factores que disminuyen su vida útil tenemos; altas temperaturas, sobrecargas y sobre descargas.

En la tabla 1.2 se muestra el porcentaje disponible de la batería al llegar a un número de ciclos (carga-descarga), tanto de una batería de ciclo profundo como una batería de ciclo superficial.

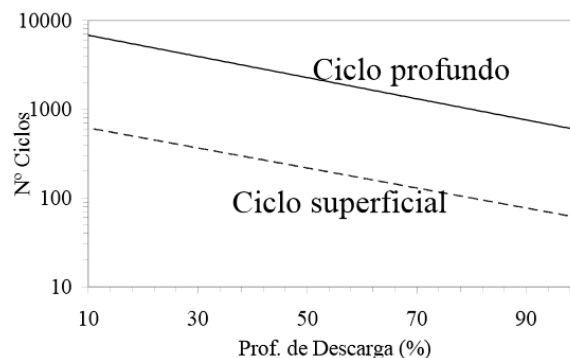
Tabla 1. 2: CICLOS EN FUNCIÓN DE LA MÁXIMA PROFUNDIDAD DE DESCARGA PERMITIDA DE DOS FABRICANTES DE BATERÍAS

Batería 1/Ciclo profundo		Batería 2/Ciclo superficial	
DOD	Ciclos	DOD	Ciclos
10%	7200	20%	1200
50%	3000	50%	800
75%	1500	80%	500

Fuente: (ABELLA Miguel Alonso, 2005).

En el gráfico 1.11 se visualiza la profundidad de descarga frente al número de ciclos, tanto de una batería de ciclo profundo como de una batería de ciclo superficial.

Gráfico 1. 11: EFECTOS DE LA DESCARGA EN EL TIEMPO DE VIDA PARA LAS BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO Y DE CICLO SUPERFICIAL



Fuente: (ABELLA Miguel Alonso, 2005).

1.15.3. Rendimiento de la batería

De acuerdo con (**ABELLA Miguel Alonso, 2005**) menciona que:

“El rendimiento de las baterías depende del tipo de batería, método de carga, regímenes de carga y descarga, profundidad de descarga y temperatura. El rendimiento de carga se debe utilizar como un parámetro más en el dimensionado del generador FV necesario en un sistema FV. El rendimiento energético total de la batería se define como el producto de los rendimientos de voltaje y de carga.”

El rendimiento de la batería dependerá directamente del tipo de batería que se utilice, las condiciones de operación, también del tiempo y número de descargas de la batería.

1.16. Módulos Fotovoltaicos.

De acuerdo con (**CALVACHE ALARCÓN David y SOPALO MOPOSITA Juan, 2009**) mencionan que:

“El módulo fotovoltaico es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las células fotovoltaicas. Los módulos pueden tener diferentes tamaños (los más utilizados tienen superficies que van de los 0,5 m² a los 1,3 m²), generalmente se producen módulos formados por 30, 32, 33 y 36 celdas en serie, según la aplicación requerida.

Este tipo de conexión permite adicionar tensiones (voltajes). La tensión nominal del módulo será igual al producto del número de celdas que lo componen por la tensión de cada celda (aprox. 0,5 Volts). Los módulos formados tienen una potencia que varía entre los 50Wp y los 150Wp.”

Los módulos fotovoltaicos son estructuras donde se colocan las células fotovoltaicas, estas estructuras mantienen protegidas a las células fotovoltaicas de

las condiciones ambientales como lluvia o polvo que puedan afectar su correcta operación.

1.16.1. Características eléctricas de un módulo fotovoltaico.

De acuerdo con (CALVACHE ALARCÓN David y SOPALO MOPOSITA Juan, 2009) mencionan que:

“Las características eléctricas principales de un módulo fotovoltaico se pueden resumir en las siguientes:

- Potencia de Pico (Wp): potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar STC (Radiación solar = 1000 W/m²;
- Temperatura = 25 °C; A.M. = 1,5).
- Corriente nominal (A): corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.”

Al momento de instalar un sistema fotovoltaico se deben tomar en cuenta las características eléctricas de un módulo fotovoltaico, ya que dichas características determinaran los factores de operación del sistema.

1.16.2. Partes de un módulo fotovoltaico

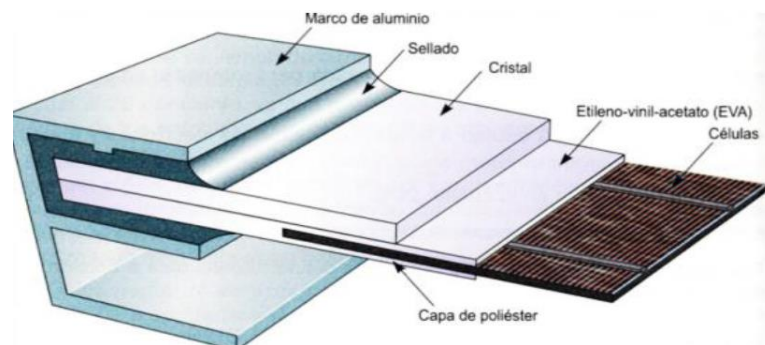
De acuerdo con (BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013) mencionan que:

“El módulo fotovoltaico está compuesto por las siguientes partes:

- **Cubierta o vidrio frontal:** Es anti reflejante para optimizar la captación de los rayos solares.
- **Encapsulado:** Para proporcionar solidez a las células, estas se insertan en un material transparente que las aísla eléctricamente. El encapsulado debe permitir al igual que la cubierta frontal la transmisión de la radiación solar y no degradarse con la luz ultravioleta.
- **Cubierta posterior:** Normalmente, la protección posterior en su cara interna es de color blanco para mejorar el rendimiento del módulo, ya que refleja la radiación que incide entre los huecos que dejan las células.
- **Marco:** El marco de aluminio tiene la función de facilitar la fijación de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios.
- **Conexiones:** Se sitúan en la parte posterior del módulo, en una caja que los protege del polvo. En el momento del montaje, se debe evitar totalmente que entre agua en la caja.”

Un módulo fotovoltaico consta de varias partes las cuales tienen una función específica ya descritas anteriormente, en el gráfico 1.12 se muestran las partes de un módulo fotovoltaico.

Gráfico 1. 12: PARTES DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO



Fuente: (BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013).

1.16.3. Potencia del módulo fotovoltaico

De acuerdo con **(BUITRÓN ESPARZA Luis Antonio y ENCALADA MÁRMOL Diego Javier, 2013)** mencionan que:

“La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación. La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas.

Por ejemplo, un módulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos un 10 % de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado (W/m²) y sus celdas poseen una temperatura de 25°C, en condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 W.

La vida útil de un panel fotovoltaico puede llegar hasta 30 años, y los fabricantes generalmente otorgan garantías de 20 o más años. El mantenimiento del panel solamente consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las celdas fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar.”

La potencia real de un módulo fotovoltaico es distinta a la potencia nominal, ya que la potencia nominal se obtendrá en condiciones óptimas de operación y en condiciones reales el módulo proporcionara una potencia inferior a la nominal.

1.16.4. Curva característica del módulo Fotovoltaico

De acuerdo con **(FERNÁNDEZ FERICHOLA Julio, 2009)** menciona que:

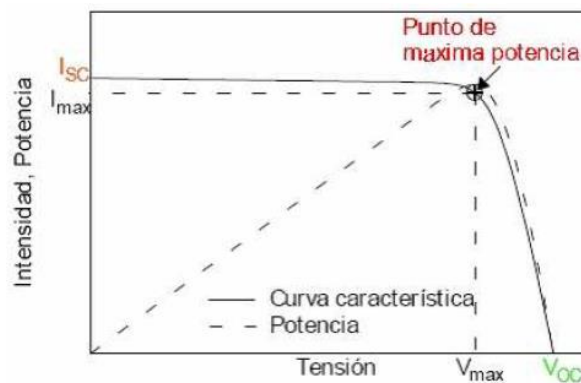
“La representación estándar de un dispositivo fotovoltaico es la característica corriente-tensión. La curva representa las posibles combinaciones de corriente y

voltaje para un dispositivo fotovoltaico bajo unas condiciones ambientales determinadas (radiación solar incidente y temperatura ambiente).

El punto en concreto de corriente y voltaje en el que el dispositivo fotovoltaico trabajará vendrá determinado por la carga a la que esté conectado.”

La curva característica muestra el comportamiento de un módulo fotovoltaico desde su valor de voltaje de circuito abierto hasta el valor de corriente de cortocircuito, en el gráfico 1.13 se muestra una curva característica de un módulo fotovoltaico.

Gráfico 1. 13: CURVA CARACTERÍSTICA



Fuente: (FERNÁNDEZ FERICHOLA Julio, 2009).

1.16.4.1. Principales parámetros de la curva característica I-V

De acuerdo con (FERNÁNDEZ FERICHOLA Julio, 2009) menciona que:

“Los principales parámetros son:

- **Corriente de cortocircuito** (I_{cc} notación española, I_{sc} notación internacional): es la máxima corriente que producirá el dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.

- **Voltaje de circuito abierto (Vca notación española, Voc notación internacional):** Es el máximo voltaje del dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero.
- **Potencia máxima (Pmax):** Es la máxima potencia que producirá el dispositivo en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al par máximo I-V.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (Ipmp):** Es el valor de la corriente para Pmax en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia (Vpmp):** Es el valor de voltaje para Pmax en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
- **Factor de forma (FF):** Es el valor correspondiente al cociente entre Pmax y el producto de Isc x Voc. Puede venir expresado en tanto por ciento o tanto por 1, siendo el valor 100% el que corresponderá a un hipotético perfil de cuadrado, no real. Nos da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo éste tanto mejor cuánto más alto sea su factor de forma.

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Generalmente las células dentro del módulo fotovoltaico se asocian en serie, con el fin de obtener unos valores de voltaje más apropiados para su conexión a distintas cargas o a una batería (el voltaje de una célula estándar suele ser de unos 0.6V). El voltaje total del módulo dependerá, por tanto, del número de células asociadas en serie. Por el contrario, la corriente que podemos obtener del módulo fotovoltaico va a depender básicamente del tipo y tamaño de células (suponiendo que no haya células conectadas en paralelo en el interior del módulo).”

Los parámetros de la curva característica son todos aquellos valores que intervienen para la graficación de la curva como voltajes corrientes y potencias.

1.17. Sistemas Fotovoltaicos

De acuerdo con (**CALVACHE ALARCÓN David y SOPALO MOPOSITA Juan, 2009**) mencionan que:

“Se define como sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que captan y transforman la energía solar disponible, en energía eléctrica utilizable. Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en: Sistemas aislados y Sistemas conectados a la red.”

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de elementos utilizados para aprovechar la radiación solar como energía eléctrica, los sistemas fotovoltaicos pueden estar conectados o aislados a la red eléctrica.

1.17.1. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Existen 2 tipos de sistemas fotovoltaicos los Aislados o Autónomos y los conectados a red.

1.17.1.1. Sistemas Fotovoltaicos Aislados o Autónomos

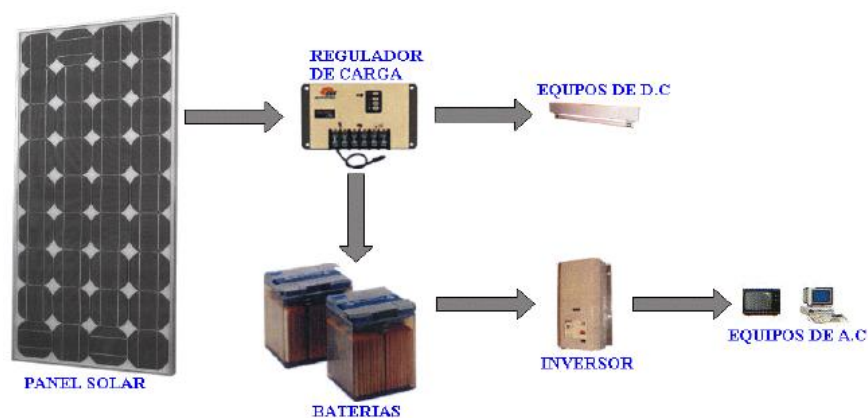
De acuerdo con (**CALVACHE ALARCÓN David y SOPALO MOPOSITA Juan, 2009**) mencionan que:

“Las instalaciones no conectadas a la red eléctrica, normalmente están equipadas con sistemas de acumulación de la energía producida (baterías). La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en las

horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche.”

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red se caracterizan por tener un sistema de acumulación de energía, para alimentar las cargas durante las horas de la noche en las cuales no se genera energía eléctrica; en el gráfico 1.14 se muestran los elementos que componen un sistema fotovoltaico aislado.

Gráfico 1. 14: SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO.



Fuente: (CALVACHE ALARCÓN David y SOPALO MOPOSITA Juan, 2009).

1.17.1.2. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red.

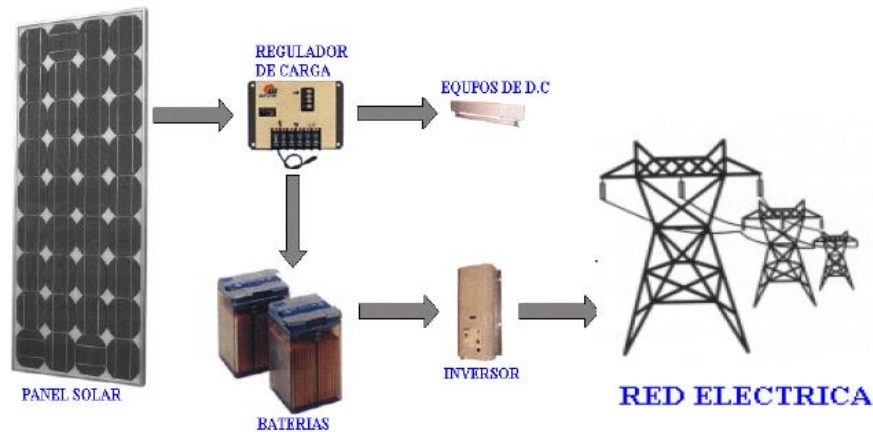
De acuerdo con (CALVACHE ALARCÓN David y SOPALO MOPOSITA Juan, 2009) mencionan que:

“Es una central que produce energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos, que debidamente convertida y transformada la energía eléctrica se conecta parcial o totalmente a la red eléctrica. Obsérvese en el gráfico 1.15, el esquema de instalación de un sistema conectado a red de generación fotovoltaica.”

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red se caracterizan por no ser indispensable la utilización del sistema de acumulación de energía, en el gráfico

1.15 se muestra la conexión de los elementos utilizados en un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Gráfico 1. 15: SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED.



Fuente: (CALVACHE ALARCÓN David y SOPALO MOPOSITA Juan, 2009).

1.18. Equipos de Medición de Radiación Solar

Los diferentes instrumentos para medir los parámetros solares son:

1.18.1. Piranómetro o Piranógrafo.

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Solarímetro también llamado Piranómetro, este instrumento se usa para medir radiación hemisférica total (directa y difusa) y generalmente en superficie horizontal. Los datos son graficados gracias al Piranógrafo. Este se utiliza a veces para medir la radiación incidente sobre superficies inclinadas y se dispone en posición invertida para medir la radiación global reflejada (albedo).

Para medir solamente la componente difusa de la radiación solar, la componente directa se cubre por medio de un sistema de pantalla o sombreado.”

En el gráfico 1.16 se muestra un piranómetro, es un instrumento con el cual se puede medir la radiación total incidente sobre una superficie, los valores dados por este instrumento vienen dados en W/m^2 .

Gráfico 1. 16: PIRANÓMETRO



Fuente: (El Postulante)

1.18.2. Heliógrafo

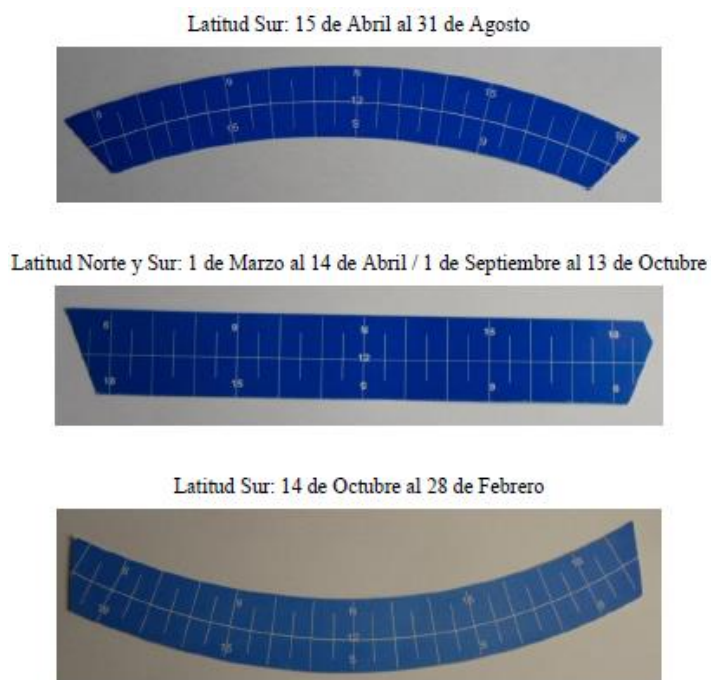
De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Este instrumento deja registrado en un gráfico las horas de sol, cuando la radiación alcanza nivel crítico. El heliógrafo está constituido por una esfera de vidrio de 10 cm de diámetro, montada concéntricamente en el interior de un casquete esférico, cuyo diámetro es tal que los rayos solares forman un foco muy intenso sobre una banda de cartulina encajada en unas ranuras del casquete.

Este lleva tres partes de ranuras paralelas en las cuales se pueden alojar tres clases de bandas diferentes según sea la estación del año.”

El heliógrafo es un elemento en el cual se registran las horas de sol, en el gráfico 1.17 se muestran los diferentes tipos de bandas utilizadas en el heliógrafo para las diferentes épocas del año.

Gráfico 1. 17: BANDAS DE CARTULINA PARA HELIÓGRAFO.



Fuente: (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014).

1.18.3. Pirheliómetro o Actinómetro

De acuerdo con (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014) mencionan que:

“Actinómetro también llamado pirheliómetro, es un instrumento que se usa para medir la radiación directa desde una parte del cielo, incluyendo el sol y en superficie perpendicular a los rayos solares. En los instrumentos modernos, esta última abarca un semiángulo de 2.5° aproximadamente a partir del centro del Sol.

Generalmente el sensor está dotado de un visor en el que un pequeño punto luminoso coincide con una marca situada en el centro del mismo cuando la superficie receptora se halla en posición exactamente perpendicular al haz solar directo.

Por lo que se precisa que todos los pirheliómetros vayan montados sobre un mecanismo que le permita un seguimiento muy preciso del Sol.”

En el gráfico 1.18 se muestra un actinómetro, el actinómetro es un instrumento que permite medir la radiación directa, cuenta con un visor en el cual un punto luminoso coincide con la mitad del instrumento, de esta manera se comprueba que la medición sea la correcta.

Gráfico 1. 18: ACTINÓMETRO



Fuente: (NÚÑEZ NÚÑEZ Manuel y SALAZAR MOLINA Carlos, 2014).

1.19. Beneficios ambientales de los sistemas fotovoltaicos

De acuerdo con (VILLACRÉS CAÑIZARES Luis y SUÁREZ TOSCANO Alex, 2011) mencionan que:

“Los principales beneficios asociados al uso de las tecnologías de generación eléctrica de energía solar son los siguientes:

- La energía solar fotovoltaica no emite carbono ni otros gases y partículas contaminantes, a diferencia de la quema de carbón de piedra, gas natural o petróleo (combustibles fósiles), de los que proviene el 60% de la generación eléctrica ecuatoriana.
- No presenta riesgos de emisiones radioactivas, a diferencia de la energía generada por fisión nuclear.

- No reduce el caudal de ríos y arroyos, a diferencia de las centrales hidroeléctricas.
- No generan ruido
- No consumen ni contaminan el agua
- Su generación energética no produce residuos
- La disponibilidad de combustible es ilimitada y no está sujeta a problemas logísticos, de suministro ni de agotamiento del recurso.
- Su generación es distribuida, eliminando los costos de construcción y servicio de infraestructura para transporte de energía e impactos ambientales asociados a la misma.”

La utilización de los sistemas fotovoltaicos genera grandes beneficios al medio ambiente ya que este tipo de sistemas no contaminan, la implementación de los sistemas fotovoltaicos es fundamental para los sectores alejados. De otra manera se tendría que talar árboles destruyendo la flora y fauna para llegar con las redes eléctricas.

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1. Entorno del lugar de investigación

2.1.1. Antecedentes históricos de la empresa o institución

En la provincia de Cotopaxi el anhelado sueño de tener una institución de Educación Superior se alcanza el 24 de enero de 1995. Las fuerzas vivas de la provincia lo hacen posible, después de realizar innumerables gestiones y teniendo como antecedente la Extensión que creó la Universidad Técnica del Norte.

El local perteneciente a la UNE-C fue la primera morada administrativa que tuvo la Universidad Técnica de Cotopaxi; luego las instalaciones del colegio Luis Fernando Ruiz que acogió a los entusiastas universitarios; posteriormente el Instituto Agropecuario Simón Rodríguez, fue el escenario de las actividades académicas; para finalmente instalarse en casa propia, merced a la adecuación de un edificio a medio construir que estaba principalmente destinado a ser un Centro de Rehabilitación Social.

En la actualidad son 5 hectáreas las que ocupa el campus de la Universidad Técnica de Cotopaxi y 82 hectáreas ocupa el Centro de Experimentación, Investigación y Producción Salache. Se ha definido con claridad la postura institucional ante los dilemas internacionales y locales; es una entidad que por

principio defiende la autodeterminación de los pueblos, respetuosa de la equidad de género.

En estos 20 años de vida institucional la madurez ha logrado ese crisol emancipador y de lucha en bien de la colectividad, en especial de la más apartada y urgida en atender sus necesidades. El nuevo reto institucional cuenta con el compromiso constante de sus autoridades hacia la calidad y excelencia educativa.

2.1.2. Filosofía institucional

2.1.2.1. Misión

“La misión de la Universidad Técnica de Cotopaxi, es principalmente ser pública, laica y gratuita, con plena autonomía, es pionera en desarrollar una educación para la emancipación; forma profesionales humanistas y de calidad; con un elevado nivel académico, científico y tecnológico; sobre la base de los principios de solidaridad, justicia, equidad y libertad, genera y difunde el conocimiento, la ciencia, el arte y la cultura a través de la investigación científica; y se vincula con la sociedad para contribuir a la transformación social-económica del país para lograr una sociedad justa y equitativa.”

2.1.2.2. Visión

“La visión de la Universidad Técnica de Cotopaxi, es ser líder a nivel nacional en la formación integral de profesionales críticos, solidarios y comprometidos en el cambio social; en la ejecución de proyectos de investigación que aporten a la solución de los problemas de la región y del país, en un marco de alianzas estratégicas nacionales e internacionales; dotada de infraestructura física y tecnología moderna, de una planta docente de y administrativa de excelencia a tiempo completo; que mediante un sistema integral de gestión le permita garantizar la calidad de sus proyectos y alcanzar reconocimiento social.”

2.1.3. Análisis de la infraestructura tecnológica de la institución

La Universidad Técnica de Cotopaxi, se ha planteado como reto, constituirse en una universidad docente-investigativa; siendo necesario fortalecer esta función de forma que permita crear y ampliar el conocimiento científico y tecnológico de los estudiantes, así como diagnosticar la problemática social, cultural, económica y productiva de la región y del país para incidir en su desarrollo.

Con este propósito se ha conformado el Comité de Investigación de la UTC, se han definido las líneas prioritarias de investigación de acuerdo a los requerimientos institucionales y con pertinencia a las necesidades de desarrollo de la provincia, la región y el país. Adicionalmente se conformaron equipos inter y multidisciplinarios de docentes vinculados a la investigación en cada una de las Unidades Académicas, actualmente son 35 docentes dedicados a la actividad investigativa.

La capacitación en investigación es una política institucional de acción permanente, esto permite al talento humano mejorar sus capacidades y potencialidades, los docentes investigadores han participado en los cursos y talleres de elaboración de proyectos de investigación científica, desarrollo e innovación tecnológica dictados por expertos y organizaciones como la SENESCYT y la SENPLADES.

En este contexto el Centro de Investigación, se encuentra ejecutando proyectos de investigación que logren un impacto positivo en la comunidad y que además cuenten con la participación de los sectores sociales, entre ellos se puede mencionar:

La Dirección de Investigación viene trabajando en proyectos que involucran a las Carreras de las tres Unidades Académicas de la Universidad, mismos que se encuentran en diferentes etapas de ejecución, como también proyectos que ha finalizado la toma de datos y han iniciado la elaboración del informe final, o se

encuentran en proceso de publicación de resultados, como también proyectos que buscan financiamiento para su ejecución.

2.1.4. Unidades Académicas

La Universidad Técnica de Cotopaxi dispone de diferentes carreras, las cuales están distribuidas en varias unidades académicas las cuales son:

- Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.
- Unidad Académica de Ciencias Administrativas y Humanísticas.
- Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

2.1.5. Carrera de Ingeniería Eléctrica

La Carrera de Ingeniería Eléctrica es una de las más importantes en la Universidad Técnica de Cotopaxi, forma profesionales integrales, cuyos conocimientos se desarrollan en los ámbitos de la operación, planificación, diseño y construcción de sistemas eléctricos; están capacitados para desenvolverse de manera eficiente en cada una las áreas mencionadas.

El Ingeniero Eléctrico tiene una base sólida de formación técnica y administrativa, puede desempeñarse en el sector público como privado, enfocado en la administración y manejo de los sistemas eléctricos de potencia y distribución, asegurando su adecuado funcionamiento.

Se adapta a los cambios y condiciones del entorno, orientado al fortalecimiento de la matriz energética con un criterio de desarrollo sostenible y sustentable, además tiene la capacidad del manejo de energías convencionales y no convencionales, misma que permita aportar al buen vivir de la sociedad.

La carrera dispone de una planta docente que cuenta con títulos profesionales de cuarto nivel y amplia experiencia en el área eléctrica; con infraestructura y

laboratorios para la ejecución de las actividades teórico – prácticas; fortaleciendo los convenios para pasantías y prácticas pre profesionales a nivel nacional e internacional, lo que permitirá mantener una transferencia de conocimientos bidireccional con la sociedad.

2.2. Diseño Metodológico

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la investigación de campo, investigación descriptiva e investigación bibliográfica. Además se utilizó los siguientes métodos y técnicas.

2.2.1. Métodos de la investigación

2.2.1.1. Método Científico

La aplicación de este método fue muy importante, este método permitió explicar los fenómenos naturales que ocurrieron durante el proceso investigativo detallando las variables relacionadas.

2.2.1.2. Método Analítico

Mediante este método se pudo conocer de mejor manera sobre los sistemas fotovoltaicos, para posteriormente poder: explicar, establecer teorías y comprender su comportamiento.

2.2.1.3. Método Hipotético Deductivo

Se utilizó este método para disponer de un conocimiento científico siguiendo varios pasos esenciales: la observación del fenómeno a estudiar, la creación de una hipótesis para explicar el fenómeno, la deducción de consecuencias y la verificación del comportamiento de un sistema fotovoltaico al tener variaciones tanto de radiación incidente como de carga.

2.2.1.4. Método Bibliográfico

Con este método se realizó la recopilación bibliográfica de libros, manuales e internet, con la que se cuenta esto es importante para la investigación a realizar, debido a que el método bibliográfico recoge tanto los acontecimientos como las valorizaciones, esto ayudó a realizar los procesos del proyecto en forma adecuada.

2.2.2. Tipos de investigación

2.2.2.1. Investigación de Campo

Se realizó la investigación de campo para los elementos que componen el sistema fotovoltaico, a los cuales se les tomo mediciones para recopilar información y características de cada elemento.

2.2.2.2. Investigación Descriptiva

Con este tipo de investigación y la utilización del método de análisis, se pudo conocer la situación de cada componente del sistema fotovoltaico cuando esté expuesto a variaciones, con la finalidad que los datos obtenidos puedan servir para ampliar el conocimiento de los estudiantes mediante prácticas de laboratorio.

2.2.2.3. Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación fue utilizada para obtener información del ensamblaje, construcción y cálculos de los diferentes elementos que componen un sistema fotovoltaico; esta información se pudo obtener mediante la revisión de libros, textos, fuentes electrónicas, los cuales permitieron realizar de mejor manera el trabajo investigativo.

2.2.3. Técnicas

2.2.3.1. La Percepción

Mediante esta técnica, se realizó mediciones de voltajes, corrientes y potencias, parámetros necesarios para realizar el análisis del proyecto.

2.2.3.2. La Observación

Esta técnica se la realizó cuidadosamente, ya que mediante la observación se obtuvo la mayor cantidad de datos, esta técnica fue de mucha ayuda cuando el sistema fotovoltaico fue expuesto a variaciones de radiación solar y de carga.

2.2.3.3. Lectura Comprensiva

La aplicación de la lectura comprensiva permitió adquirir conocimientos para generar nuevas teorías, se utilizó en el marco teórico de la tesis, mediante esta técnica se pudo comprender de mejor manera el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

2.2.3.4. La Entrevista

Esta técnica consiste en entablar un dialogo entre el entrevistador y el entrevistado para obtener más información sobre un determinado tema, esta técnica se aplicó a los docentes que imparten el tema de sistemas fotovoltaicos a los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.2.3.5. La Encuesta

Es una técnica de recolección de datos mediante la aplicación de un cuestionario, esta técnica se aplicó a los estudiantes de los últimos ciclos de la carrera de Ingeniería Eléctrica, mediante un formulario de preguntas correspondientes al

tema “Ensamblaje de un sistema fotovoltaico, para el análisis técnico del comportamiento de este sistema cuando se varia la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo, Universidad Técnica de Cotopaxi, 2014”.

2.2.4. Instrumentos

2.2.4.1. Ficha de Entrevista

La ficha de entrevista consiste en un listado de preguntas que se las realizaran al entrevistado, en la misma se anotará la interpretación del entrevistado.

2.2.4.2. Cuestionario de Encuesta

Consiste en un banco de preguntas diseñadas por el investigador para recopilar información y determinar datos específicos, para conocer si la propuesta presentada causa interés.

Una vez diseñado el cuestionario se validó por el Ing. Xavier Proaño Director de la tesis el cual emitió juicios y aportes para enriquecer este instrumento de investigación.

Ya realizadas las correcciones se procede a la autorización por parte de las autoridades para la aplicación de este instrumento de investigación. Luego de completar la recolección de información los resultados se representan mediante gráficos y tablas empleando una herramienta del software (Excel).

2.2.4.3. Ficha de Observación

Consiste en la verificación de algunas interrogantes, mediante de la visualización directa de los equipos e instalaciones donde se realizará el estudio.

2.2.4.4. Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos consiste en la combinación de una tarjeta principal y una tarjeta Arduino, las cuales ayudan a obtener las curvas características del módulo fotovoltaico.

2.2.4.5. Fuentes de Información

Las principales fuentes de información tomadas en cuenta para el trabajo de investigación fueron: docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi, también se utilizaron fuentes de información como libros, textos entre otras.

2.3. Población y muestra

Para la obtención de datos se tomó en cuenta a Docentes que dominan e imparten la materia de energías renovables y a los estudiantes del octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considerando principalmente a los estudiantes que han recibido la materia de Energías Renovables con el fin de obtener información mucho más confiable. La muestra que se tomó para el presente trabajo investigativo fueron 33 estudiantes de un universo de 447 estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica.

2.4. Operacionalización de variables

Variable Independiente: Ensamblaje de un sistema fotovoltaico.

Tabla 2. 1: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

Definición	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Ensamblaje es la unión de varias piezas que forman parte de un sistema fotovoltaico.	Radiación solar incidente en el sistema.	Tipo de práctica a realizar. Diseño del esquema.	Esquemas Memoria Técnica Curvas Características de (I- V). Encuestas Entrevistas

Fuente: (El Postulante).

Variable Dependiente: Análisis técnico del comportamiento de este sistema cuando se varía la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo.

Tabla 2. 2: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

Definición	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Análisis de la curva características de un sistema fotovoltaico al ser expuesto a variaciones tanto de radiación incidente como de carga.	Potencia Voltaje Corriente	Vatios (W) Vatio-hora (Wh) Voltios (V) Amperios (A) Corriente y voltaje de cortocircuito (I _{cc} - V _{cc}) Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	Tablas Multímetro Piranómetro Software LabVIEW

Fuente: (El Postulante).

2.5. Análisis e Interpretación de Resultados

2.5.1. Resultados y análisis de la Entrevista

Esta técnica se la aplico a los docentes que dominan e imparten la materia de energías renovables, dentro de las cuales se encuentra la energía solar.

El principal objetivo de esta entrevista es verificar la factibilidad del proyecto con el tema “Ensamblaje de un Sistema Fotovoltaico, para el análisis técnico del comportamiento de este sistema cuando se varia la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo, Universidad Técnica de Cotopaxi, 2014”.

Análisis

Después de revisar los resultados obtenidos de las entrevistas se determinó que es indispensable la implementación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio, ya que esto permitirá realizar un correcto dimensionamiento y caracterización de los paneles, así como visualizar los efectos de las variables involucradas en un sistema fotovoltaico.

El aprendizaje de los estudiantes mejorará al contar con un módulo didáctico que permita explicar de mejor manera los efectos de la radiación solar frente a la producción de energía. Los parámetros que se deben visualizar con este sistema son la eficiencia de generación fotovoltaica, las curvas I-V de los paneles a diferentes niveles de radiación y en diferentes configuraciones (Serie – Paralelo) así como los efectos de la sombra sobre el panel.

2.5.2. Resultados y análisis de la Encuesta

Encuesta para estudiantes de los ciclos superiores de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.5.2.1. Análisis e Interpretación por pregunta

Pregunta N° 1 ¿Piensa usted que debería existir un laboratorio en el cual se pueda demostrar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos?

Los resultados obtenidos son:

Tabla 2. 3: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #1.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Si	30	90,9
2	No	3	9,1
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Gráfico 2. 1: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #1.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Análisis e Interpretación

La primera pregunta contempla conocer si se debería tener un laboratorio en el cual se pueda demostrar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos, como se puede observar en el gráfico 2.1 del 100% de los estudiantes encuestados su mayoría representada por 30 estudiantes los cuales equivalen al 91%, están de acuerdo con la implementación de un laboratorio se demuestre el comportamiento de un sistema fotovoltaico. Con los datos obtenidos se puede confirmar la necesidad de implementar un sistema fotovoltaico con el cual se pueda realizar prácticas demostrativas del comportamiento de estos sistemas cuando existan variaciones.

Pregunta N° 2 ¿Tiene experiencia en el ensamblaje de sistemas fotovoltaicos?

Los resultados obtenidos son:

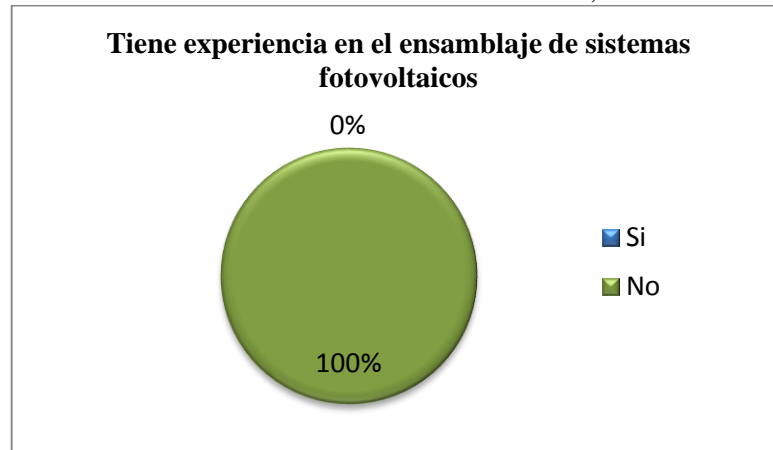
Tabla 2. 4: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #2.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Si	0	0,0
2	No	33	100,0
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Gráfico 2. 2: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #2.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Análisis e Interpretación

La segunda pregunta contempla conocer la experiencia que se tiene en el ensamblaje de sistemas fotovoltaicos, en el gráfico 2.2 se puede observar que del 100% de los estudiantes encuestados, representados por 33 estudiantes del octavo y noveno ciclo de la carrera de Ingeniería Eléctrica que equivalen al 100% manifestaron que no tienen conocimientos en el ensamblaje de sistemas fotovoltaicos.

De acuerdo a los datos obtenidos se puede confirmar la necesidad de implementar un sistema fotovoltaico con el cual se pueda realizar prácticas demostrativas.

Pregunta N° 3 ¿Cuántas horas académicas Ud. recibe de energías alternativas, en la carrera de Ingeniería Eléctrica?

Los resultados obtenidos son:

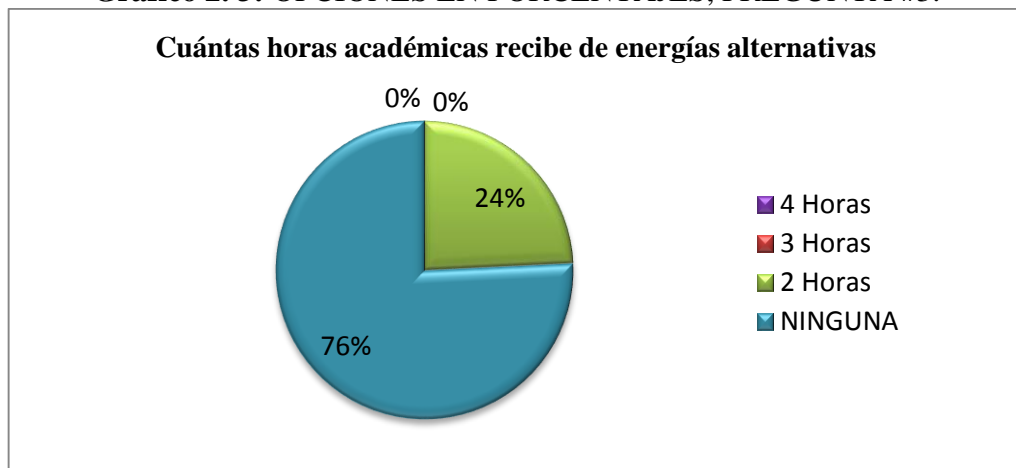
Tabla 2. 5: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #3.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	4 Horas	0	0,0
2	3 Horas	0	0,0
3	2 Horas	8	24,2
4	NINGUNA	25	75,8
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Gráfico 2. 3: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #3.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Análisis e Interpretación

La tercera pregunta contempla conocer la carga horaria que tienen los estudiantes en energías alternativas, como se aprecia en el gráfico 2.3 del 100% de los estudiantes encuestados un 24% han determinado que reciben 2 horas/semana y un 76% determino recibir 0 horas/semana. Este resultado se debe a que el 24% de los estudiantes son del noveno semestre y el 76% son del octavo semestre esto demuestra que la asignatura de energías alternativas está contemplada en el noveno semestre.

Pregunta N° 4 ¿Cree usted necesario que debería darse más horas para el estudio de energías alternativas?

Los resultados obtenidos son:

Tabla 2. 6: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #4.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Si	32	97,0
2	No	1	3,0
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Gráfico 2. 4: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #4.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Análisis e Interpretación

La cuarta pregunta contempla conocer la necesidad de aumentar la carga horaria que tienen los estudiantes en energías alternativas, en el gráfico 2.4 se puede observar que del 100% de los estudiantes encuestados un 97% que representa a 32 estudiantes del octavo y noveno ciclo han manifestado que si se debería ampliar la carga horaria en la asignatura de energías alternativas. Al aumentar la carga horaria en la asignatura de energías alternativas se podría fortalecer de mejor manera los conocimientos adquiridos por los estudiantes.

Pregunta N° 5 ¿Piensa Ud. que el análisis del comportamiento de un sistema fotovoltaico debe realizarse con herramientas de fácil uso y comprensión?

Los resultados obtenidos son:

Tabla 2. 7: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #5.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Si	31	93,9
2	No	2	6,1
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Gráfico 2. 5: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #5.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Análisis e Interpretación

La quinta pregunta contempla conocer si el análisis del comportamiento de un sistema fotovoltaico debería realizarse con herramientas de fácil uso y comprensión, en el gráfico 2.5 se visualiza que del 100% de los estudiantes encuestados un 94% está de acuerdo con el uso de herramientas de fácil uso y comprensión. Con los datos obtenidos se puede utilizar los equipos e instrumentos de medición con los que se puede contar en el laboratorio al momento de realizar prácticas demostrativas.

Pregunta N° 6 Según su criterio, de las siguientes alternativas ¿Cuál facilitaría el aprendizaje de los sistemas fotovoltaicos?

Los resultados obtenidos son:

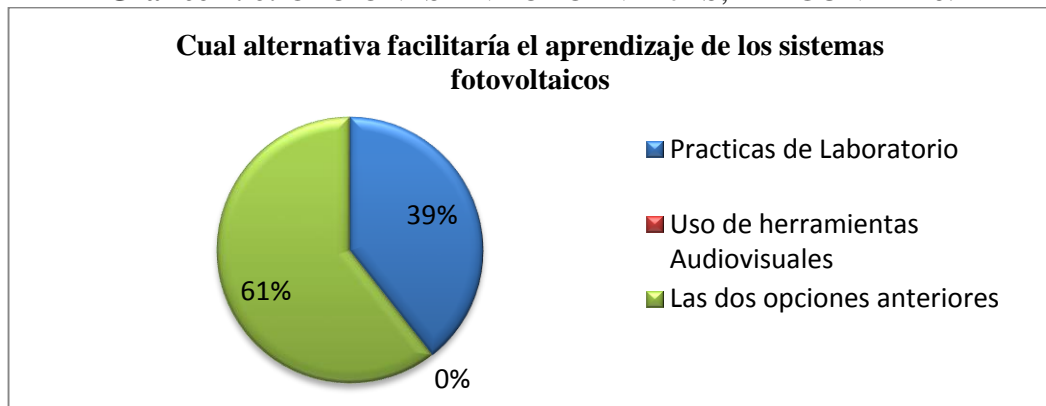
Tabla 2. 8: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #6.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Practicas de Laboratorio	13	39,4
2	Uso de herramientas Audiovisuales	0	0,0
3	Las dos opciones anteriores	20	60,6
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Gráfico 2. 6: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #6.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Análisis e Interpretación

La sexta pregunta contempla conocer cual alternativa facilitará el aprendizaje de los sistemas fotovoltaicos, en el gráfico 2.6 se puede observar que del 100% de los estudiantes encuestados, un 39% manifiesta que las prácticas de laboratorio es la mejor alternativa, y un 61% cree que la realización de prácticas de laboratorio y uso de herramientas audiovisuales son las alternativas para facilitar el aprendizaje de los estudiantes. Con la implementación de un sistema fotovoltaico los estudiantes tendrán la oportunidad de realizar prácticas para fortalecer los conocimientos obtenidos con las otras herramientas implementadas por los docentes.

Pregunta N° 7 ¿Es necesario implementar material didáctico en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro del área de energías renovables?

Los resultados obtenidos son:

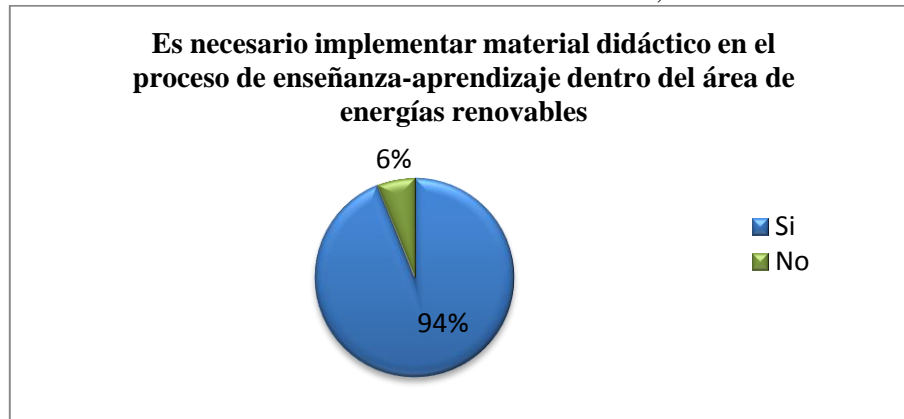
Tabla 2. 9: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #7.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Si	31	93,9
2	No	2	6,1
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Gráfico 2. 7: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #7.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Análisis e Interpretación

La séptima pregunta contempla conocer la necesidad de implementar material didáctico en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro del área de energías renovables, en el gráfico 2.7 del 100% de los estudiantes encuestados, en su mayoría representados por 31 estudiantes del octavo y noveno ciclo que equivale al 94% manifiestan que si se debería implementar material didáctico para el aprendizaje de energías alternativas. Los resultados permiten determinar la necesidad de elaborar unas guías de laboratorio para realizar prácticas demostrativas del comportamiento de un sistema fotovoltaico al ser expuesto a variaciones.

Pregunta N° 8 ¿Piensa Ud. que los altos costos de los elementos que conforman un sistema fotovoltaico limitan su acceso a nivel estudiantil?

Los resultados obtenidos son:

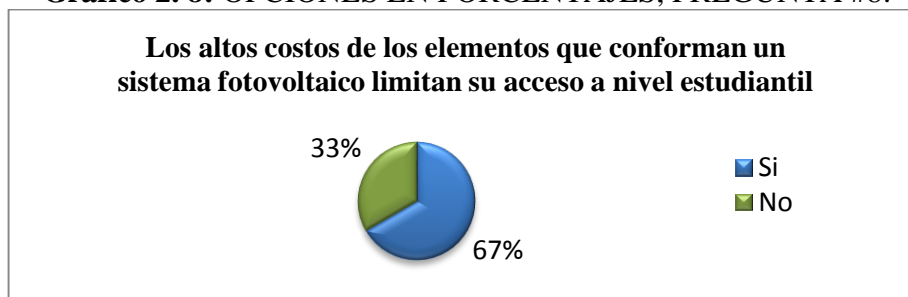
Tabla 2. 10: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #8.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Si	22	66,7
2	No	11	33,3
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante).

Gráfico 2. 8: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #8.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante)

Análisis e Interpretación

La octava pregunta contempla conocer si los altos costos de los elementos que conforman un sistema fotovoltaico limitan su acceso a nivel estudiantil, en el gráfico 2.8 se puede apreciar que del 100% de los estudiantes encuestados, 22 estudiantes del octavo y noveno ciclo que representan un 67% manifiestan que los altos costos de los sistemas fotovoltaicos limitan el acceso a nivel estudiantil, el otro 33% que representa a 11 estudiantes manifiestan que los altos costos no es un limitante al acceso estudiantil. Los resultados obtenidos permiten observar que para la mayoría de los estudiantes es difícil acceder a este tipo de tecnología, el motivo es que una gran parte de los estudiantes que acuden a la Universidad Técnica de Cotopaxi vienen de los sectores más vulnerables de la sociedad, de ahí el gran aporte de la Universidad con la sociedad que brinda educación de calidad gratuita.

Pregunta N° 9 ¿Cree Ud. que es necesario la implementación de un sistema fotovoltaico que sirva como un complemento a los conocimientos recibidos en las aulas?

Los resultados obtenidos son:

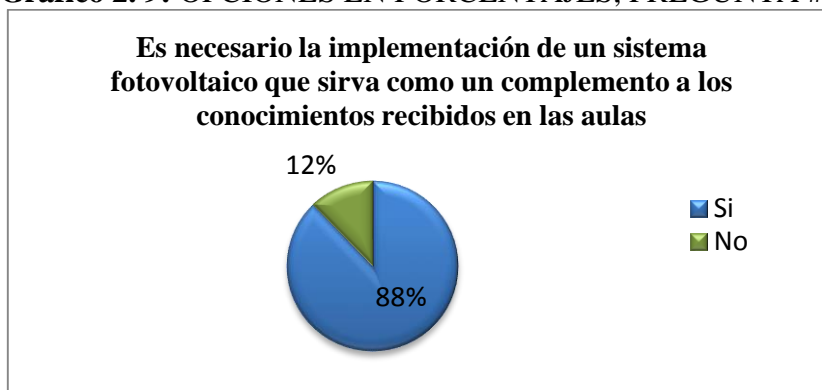
Tabla 2. 11: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #9.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Si	29	87,9
2	No	4	12,1
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 2. 9: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #9.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante)

Análisis e Interpretación

La novena pregunta contempla conocer si es necesaria la implementación de un sistema fotovoltaico que sirva como un complemento a los conocimientos recibidos en las aulas, en el gráfico 2.9 se visualiza que del 100% de los estudiantes encuestados, un 88% está de acuerdo con la implementación de un sistema fotovoltaico.

Los resultados obtenidos indican que es necesario familiarizarse con los sistemas fotovoltaicos para luego poner en práctica los conocimientos adquiridos y despejar cualquier incógnita al momento de realizar prácticas demostrativas.

Pregunta N° 10 ¿Considera Ud. importante para su desarrollo profesional tener la oportunidad de experimentar con equipos que utilicen energía solar?

Los resultados obtenidos son:

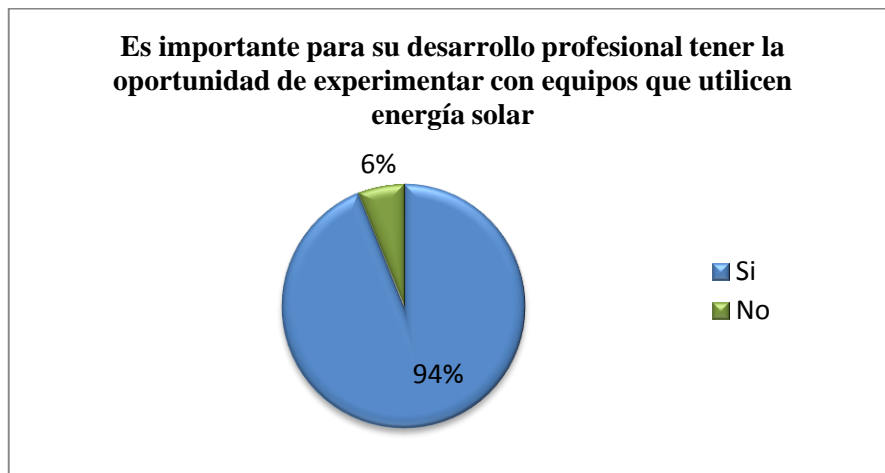
Tabla 2. 12: VALORIZACIÓN DE OPCIONES, PREGUNTA #10.

ITEM	ALTERNATIVAS	VALOR	%
1	Si	31	93,9
2	No	2	6,1
Total		33	100

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 2. 10: OPCIONES EN PORCENTAJES, PREGUNTA #10.



Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante)

Análisis e Interpretación

La décima pregunta contempla conocer la importancia para el desarrollo profesional teniendo la oportunidad de experimentar con equipos que utilicen energía solar, en el gráfico 2.10 del 100% de los estudiantes encuestados del octavo y noveno ciclo, un 94% de los estudiantes encuestados considera que si es importante para su desarrollo profesional el tener la oportunidad de experimentar con equipos que utilicen energía solar.

2.5.3. Observación

Esta técnica de investigación es otra técnica utilizada para saber la factibilidad del proyecto, esta técnica utiliza una ficha en la cual mediante la visualización directa se puede apreciar si se cuenta o no con los parámetros necesarios para realizar el proyecto.

2.5.3.1. Ficha de Observación

- 1) ¿La Universidad Técnica de Cotopaxi cuenta con espacio en el laboratorio de eléctrica para implementar un sistema fotovoltaico?
- 2) ¿Existe documentación técnica con la cual se puedan desarrollar estudios técnicos sobre sistemas fotovoltaicos?
- 3) ¿El Laboratorio de Eléctrica cuenta con sistemas fotovoltaicos los cuales permitan realizar prácticas demostrativas?

2.5.3.2. Resultado

La Universidad Técnica de Cotopaxi dispone del espacio suficiente en el laboratorio de eléctrica para la implementación de un sistema fotovoltaico. También cuenta con la documentación técnica con la cual se pueden desarrollar diversas practicas con los sistemas fotovoltaicos. En lo concerniente al sistema fotovoltaico, el laboratorio de eléctrica carece de un sistema fotovoltaico en el cual se puedan desarrollar prácticas demostrativas para reforzar los conocimientos adquiridos en las aulas.

2.6. Verificación de la Hipótesis

2.6.1. Modelo lógico

Tomando los datos obtenidos de las encuestas realizadas a los estudiantes del octavo y noveno ciclo de la carrera de Ingeniería Eléctrica, se obtuvieron las respuestas para realizar esta verificación de hipótesis. Al analizar e interpretar los resultados obtenidos mediante la técnica de la encuesta, tomando los datos de las preguntas con mayor relevancia para la verificación de la hipótesis:

El ensamblaje de un sistema fotovoltaico permitirá realizar el análisis técnico del comportamiento de este sistema cuando se varía la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo.

ho= El ensamblaje de un sistema fotovoltaico **NO** permitirá realizar el análisis técnico del comportamiento de este sistema cuando se varía la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo.

ha= El ensamblaje de un sistema fotovoltaico **SI** permitirá realizar el análisis técnico del comportamiento de este sistema cuando se varía la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo.

2.6.2. Modelo matemático

Hipótesis nula ho= Respuestas observadas = Respuestas esperadas.

Hipótesis alternativa ha= Respuestas observadas \neq Respuestas esperadas.

El valor de 0,05 es un valor establecido de acuerdo al nivel de confianza del 95%.

- Si $p >$ valor en la tabla (0,05) rechazamos la hipótesis nula de independencia. Esto significa que existe menos de un 5% de probabilidad de que la hipótesis nula sea cierta en nuestra población.

- Si $p < \text{valor en la tabla (0,05)}$ aceptamos la hipótesis nula de independencia. Esto significa que existe más de un 5% de probabilidad de que la hipótesis nula sea cierta en nuestra población y lo consideramos suficiente para aceptar.

2.6.3. Estadística de prueba

Se toma la fórmula del Chi-cuadrado para la verificación de la hipótesis, la encuesta se utilizó como técnica de investigación del proyecto. La comprobación se realiza escogiendo 7 preguntas consideradas las más relevantes como se aprecia en la tabla 2.13.

Tabla 2. 13: FRECUENCIA OBSERVADA

ÍTEM	PREGUNTA	OPCIÓN		TOTAL
		SI (fo)	NO (fo)	
1	Pregunta 1	30	3	33
2	Pregunta 2	0	33	33
3	Pregunta 5	31	2	33
4	Pregunta 7	31	2	33
5	Pregunta 8	22	11	33
6	Pregunta 9	29	4	33
7	Pregunta 10	31	2	33
8	TOTAL	174	57	231

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante)

Primero se procede a calcular los valores esperados mediante la fórmula de frecuencia esperada.

Frecuencia esperada

$$fe = \frac{tf * tc}{tg}$$

Dónde:

fe= frecuencia esperada

tf= total filas

tc= total columnas

tg= total general

En la tabla 2.14 se observan los datos de la frecuencia esperada, estos datos se obtienen reemplazando los datos de la frecuencia observada en la fórmula de frecuencia esperada.

Tabla 2. 14: FRECUENCIA ESPERADA

ÍTEM	PREGUNTA	OPCIÓN		TOTAL
		SI (fe)	NO (fe)	
1	Pregunta 1	24,857	8,143	33
2	Pregunta 2	24,857	8,143	33
3	Pregunta 5	24,857	8,143	33
4	Pregunta 7	24,857	8,143	33
5	Pregunta 8	24,857	8,143	33
6	Pregunta 9	24,857	8,143	33
7	Pregunta 10	24,857	8,143	33
8	TOTAL	174	57	231

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante)

Se procede a calcular los valores de Chi cuadrado mediante la siguiente fórmula.

Chi cuadrado

$$X_c = \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Dónde:

Xc= valor de Chi-cuadrado

f_o= frecuencia observada

f_e= frecuencia esperada

En la tabla 2.15 se observan los datos calculados del chi cuadrado.

Tabla 2. 15: RESOLUCIÓN DE CHI CUADRADO

PREGUNTA	OPCIÓN	fo	fe	(fo-fe)	(fo-fe) ²	Xc=(fo-fe) ² /fe
Pregunta 1	SI	30	24,857	5,143	26,449	1,064
	NO	3	8,143	-5,143	26,449	3,248
Pregunta 2	SI	0	24,857	-24,857	617,878	24,857
	NO	33	8,143	24,857	617,878	75,880
Pregunta 5	SI	31	24,857	6,143	37,735	1,518
	NO	2	8,143	-6,143	37,735	4,634
Pregunta 7	SI	31	24,857	6,143	37,735	1,518
	NO	2	8,143	-6,143	37,735	4,634
Pregunta 8	SI	22	24,857	-2,857	8,163	0,328
	NO	11	8,143	2,857	8,163	1,003
Pregunta 9	SI	29	24,857	4,143	17,163	0,690
	NO	4	8,143	-4,143	17,163	2,108
Pregunta 10	SI	31	24,857	6,143	37,735	1,518
	NO	2	8,143	-6,143	37,735	4,634
TOTAL						127,635

Fuente: Encuesta realizada a 8vo y 9no Ing. Eléctrica U.T.C

Elaborado por: (El Postulante)

2.6.3.1. Grados de libertad

Para el cálculo del grado de libertad se aplica la siguiente formula:

$$gl = (nr - 1) * (nc - 1)$$

Dónde:

gl= grado de libertad

nr= número de filas

nc= número de columnas

$$gl = (7 - 1) * (2 - 1)$$

$$gl = 6$$

2.6.3.2. Regla de decisión

Si $X^2c > X^2t$ se rechaza h_0 y se acepta h_1 . Con un nivel de significación del 5% y 6 de grado de libertad $X^2p = 12,5916$ como se aprecia en la tabla 2.16 se indica si la hipótesis h_0 o h_1 se acepta.

Tabla 2. 16: DISTRIBUCIÓN DE CHI – CUADRADO

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671

Fuente: (TAPIA ARIAS Andrés y VILCACUNDO BANDA Marco, 2014)

El valor de $X^2_c = 127,635 > X^2_p = 12,5916$ y de conformidad a lo que establece la regla de decisión se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa ya que el valor de X^2_c es mayor al valor de X^2_p .

De acuerdo a los datos obtenidos se puede afirmar que los estudiantes de ingeniería eléctrica apoyan el ensamblaje de un sistema fotovoltaico para realizar el análisis técnico del comportamiento de este sistema cuando se varía la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo.

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA ALTERNATIVA

3.1. Tema de la propuesta

“ENSAMBLAJE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE SISTEMA CUANDO SE VARIA LA RADIACIÓN INCIDENTE Y LAS CARGAS CON PREDOMINIO RESISTIVO, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2014”.

3.2. Presentación de la propuesta

En el capítulo anterior, mediante la aplicación de las técnicas de investigación se buscó establecer los parámetros necesarios para realizar este trabajo de investigación, una vez obtenidos todos los resultados se determinó la necesidad y la factibilidad para ejecutar este proyecto.

El documento ha sido realizado considerando algunas prácticas y procedimiento para la enseñanza del comportamiento de un sistema fotovoltaico cuando es expuesto a variaciones.

Con la realización de este proyecto de investigación los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi, podrán fortalecer los conocimientos teóricos realizando prácticas de laboratorio las mismas que les ayudarán a fortalecer sus conocimientos sobre sistemas fotovoltaicos los cuales deberán poner en práctica en algún momento de su vida profesional.

3.3. Justificación de la propuesta

El motivo del presente trabajo investigativo es realizar el ensamblaje de un sistema fotovoltaico para el análisis técnico del comportamiento de este sistema cuando se varía la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo para la Universidad Técnica de Cotopaxi, este sistema fotovoltaico podrá ser utilizado para realizar prácticas de laboratorio lo cual incentivará a los estudiantes a investigar y aplicar este tipo de energía.

La implementación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para realizar prácticas demostrativas es la justificación más importante del presente trabajo de investigación, siendo los estudiantes y docentes de la carrera de ingeniería eléctrica los principales beneficiados.

El análisis será realizado con la ejecución de las prácticas, se mostrará todos los resultados obtenidos por las mediciones y cálculos pertinentes, así se mejorará la comprensión sobre los sistemas fotovoltaicos.

Para el trabajo investigativo se utilizará una radiación controlada mediante reflectores ya que la toma de datos debe ser precisa y para esto es necesario que la radiación sea constante, la radiación directa del sol no puede ser utilizada ya que fluctúa constantemente. Y ya que la carrera de Ingeniería Eléctrica es en horario vespertino y nocturno las prácticas de laboratorio no se podrán realizar por la poca o nula radiación aprovechable en horas de la tarde y noche.

3.4. Objetivos de la propuesta

Al desarrollar el presente trabajo de investigación se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

3.4.1. General

- Analizar las curvas del comportamiento del sistema fotovoltaico ensamblado cuando se varía la radiación incidente y las cargas con predominio resistivo con los datos obtenidos de equipos e instrumentos de medición.

3.4.2. Específicos

- Realizar un sistema fotovoltaico el cual permita observar el comportamiento de los parámetros (I-V) en función a la radiación incidente.
- Obtener las curvas características del sistema fotovoltaico ensamblado mediante la representación grafica de los datos obtenidos tanto de las mediciones manuales como del programa labview.
- Comparar las curvas graficadas de las mediciones con las curvas graficadas del programa labVIEW.
- Elaborar de una guía didáctica para realizar diversas prácticas de laboratorio con corriente continua, la cual se obtendrá de un sistema fotovoltaico.

3.5. Descripción de la Investigación

El principal propósito del presente trabajo investigativo es permitir realizar el análisis técnico del comportamiento de un sistema fotovoltaico cuando existan variaciones en el sistema. De esta manera se trata de reforzar la enseñanza y aprendizaje de los estudiantes por medio de prácticas de laboratorio.

3.5.1. Ictance de la propuesta

Mediante el ensamblaje de este sistema fotovoltaico se obtiene una energía 100% limpia, además este proyecto permite que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica experimenten el comportamiento de un sistema fotovoltaico y complementen los conocimientos teóricos aprendidos en las aulas, de esta manera los estudiantes adquieren conocimientos como:

- Conocer los parámetros de funcionamiento de un sistema fotovoltaico.
- Visualizar y entender cómo funciona cada elemento de un sistema fotovoltaico.
- Conocer el comportamiento de un sistema fotovoltaico cuando ocurran variaciones en la radiación incidente y en la carga.

3.5.2. Limitaciones de la Investigación

Dentro de las limitaciones que se tuvo para la investigación se tiene:

- Ser el primer sistema fotovoltaico para la obtención de curvas implementado en la Universidad.
- Los costos de los materiales requeridos para realizar este proyecto investigativo.
- Para encontrar los materiales requeridos para este trabajo se tuvo que viajar a otra ciudad.

3.5.3. Impacto de la Investigación

El principal impacto de la investigación es a nivel educativo ya que con la implementación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio de prácticas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, el docente y los estudiantes pueden interactuar de una manera más directa los temas concernientes a la energía fotovoltaica por medio de prácticas de laboratorio.

3.5.4. Identificación de los Actores

Docentes: los docentes son las personas que interactúan constantemente con la materia de energías alternativas, por esta razón son las personas idóneas para ayudar a los estudiantes a realizar cálculos y prácticas, ya que ellos pueden manipular los sistemas fotovoltaicos en su totalidad.

Estudiantes: personas que pueden acceder al sistema fotovoltaico, tienen la posibilidad de realizar prácticas de laboratorio para facilitar la utilización de estos sistemas en su vida profesional, también puede visualizar el comportamiento de un sistema fotovoltaico cuando existan variaciones. En la tabla 3.1 se muestran los usos del sistema fotovoltaico, los actores que intervienen y la descripción de lo que se logra mediante los usos.

Tabla 3. 1: USOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

USO	ACTORES	DESCRIPCIÓN
Manejo del sistema fotovoltaico	Docentes / Estudiantes	Conocer el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos
Ensamblaje de un sistema fotovoltaico	Docentes / Estudiantes	Identificar los componentes y su función de un sistema fotovoltaico

Fuente: (El Postulante).

3.6. Programa labVIEW

3.6.1. Descripción

Este programa fue creado por National Instruments en 1976. LabVIEW es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar diversos sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Este programa es recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real. El lenguaje que usa este programa es el llamado lenguaje G, donde la G simboliza que se trata de un lenguaje gráfico.

Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. Por este motivo los programas creados en LabVIEW se guardarán en ficheros llamados VI y con la misma extensión.

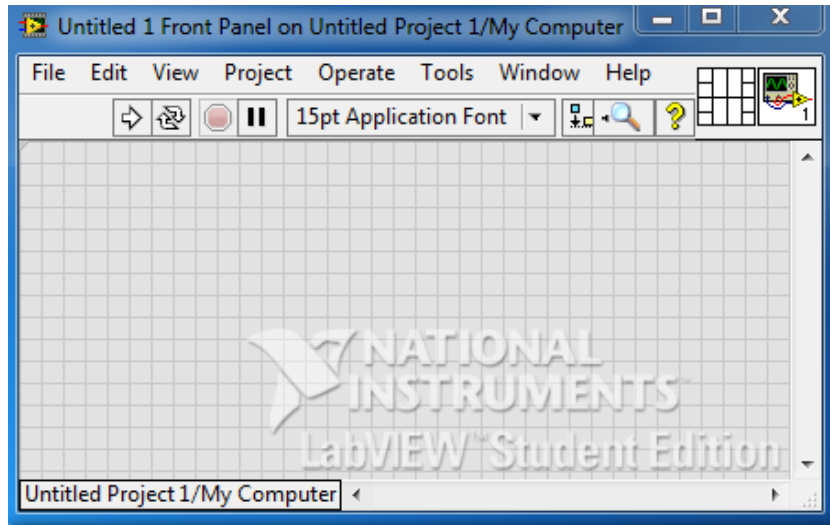
Este programa es muy utilizado en la industria entre sus aplicaciones se tiene; el control de líneas de producción, brazos robóticos, cerraduras, centrales fotovoltaicas, etc.

También relacionado con este concepto se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, etc. y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente.

- **Panel Frontal**

Se trata de la interfaz gráfica del VI y de interés visual para el usuario una vez que se ejecute el VI. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. El panel suele tener un fondo gris. En el gráfico 3.1 se observa el panel frontal del programa labVIEW.

Gráfico 3. 1: PANEL FRONTAL



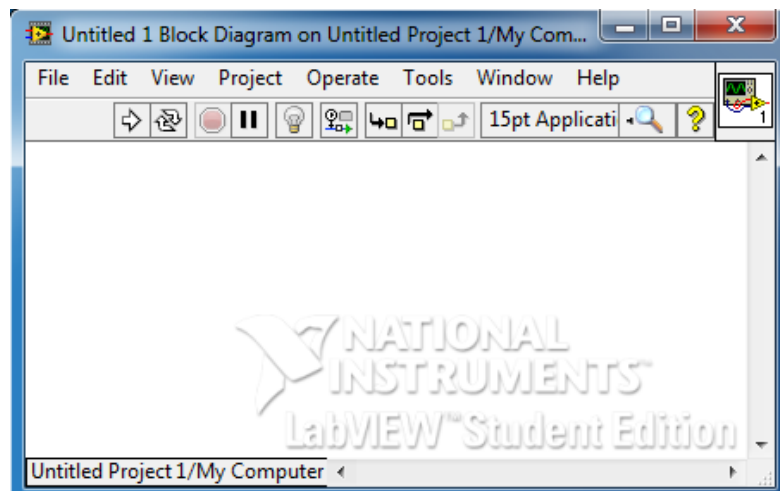
Fuente: (LabVIEW, 2012).

- **Diagrama de Bloques**

Es donde se realiza la programación y suele tener fondo blanco. En él se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

En el gráfico 3.2 se observa la ventana del diagrama de bloques del programa labVIEW.

Gráfico 3. 2: DIAGRAMA DE BLOQUES



Fuente: (LabVIEW, 2012).

3.6.2. Menús (Paletas)

- **Paleta de Herramientas**

Mediante la paleta de herramientas se puede seleccionar el instrumento que se desea usar, esto hace cambiar el tipo de cursor del ratón. Para acceder a la paleta de herramientas vaya a View > Tools Palette. En el gráfico 3.3, se puede ver la paleta de herramientas con 11 botones.

Gráfico 3. 3: PALETA DE HERRAMIENTAS



Fuente: (LabVIEW, 2012).

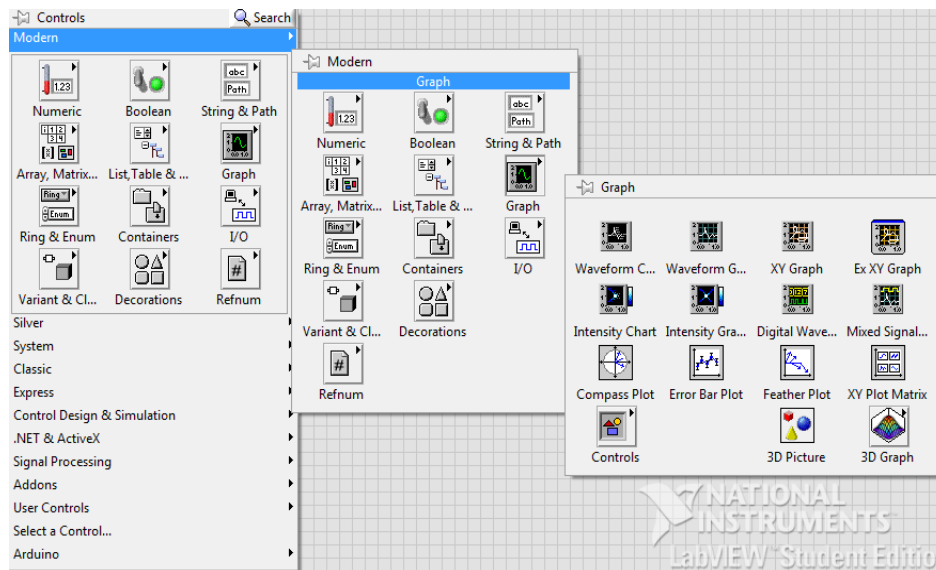
- **Paleta de Controles**

El menú que aparece en el Panel Frontal es el menú de controles, en él se pueden seleccionar los terminales que servirán para interactuar con el usuario. Los terminales se dividen en controles e indicadores, aunque a veces se les suele llamar a todos genéricamente controles.

Los controles propiamente dichos son las entradas de datos y los indicadores las salidas. Están clasificados según su estilo en varios submenús: Modern, System y Classic ver gráfico 3.4.

Dentro de cada submenú hay otros menús que clasifican los controles por el tipo de datos. Los más usados son los que sirven para dibujar gráficas (Graph) y los de la primera fila del submenú Modern.

Gráfico 3. 4: PALETA DE CONTROLES.



Fuente: (LabVIEW, 2012).

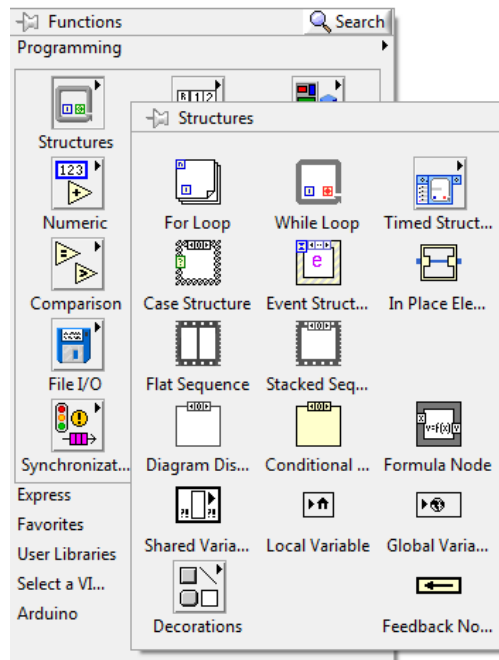
- **Paleta de Funciones**

Esta paleta es la que se muestra al trabajar sobre el Diagrama de Bloques, en ella se puede acceder a las diferentes funciones, subVIs y estructuras disponibles. Al igual que en el menú de controles, en este también hay varios submenús que se despliegan dependiendo de la aplicación.

Las funciones más usadas son las del submenú Programming ver gráfico 3.5.

El primero de los submenús de Programming es Structures. Contiene elementos que son equivalentes a las instrucciones de control de los lenguajes convencionales.

Gráfico 3. 5: PALETA DE FUNCIONES.



Fuente: (LabVIEW, 2012).

3.6.3. Creación y Ejecución de Programas

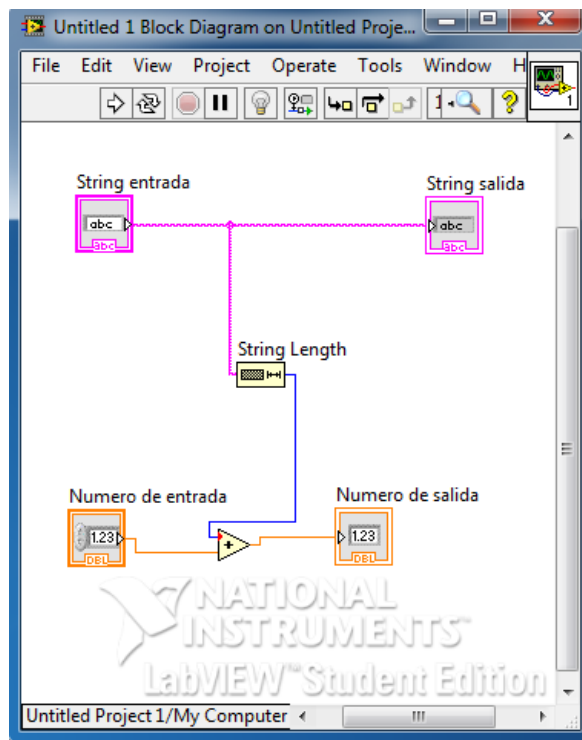
En LabVIEW la programación se realiza en el Diagrama de Bloques. Un programa habitualmente está formado por:

- 1. Controles:** sirven de entrada para los datos.
- 2. Funciones, VIs y estructuras:** realizan una o varias operaciones con esos datos.
- 3. Indicadores:** sirven de salida para los datos.

Los datos “circulan” por el programa mediante cables, que sirven para unir unos elementos con otros. Para realizar la conexión se utiliza la herramienta Connect Wire de la paleta de herramientas. Un cable tendrá una única fuente (control, constante o salida de otro elemento) y uno o varios destinos (indicador o entradas de otros elementos) de tipos compatibles. El cableado, en general, debe ser lo más corto posible manteniendo una claridad suficiente.

Una opción útil que aparece en el menú contextual de los cables es Clean Up Wire que realiza un trazado automático de la ruta del cable. Un buen trazado del cableado no sólo es más elegante sino que también puede hacer que el programa tenga prestaciones superiores en cuanto a memoria utilizada.

Gráfico 3. 6: EJEMPLO DE PROGRAMA EN LABVIEW.

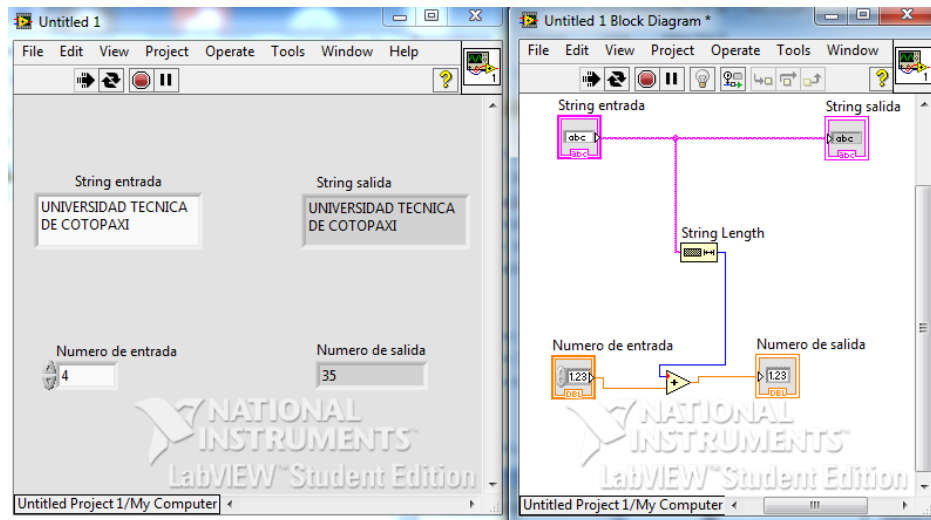


Fuente: (LabVIEW, 2012).

En el gráfico 3.6, puede verse un programa en LabVIEW. Este consta de dos entradas, una de tipo string y otra numérica. La función String Length obtiene el número de caracteres de la entrada de texto, esa cantidad es numérica y se suma a la otra entrada mediante la función Add. El programa tiene dos salidas, la primera de ellas es una copia duplicada de la entrada tipo string y la segunda es la suma de la longitud de la anterior más la entrada numérica.

Una vez creado el programa se deben introducir los datos iniciales en los controles del Panel Frontal, ejecutarlo presionando el botón Run o las teclas (CTRL+R) y cuando acabe ver los resultados en los indicadores. El gráfico 3.7, muestra la ejecución del programa anterior.

Gráfico 3. 7: EJECUCIÓN DEL PROGRAMA.



Fuente: (LabVIEW, 2012).

3.6.4. Adquisición de datos

La adquisición de datos, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un computador (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de variables físicas (generalmente accedidas mediante sensores y transductores), convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un computador u otro tipo de sistema.

Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. National Instruments cuenta con varios tipos de sistemas de adquisición de datos, que por lo general tienen forma de módulos o tarjetas que pueden ser conectados al computador mediante los puertos (paralelo, serie, USB, Ethernet) o ranuras de las tarjetas conectadas (PCI, PXI, ISA) en la placa madre.

Las tarjetas DAQ (*Data Acquisition*) son las más empleadas para adquisición de datos. Las capacidades comunes que suelen tener las tarjetas DAQ y las tarjetas sBRIO son:

- Generación y adquisición de señales analógicas.
- Generación y adquisición de señales digitales.
- Contadores y timers.
- Triggers
- Auto calibración, sensores, etc.

3.7. Desarrollo de la propuesta

En el capítulo II se analizó mediante los documentos estadísticos, los conocimientos sobre sistemas fotovoltaicos que los estudiantes deberían adquirir al momento de realizar las prácticas de laboratorio.

3.7.1. Elaboración de las guías de laboratorio para mejorar la comprensión del comportamiento de un sistema fotovoltaico cuando es expuesto a variaciones.

Las guías de laboratorio han sido realizadas para ofrecerles a los estudiantes ejemplos del comportamiento de un sistema fotovoltaico cuando es expuesto a variaciones, las instrucciones de las guías permitirán a los estudiantes alcanzar rápidamente los objetivos propuestos.

También se propone al estudiante realizar el procedimiento variando algunos parámetros que modificarán el comportamiento y estado del sistema, esto permitirá al estudiante determinar los procedimientos, los resultados, el análisis, las conclusiones y las recomendaciones en cada práctica.

Finalmente se espera que los estudiantes mejoren su capacidad analítica y propongan nuevas prácticas o mejorar las prácticas presentadas. Todo esto está direccionado directa o indirectamente a mejorar la calidad educativa.

3.7.2. Estrategias para complementar la enseñanza de sistemas fotovoltaicos en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Una de las estrategias consideradas para complementar la enseñanza de los docentes, es la implementación de guías de laboratorio para realizar prácticas las cuales ayudarán a los estudiantes a realizar instalaciones fotovoltaicas y así estar preparados para realizar trabajos con energía fotovoltaica en su vida profesional. Impulsar la participación de los estudiantes en las ferias de ciencia y tecnología con proyectos fotovoltaicos.

3.7.3. Aplicación de las guías para la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad técnica de Cotopaxi.

Las guías de laboratorio fueron elaboradas para la Carrera de Ingeniería Eléctrica, por este motivo se recomienda que la apliquen los estudiantes y docentes de esta carrera. Se considera que estas guías beneficiaran al docente en la enseñanza de la asignatura de energías alternativas, por lo cual se provee un archivo digital que permitirá al docente hacer los cambios necesarios para adaptar las practicas a su método de enseñanza.

3.8. Ensamblaje del sistema fotovoltaico

3.8.1. Introducción

El modulo fotovoltaico es el principal elemento para la realización del presente trabajo de investigación. El modulo utilizado para este análisis está conformado por 1 estructura de soporte para los paneles y los reflectores, 2 paneles fotovoltaicos, 4 reflectores que simulan la radiación solar, dimmers para los reflectores, tarjeta de adquisición de datos e instrumentos de medida.

En el gráfico 3.8 se muestra el diagrama de bloques del sistema fotovoltaico, en el diagrama se muestra:

La generación, la cual la realizan los paneles fotovoltaicos.

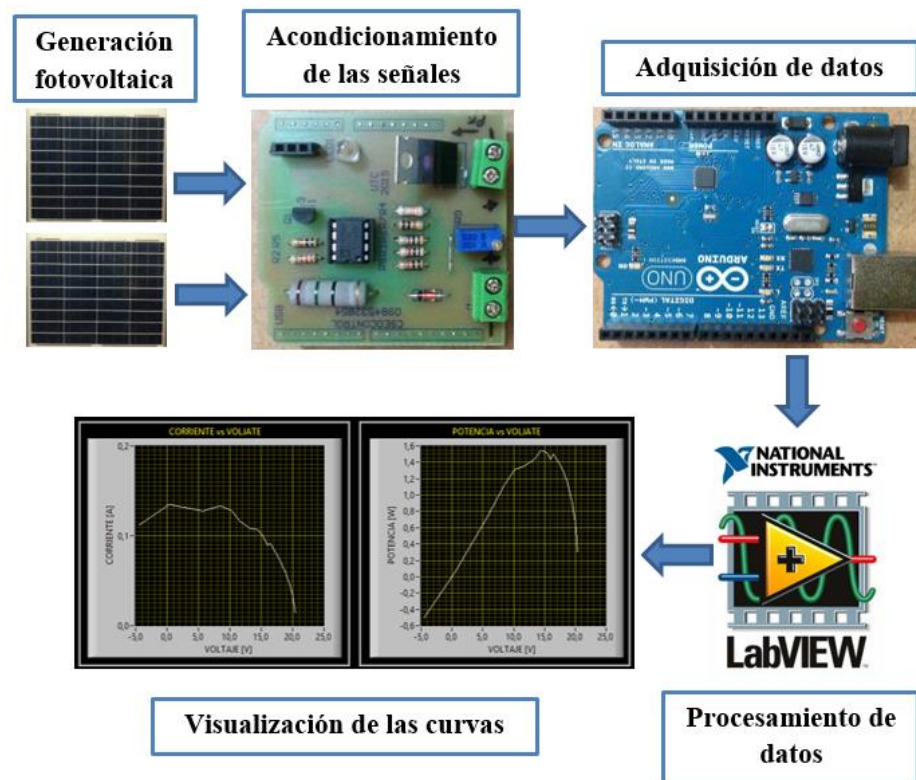
El acondicionamiento, en el cual la tarjeta principal reduce el voltaje entregado del panel a valores entre (0V – 5V).

La adquisición, donde el arduino lee los datos generados.

El procesamiento, los datos adquiridos son enviados al computador.

La visualización, con los datos adquiridos se grafican las curvas del comportamiento del sistema fotovoltaico.

Gráfico 3. 8: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.



Fuente: (El Postulante).

3.8.2. Elementos del sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico, ha sido ensamblado con las siguientes partes, las cuales se pueden apreciar en las imágenes a continuación:

1. **Soporte para el sistema fotovoltaico**, está caracterizado principalmente por ser de un material metálico revestido con pintura, este soporte brinda estabilidad y soporte a los elementos del sistema fotovoltaico. Además este soporte tiene un tablero que sirve como apoyo para el resto de los elementos del sistema fotovoltaico.

En el gráfico 3.9 se muestra el soporte metálico en el cual se montara el sistema fotovoltaico, el diseño de este soporte se lo realizo considerando las dimensiones del panel fotovoltaico.

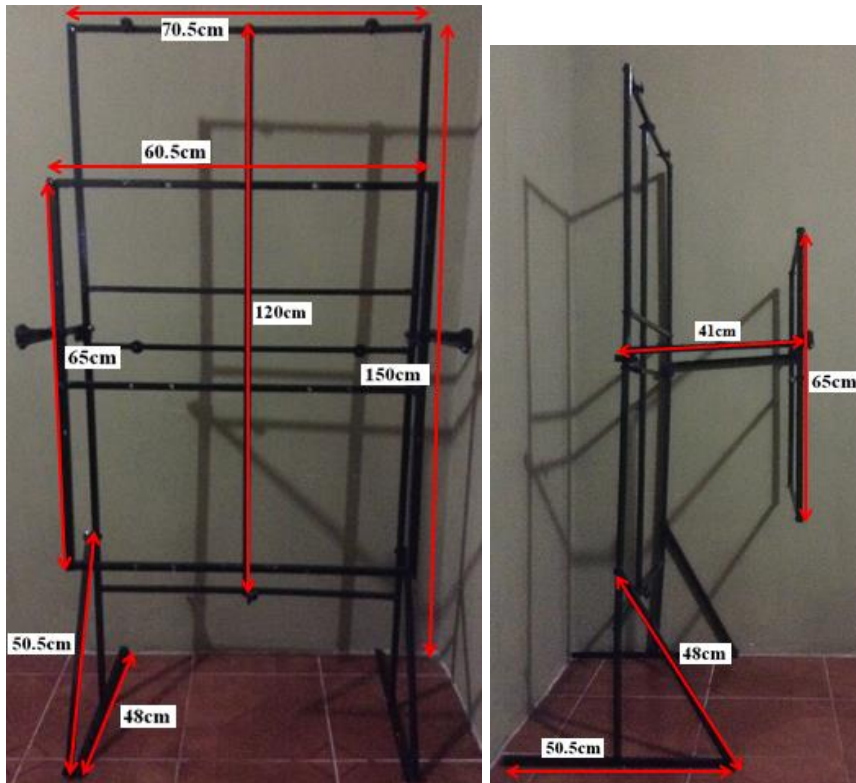
Gráfico 3. 9: SOPORTE SISTEMA FOTOVOLTAICO



Fuente: (El Postulante).

En el gráfico 3.10 se visualizan las dimensiones utilizadas para la construcción del soporte metálico.

Gráfico 3. 10: DIMENSIONES DEL SOPORTE



Fuente: (El Postulante).

El material utilizado para la construcción del soporte fueron tubos cuadrados de 2 dimensiones, esta estructura tiene las siguientes características:

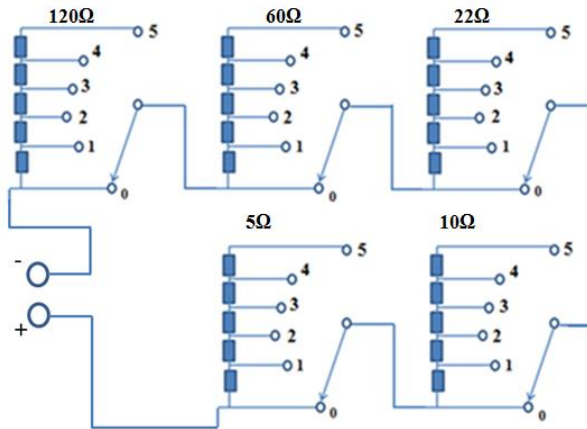
- Poco peso.
- Fácil mantenimiento.
- Resistencia a la corrosión.
- Soporta con facilidad el peso de los 2 paneles solares y los 4 reflectores.

2. **Carga resistiva - Caja de resistencias**, Para el análisis del sistema fotovoltaico se utilizó una carga variable con predominio resistivo, para lo cual se procedió a construir una caja de resistencias.

En el gráfico 3.11 se muestra el esquema de conexiones de las resistencias entre sí y la conexión de las resistencias a los selectores, los cuales permiten variar el

valor que tendrá la caja de resistencias. La variación de la carga permite ir graficando los puntos de la curva característica del panel.

Gráfico 3. 11: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LAS RESISTENCIAS.



Fuente: (El Postulante).

A continuación en el gráfico 3.12 se observa la conexión interna de la caja de resistencias y la vista exterior de la caja de resistencias.

Gráfico 3. 12: VISTA EXTERIOR E INTERIOR DE LA CAJA DE RESISTENCIAS.



Fuente: (El Postulante).

- 3. Reflectores- Lámparas halógenas,** para realizar este análisis se utilizaron 4 reflectores los cuales simulan la radiación solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos, estos reflectores van colocados en el rectángulo pequeño del soporte metálico frente a los paneles fotovoltaicos.

En el gráfico 3.13 se muestra el reflector utilizado para simular la radiación solar y su ubicación en el soporte metálico.

Gráfico 3. 13: REFLECTOR Y SU UBICACIÓN EN EL SOPORTE METALICO



Fuente: (El Postulante).

Es importante tener en cuenta que estos reflectores tienen una potencia de 500W, esta potencia fue seleccionada debido a que se necesitaba de una radiación de 1000 W/m^2 para realizar el análisis, los reflectores pueden ser alimentados a 110v como a 220v dependiendo del filamento colocado en el reflector, para este análisis se utilizó una alimentación a 110v.

- 4. Dimmers – Variadores de intensidad,** los dimmers son utilizados para variar la intensidad luminosa de las lámparas halógenas, estos variadores de intensidad están ubicados en el soporte metálico debajo de las 2 lámparas halógenas superiores.

En el gráfico 3.14 se visualiza el variador de intensidad luminosa, el cual se utiliza para variar la radiación incidente sobre el panel solar, se utilizó un variador para cada reflector.

Gráfico 3. 14: VARIADOR DE INTENSIDAD LUMINOSA

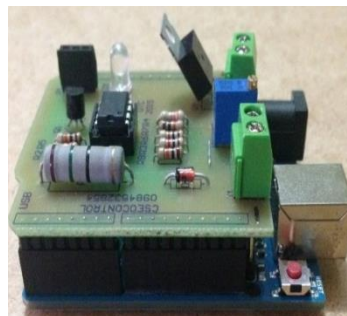


Fuente: (El Postulante).

En cada variador de intensidad se ha colocado señales, las cuales indican la radiación incidente sobre los paneles solares.

5. **Tarjeta de adquisición de datos**, esta tarjeta está compuesta por una tarjeta principal y una tarjeta arduino. En el gráfico 3.15 se muestra la tarjeta de adquisición de datos, y los elementos que la constituyen.

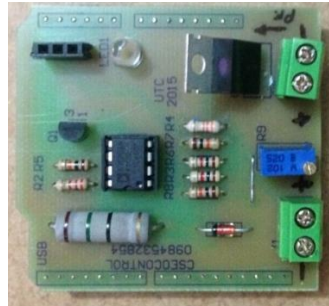
Gráfico 3. 15: TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS



Fuente: (El Postulante).

Tarjeta Principal: En el gráfico 3.16 se muestra la tarjeta principal la cual permite mediante un circuito variar el voltaje del panel fotovoltaico a un valor entre (0V – 5V) ya que cualquier tarjeta de adquisición de datos excepto las industriales soportan un voltaje máximo de 5V.

Gráfico 3. 16: TARJETA PRINCIPAL



Fuente: (El Postulante).

El elemento principal de este circuito es el regulador de voltaje 7812 que soporta voltajes entre (5V - 24V) y una corriente máxima de 1A, la principal característica de este elemento es que dispone de limitación de corriente y protección térmica en caso de cortocircuitos. Si se sobrepasan las características del regulador este queda protegido, para mejorar la protección del circuito se colocó un disipador de calor y para que el regulador de voltaje funcione correctamente es necesario cerciorarse que el voltaje a la entrada sea superior a 3V.

Tarjeta Arduino: En el gráfico 3.17 se observa la tarjeta arduino que es la que permite adquirir los datos, esta tarjeta cuenta con 6 canales de adquisición analógicos digitales los cuales leen los datos y los envía al computador.

Gráfico 3. 17: TARGETA ARDUINO



Fuente: (El Postulante).

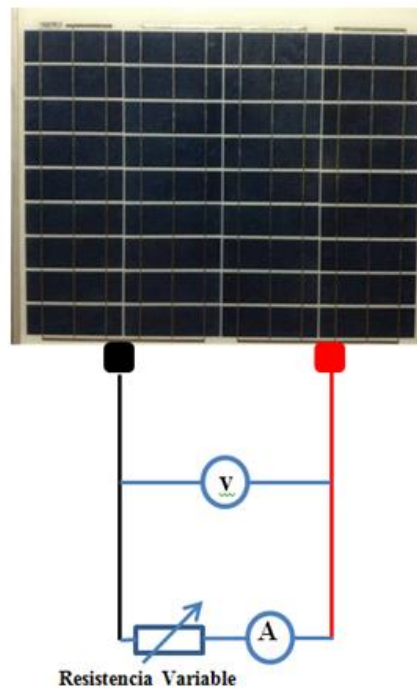
El auto consumo de la tarjeta de adquisición de datos es de 7mA ya que se trata de una corriente baja es despreciable, ya que una tarjeta de adquisición de datos solo lee valores de voltaje en el programa Labview se incorporaron fórmulas (ver

Anexo 4 – método para obtener las fórmulas) para la conversión de voltaje a corriente para que se pueda leer los valores de corriente.

3.8.3. Conexión de los paneles fotovoltaicos mediante el método de carga resistiva.

Para el análisis del sistema se utilizó el método de carga resistiva, este método es fácil de realizar, en el gráfico 3.18 se muestra la manera correcta de conectar los elementos para el método de carga resistiva.

Gráfico 3. 18: CONEXIÓN PARA EL MÉTODO DE CARGA RESISTIVA



Fuente: (El Postulante).

Este método consiste en conectar en paralelo al panel solar un potenciómetro, del valor máximo de resistencia se obtiene el voltaje de circuito abierto, se procede a variar el potenciómetro hasta que la resistencia sea 0 en ese momento se obtiene la corriente de cortocircuito.

A medida que se varié el potenciómetro se necesita tomar los datos de voltajes y corrientes obtenidos con el voltímetro y el amperímetro, estos datos permiten formar y graficar la curva característica del panel.

3.9. Análisis de factibilidad

3.9.1. Factibilidad técnica

Es necesario recordar que con este módulo fotovoltaico se pueden realizar varias prácticas de laboratorio utilizando corriente continua la cual no es tan utilizada como la corriente alterna.

Para realizar el ensamblaje y el análisis del módulo fotovoltaico se usó paneles fotovoltaicos cuya potencia es de 50W, con los cuales se espera generar un voltaje continuo de 21V. Para simular la radiación emitida del sol se utilizará reflectores de 500W, como carga variable se colocará una caja de resistencias para obtener los datos del voltímetro y amperímetro. Para obtener los datos del programa Labview se conectará un potenciómetro como carga. Todo el conjunto de elementos serán montados en una estructura metálica.

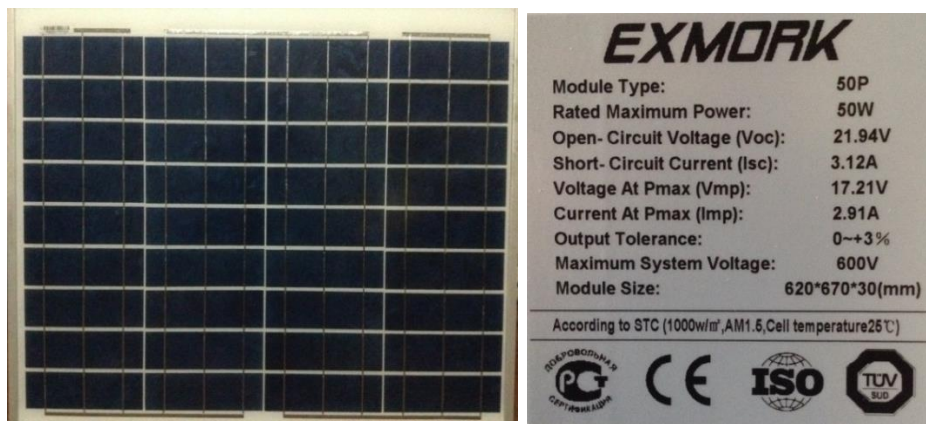
Realizar este análisis es factible ya que permite que los estudiantes realicen prácticas con corriente continua, un tipo de corriente la cual no es muy utilizada en las instalaciones domiciliarias.

Todo el sistema tiene una operación manual ya que una operación automática no es factible, porque lo que se busca es que el estudiante pueda realizar cambios en los parámetros como son la radiación incidente en los paneles y la carga conectada a los mismos.

3.9.1.1. Resultados del módulo con un panel solar de 50W expuesto a radiación artificial constante.

Con la finalidad de comprobar el funcionamiento del módulo fotovoltaico, se realizó una prueba en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la cual se utilizó un panel solar de 50W que posee las características que se observan en la figura 3.19.

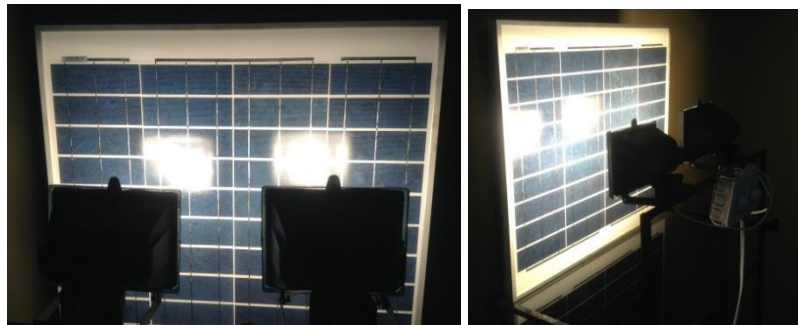
Gráfico 3. 19: PANEL SOLAR DE 50W Y PLACA CARACTERÍSTICA.



Fuente: (El Postulante)

En el gráfico 3.20 se aprecia que para las pruebas se expuso al panel solar a una radiación incidente constante, para lo cual se utilizó 2 lámparas halógenas como evitando así la variación de la intensidad luminosa, facilitando así la toma de datos.

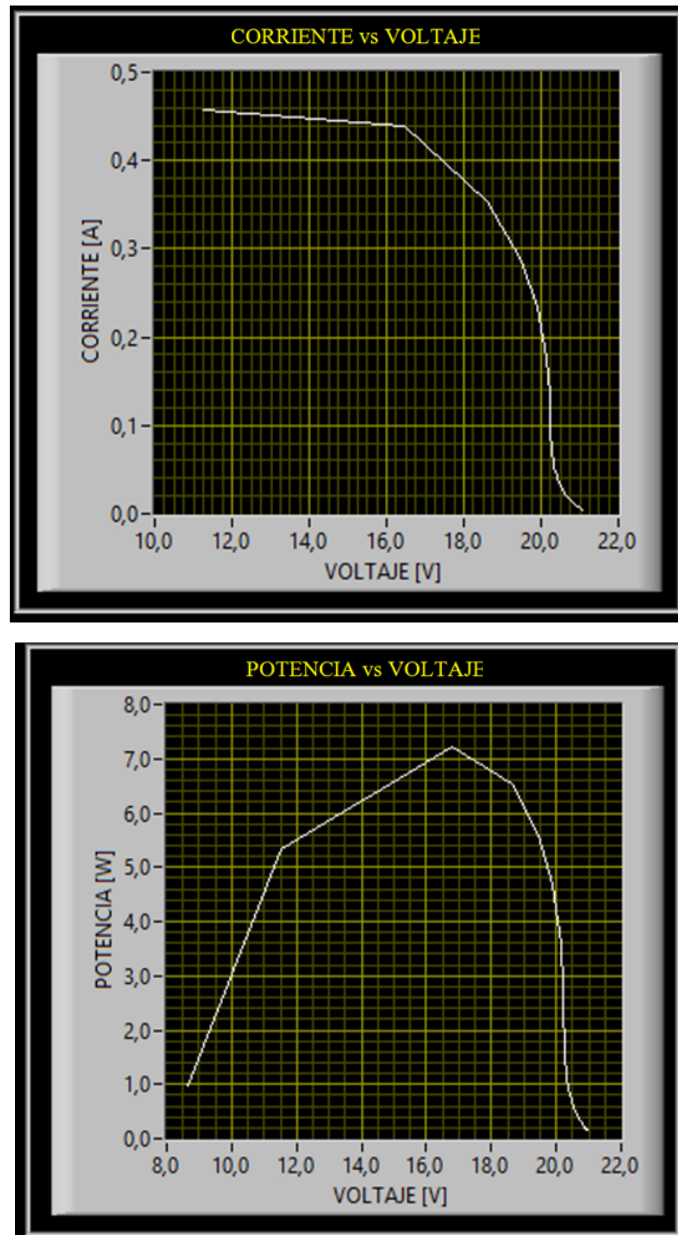
Gráfico 3. 20: PANEL SOLAR EXPUESTO A 2 LAMPARAS HALOGENAS.



Fuente: (El Postulante)

La principal utilidad de tener una radiación constante al realizar esta prueba es que se espera obtener la misma forma de curva característica en todas las configuraciones que se realicen, con esto se puede verificar el funcionamiento del módulo y comparar la curva característica obtenida de la toma de datos y la curva característica obtenida mediante el programa.

Gráfico 3. 21: CURVA CARACTERÍSTICA DEL PANEL SOLAR DE 50W
(DATOS OBTENIDOS DE LABVIEW).



Fuente: (LabVIEW, 2012)

Elaborado por: (El Postulante)

Para poder comparar los resultados obtenidos tanto de la curva característica como los valores de voltaje-corriente, se expone el panel solar a la radiación constante, a continuación se conecta una carga resistiva variable la cual consta de varios selectores con diferentes valores de resistencia, mediante la medición de un multímetro y un amperímetro conectados en paralelo y en serie respectivamente se obtiene valores de voltaje y corriente. Los resultados obtenidos mediante la toma de datos tanto del voltímetro como del amperímetro son los siguientes:

Tabla 3. 2: MEDICIÓN VOLTAJE-CORRIENTE DE UN PANEL SOLAR DE 50W CONECTADO A UNA CARGA RESISTIVA VARIABLE.

Item	Carga (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Item	Carga (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	0	0,41	0,540	0,22	31	210	19,80	0,095	1,88
2	5	3,20	0,530	1,70	32	220	19,80	0,091	1,79
3	10	6,00	0,520	3,12	33	230	19,90	0,087	1,73
4	15	8,80	0,510	4,49	34	240	20,00	0,084	1,68
5	20	11,50	0,510	5,87	35	250	20,00	0,081	1,62
6	25	14,10	0,500	7,05	36	260	20,00	0,078	1,55
7	30	15,70	0,490	7,69	37	270	20,10	0,075	1,50
8	35	17,70	0,480	8,50	38	280	20,10	0,072	1,45
9	40	18,20	0,430	7,83	39	290	20,20	0,070	1,41
10	45	18,40	0,380	6,99	40	300	20,20	0,068	1,37
11	50	18,60	0,360	6,70	41	310	20,20	0,066	1,33
12	55	18,70	0,330	6,17	42	320	20,30	0,064	1,30
13	60	18,80	0,300	5,64	43	330	20,30	0,062	1,26
14	65	18,90	0,280	5,29	44	340	20,30	0,060	1,22
15	70	19,00	0,260	4,94	45	350	20,40	0,059	1,20
16	75	19,10	0,240	4,58	46	360	20,40	0,057	1,17
17	80	19,20	0,230	4,42	47	370	20,40	0,056	1,14
18	85	19,20	0,220	4,22	48	380	20,50	0,054	1,12
19	90	19,30	0,210	4,05	49	390	20,50	0,053	1,08
20	100	19,10	0,191	3,64	50	400	20,50	0,052	1,06
21	110	19,30	0,171	3,31	51	415	20,60	0,050	1,03
22	120	19,30	0,159	3,06	52	430	20,60	0,049	1,00
23	130	19,40	0,147	2,86	53	445	20,60	0,047	0,96
24	140	19,50	0,138	2,69	54	460	20,70	0,045	0,94
25	150	19,50	0,129	2,51	55	475	20,70	0,044	0,91
26	160	19,60	0,121	2,38	56	490	20,80	0,043	0,89

27	170	19,60	0,115	2,26	57	505	20,80	0,042	0,87
28	180	19,70	0,110	2,17	58	520	20,90	0,041	0,85
29	190	19,70	0,104	2,04	59	535	20,90	0,040	0,83
30	200	19,80	0,099	1,97	60	550	21,00	0,039	0,81

Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

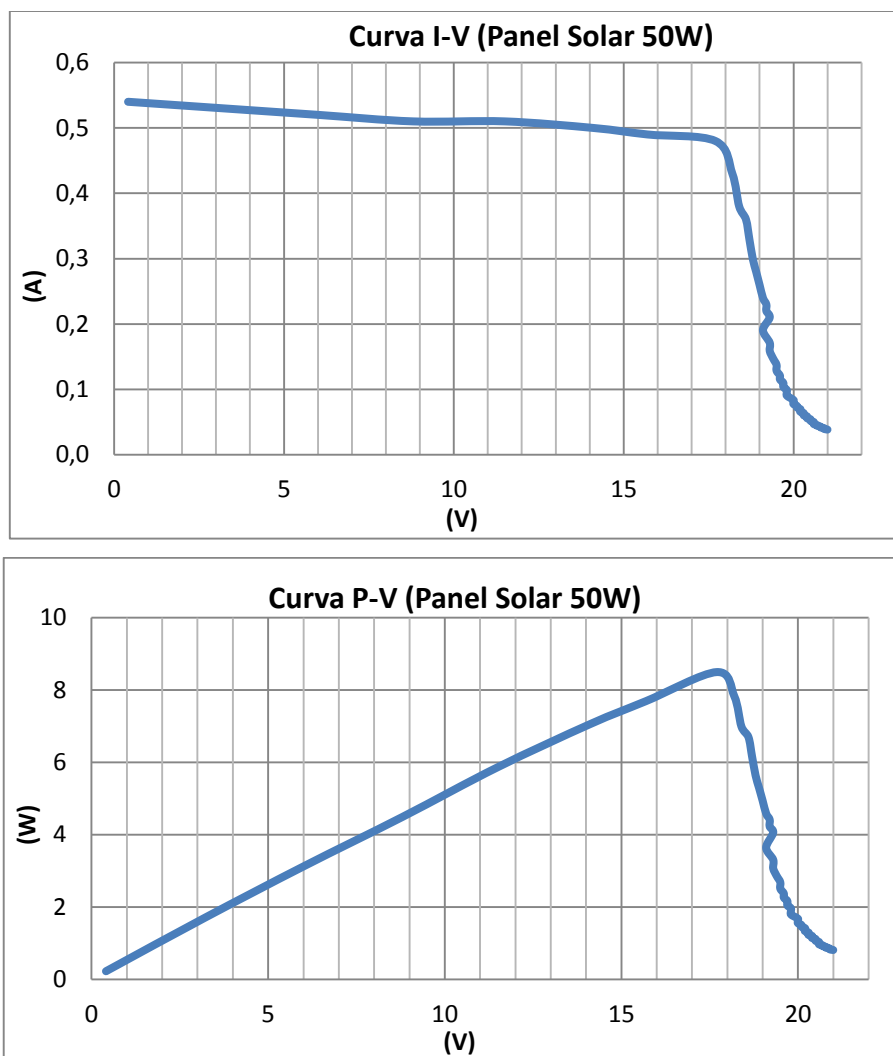
Al observar la tabla anterior de datos de corrientes, voltajes y potencias se visualiza unas características muy importantes como son:

- Si se tiene una corriente elevada no necesariamente se tendrá un voltaje elevado y por consecuencia una potencia alta.
- Si se tiene un voltaje elevado no significa que se tendrá un voltaje elevado y una potencia elevada.

Así que si se quiere aprovechar al máximo la potencia que puede entregar un panel solar se tiene que colocar una carga que pueda ser alimentada por el sistema de forma correcta, ya que si la carga es muy pequeña la corriente se eleva demasiado llegando a niveles de corto circuito lo cual reduce el voltaje y la potencia resultante. Y si la carga es demasiado grande el voltaje se eleva llegando a niveles de circuito abierto con lo cual la corriente y potencia resultantes disminuyen.

En el gráfico 3.22 se observa la curva característica del panel de 50W, la variación de punto a punto en el grafico se ve muy significativa lo que evita visualizar una curva más uniforme, el motivo de esto es que la carga conectada al panel en cada punto tiene una variación de 5Ω , 10Ω o 15Ω .

Gráfico 3. 22: CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SOLAR DE 50W.



Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

Con la comparación se verifica que la curva obtenida tanto mediante el programa Labview como con la toma de datos del voltímetro y amperímetro tiene la misma forma.

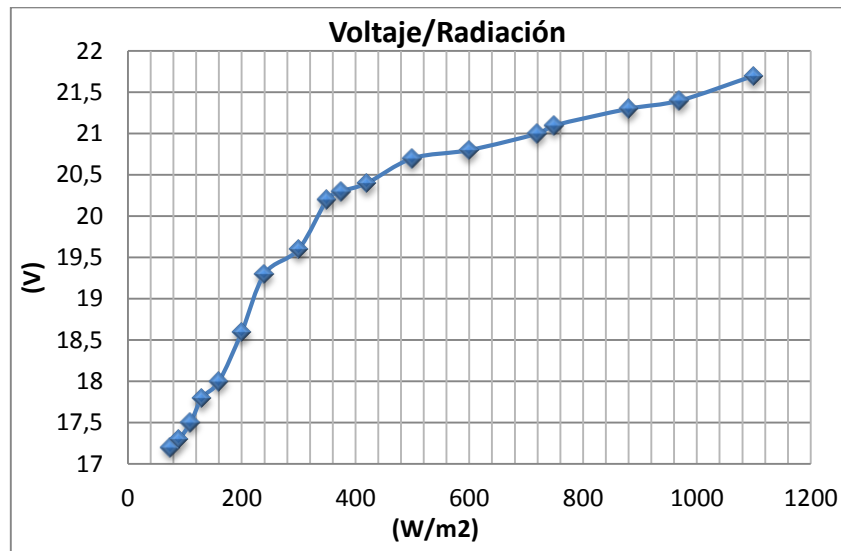
Tabla 3. 3: VOLTAJES DE UN PANEL SOLAR DE 50W EXPUESTO A DIFERENTES VALORES DE RADIACIÓN.

Item	Radiacion (W/m ²)	Voltaje de Salida (V)	Item	Radiacion (W/m ²)	Voltaje de Salida (V)
1	75	17,2	10	375	20,3
2	90	17,3	11	420	20,4
3	110	17,5	12	500	20,7
4	130	17,8	13	600	20,8
5	160	18	14	720	21
6	200	18,6	15	750	21,1
7	240	19,3	16	880	21,3
8	300	19,6	17	970	21,4
9	350	20,2	18	1100	21,7

Fuente: Datos obtenidos del sensor de radiación y el voltímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 3. 23: CURVA CARACTERÍSTICA DEL VOLTAJE DE SALIDA CON RESPECTO A LA RADIACIÓN.



Fuente: Datos obtenidos del sensor de radiación y el voltímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

3.9.1.2. Resultados del módulo con dos paneles solares de 50W conectados en serie y expuestos a radiación artificial constante.

En los gráficos y tabla siguientes se aprecia los resultados de 2 paneles solares de 50W conectados en serie y expuesto a una radiación constante por medio de reflectores.

La representación de la configuración en serie de los paneles se la realizó solo tomando los datos de forma manual ya que el regulador de voltaje 7812 que se encuentra en la tarjeta de adquisición de datos es sensible a voltajes superiores a 24V también cuenta con protección térmica y limitación de corriente lo que impide adquirir datos cuando los paneles están conectados en serie.

Tabla 3. 4: MEDICION VOLTAJE-CORRIENTE DEL MÓDULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W EN SERIE CONECTADOS A UNA CARGA RESISTIVA VARIABLE.

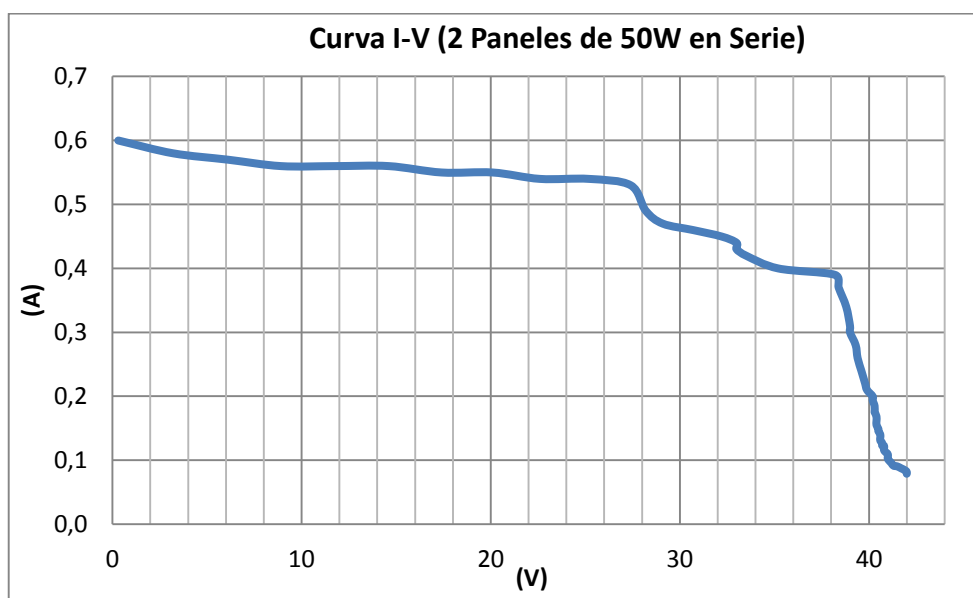
Item	Carga (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Item	Carga (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	0	0,30	0,600	0,18	31	210	40,20	0,200	8,04
2	5	3,20	0,580	1,86	32	220	40,20	0,194	7,79
3	10	6,10	0,570	3,48	33	230	40,30	0,185	7,45
4	15	8,90	0,560	4,98	34	240	40,30	0,176	7,09
5	20	11,80	0,560	6,61	35	250	40,30	0,175	7,07
6	25	14,60	0,560	8,18	36	260	40,40	0,169	6,81
7	30	17,40	0,550	9,57	37	270	40,40	0,161	6,52
8	35	20,10	0,550	11,06	38	280	40,40	0,155	6,27
9	40	22,60	0,540	12,20	39	290	40,50	0,149	6,04
10	45	25,20	0,540	13,61	40	300	40,50	0,146	5,90
11	50	27,40	0,530	14,52	41	310	40,60	0,141	5,71
12	55	28,20	0,490	13,82	42	320	40,60	0,136	5,51
13	60	29,10	0,470	13,68	43	330	40,60	0,131	5,32
14	65	30,70	0,460	14,12	44	340	40,70	0,127	5,17
15	70	32,20	0,450	14,49	45	350	40,70	0,123	5,01

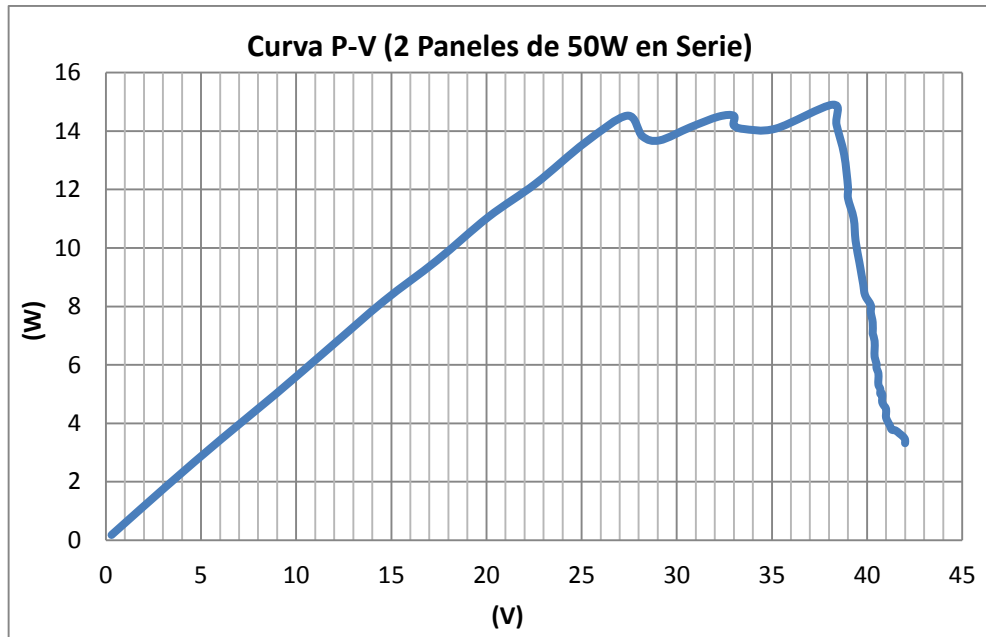
16	75	33,00	0,440	14,52	46	360	40,80	0,123	5,01
17	80	33,00	0,430	14,19	47	370	40,80	0,119	4,85
18	85	33,50	0,420	14,07	48	380	40,80	0,116	4,72
19	90	35,20	0,400	14,08	49	390	40,90	0,112	4,60
20	100	38,20	0,390	14,90	50	400	41,00	0,110	4,49
21	110	38,40	0,370	14,21	51	415	41,00	0,105	4,32
22	120	38,80	0,340	13,19	52	430	41,00	0,102	4,19
23	130	39,00	0,310	12,09	53	445	41,10	0,099	4,05
24	140	39,00	0,300	11,70	54	460	41,20	0,095	3,93
25	150	39,30	0,280	11,00	55	475	41,30	0,092	3,78
26	160	39,40	0,260	10,24	56	490	41,50	0,091	3,76
27	170	39,60	0,240	9,50	57	505	41,70	0,088	3,65
28	180	39,70	0,230	9,13	58	520	41,90	0,085	3,54
29	190	39,80	0,220	8,76	59	535	42,00	0,082	3,44
30	200	39,90	0,210	8,38	60	550	42,00	0,079	3,32

Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 3. 24: CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W CONECTADOS EN SERIE.





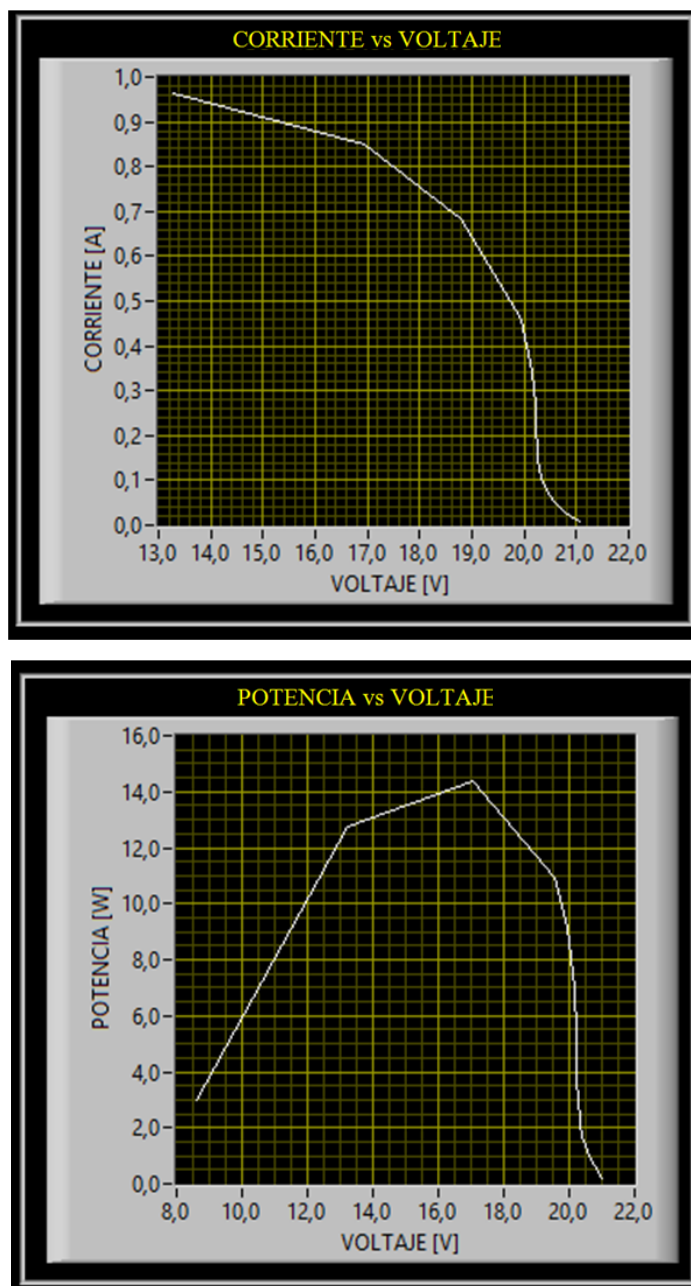
Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

3.9.1.3. Resultados del módulo con dos paneles solares de 50W conectados en paralelo y expuestos a radiación artificial constante.

A continuación se aprecia los gráficos y la tabla en los cuales se encuentran los resultados obtenidos al conectar 2 paneles solares de 50W en paralelo y exponerlos a una radiación constante por medio de reflectores.

Gráfico 3. 25: CURVA DEL MÓDULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W CONECTADOS EN PARALELO (DATOS OBTENIDOS DE LABVIEW).



Fuente: (LabVIEW, 2012)

Elaborado por: (El Postulante)

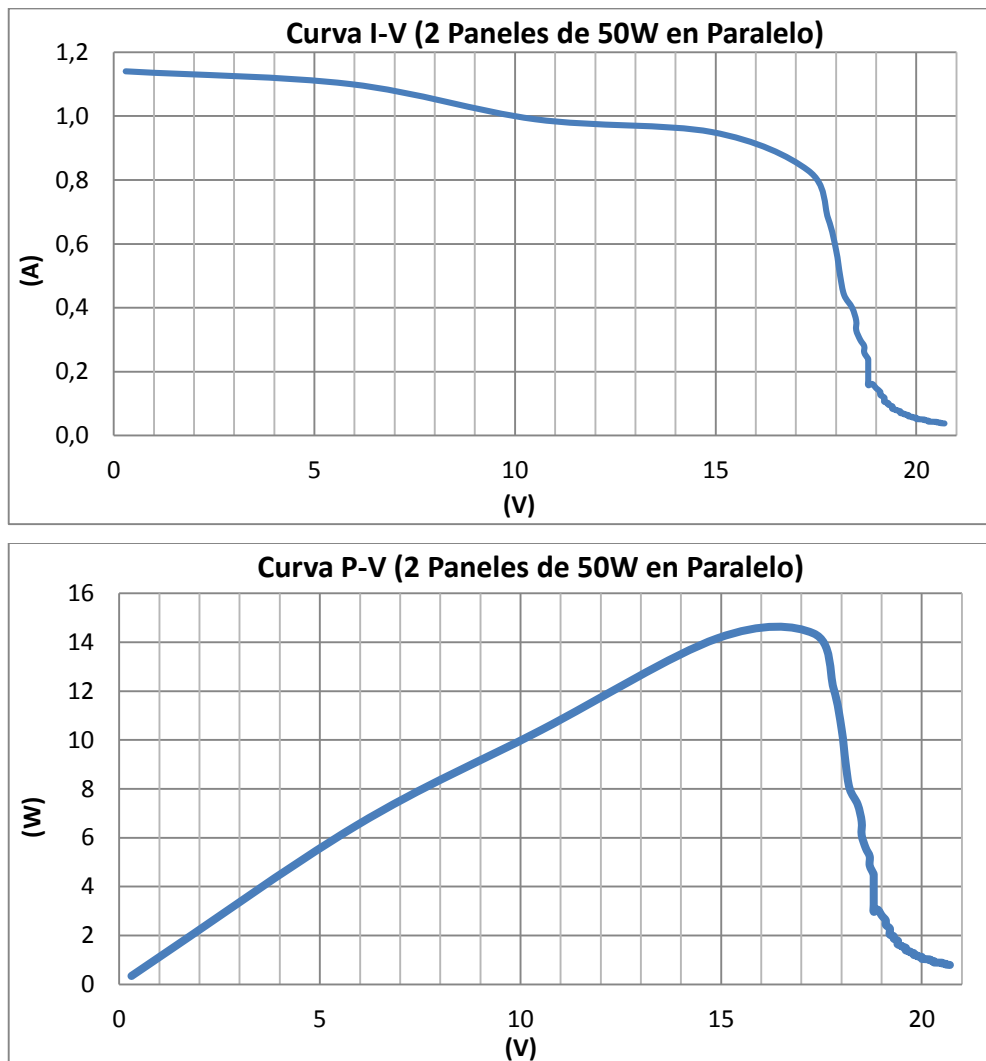
Tabla 3. 5: MEDICIÓN VOLTAJE-CORRIENTE DEL MÓDULO CON 2
PANELES SOLARES DE 50W EN PARALELO CONECTADOS A UNA
CARGA RESISTIVA VARIABLE.

Item	Carga (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Item	Carga (Ω)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	0	0,30	1,140	0,34	31	210	19,30	0,097	1,87
2	5	5,90	1,100	6,49	32	220	19,40	0,092	1,79
3	10	10,50	0,990	10,40	33	230	19,40	0,088	1,71
4	15	14,90	0,950	14,16	34	240	19,40	0,084	1,63
5	20	17,30	0,830	14,36	35	250	19,50	0,081	1,57
6	25	17,80	0,680	12,10	36	260	19,50	0,080	1,55
7	30	18,00	0,580	10,44	37	270	19,60	0,076	1,50
8	35	18,10	0,500	9,05	38	280	19,60	0,074	1,44
9	40	18,20	0,440	8,01	39	290	19,60	0,071	1,39
10	45	18,40	0,400	7,36	40	300	19,70	0,068	1,35
11	50	18,50	0,360	6,66	41	310	19,70	0,067	1,32
12	55	18,50	0,330	6,11	42	320	19,80	0,065	1,28
13	60	18,60	0,300	5,58	43	330	19,80	0,063	1,24
14	65	18,70	0,280	5,24	44	340	19,80	0,061	1,20
15	70	18,70	0,260	4,86	45	350	19,90	0,059	1,17
16	75	18,80	0,240	4,51	46	360	19,90	0,057	1,14
17	80	18,80	0,240	4,51	47	370	20,00	0,056	1,12
18	85	18,80	0,230	4,32	48	380	20,00	0,055	1,09
19	90	18,80	0,210	3,95	49	390	20,00	0,053	1,06
20	100	18,80	0,191	3,59	50	400	20,00	0,052	1,04
21	110	18,80	0,174	3,26	51	415	20,20	0,051	1,02
22	120	18,80	0,158	2,97	52	430	20,20	0,049	0,98
23	130	18,90	0,162	3,06	53	445	20,30	0,047	0,95
24	140	19,00	0,148	2,82	54	460	20,30	0,046	0,92
25	150	19,10	0,137	2,62	55	475	20,30	0,044	0,89
26	160	19,10	0,128	2,44	56	490	20,50	0,043	0,89
27	170	19,20	0,119	2,29	57	505	20,50	0,042	0,86
28	180	19,20	0,112	2,16	58	520	20,60	0,041	0,84
29	190	19,20	0,106	2,04	59	535	20,60	0,039	0,81
30	200	19,30	0,102	1,97	60	550	20,70	0,038	0,79

Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 3. 26: CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO CON 2 PANELES SOLARES DE 50W CONECTADOS EN PARALELO



Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

3.9.1.4. Resultados de los efectos de la sombra en las diferentes configuraciones del módulo.

Para obtener los datos de voltaje y corriente se cerró el circuito conectando un ventilador a corriente continua. El voltaje y la corriente operacional del ventilador son 42V y 0.05A respectivamente.

Gráfico 3. 27: VENTILADOR CORRIENTE CONTINUA



Elaborado por: (El Postulante)

A continuación se muestra la tabla y gráfico de los efectos de la sombra en un panel solar de 50W.

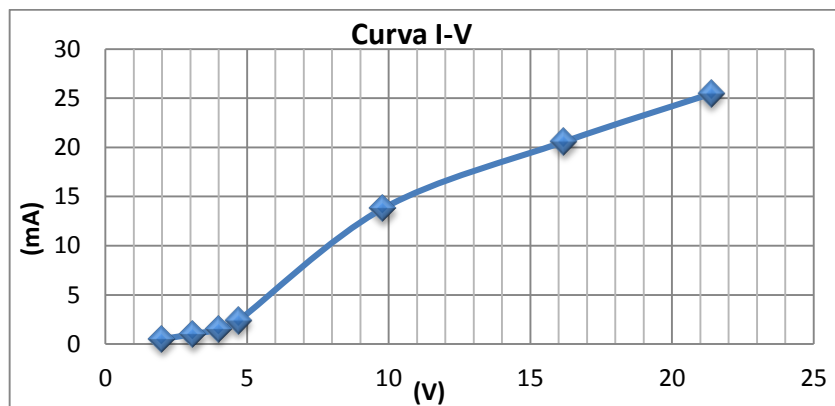
Tabla 3. 6: EFECTOS DE LA SOMBRA EN UN PANEL DE 50W

Item	% de Sombra	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
1	0%	21,40	25,50	0,546
2	10%	16,20	20,60	0,334
3	20%	9,80	13,80	0,135
4	40%	4,70	2,40	0,011
5	60%	4,00	1,50	0,006
6	80%	3,10	1,00	0,003
7	100%	2,00	0,50	0,001

Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 3. 28: EFECTOS DE LA SOMBRA EN UN PANEL DE 50W



Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

En la tabla y grafico siguientes se observan los efectos que tiene la sombra en 2 paneles solares de 50W conectados en serie.

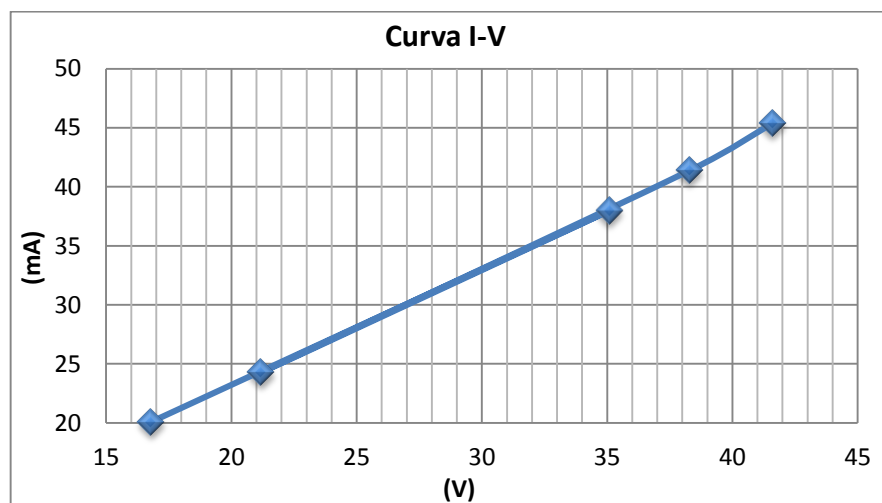
Tabla 3. 7: EFECTOS DE LA SOMBRA EN 2 PANELES DE 50W CONECTADOS EN SERIE

Item	% de Sombra	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
1	0%	41,60	45,40	1,89
2	1/2 panel	38,30	41,40	1,59
3	1 panel	35,10	38,00	1,33
4	1,5 paneles	21,20	24,30	0,52
5	Todo sombreado	16,80	20,10	0,34

Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 3. 29: EFECTOS DE LA SOMBRA EN 2 PANLES DE 50W CONECTADOS EN SERIE



Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

En la siguiente tabla y grafico se observan los efectos que tiene la sombra en 2 paneles solares de 50W conectados en paralelo.

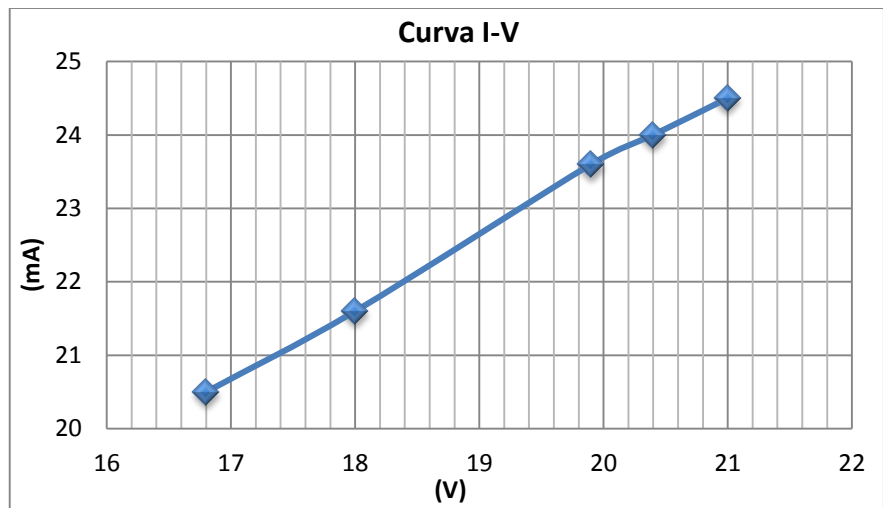
Tabla 3. 8: EFECTOS DE LA SOMBRA EN 2 PANELES DE 50W CONECTADOS EN PARALELO

Item	% de Sombra	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
1	0%	21,00	24,50	0,51
2	1/2 panel	20,40	24,00	0,49
3	1 panel	19,90	23,60	0,47
4	1,5 paneles	18,00	21,60	0,39
5	Todo sombreado	16,80	20,50	0,34

Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 3. 30: EFECTOS DE LA SOMBRA EN 2 PANELES DE 50W CONECTADOS EN PARALELO



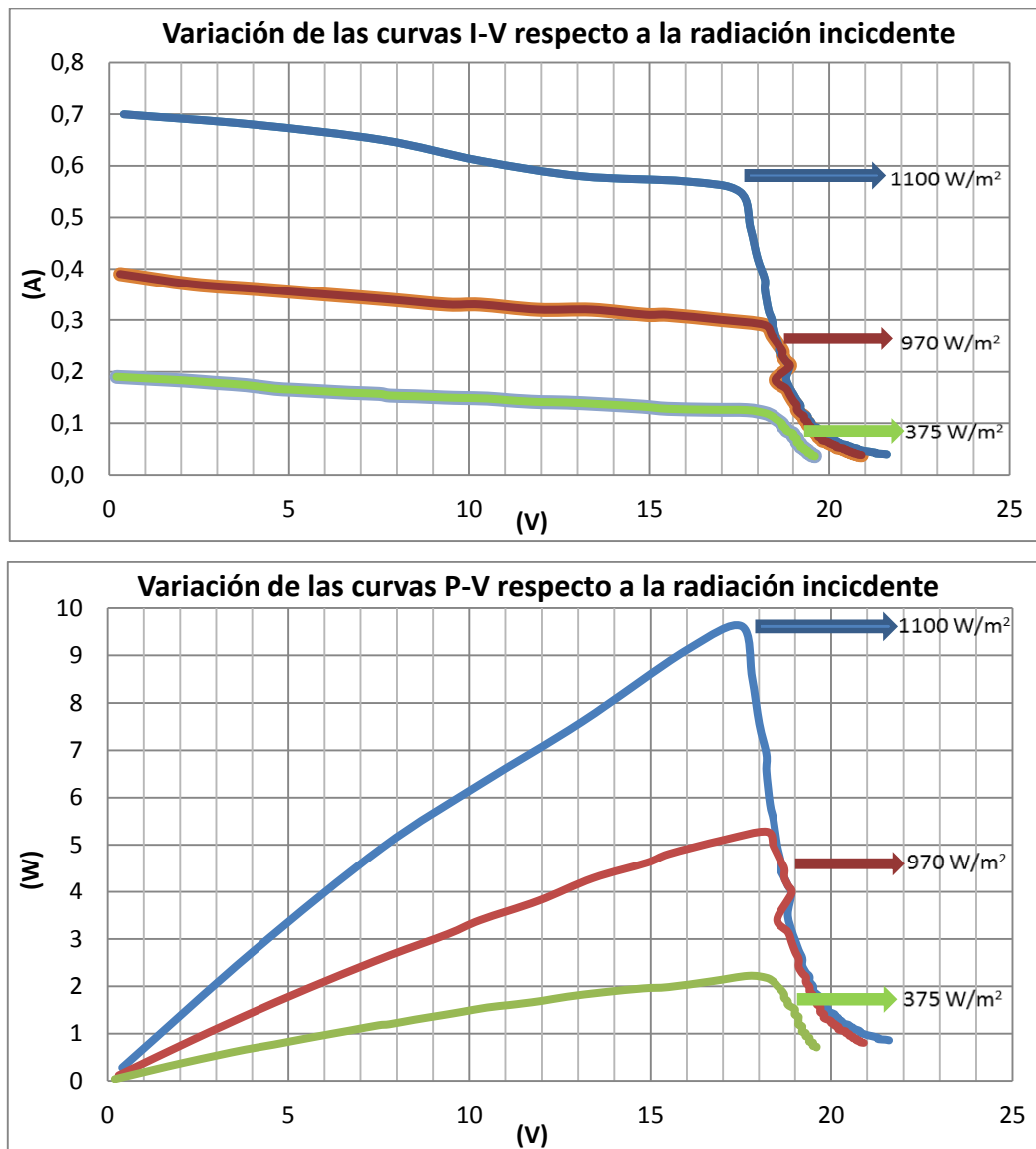
Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

3.9.1.5. *Resultados de la variación de las curvas características con respecto a la variación de la radiación incidente.*

En los siguientes gráficos se observa el comportamiento del módulo fotovoltaico a diferentes niveles de radiación.

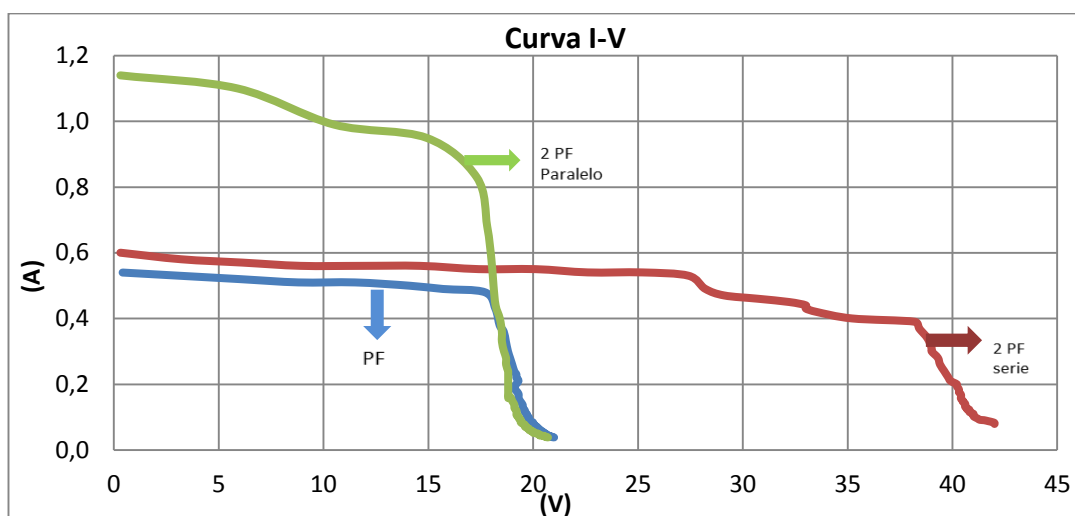
Gráfico 3. 31: VARIACIÓN DE LAS CURVAS CON RESPECTOS A LA RADIACIÓN INCIDENTE



Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

Gráfico 3. 32: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS EN LAS 3 CONFIGURACIONES



Fuente: Datos obtenidos del voltímetro y amperímetro.

Elaborado por: (El Postulante)

3.9.2. Factibilidad económica

En la siguiente tabla se muestra la lista de los elementos necesarios para realizar el análisis del módulo fotovoltaico.

Tabla 3. 9: ELEMENTOS PARA LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

ITEM	CANT	UND (USD)	DESCRIPCION	COSTO (USD)
1	2	120,00	Panel Fotovoltaico	240,00
2	1	40,00	Soporte Metálico	40,00
3	4	7,50	Reflector	30,00
4	4	15,00	Dimmer	60,00
5	1	40,00	Caja de Resistencias	40,00
6	2	12,00	Voltímetro	24,00
7	2	12,00	Amperímetro	24,00
8	1	180,00	Tarjeta de Adquisición de Datos	180,00
9	1	40,00	Arduino	40,00
10	10	0,55	Conductor (m)	5,50
11	1	20,00	Accesorios y Otros	20,00
TOTAL				703,50

Fuente: (El Postulante)

De acuerdo a la tabla anterior se observa que el costo total de la instalación fotovoltaica asciende a la cantidad de 703,50 dólares. Siendo los paneles fotovoltaicos y la tarjeta de adquisición de datos los elementos de mayor costo dentro de la instalación.

Además de la factibilidad económica se debe considerar el aporte académico al cual no se le puede agregar un valor económico, este aporte permitirá una mejor preparación de los estudiantes.

3.9.3. Factibilidad operacional

Para una correcta operación del sistema se debe considerar lo siguiente:

- Antes de realizar cualquier práctica de laboratorio verificar que todos los elementos del sistema estén operando correctamente ya que ningún sistema está a salvo de sufrir fallas en algún momento.
- Realizar las prácticas demostrativas bajo la supervisión de un docente, así los estudiantes pueden despejar todas las dudas que tengan sobre las prácticas.

3.10. Conclusiones y recomendaciones de la propuesta

Antes de continuar con las conclusiones y recomendaciones de este trabajo investigativo es necesario mencionar que se han cumplido cada uno de los objetivos planteados al comienzo del presente trabajo.

3.10.1. Conclusiones

- El ensamblaje del módulo fotovoltaico permitió aplicar los conocimientos adquiridos en las aulas sobre el uso de las energías alternativas en especial la energía solar.
- Las prácticas realizadas permitieron comprobar que el módulo ensamblado es un sistema confiable en el cual los estudiantes podrán realizar medidas y análisis sobre sistemas fotovoltaicos.
- Durante la recolección de información se apreció que el uso de la energía solar en el Ecuador se encuentra en sus primeras etapas y las medidas de radiación solar están desactualizadas.
- La aplicación del método de carga resistiva permite obtener los diferentes valores que se encuentran desde el voltaje de circuito abierto hasta la corriente de cortocircuito.
- Durante el análisis con el programa LabVIEW se apreció que debido al regulador de voltaje 7812 que se encuentra en la tarjeta de adquisición de datos no se puede realizar la práctica con 2 paneles solares conectados en serie, esto se debe a que el regulador 7812 admite voltajes entre (0v-24v) al superar este voltaje el regulador se bloquea protegiendo así la tarjeta.
- Al realizar el análisis del módulo fotovoltaico se visualizó tanto en la curva característica como en los datos obtenidos que el factor que

perjudica al módulo fotovoltaico es la temperatura, si se tiene una temperatura elevada el voltaje disminuye pero la corriente aumenta lo que nos indica que no por tener un voltaje alto se tendrá una corriente elevada, y que mientras mayor sea la corriente que circule por el sistema mayor sea el voltaje de salida.

- El software Labview permite comparar las curvas características obtenidas del análisis de las diferentes configuraciones, esto hace de labview una buena herramienta para facilitar el aprendizaje de los estudiantes en la asignatura de energías alternativas.
- Al comparar las curvas características obtenidas de la toma de datos manual y del programa labVIEW, se observa que tienen un comportamiento similar pero no igual esto se debe a que las protecciones y la autoalimentación de la tarjeta de adquisición de datos no permiten la toma de datos a voltajes bajos y corrientes elevadas.
- Durante la toma de datos se dedujo que para las prácticas de laboratorio es necesario de una radiación constante, ya que al utilizar la radiación directa del sol la toma de datos se dificulta porque los valores varían constantemente y las prácticas de laboratorio no se pueden realizar durante horas de la noche.

3.10.2. *Recomendaciones*

- Si los paneles se encuentran a la intemperie es necesario limpiar la cubierta de vidrio de los paneles solares antes de realizar las prácticas de laboratorio, ya que las condiciones climáticas de la ciudad de Latacunga pueden provocar que se adhieran impurezas como el polvo, esto provoca que los datos obtenidos en las prácticas no sean los correctos.

- Evitar que los terminales del panel fotovoltaico se unan cuando exista radiación incidente, ya que esto provocaría un cortocircuito el cual causara daños a las celdas solares que se encuentran en el interior del panel solar.
- No se deben colocar los reflectores muy cerca del panel fotovoltaico ya que esto causara que la temperatura en el interior del panel aumente, mientras mayor sea la temperatura en el panel fotovoltaico el voltaje de salida disminuirá y esto perjudicará la toma de datos durante el análisis.
- Transmitir con otras personas los conocimientos obtenidos durante este trabajo investigativo y así familiarizarlas con la energía fotovoltaica.
- Es recomendable realizar la práctica de paneles en serie tomando los datos con voltímetros y amperímetros ya que la tarjeta de adquisición de datos permite un voltaje máximo de 24v.
- Para una mejor comprensión de las curvas características I-V de un panel fotovoltaico, realizar prácticas de laboratorio con este módulo fotovoltaico a diferentes niveles de radiación.

3.11. Glosario de términos

3.11.1. *Glosario*

CARGA RESISTIVA.- son todos aquellos aparatos eléctricos que por lo general producen luz, calor o sonido, por ejemplo: lámparas incandescentes y fluorescentes, radios y modulares, etc.

CELDA SOLAR O CELDA FOTOVOLTAICA.- Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.

CONEXIÓN EN PARALELO.- Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.

CONEXIÓN EN SERIE.- Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.

CORRIENTE CONTINUA (CC).- Corriente de intensidad constante en la que el movimiento de las cargas siempre es en el mismo sentido.

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (I_{cc}).- Las corrientes de cortocircuitos se caracterizan por un incremento prácticamente instantáneo y varias veces superior a la corriente nominal, en contraste con las de una sobrecarga que se caracteriza por un incremento mantenido en un intervalo de tiempo y algo mayor a la corriente nominal.

CONSTANTE SOLAR.- Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de 1 m² por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente 1,36 kW/m².

ENERGÍAS ALTERNATIVAS.- Se considera energías alternativas a las que pueden sustituir a la energía convencional (fósiles, grandes centrales hidroeléctricas, energía nuclear), y que no implican impactos negativos significativos. Son consideradas como alternativas entre otras la energía solar, eólica, biomasa, pequeñas centrales hidroeléctricas.

MÓDULO O PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.- Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.

VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO (Voc).- el voltaje de circuito abierto (abreviado como V_{OC} del inglés *Open-circuit voltage*) es la diferencia de potencial eléctrico entre dos terminales de un dispositivo cuando lo desconectamos de un circuito eléctrico. No hay ninguna carga eléctrica externa conectada a los terminales del dispositivo y no fluye ninguna corriente eléctrica a través de los mismos.

VOLTAJE DE MÁXIMA POTENCIA.- Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.

3.11.2. Siglas

CD= Corriente directa

CA= Corriente alterna

FV= Fotovoltaico

Vcc= Voltaje de cortocircuito

Icc= Corriente de cortocircuito

Vca= Voltaje de circuito abierto

Pmax= Potencia máxima

EF= Energía fotovoltaica

SF= Sistema fotovoltaico

Isc = Intensidad de constante solar

SENESCYT = Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación.

SENPLADES= Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo.

3.11.3. *Unidades*

W= Watio

Wh= Watio-hora

V= Voltio

A= Amperio

Ω = Ohmios

Kg= Kilogramo

M= Metro

Lm= lumen

Wp= Watio pico

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **ABELLA, Miguel Alonso.** *Sistemas fotovoltaicos. SAPT Publicaciones Técnicas, S. [En línea]* 2005. [Citado el 09 de Febrero del 2015.]
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- **BERMEO BERMEO, Juan Esteban; RODRÍGUEZ MÉNDEZ, Juan Carlos.** *Proyecto de normatividad de la EERCS para la generación distribuida utilizando sistemas fotovoltaicos.* [En línea] 2012. [Citado el 07 de Febrero del 2015.]
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/692/1/te324.pdf>
- **BUITRÓN ESPARZA, Luis Antonio; ENCALADA MÁRMOL, Diego Javier.** *Construcción de un tablero didáctico para la obtención de energía eléctrica alternativa fotovoltaica apropiado para realizar prácticas en el laboratorio de electricidad de la Universidad Técnica Del Norte.* [En línea] 2013. [Citado el 07 de Febrero del 2015.]
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1664/1/05%20FECYT%201420.pdf>
- **CALVACHE ALARCÓN, David; SOPALO MOPOSITA, Juan.** *Estudio del aprovechamiento de los sistemas fotovoltaicos instalados en el centro de estudio solar de la ciudad escolar Camilo Cienfuegos.* [En línea] 2009. [Citado el 07 de Febrero del 2015.]
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1267/1/T-UTC-0884.pdf>
- **FERNÁNDEZ FERICHOLA, Julio.** *Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil.* [En línea] 2009. [Citado el 10 de Febrero del 2015.] http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/PFC_Julio_Fernandez_Ferichola.pdf?sequence=1
- **FIGUEROA OLMEDO, Junior Rafael; PALAGUACHI ALCÍVAR, Alex Angel.** *Diseño y elaboración de guías de laboratorio para la Plataforma móvil labview robotics SBRIO Starter Kit de National Instrument.* [En línea] 2012. [Citado el 10 Mayo del 2015.]
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5106>.
- **MORA, Carlos Roberto Prado.** *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada.* [En línea] 2008. [Citado el 09 de Febrero del 2015.]
<http://www3.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0831t.pdf>
- **NEIRA GONZÁLEZ, Raúl Hernán; VELECELA ZHINDÓN, Marco Vinicio.** *Estudio de factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía solar fotovoltaica para el sector de Garauzhí de la parroquia*

Quingeo perteneciente a la ciudad de Cuenca. [En línea] 2014. . [Citado el 21 de Febrero del 2015.]

<http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6756/1/UPS-CT003484.pdf>

- **NÚÑEZ NÚÑEZ, Manuel Orlando; SALAZAR MOLINA, Carlos Manuel.** *Diseño y construcción de un sistema eficiente de alimentación solar, mediante acumuladores de energía, para un vehículo eléctrico.* [En línea] 2014. [Citado el 07 de Febrero del 2015.]
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1886/1/T-UTC-1776.pdf>
- **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.** *Sitio web de la Universidad Técnica de Cotopaxi.* [En línea] 2015. <http://www.utc.edu.ec>
- **VILLACRÉS CAÑIZARES, Luis; SUÁREZ TOSCANO, Alex.** *Estudio de factibilidad para instalación de paneles fotovoltaicos en la residencia estudiantil de la universidad de GRANMA.* [En línea] 2011. [Citado el 10 de Febrero del 2015.]
<http://181.112.224.103/bitstream/27000/866/1/T-UTC-0620.pdf>

ANEXOS

ANEXO N°1 ENTREVISTAS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI **CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS** **INGENIERÍA ELÉCTRICA**

ENTREVISTA

La presente entrevista está dirigida a los Docentes que dominan e imparten la materia de energías renovables con la finalidad de obtener información que ayude al desarrollo del trabajo investigativo.

OBJETIVO:

- Determinar la factibilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica puedan realizar prácticas demostrativas aprovechando la energía fotovoltaica.

PREGUNTAS

1. ¿Considera necesario la implementación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi?
2. ¿Considera usted que tener un sistema fotovoltaico que permita observar los efectos de la variación incidente beneficiara al aprendizaje teórico-práctico de la carrera?
3. ¿Qué parámetros del sistema fotovoltaico le interesaría que los estudiantes puedan observar?



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELÉCTRICA

ENTREVISTA

ENTREVISTADO: ING. ALVARO MULLO

ENTREVISTADOR: Villavicencio Avila Alex Jeovanny

ÍTEM	PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
1	¿Considera necesario la implementación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi?	Es indispensable la implementación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio porque permitirá realizar un correcto dimensionamiento y caracterización de los paneles, los parámetros que se deben visualizar con este sistema son la eficiencia de generación fotovoltaica y las curvas I-V de los paneles.
2	¿Considera usted que tener un sistema fotovoltaico el cual permita realizar análisis de los parámetros de estos sistemas beneficiara al aprendizaje teórico-práctico de la carrera?	
3	¿Qué parámetros del sistema fotovoltaico le interesaría que los estudiantes puedan observar?	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELÉCTRICA

ENTREVISTA

ENTREVISTADO: ING. XAVIER PROAÑO

ENTREVISTADOR: Villavicencio Avila Alex Jeovanny

ÍTEM	PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
1	¿Considera necesario la implementación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi?	Si es necesario la implementación de un sistema fotovoltaico, esto permitirá visualizar los efectos de las variables involucradas en un sistema fotovoltaico. El aprendizaje de los estudiantes se mejorara al contar con un módulo didáctico que permita explicar de mejor manera los efectos de la radiación solar frente a la producción de energía, los parámetros a determinar con el modulo son las curvas V-I con diferentes niveles de radiación y en diferentes configuraciones (Serie – Paralelo) así como los efectos de la sombra sobre el panel.
2	¿Considera usted que tener un sistema fotovoltaico que permita observar los efectos de la variación incidente beneficiara al aprendizaje teórico-práctico de la carrera?	
3	¿Qué parámetros del sistema fotovoltaico le interesaría que los estudiantes puedan observar?	

ANEXO N°2 CUESTIONARIO DE ENCUESTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS INGENIERÍA ELÉCTRICA

ENCUESTA

La presente encuesta está dirigida a los alumnos de los ciclos superiores de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi, con el propósito de obtener información que ayude al desarrollo de este proyecto.

OBJETIVO:

- Obtener información de la situación académica, referente a los sistemas fotovoltaicos y la utilización de estos sistemas en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica.

INSTRUCCIONES:

- ❖ Lea detenidamente cada pregunta.
- ❖ No escriba su nombre.
- ❖ Marque con una (X) la respuesta que según su criterio crea conveniente.

PREGUNTAS:

1. ¿Piensa usted que debería existir un laboratorio en el cual se pueda demostrar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos?

SI NO

2. ¿Tiene experiencia en el ensamblaje de sistemas fotovoltaicos?

SI NO

3. ¿Cuántas horas académicas Ud. recibe de energías alternativas, en la carrera de Ingeniería Eléctrica?

ÍTEM	ALTERNATIVAS	(X)
1	4 HORAS	
2	3 HORAS	
3	2 HORAS	
4	NINGUNA	

4. ¿Cree usted necesario que debería darse más horas para el estudio de energías alternativas?

SI

NO

5. ¿Piensa Ud. que el análisis del comportamiento de un sistema fotovoltaico debe realizarse con herramientas de fácil uso y comprensión?

SI

NO

6. Según su criterio, de las siguientes alternativas ¿Cuál facilitaría el aprendizaje de los sistemas fotovoltaicos?

ÍTEM	ALTERNATIVAS	(X)
1	Prácticas de laboratorio	
2	Uso de herramientas audiovisuales	
3	Las dos opciones anteriores	

7. ¿Es necesario implementar material didáctico en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro del área de energías renovables?

SI

NO

8. ¿Piensa Ud. que los altos costos de los elementos que conforman un sistema fotovoltaico limitan su acceso a nivel estudiantil?

SI

NO

9. ¿Cree Ud. que es necesario la implementación de un sistema fotovoltaico que sirva como un complemento a los conocimientos recibidos en las aulas?

SI

NO

10. ¿Considera Ud. importante para su desarrollo profesional tener la oportunidad de experimentar con equipos que utilicen energía solar?

SI

NO

***ANEXO N°3 GUIAS DE LABORATORIO PARA PRÁCTICAS CON UN
SISTEMA FOTOVOLTAICO***

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN
SISTEMA ELECTRICOS DE POTENCIA**

**GUIAS DE LABORATORIO PARA PRÁCTICAS
UTILIZANDO UN SISTEMA FOTOVOLTAICO**

ALEX VILLAVICENCIO

ELABORACIÓN DE GUÍAS PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Las guías de laboratorio son una orientación escrita para realizar prácticas, una guía es el conjunto de procedimientos prácticos que un estudiante debe realizar en un laboratorio. Las guías contienen aplicación de teoría, procedimientos y un manejo adecuado de equipos técnicos.

A continuación se presentan algunos parámetros de una guía de laboratorio, teniendo como referencia algunas prácticas.

- **Título de la práctica:** describe la actividad o tema de la práctica.
- **Objetivos:** se presenta el alcance y los propósitos que se desarrollaran en la práctica.
- **Marco teórico:** conceptos respecto al tema abordado.
- **Materiales:** uso y manejo de equipos y materiales utilizados en la práctica.
- **Pre informe.**
- **Procedimientos:** pasos y acciones continuas a desarrollar.
- **Informe:** cada estudiante debe presentar los resultados, el análisis y los problemas presentados en la práctica.
- **Conclusiones:** apreciaciones y análisis del trabajo realizado.
- **Bibliografía:** referencia bibliográfica utilizadas para la elaboración de la práctica.

Con estas guías se pretende que los estudiantes adquieran conocimientos como: familiarizarse con los elementos de un sistema fotovoltaico, caracterización eléctrica de un panel fotovoltaico, orientación e inclinación de paneles fotovoltaicos, instalación de sistemas fotovoltaicos con carga DC, conexión en serie y paralelo de paneles, de esta manera se complementan los conocimientos teórico-prácticos.

El principal limitante para el desarrollo de las prácticas, fue la falta de recursos económicos para la implementación de todas las prácticas por este motivo unas prácticas serán realizadas y otras solo se dejaron planteadas.

Guía de Practica N° 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

TEMA: Realizar la conexión de un sistema fotovoltaico, con conexión, de 2 lámparas y una carga adicional a 12v.

1. OBJETIVOS

- Diseñar el circuito para la conexión del sistema fotovoltaico, con 2 lámparas, 12v.
- Utilizar los elementos adecuados para la práctica.
- Demostrar el funcionamiento del sistema fotovoltaico, mediante el ensamblaje del circuito eléctrico, realizar mediciones.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

- **Panel Fotovoltaico.-** Un panel Fotovoltaico es una placa rectangular, formada por un conjunto de células Fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados. La función principal de un panel Fotovoltaico es la de soportar mecánicamente a las células Fotovoltaicas y

de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie. La vida útil de un panel Fotovoltaico puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años.

El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células Fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar. Estructura del panel fotovoltaico La forma más común de construir un panel Fotovoltaico es utilizando una estructura tipo “sándwich”, en la que ambos lados de las células Fotovoltaicas quedan mecánicamente protegidos.

- **Regulador de Carga.-** La función básica de este dispositivo es prevenir descargas y sobrecargas de la batería. Se emplea además para proteger las cargas en condiciones extremas de operación y brindar información al usuario. En la mayoría de los casos, el precio del regulador representa solamente el 5% de la inversión inicial en el sistema FV.
- **Batería solar.-** La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.

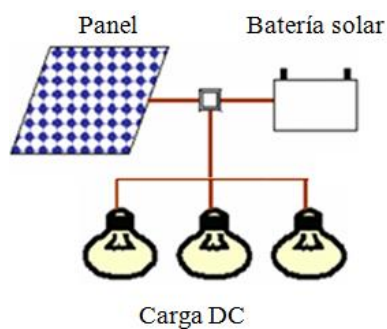
Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar.

- **Corriente Directa.-** la corriente continua es un tipo de intensidad eléctrica que se caracteriza por no cambiar de sentido con el correr del tiempo. En este tipo de corriente las cargas eléctricas siempre transitan en la misma dirección y esto es posible porque los terminales son siempre iguales, tanto aquel de menor potencial como el que presenta un potencial mayor.

3. EQUIPOS Y MATERIALES

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura metálica con soporte para panel solar y base de madera para los demás equipos	1
2	Panel Solar	1
3	Regulador de carga	1
4	Batería de ciclo profundo	1
5	Multímetro	1
6	Boquillas	2
7	Lámparas c.d	2

4. DIAGRAMA



5. PROCEDIMIENTO

- 5.1. Verificar que los equipos no se encuentren energizados.
- 5.2. Realice el montaje del circuito eléctrico tomando en cuenta el diagrama anterior, revisar minuciosamente.
- 5.3. Verifique el voltaje de entrada con el voltímetro (debe ser 12 Vcc), tome en cuenta las luces indicadoras del regulador de carga y la luz que indica la carga de la batería.
- 5.4. Realice mediciones de voltajes de salida del regulador de carga.

5.5. Una vez verificado el paso anterior, proceda a energizar las boquillas con su respectiva lámpara a 12Vcc.

5.6. Realice Mediciones de energía.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Voltaje (V)	
Voltaje de entrada del panel solar	
Voltaje de entrada del regulador de carga	
Voltaje de salida del regulador de carga	

Corriente (A)	
Corriente de entrada del panel solar	
Corriente de entrada del regulador de carga	
Corriente de salida del regulador de carga	

7. CONCLUSIONES

-
.....
-
.....
-
.....

8. RECOMENDACIONES

-
.....

-
.....
-
.....

9. BIBLIOGRAFÍA

- PILCO, Diego A.; JARAMILLO, Jorge L. Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos. *Univ. Técnica Part. Loja*, 2008, p. 1-4.
- MORA, Carlos Roberto Prado. Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada. 2008.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN
SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

TEMA: Sistema Fotovoltaico con concentrador solar.

1. OBJETIVOS

- Elaborar un concentrador solar para un sistema fotovoltaico.
- Instalar un concentrador solar en el circuito fotovoltaico.
- Utilizar los elementos adecuados para la práctica.
- Demostrar el funcionamiento del sistema fotovoltaico con y sin el concentrador solar.
- Realizar mediciones en las 2 configuraciones.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

- **Panel Solar.-** Un panel Fotovoltaico es una placa rectangular, formada por un conjunto de células Fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados. La función principal de un panel Fotovoltaico es la de soportar mecánicamente a las células Fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie. La vida útil de un panel Fotovoltaico puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años.

El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células Fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar. Estructura del panel fotovoltaico La forma más común de construir un panel Fotovoltaico es utilizando una estructura tipo “sándwich”, en la que ambos lados de las células Fotovoltaicas quedan mecánicamente protegidos.

- **Concentrador solar.-** Los concentradores solares son dispositivos con los cuales se logra gran cantidad de radiación concentrada sobre un absorbedor, suficiente para lograr temperaturas arriba de los 200 °C hasta los 3800 °C. Para lograr altas concentraciones mayores de 200 °C, se requieren de mecanismos para seguir el movimiento virtual del Sol que sean muy precisos.
- **Corriente de Cortocircuito.-** la corriente de cortocircuito del sistema, permite establecer las características de los elementos de protección que deberán cortar o soportar la corriente de falla, por lo que es necesario realizar el cálculo para cada uno de los niveles de voltaje del sistema. Estas corrientes pueden producir daños térmicos o mecánicos, por lo que es necesario aislar lo más pronto posible la falla, mediante la apertura de los interruptores correspondientes.

- **Corriente Directa.-** la corriente continua es un tipo de intensidad eléctrica que se caracteriza por no cambiar de sentido con el correr del tiempo. En este tipo de corriente las cargas eléctricas siempre transitan en la misma dirección y esto es posible porque los terminales son siempre iguales, tanto aquel de menor potencial como el que presenta un potencial mayor.

3. EQUIPOS Y MATERIALES

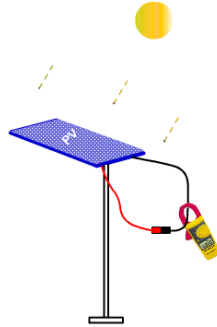
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura metálica con soporte para panel solar y base de madera para los demás equipos	1
2	Panel Solar	1
3	Multímetro	1
4	Concentrador solar	1

4. PROCEDIMIENTO

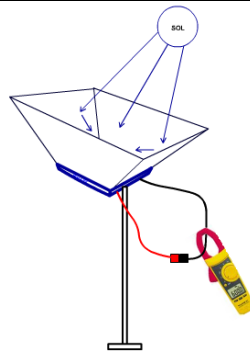
- 4.1. Realice el montaje del sistema fotovoltaico.
- 4.2. Verifique el voltaje de entrada con el voltímetro (debe ser 12 Vcc).
- 4.3. Oriente el panel fotovoltaico en dirección al sol con una inclinación óptima.
- 4.4. Cierre los terminales del panel y mida la corriente de cortocircuito, anote la lectura en la tabla.
- 4.5. Coloque el concentrador de aluminio en la superficie del panel, recuerde mantener la misma orientación y ángulo de inclinación.
- 4.6. Mida nuevamente la corriente de cortocircuito y anote el resultado en la tabla.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Condición del panel	Ics (A)
Panel	



Condición del panel	Ics (A)
Panel + Concentrador	



Comparación de las lecturas

-
-
-

6. CONCLUSIONES

-
-

➤
.....

➤
.....

7. RECOMENDACIONES

➤
.....

➤
.....

➤
.....

8. BIBLIOGRAFÍA

➤ PILCO, Diego A.; JARAMILLO, Jorge L. Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos. *Univ. Técnica Part. Loja*, 2008, p. 1-4.

➤ BENAVIDES SALCEDO, Enrique Santiago. Diseño y construcción de una cocina solar experimental de tipo cilíndrico parabólico con aplicación al sector rural marginal. 2006.

➤ CARRASCO, Carlos; CRUZ, Jose. *Efectos peligrosos en presencia de arcos electricos en tableros de distribucion*. 2010. Tesis Doctoral.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN
SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

TEMA: Fuentes de Voltaje fotovoltaicas en serie, paralelo y mixtas.

1. OBJETIVOS

- Conectar fuentes de voltaje fotovoltaicas en serie, paralelo y serie-paralelo.
- Utilizar los elementos adecuados para la práctica.
- Medir la corriente de carga en circuitos con fuentes de voltaje combinadas.
- Calcular la potencia eléctrica DC para las diferentes configuraciones de conexiones fotovoltaicas e Interpretar los datos obtenidos de las mediciones.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

- **Panel Solar.-** Un panel Fotovoltaico es una placa rectangular, formada por un conjunto de células Fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y

aluminio anodizados. La función principal de un panel Fotovoltaico es la de soportar mecánicamente a las células Fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie. La vida útil de un panel Fotovoltaico puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años.

El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células Fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar. Estructura del panel fotovoltaico La forma más común de construir un panel Fotovoltaico es utilizando una estructura tipo “sándwich”, en la que ambos lados de las células Fotovoltaicas quedan mecánicamente protegidos.

- **Corriente Directa.-** la corriente continua es un tipo de intensidad eléctrica que se caracteriza por no cambiar de sentido con el correr del tiempo. En este tipo de corriente las cargas eléctricas siempre transitan en la misma dirección y esto es posible porque los terminales son siempre iguales, tanto aquel de menor potencial como el que presenta un potencial mayor.
- **Motor DC.-** el principio de funcionamiento según la Ley de Lorentz cuando un conductor por el cual pasa una corriente eléctrica se sumerge en un campo magnético, el conductor sufre una fuerza perpendicular al plano formado por el campo magnético y la corriente.
- **Resistencia variable.-** Son resistencias que presentan un valor óhmico que nosotros podemos variar modificando la posición de un contacto deslizante.
- **Fuentes de Voltaje en serie.-** Las fuentes de voltaje se conectan en serie para incrementar o disminuir el voltaje total aplicado a un sistema. El voltaje neto se determina simplemente sumando las fuentes con la misma

polaridad y restando el total de las fuentes con la presión opuesta. La polaridad resultante es la de la suma de mayor magnitud.

- **Fuentes de voltaje en paralelo.-** Las fuentes de voltaje se conectan en paralelo para incrementar la corriente voltaje total aplicada a una carga eléctrica. Una definición de carga es la de un dispositivo que consume potencia eléctrica para realizar un trabajo. La corriente neta se determina sumando las corrientes de las fuentes de voltaje. El voltaje se mantiene igual a la magnitud de una de las fuentes.
- **Fuentes de voltaje en serie-paralelo.-** Las ventajas de la conexión serie y paralelo, se pueden combinar en la distribución serie-paralelo. Ésta permite mayor voltaje de salida como sucede en la conexión serie y aumenta la capacidad de corriente simultáneamente por la conexión paralelo.

3. EQUIPOS Y MATERIALES

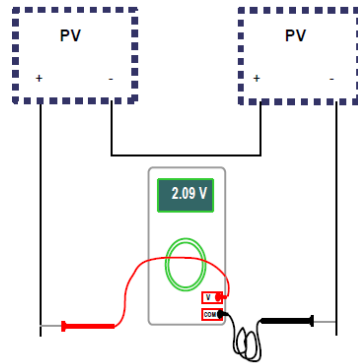
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura metálica con soporte para panel solar y base de madera para los demás equipos	2
2	Panel Solar	2
3	Multímetro	1
4	Resistencia variable	1
5	Motor DC	1

4. ACTIVIDAD #1 CONEXIÓN EN SERIE

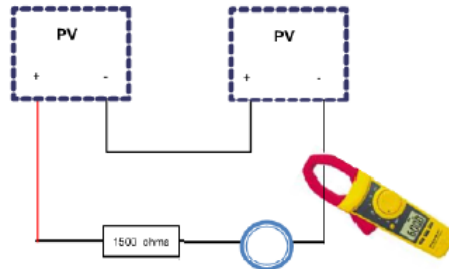
4.1. PROCEDIMIENTO

- Conecte dos paneles fotovoltaicos en serie.

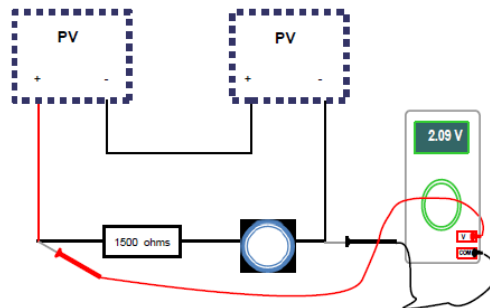
- Mida el voltaje de circuito abierto de la combinación en serie.



- Conecte la resistencia variable en la salida del circuito, mida la corriente de la resistencia.



- Mida el voltaje de la resistencia.



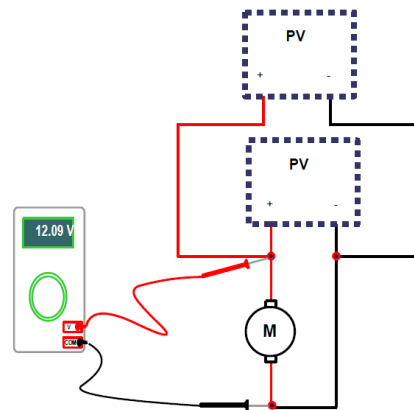
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Parámetros	Valores
Voltaje de circuito abierto	
Corriente resistencia variable	
Voltaje resistencia variable	

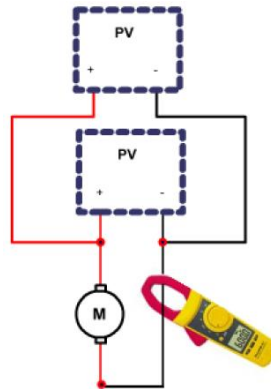
5. ACTIVIDAD #2 CONEXIÓN EN PARALELO

5.1. PROCEDIMIENTO

- Conecte dos paneles fotovoltaicos en paralelo, luego mida el voltaje del circuito abierto de la combinación en paralelo.
- Conecte un motor de 12VDC en la salida del circuito, como se muestra en la figura.
- Mida la corriente y el voltaje del motor.



- Calcule la potencia desarrollada por el motor.



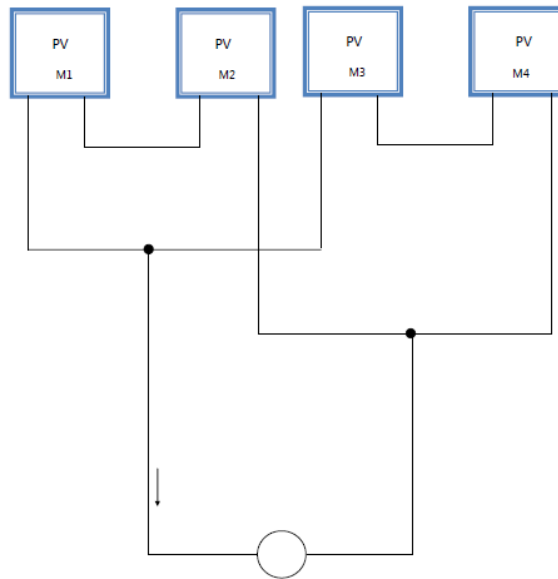
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Parámetros	Valores
Voltaje circuito abierto	
Voltaje motor	
Corriente motor	
Potencia motor	

6. ACTIVIDAD #3 CONEXIÓN SERIE-PARALELO

6.1. PROCEDIMIENTO

- Conecte 2 pares de paneles fotovoltaicos en serie, luego conecte los pares en paralelo.



- Mida el voltaje de circuito abierto de la combinación en paralelo.
- Conecte un motor de 12VDC en la salida del circuito, como se muestra en la figura.
- Mida la corriente y el voltaje del motor.

6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Parámetros	Valores
Voltaje circuito abierto	
Voltaje motor	
Corriente motor	
Potencia motor	

7. CONCLUSIONES

-
.....
-
.....
-
.....

8. RECOMENDACIONES

-
.....
-
.....
-
.....

9. BIBLIOGRAFÍA

- PILCO, Diego A.; JARAMILLO, Jorge L. Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos. *Univ. Técnica Part. Loja*, 2008, p. 1-4.
- CHEZA, Guachamín; PATRICIO, Vicente. *Construcción de un módulo de Control de Velocidad Electrónico PID para un motor de Corriente Continua*. 2012. Tesis Doctoral. QUITO/EPN/2012.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN
SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

TEMA: Efectos de la sombra en paneles fotovoltaicos.

1. OBJETIVOS

- Conocer los efectos que produce la sombra en los paneles fotovoltaicos.
- Conectar fuentes de voltaje fotovoltaicas en serie, paralelo y serie-paralelo, observar los efectos de la sombra en este tipo de conexiones.
- Utilizar los elementos adecuados para la práctica.
- Calcular la potencia eléctrica DC para las diferentes configuraciones de conexiones fotovoltaicas.
- Interpretar los datos obtenidos de las mediciones.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

- **Panel Solar.-** Un panel Fotovoltaico es una placa rectangular, formada por un conjunto de células Fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados. La función principal de un panel Fotovoltaico es la de soportar mecánicamente a las células Fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie. La vida útil de un panel Fotovoltaico puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años.

El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células Fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar. Estructura del panel fotovoltaico La forma más común de construir un panel Fotovoltaico es utilizando una estructura tipo “sándwich”, en la que ambos lados de las células Fotovoltaicas quedan mecánicamente protegidos.

- **Corriente Directa.-** la corriente continua es un tipo de intensidad eléctrica que se caracteriza por no cambiar de sentido con el correr del tiempo. En este tipo de corriente las cargas eléctricas siempre transitan en la misma dirección y esto es posible porque los terminales son siempre iguales, tanto aquel de menor potencial como el que presenta un potencial mayor.
- **Resistencia variable.-** Son resistencias que presentan un valor óhmico que nosotros podemos variar modificando la posición de un contacto deslizante.
- **Conexión en serie.-** En un circuito en serie los receptores están instalados uno a continuación de otro en la línea eléctrica, de tal forma que la corriente que atraviesa el primero de ellos será la misma que la que atraviesa el último. Para instalar un nuevo elemento en serie en un circuito

tendremos que cortar el cable y cada uno de los terminales generados conectarlos al receptor.

- **Conexión en paralelo.-** En un circuito en paralelo cada receptor conectado a la fuente de alimentación lo está de forma independiente al resto; cada uno tiene su propia línea, aunque haya parte de esa línea que sea común a todos. Para conectar un nuevo receptor en paralelo, añadiremos una nueva línea conectada a los terminales de las líneas que ya hay en el circuito.

3. EQUIPOS Y MATERIALES

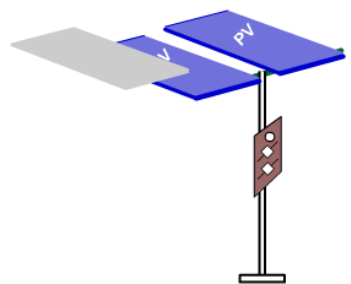
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura metálica con soporte para panel solar y base de madera para los demás equipos	2
2	Panel Solar	2
3	Multímetro	1
4	Ventilador DC	1
5	Pliego de papel para simular sombra	1

4. ACTIVIDAD #1 SOMBRA EN PANELES FOTOVOLTAICOS

4.1. PROCEDIMIENTO

- Conecte a la salida del panel fotovoltaico al ventilador DC.
- Coloque la porción de papel correspondiente al porcentaje de sombra, según la tabla.
- Mida la corriente y el voltaje, también calcule la potencia desarrollada.
- Repita los pasos anteriores para cada porcentaje de sombra.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS



Item	% de Sombra	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
1	0%	21,40	26	0,546
2	10%	16,20	20,60	0,334
3	20%	9,80	13,80	0,135
4	40%	4,70	2,40	0,011
5	60%	4,00	1,50	0,006
6	80%	3,10	1,00	0,003
7	100%	2,00	0,50	0,001

Efecto de la sombra sobre el voltaje

- El principal efecto que se produce en el voltaje es, la disminución del voltaje mientras el porcentaje de sombra incidente sobre el panel va aumentando.

Efecto de la sombra sobre la corriente

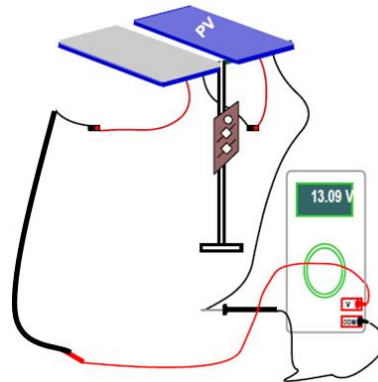
- De igual manera que en el voltaje mientras el porcentaje de sombra que incide sobre el panel fotovoltaico va aumentando la corriente va disminuyendo, también se aprecia que la corriente disminuye más rápido que el voltaje

5. ACTIVIDAD #2 SOMBRA EN PANELES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EN SERIE

5.1. PROCEDIMIENTO

- Conecte 2 paneles en serie.
- Coloque papel para sombrear un panel a la vez en un 50% y 100% según se indica en la tabla.
- Mida los parámetros de salida para cada caso.

5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS



Item	% de Sombra	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
1	0	41,60	45,40	1,89
2	1/2 panel	38,30	41,40	1,59
3	1 panel	35,10	38,00	1,33
4	1,5 paneles	21,20	24,30	0,52
5	Todo sombreado	16,80	20,10	0,34

Efecto de la sombra sobre el voltaje

- A medida que el porcentaje de sombra es mayor el nivel de voltaje se reduce, el voltaje no llega a valores tan bajos ya que se aplicó una sombra superficial lo que produjo que la radiación proveniente de los reflectores

se filtrara, los valores en esta prueba variarían dependiendo del grado de sombra al que se exponga el panel fotovoltaico.

Efecto de la sombra sobre la corriente

- De igual forma que con el voltaje mientras mayor porcentaje de sombra menor corriente circula por el circuito.

6. ACTIVIDAD #3 SOMBRA EN PANELES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EN PARALELO

6.1. PROCEDIMIENTO

- Conecte 2 paneles en paralelo.
- Coloque papel para sombrear un panel a la vez en un 50% y 100% según se indica en la tabla.
- Mida los parámetros de salida para cada caso.

6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Item	% de Sombra	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
1	0%	21,00	24,50	0,51
2	1/2 panel	20,40	24,00	0,49
3	1 panel	19,90	23,60	0,47
4	1,5 paneles	18,00	21,60	0,39
5	Todo sombreado	16,80	20,50	0,34

Efecto de la sombra sobre el voltaje

- Como se aprecia en los casos anteriores mientras mayor sombra incida en el panel menor será el voltaje, en este caso se aprecia que el voltaje disminuye en una pequeña proporción.

Efecto de la sombra sobre la corriente

- La corriente disminuye solo un poco, esto se puede deber a que exista una filtración de radiación solar sobre los paneles fotovoltaicos.

7. ACTIVIDAD #4 SOMBRA EN PANELES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EN SERIE-PARALELO

7.1. PROCEDIMIENTO

- Conecte 2 pares de paneles en serie, luego conecte los pares en paralelo.
- Coloque papel para sombrear un panel a la vez en un 100% según se indica en la tabla.
- Mida los parámetros de salida para cada caso.

7.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Panel sombreado	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia(W)
Sin sombra			
Panel 1			
Panel 3			
Panel 2 y 4			

Efecto de la sombra sobre el rendimiento del sistema

-
-

¿Cuál parámetro se vio más afectado la corriente o el voltaje?

-
-

8. CONCLUSIONES

-
.....
-
.....
-
.....

9. RECOMENDACIONES

-
.....
-
.....
-
.....

10. BIBLIOGRAFÍA

- PILCO, Diego A.; JARAMILLO, Jorge L. Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos. *Univ. Técnica Part. Loja*, 2008, p. 1-4.
- CHEZA, Guachamín; PATRICIO, Vicente. *Construcción de un módulo de Control de Velocidad Electrónico PID para un motor de Corriente Continua*. 2012. Tesis Doctoral. QUITO/EPN/2012.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN
SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

TEMA: Curvas características de un panel fotovoltaico.

1. OBJETIVOS

- Realizar la curva V/I del panel.
- Utilizar los elementos adecuados para la práctica.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

- **Panel Fotovoltaico.-** Un panel Fotovoltaico es una placa rectangular, formada por un conjunto de células Fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados. La función principal de un panel Fotovoltaico es la de soportar mecánicamente a las células Fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie. La vida útil de un panel Fotovoltaico puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años.

El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células Fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar. Estructura del panel fotovoltaico La forma más común de construir un panel Fotovoltaico es utilizando una estructura tipo “sándwich”, en la que ambos lados de las células Fotovoltaicas quedan mecánicamente protegidos.

- **Resistencia variable.-** Son resistencias que presentan un valor óhmico que nosotros podemos variar modificando la posición de un contacto deslizante.
- **Corriente Directa.-** la corriente continua es un tipo de intensidad eléctrica que se caracteriza por no cambiar de sentido con el correr del tiempo. En este tipo de corriente las cargas eléctricas siempre transitan en la misma dirección y esto es posible porque los terminales son siempre iguales, tanto aquel de menor potencial como el que presenta un potencial mayor.

3. EQUIPOS Y MATERIALES

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura metálica con soporte para panel solar y base de madera para los demás equipos	1
2	Panel Solar	1
3	Multímetro	1

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Orientar el panel fotovoltaico hacia la fuente luminosa.
- 4.2. Conectar el panel al enterrador.
- 4.3. Añadir una resistencia variable de 0Ω a 100Ω , en los bornes de generación. Conectar un voltímetro y un amperímetro a esos bornes.

4.4. Variar la resistencia, desde su valor máximo hasta su mínimo, realizando mediciones (I-V).

4.5. Con los valores obtenidos de las mediciones, realizar la gráfica.

4.6. Obtener el par de valores (V-I) de la curva, cuyo producto es máximo.

4.7. Hallar el factor de forma (FF) a partir de los valores obtenidos mediante la fórmula.

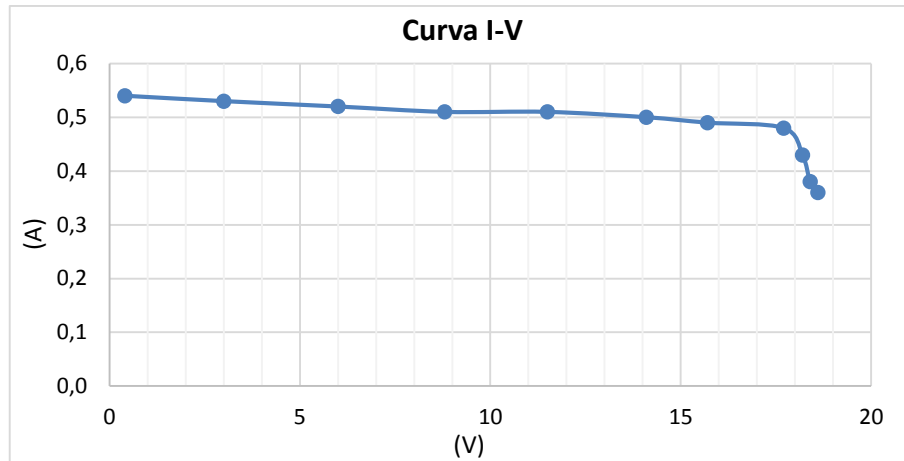
$$FF = \frac{I_P \cdot V_P}{I_{CC} \cdot V_O}$$

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Secuencia de Realización

- Para calcular el punto de potencia máxima del panel se deberá realizar una curva (I-V) a partir de los pares de valores obtenidos para diferentes cargas desde vacío a cortocircuito.
- Una vez obtenido el punto de potencia máxima, se obtendrá el factor de forma que nos indicara la calidad de las células del panel fotovoltaico.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Resistencia (Ω)
19,10	0,19	3,65	100
19,30	0,21	4,05	90
19,20	0,23	4,42	80
19,00	0,26	4,94	70
18,80	0,30	5,64	60
18,60	0,36	6,70	50
18,20	0,43	7,83	40
15,70	0,49	7,69	30
11,50	0,51	5,87	20
6,00	0,52	3,12	10
0,41	0,54	0,22	0



Si la resistencia toma el valor de cero, ¿podría perjudicar al panel? Justificar la respuesta.

R: Si la resistencia tiene un valor de cero el panel fotovoltaico estaría en cortocircuito lo que pone en riesgo de que se quemen las celdas fotovoltaicas.

IP=	0,43
Vp=	18,20
Icc=	0,54
Vo=	21,00

$$FF = \frac{I_P \cdot V_P}{I_{CC} \cdot V_O}$$

FF=	0,69
-----	------

6. CONCLUSIONES

-
-
-
-
-
-

7. RECOMENDACIONES

-
.....
-
.....
-
.....

8. BIBLIOGRAFÍA

- PILCO, Diego A.; JARAMILLO, Jorge L. Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos. *Univ. Técnica Part. Loja*, 2008, p. 1-4.
- CHEZA, Guachamín; PATRICIO, Vicente. *Construcción de un módulo de Control de Velocidad Electrónico PID para un motor de Corriente Continua*. 2012. Tesis Doctoral. QUITO/EPN/2012.

ANEXO N°4 MANUAL DE UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA LABVIEW

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN
SISTEMA ELECTRICOS DE POTENCIA

**MANUAL DE UTILIZACIÓN DE PROGRAMA LABVIEW,
PARA LA VISUALIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE
LOS PARÁMETROS DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AL
SER EXPUESTO A VARIACIONES.**

AUTOR:

ALEX VILLAVICENCIO

DIRECTOR:

ING. XAVIER PROAÑO

MANUAL DE UTILIZACIÓN DE PROGRAMA LABVIEW

Introducción

Este manual está hecho con el objetivo de realizar las prácticas de laboratorio utilizando de forma correcta los elementos y el programa LabVIEW para el análisis técnico de un sistema fotovoltaico.

DESARROLLO

Los elementos necesarios para el análisis de un sistema fotovoltaico mediante el programa labVIEW son los siguientes: sistema fotovoltaico, Tarjeta de Adquisición de datos con su cable de alimentación y el programa labVIEW en un computador.

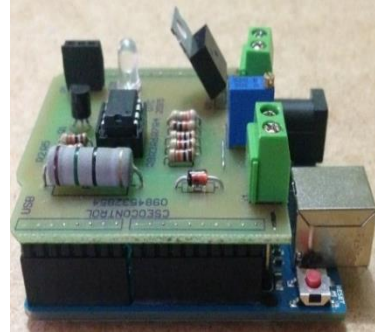
Para conectar correctamente los elementos para el análisis del sistema fotovoltaico se debe tomar en cuenta los siguientes pasos:

1. Conectar el cable de alimentación del computador a la tarjeta, con esto la tarjeta queda alimentada esto se debe realizar al comienzo ya que si se alimenta la tarjeta después de conectarla a los paneles solares se corre el riesgo de que la tarjeta se quemara.
2. Conectar los terminales del panel fotovoltaico a los terminales de adquisición de datos en la tarjeta.
3. Conectar los terminales de la carga variable a los terminales de carga en la tarjeta.
4. Abrir la ventana principal del programa labVIEW.
5. Encender los reflectores que proveerán la radiación incidente artificial para el análisis.

6. Ejecutar el programa para adquirir y graficar los datos del análisis.

Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos permite obtener los valores de corrientes y voltajes necesarios para que el programa labVIEW pueda graficar las curvas características de los paneles fotovoltaicos.



La tarjeta de adquisición de datos consta de una tarjeta principal y una tarjeta arduino.

Tarjeta Principal

La función de la tarjeta principal es reducir el voltaje enviado desde los paneles fotovoltaicos a un valor entre (0v – 5v) debido a que cualquier tarjeta de adquisición de datos excepto las industriales soportan un voltaje máximo de 5V.

El elemento principal de este circuito es el regulador de voltaje 7812 que soporta voltajes entre (5V - 24V) y una corriente máxima de 1A, la principal característica de este elemento es que dispone de limitación de corriente y protección térmica en caso de cortocircuitos.

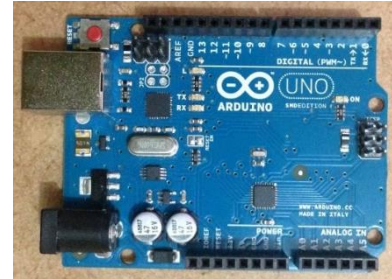


Si se sobrepasan las características del regulador este queda protegido, para que el regulador de voltaje funcione correctamente es necesario que el voltaje a la entrada sea superior a 3V.

Tarjeta Arduino

La tarjeta arduino nos permite adquirir los datos, esta tarjeta cuenta con 6 canales de adquisición análogos digitales los cuales leen los datos y los envía al computador.

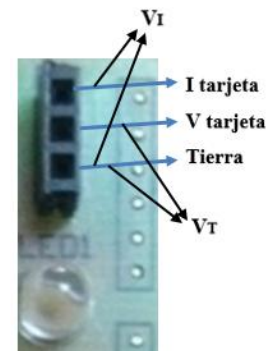
El auto consumo de la tarjeta de adquisición de datos es de 7mA ya que se trata de una corriente baja es despreciable, ya que una tarjeta de adquisición de datos solo lee valores de voltaje en el programa LabVIEW se incorporaron fórmulas para la conversión de voltaje a corriente y así poder leer los valores de corriente.



MÉTODO PARA OBTENER LAS FÓRMULAS NECESARIAS EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS

Para formar las ecuaciones de adquisición de datos se deben tomar datos tanto a la salida del panel fotovoltaico como en la tarjeta, para esto colocamos un amperímetro y un voltímetro a la salida del panel.

Para tomar los datos en la tarjeta tomamos mediciones en una regleta de la tarjeta ubicada junto al led como se puede apreciar en el gráfico.



En la adquisición de datos se necesitan dos ecuaciones, la ecuación de voltaje y la ecuación de corriente a continuación se explica como obtener cada una de las ecuaciones.

Ecuación de Voltaje

Para la ecuación de voltaje tomamos datos en el panel y en la tarjeta mientras variamos la carga, los datos del panel se denominan datos VP y a los datos de la

tarjeta datos VT. Una vez tomados los datos se gráfica una curva colocando los datos VT en el eje (x) y los datos VP en el eje (y), finalmente se adquiere la ecuación que se adapte de mejor manera al comportamiento de la curva que se obtuvo. Para el presente trabajo se utilizó la fórmula:

$$2,1717X^4-12,716X^3+22,208X^2-5,2978X+8,9423$$

Ecuación de Corriente

Para la ecuación de corriente tomamos datos en el panel y en la tarjeta mientras variamos la carga, los datos del panel se denominan datos IP y a los datos de la tarjeta datos VI. Una vez tomados los datos se gráfica una curva colocando los datos VI en el eje (x) y los datos IP en el eje (y), finalmente se adquiere la ecuación que se adapte de mejor manera al comportamiento de la curva que se obtuvo. Para el presente trabajo se utilizó la fórmula:

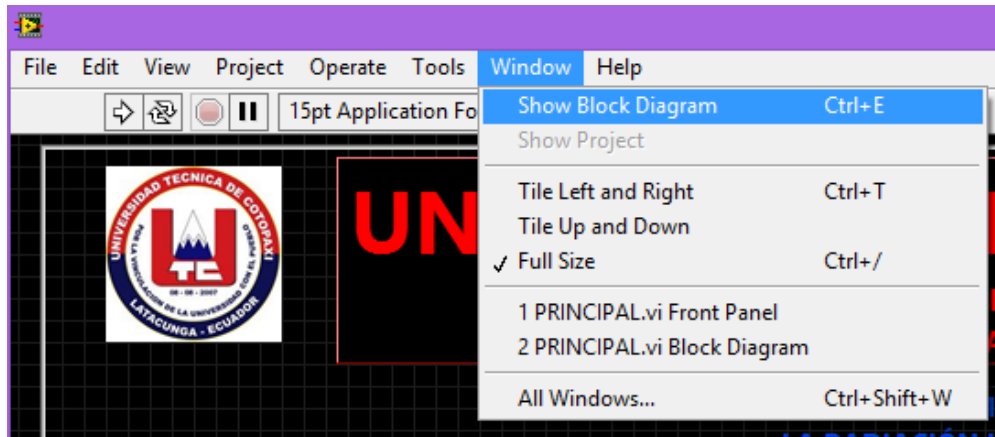
$$-166,42X^3+1606,9X^2-5218,7X+5638$$

Una vez obtenidas las ecuaciones se incorporan en el programa labVIEW, una vez realizado este proceso se pueden comenzar a realizar los diferentes análisis.

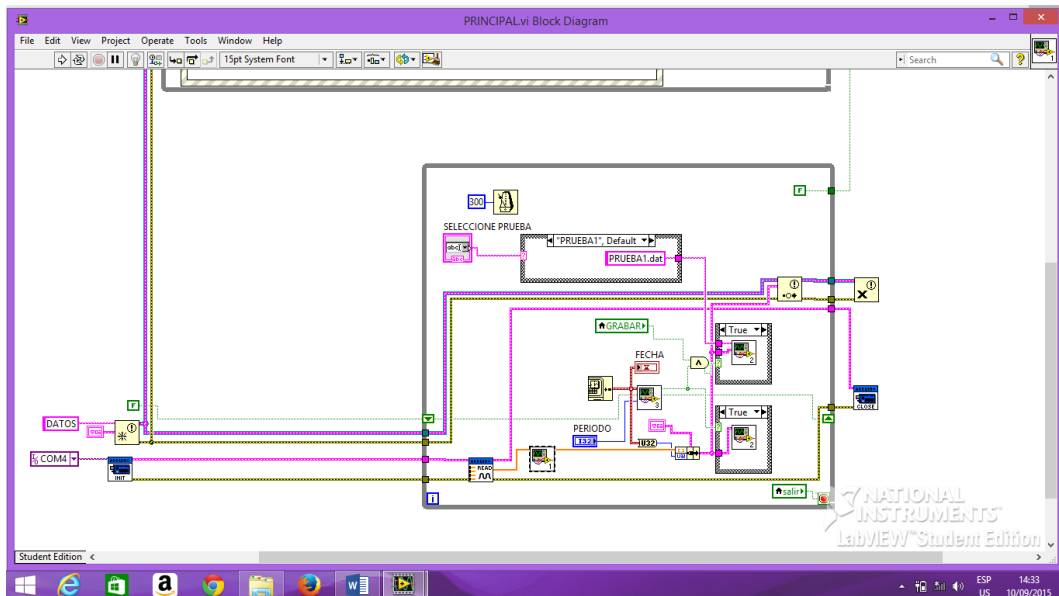
COLOCACIÓN DE LAS FÓRMULAS PARA ADQUIRIR LAS SEÑALES DE I Y V CON LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para establecer las fórmulas con las cuales la tarjeta va a adquirir las señales de I y V se deben seguir los siguientes pasos:

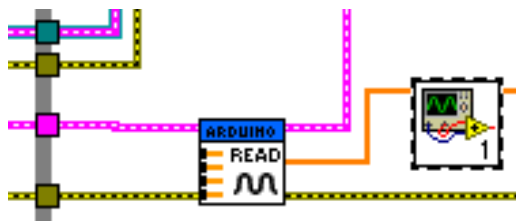
1. Abrir la carpeta que contiene el programa, en la cual se encuentran las subcarpetas para el análisis de un panel o dos paneles en paralelo.
2. Abrimos cualquier subcarpeta, en ella encontraremos el documento con el nombre PRINCIPAL lo abrimos.
3. Se abrirá el programa, en la parte superior del programa presionamos la opción Window, y seleccionamos ver diagrama de bloques como se muestra en la siguiente figura.



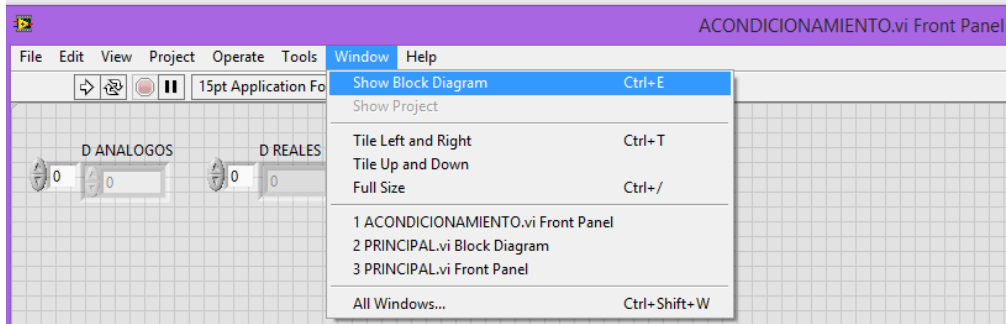
4. Se abrirá la pantalla principal pero en diagrama de bloques como se ve en la figura.



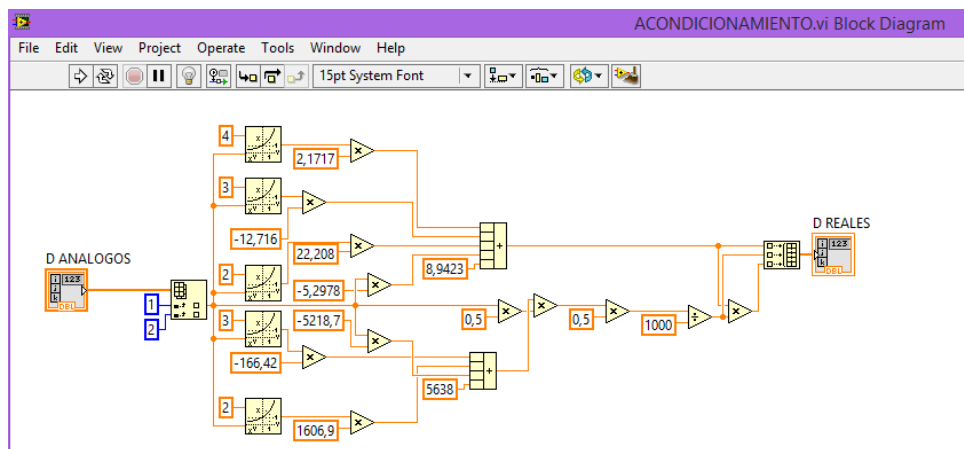
5. Damos doble clic sobre el gráfico que se encuentra con líneas entrecortadas.



6. Se nos abrirá la siguiente pantalla



7. De igual manera vamos al menú principal y presionamos en Windows, seleccionamos la opción ver diagrama de bloques con lo cual se abre la siguiente pantalla.



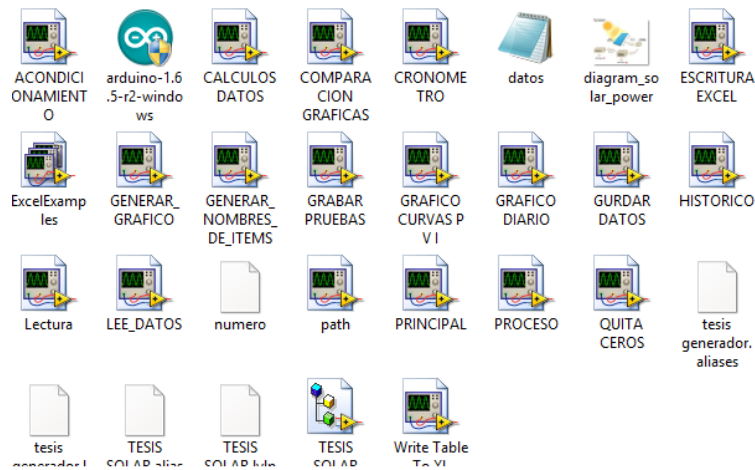
En esta pantalla se colocan gráficos para diseñar las formulas obtenidas.

ANÁLISIS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW

Para realizar el análisis con el programa labVIEW se abre la carpeta donde se encuentra el programa, dentro de esta carpeta se encuentran dos subcarpetas con las cuales se puede realizar el análisis a un panel fotovoltaico o a 2 paneles fotovoltaicos conectados en paralelo.

- Panel Fotovoltaico
- Paneles fotovoltaicos en paralelo

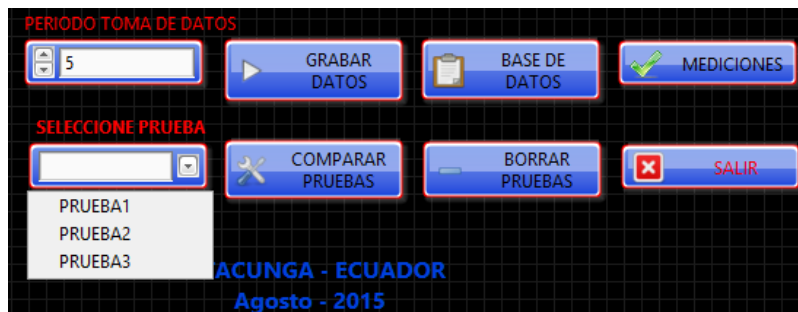
Al abrir cualquiera de las subcarpetas se observan todos los documentos que conforman el programa LabVIEW.




Se debe abrir el documento con el nombre **PRINCIPAL** el cual abrirá el programa como se observa en la siguiente imagen.

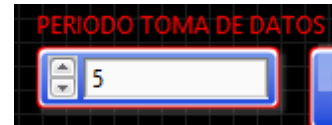


Desde la ventana principal se puede realizar todo el análisis del sistema fotovoltaico, en esta ventana se encuentran un conjunto de botones con los cuales se realiza el análisis técnico.

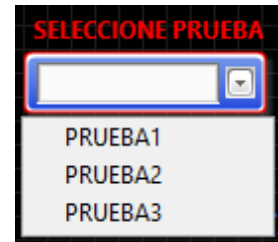


Se debe correr el programa presionando el botón .

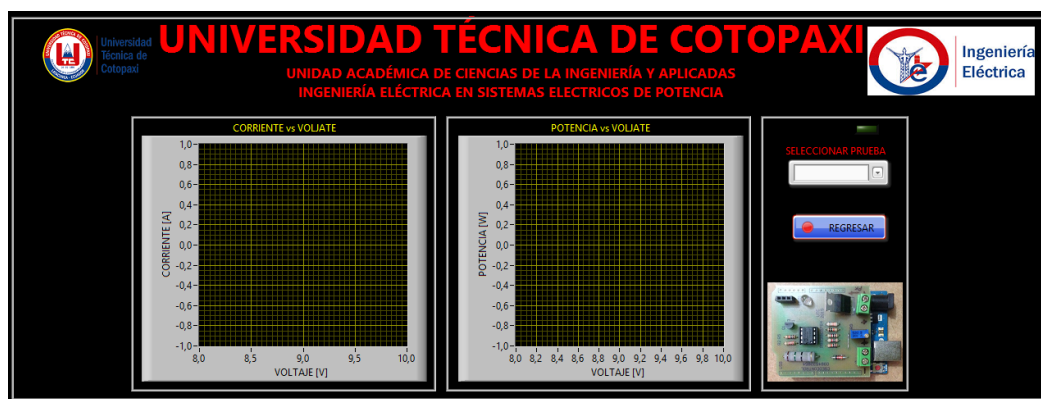
En el botón de **PERIODO TOMA DE DATOS** se selecciona el intervalo de tiempo en segundos para la adquisición de datos se recomienda seleccionar periodos a partir de 3 segundos en adelante.



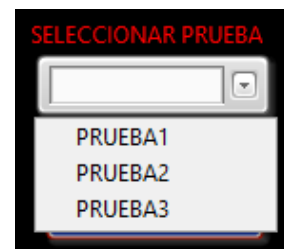
El botón **SELECCIONE PRUEBA** nos permite seleccionar entre tres pruebas para adquirir datos, es decir que con este programa se pueden realizar 3 diferentes pruebas.



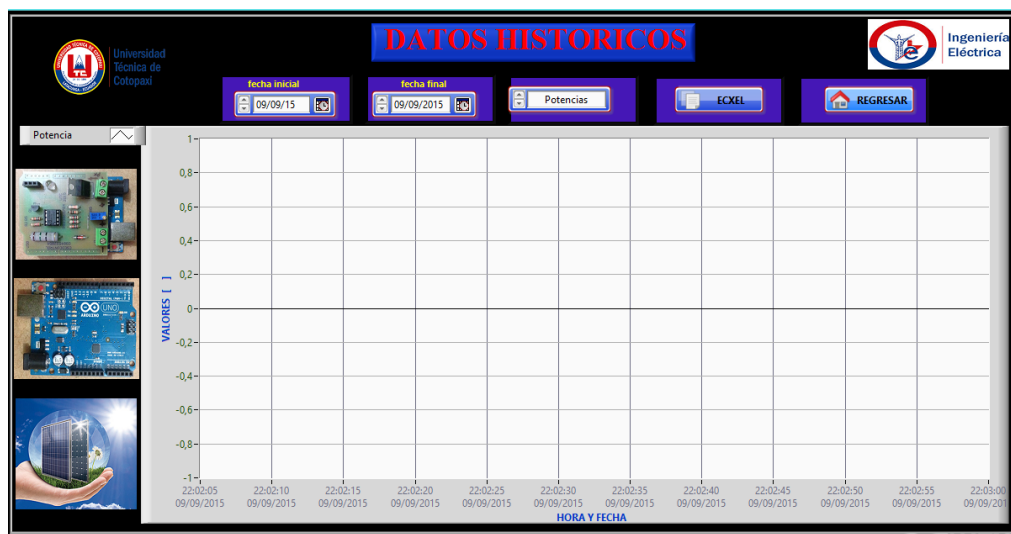
Con el botón **GRABAR DATOS** se abre una ventana en la cual se observan dos cuadros en los cuales se van graficando las curvas (I-V) y (P-V). A medida que se va variando la carga la curva se va graficando dependiendo del intervalo seleccionado en el periodo toma de datos.



Dentro de esta ventana se debe seleccionar la misma prueba que se seleccionó en la página principal del programa ya que siempre aparecerá la pantalla como si fuera la primera prueba, con esta acción se puede ir visualizando la adquisición de datos si se está realizando la segunda o tercera prueba.



El botón **BASE DE DATOS** abre una nueva ventana en la cual se puede visualizar las curvas de los datos adquiridos desde que se corrió el programa, en esta ventana se encuentran unos indicadores.



Los indicadores que se encuentran en esta ventana son:

La fecha en la que se inició el análisis y la fecha final o fecha actual del análisis.



Otro indicador sirve para seleccionar el parámetro que se desea visualizar, se puede seleccionar entre voltajes, corrientes y potencias.



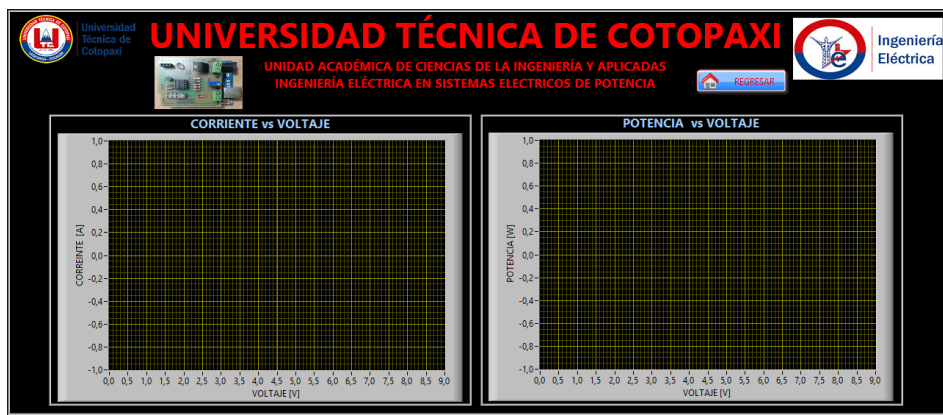
Si se realiza un análisis a largo plazo el indicador de Excel nos permite exportar todos los datos adquiridos durante todo el análisis, el inconveniente de exportar los datos a Excel es que si se trata de un análisis el cual tiene muchos datos puede tardar un tiempo considerable hasta que se exporten todos los datos.

El botón de **MEDICIONES** abre la pantalla en la cual se observa la curva que van formando los datos que se van adquiriendo, en esta pantalla se puede seleccionar ver las curvas de voltajes, corrientes y potencias



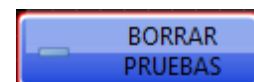
Esta ventana a diferencia de la base de datos nos permite visualizar tanto las curvas que se van generando como los parámetros de generación como son las corrientes, los voltajes y las potencias.

Con el botón de **COMPARAR PRUEBAS** como su nombre lo indica una vez realizadas las diferentes pruebas este botón compara las curvas (I-V) y (P-V) de las tres pruebas.



De esta manera se pueden identificar los cambios y las diferencias de una prueba con otra.

Por último el botón **BORRAR PRUEBAS** elimina todos los datos adquiridos en las tres pruebas, esto permite realizar otras pruebas para compararlas entre sí.



Es importante mencionar que este botón solo borra los datos de las pruebas no así la información de la base de datos.

**TABLA DE RADIACIÓN INCIDENTE SEGÚN LA POSICIÓN TANTO
DEL DIMMER COMO DEL SOPORTE METÁLICO**

El soporte metálico cuenta con una parte móvil la cual nos permite aumentar o disminuir la distancia entre los reflectores y los paneles fotovoltaicos, este soporte está señalizado con 5 marcas con las cuales se obtienen los diferentes valores de radiación como se aprecia en la siguiente tabla.

Posicion Dimmer	Posicion en soporte metalico					
	0	1	2	3	4	5
1100	1100	880	720	600	500	420
970	970	750	600	500	420	350
375	375	300	240	200	170	140