	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	<u>Documento</u>	<u>Código</u>	<u>Fecha</u>	<u>Revisión</u>
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
<u>Dependencia</u>	<u>Aprobado</u>		<u>Pág.</u>	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(153)	

### RESUMEN - TESIS DE GRADO

AUTORES	EDWIN JOSÉ VELÁSQUEZ SOLANO JHON BREINER SOLANO RODRÍGUEZ		
FACULTAD	DE INGENIERÍAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA MECÁNICA		
DIRECTOR	JUAN GUILLERMO GARCÍA RINCÓN		
TÍTULO DE LA TESIS	BANCO DE PRUEBAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON EL FIN DE GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS LUMINARIAS DE LA PLAZOLETA A LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.		
<u>RESUMEN</u> (70 palabras aproximadamente)			
<p>La GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR HA TRAÍDO CONSIGO UNA SERIE DE ASPECTOS FAVORABLES PARA EL MEDIO AMBIENTE, LA ECONOMÍA Y LA HUMANIDAD EN GENERAL. ES POR ESO QUE DICHA TECNOLOGÍA DE ORIGEN FRANCÉS SE HA VENIDO DESARROLLANDO Y AFIANZANDO DURANTE LOS ÚLTIMOS AÑOS.</p> <p>DE ESTA MANERA CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA QUE PERMITA INTERACTUAR DIDÁCTICAMENTE, INTEGRARSE PAISAJÍSTICAMENTE CON EL ENTORNO</p>			
<u>CARACTERÍSTICAS</u>			
PÁGINAS: 153	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 6	CD-ROM: 1



**BANCO DE PRUEBAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON EL FIN DE  
GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS LUMINARIAS DE LA  
PLAZOLETA A LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA  
SANTANDER OCAÑA.**

**EDWIN JOSÉ VELÁSQUEZ SOLANO  
JHON BREINER SOLANO RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
OCAÑA  
2015**

**BANCO DE PRUEBAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON EL FIN DE  
GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS LUMINARIAS DE LA  
PLAZOLETA A LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA  
SANTANDER OCAÑA.**

**EDWIN JOSÉ VELÁSQUEZ SOLANO  
JHON BREINER SOLANO RODRÍGUEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico.**

**Director  
JUAN GUILLERMO GARCÍA RINCÓN  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
OCAÑA  
2015**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	14
<u>1. BANCO DE PRUEBAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON EL FIN DE GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS LUMINARIAS DE LA PLAZOLETA A LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA 1</u>	15
1.1 <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	15
1.2 <u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	15
1.3 <u>OBJETIVOS</u>	15
1.3.1 General	15
1.3.2 Específicos	15
1.4 <u>JUSTIFICACIÓN</u>	16
1.5 <u>DELIMITACIONES</u>	16
1.5.1 Geográfica	16
1.5.2 Conceptual	16
1.5.3 Operativa	17
1.5.4 Temporales	17
<u>2 MARCO REFERENCIAL</u>	18
2.1 <u>ANTECEDENTES</u>	18
2.1.1 Mundial	18
2.1.2 Nacional	19
2.1.3 Local	21
2.2 <u>MARCO CONCEPTUAL</u>	21
2.3 <u>MARCO TEÓRICO</u>	24
2.3.1 Radiación solar	24
2.3.2 Geometría de la radiación incidente en sistemas fotovoltaicos	25
2.3.3 Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos	25
2.3.4 Eficiencia de módulos fotovoltaicos	25
2.3.5 Asociación de módulos fotovoltaicos	26
2.4 <u>MARCO LEGAL</u>	28
2.4.1 Republica de Colombia	29
2.4.2 Universidad Francisco de paula Santander	30
<u>3. DISEÑO METODOLÓGICO</u>	32
3.1 <u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u>	32
3.2 <u>POBLACIÓN</u>	32
3.3 <u>MUESTRA</u>	32
3.4 <u>FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</u>	32
3.4.1 Fase I. Definir los parámetros para el funcionamiento del banco de energía Solar fotovoltaica	32

3.4.2 Fase II. Calcular el sistema solar fotovoltaico capaz de generar 1900Wh/d con base a su funcionamiento práctico.	32
3.4.3 Fase III. Diseñar la estructura de los paneles solar fotovoltaico en forma de árbol, el cual, se integre de forma paisajística en la “plazoleta a la vida”	33
3.4.4 Fase IV. Integrar los diferentes componentes electrónicos y mecánicos al banco de pruebas solar fotovoltaico	33
3.4.5 Fase V. Validar el banco solar fotovoltaico para su posterior funcionamiento.	33
<b>4. <u>RESULTADOS</u></b>	<b>34</b>
<b>4.1 <u>VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS GEOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS DEL LUGAR DE ESTUDIO.</u></b>	<b>34</b>
4.1.1 Determinar la presencia de superficies reflectantes	34
4.1.2 Encontrar el punto de mayor incidencia de la irradiancia dentro De la plazoleta.	35
<b>4.2 <u>CALCULAR EL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CAPAZ DE GENERAR 1900Wh/d, CON BASE A SU FUNCIONAMIENTO PRÁCTICO.</u></b>	<b>50</b>
4.2.1 Cuantificación de la necesidad de consumo máximo de energía	50
4.2.2 Horas pico solar.	52
4.2.3 Calculo de la potencia pico del sistema fotovoltaico	55
4.2.4 Conexión adecuada de los paneles	57
4.2.5 Posicionamiento de los paneles	57
4.2.6 Dimensionado del sistema de acumulación	58
4.2.7 Dimensionado del regulador	59
4.2.8 Potencia del inversor	60
<b>4.3 <u>DISEÑAR LA ESTRUCTURA DE LOS PANELES SOLAR FOTOVOLTAICO EN FORMA DE ÁRBOL, EL CUAL, SE INTEGRE DE FORMA PAISAJÍSTICA EN LA “PLAZOLETA A LA VIDA”</u></b>	<b>61</b>
4.3.1 Diseño estructural	61
4.3.2 Análisis estático de la estructura	62
4.3.3 Selección del tipo de unión (uniones soldadas)	76
4.3.4 Deformación en las ramas	81
4.3.5 Análisis mediante simulación CAE	82
4.3.6 Construcción de la estructura en forma de árbol	87
<b>4.4 <u>INTEGRAR LOS DIFERENTES COMPONENTES ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS AL BANCO DE PRUEBAS SOLAR FOTOVOLTAICO.</u></b>	<b>88</b>
4.4.1 Adecuación de la estructura en el sitio de trabajo	88
4.4.2 Construir el cuarto eléctrico con sus respectivas conexiones eléctricas	90
4.4.3 Interconexión de todos los elementos para su puesta en funcionamiento	91
4.4.4 Puesta a punto del banco solar fotovoltaico conectado a las luminarias de la “plazoleta a la vida”	92
<b>4.5 <u>VALIDAR EL BANCO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SU POSTERIOR FUNCIONAMIENTO.</u></b>	<b>92</b>
4.5.1 Elaborar las respectivas guías de laboratorio, manual de operación y mantenimiento para el banco de pruebas.	92

4.5.2 Operar el banco de pruebas de energía solar fotovoltaica, según las guías para el desarrollo de cada una de las experiencias a ejecutar.	118
5. <a href="#"><u>CONCLUSIONES</u></a>	122
6. <a href="#"><u>RECOMENDACIONES</u></a>	125
<a href="#"><u>BIBLIOGRAFÍA</u></a>	126
<a href="#"><u>ANEXOS</u></a>	127

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Distribución horaria de irradiancia solar en el día uno (1)	37
Cuadro 2. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 2)	39
Cuadro 3. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 3)	41
Cuadro 4. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 4)	43
Cuadro 5. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 5)	45
Cuadro 6. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 6)	47
Cuadro 7. Estimación de consumo real de las luminarias	50
Cuadro 8. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 1, Posición 1)	54

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Comparación entre diferentes tecnologías de células fotovoltaicas	22
Figura 2. Características físicas panel solar	24
Figura 3. Curva característica I-V	25
Figura 4. Efecto de la radiación (I-V)	26
Figura 5. Conexión en serie (I-V)	27
Figura 6. Conexión en paralelo (I-V)	28
Figura 7. Ubicación geográfica UFPSO	34
Figura 8. Ubicación de los puntos de referencia solar	35
Figura 9. Toma de datos para el estudio de irradiancia	36
Figura 10. Irradiancia máxima y mínima registrada	49
Figura 11. Mapa de radicación solar de Colombia	53
Figura 12. Características eléctricas de los paneles solares asumidos	56
Figura 13. Diseño inicial de la estructural	61
Figura 14. Análisis estático de la estructura	62
Figura 15. Diagrama de fuerzas en la rama 1.	65
Figura 16. Diagrama de fuerzas en la rama 2	65
Figura 17. Sección transversal	66
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre rama 1	66
Figura 19. Esquema del tallo	67
Figura 20. Diagrama de fuerzas en la rama 3	68
Figura 21. Diagrama de fuerzas en la rama 2.	69
Figura 22. Diagrama de fuerzas en la rama.	71
Figura 23. Diagrama de fuerzas del tronco.	72
Figura 24. Diagrama de fuerzas cortante y momento flexionante	73
Figura 25. Diagrama de fuerzas cortante	74
Figura 26. Sección transversal	75
Figura 27. Diagramas de las ramas 2 y 3	76
Figura 28. Diagramas de la ramas 1	79
Figura 29. Superposición de las ramas 2 y3	81
Figura 30. Superposición de la rama 1	82
Figura 31. Prueba de Tensión realizada en Solidworks	83
Figura 32. Prueba de Deformación realizada en Solidworks	84
Figura 33. Prueba de Pandeo realizada en Solidworks	85
Figura 34. Procesos de manufactura para la construcción del banco	86
Figura 35. Estructura de soporte para paneles	87
Figura 36. Tubo de acero para tallo del árbol	87
Figura 37. Construcción del árbol	88
Figura 39. Aerografía a la estructura del árbol	89
Figura 40. Cuarto eléctrico	89
Figura 41. Ejecución del conexionado eléctrico	90
Figura 42. Tablero eléctrico	90



Figura 43. Interconexión de los equipos de la instalación solar fotovoltaica	91
Figura 44. Puesta a punto de la instalación solar fotovoltaica	93
Figura 45. Panel solar fotovoltaico	93
Figura 46. Regulador de carga	93
Figura 47. Acumulador o batería	94
Figura 48. Inversores	94
Figura 49. Tablero de conexiones	95
Figura 50. Bananas de conexión	95
Figura 51. Puentes de conexión	96
Figura 52. Interruptor automático	96
Figura 53. Conexión de regulador a baterías	97
Figura 54. Conexión de paneles a regulador	98
Figura 55. Conexión de baterías a inversor	99
Figura 56. Conexión de inversores a salida	100
Figura 57. Interruptores automáticos en posición de encendido	100
Figura 58. Plano electrónico del conexionado estándar de la instalación	101
Figura 59. Parte interna del regulador	102
Figura 60. Limpieza de bornes	103
Figura 61. Conexión de regulador a baterías	107
Figura 62. Conexión de paneles a regulador	108
Figura 63. Conexión de baterías a inversor	109
Figura 64. Conexión de inversor a salida	109
Figura 65. Interruptores automáticos en posición de encendido (ON)	110
Figura 66. Tablero de conexiones, puentes y multímetro	111
Figura 67. Interruptores automáticos en posición de apagado	111
Figura 68. Interruptores automáticos de los paneles en posición ON	112
Figura 69. Toma de tensión en paneles	112
Figura 70. Toma de corriente en paneles	113
Figura 71. Toma de tensión y corriente en paneles (1 Y 2) en paralelo	113
Figura 62. Toma de tensión y corriente en paneles (1,2 Y 3) en paralelo	114
Figura 73. Tablero de conexiones, puentes y multímetro	115
Figura 74. Toma de tensión y corriente en paneles (1 y 2) en serie	116
Figura 75. Toma de tensión y corriente en paneles (1, 2 y 3) en serie	116
Figura 76. Tablero de conexiones, puentes y multímetro	117
Figura 67. Toma de irradiancia	118

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafica 1. Distribución horaria de la irradiancia solar (Día 1)	38
Grafica 2. Distribución horaria de la irradiancia solar (Día 2)	40
Gráfica 3. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 3)	42
Gráfica 4. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 4)	44
Gráfica 5. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 5)	46
Gráfica 6. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 6)	48

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ficha técnica del panel solar fotovoltaico	128
Anexo B. Tabla de propiedades de los materiales	129
Anexo C. Ficha técnica del regulador	130
Anexo D. ficha técnica baterías	132
Anexo E. Simulación de descarga de la batería	133
Anexo F. simulación en soliworks	142
Anexo G. Costos del kit de energía solar	152
Anexo H. Costo total del proyecto	153

## INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de la energía solar ha traído consigo una serie de aspectos favorables para el medio ambiente, la economía y la humanidad en general. Es por eso que dicha tecnología de origen francés se ha venido desarrollando y afianzando durante los últimos años.

De esta manera con la implementación de una instalación solar fotovoltaica que permita interactuar didácticamente, integrarse paisajísticamente con el entorno y además cubrir la demanda de energía causada por las luminarias de la plazoleta a la vida se estará involucrando a la comunidad universitaria y al municipio de Ocaña en el uso de energías limpias y amigables con el medio ambiente a fin de generar conciencia respecto a otras tecnologías de generación.

En los últimos años el campo de la energía solar fotovoltaica ha ido desarrollando continuamente en la materia prima, tecnología, técnicas de producción y mercadeo de los equipos utilizados en instalaciones fotovoltaicas; aun así la implementación de esta tecnología resulta ser de difícil adquisición para algunos sectores de la sociedad ya sea por su alto valor adquisitivo o por simple desconocimiento de dicha tecnología. Es por ello que en los últimos meses el gobierno nacional de Colombia en cabeza del Ministerio de Minas y energías ha promulgado la nueva Ley 1715 de 2014 la cual promueve el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, así como al fomento de la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias.

Dentro de este trabajo se podrá encontrar todo lo concerniente al cálculo, diseño y construcción de una instalación fotovoltaica cuya energía será aprovechada en el funcionamiento de las luminarias de la plazoleta a la vida de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

# **1. BANCO DE PRUEBAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON EL FIN DE GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS LUMINARIAS DE LA PLAZOLETA A LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Al observar la compleja situación en la que se encuentra el planeta debido al calentamiento global y al deterioro en la capa de ozono causados por diversos factores los cuales están generando un constante desorden incontrolable en el clima, lo cual crea condiciones extremas a las que se está viendo sometida la humanidad despertando así gran interés entre la comunidad en general para tratar de disminuir dicho impacto ambiental teniendo como alternativa sistemas de generación de electricidad no convencionales.

Debido a la problemática antes mencionada se evidencia la disminución del caudal en los ríos de Colombia, es por esto que los costos energéticos han aumentado significativamente en los últimos tiempos, ya que el territorio nacional tiene como principal fuente de generación de energía eléctrica el sistema hidroeléctrico que abarca un 65% del mercado energético en el país. Dicha sequía hace necesaria la puesta en marcha de las generadoras de contingencia que por lo general consumen combustibles fósiles para lograr la generación de energía que satisfaga las necesidades del mercado, sin que se vea afectado el constante funcionamiento de la red interconectada.

Por su parte la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña no debe ser ajena a la problemática anteriormente mencionada y es en este sentido que la UFPSO se encuentra trabajando día a día en el estudio e implementación de energías alternativas que puedan mitigar la gran problemática energético-ambiental que también afronta la región del norte de Santander.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Mediante la construcción de un banco de pruebas de energía solar fotovoltaica, se podrá satisfacer el consumo de las luminarias ubicadas en la plazoleta a la vida?

## **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 General.** Implementar un banco de pruebas de energía solar fotovoltaica con el fin de generar energía eléctrica para las luminarias de la plazoleta a la vida de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

**1.3.2 Específicos.** Definir los parámetros para el funcionamiento del banco de energía solar fotovoltaica.

Calcular el sistema solar fotovoltaico capaz de generar 1900Wh/d, con base a su funcionamiento práctico.

Diseñar la estructura de los paneles solar fotovoltaico en forma de árbol, el cual, se integre de forma paisajística en la “Plazoleta a la Vida”.

Integrar los diferentes componentes electrónicos y mecánicos al banco de pruebas solar fotovoltaico.

Validar el banco solar fotovoltaico para su posterior funcionamiento.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad el uso de energías renovables ha permitido plantear posibles soluciones a la dramática situación ambiental que afronta el planeta; además significa un alivio económico debido al aprovechamiento de fuentes energéticas naturales tales como: sol, aire, agua e incluso la utilización de residuos sólidos (biomasa) con el fin de generar energía eléctrica. Ligado a ello el uso de energías renovables ha traído consigo progreso en el desarrollo de la humanidad.

Por otra parte los centros de educación superior son los principales invitados a plantear posibles soluciones a través de investigaciones que permitan minimizar los efectos producidos por el hombre en contra del medio ambiente. Con relación a otros países, el nuestro presenta un notable atraso en temas de aplicación de sistemas de generación de energía amigable con el medio ambiente, limpio y disponible en grandes cantidades. Debido a esto y a las situaciones anteriormente expuestas en el planteamiento del problema, nace la idea de llevar a cabo el presente proyecto.

Además de la contribución que la implementación de sistemas de energía alternativa le pueda traer al medio ambiente y a la economía, se busca también iniciar un proceso en el cual los estudiantes de la UFPSO sean introducidos en este importante tema del uso de energías renovables que hoy por hoy es uno de los principales temas de investigación a nivel mundial. Es por eso que con la construcción de este banco de ensayos se busca despertar el interés de la comunidad educativa con miras a una mejor y completa formación profesional dentro de lo que a energía solar fotovoltaica respecta.

Por último, con la realización de este proyecto se busca favorecer también la innovación, lo cual traerá como beneficio el desarrollo de este tipo de tecnologías en la UFPSO como centro de innovación en la región.

#### **1.5 DELIMITACIONES**

**1.5.1 Geográfica.** El proyecto se materializó en la planta física de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

**1.5.2 Conceptual.** La temática del proyecto se enmarca en los siguientes conceptos: sol, energía solar, radiación, irradiancia, panel fotovoltaico, acumulador, inversor, regulador,

solarímetro, intensidad, tensión, rendimiento, asociación de módulos (serie y/o paralelo), entre otros.

**1.5.3 Operativa.** El cumplimiento y desarrollo de los objetivos del siguiente estudio puede ser afectado por diversos factores. De surgir en el desarrollo del mismo, algún inconveniente que amerite modificaciones significativas, estas deberían ser consultadas con el director del mismo y posteriormente comunicadas al Comité Curricular.

**1.5.4 Temporal.** El presente proyecto tuvo una duración aproximada de 20 semanas a partir de la fecha de aprobación del anteproyecto.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 ANTECEDENTES

**2.1.1 Mundial.** El descubrimiento del efecto fotovoltaico es el fruto de las primeras investigaciones de Alexandre Edmond Becquerel físico francés (París 1820 - París 1891), Becquerel fue a sus 19 años el descubrimiento del efecto fotovoltaico al experimentar con una pila electrolítica con electrodos de platino, en la que observó el incremento de corriente que causa la exposición a la luz de uno de los electrodos según se indica en "Recherches sur les effects de la radiation chimique de la lumiere solaire au moyendescourantelectriques" que se encuentra en Comptes Rendus de l'Academie de Sciences 9, (1839) 561 & 145.

1839, El punto de partida se considera que fue Alexandre Edmund Becquerel (París 1820-París 1891), físico francés descubriendo el efecto fotovoltaico cuando experimentaba con una pila electrolítica, y apreció un aumento de la generación eléctrica con la luz.

1873, Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio.

1877, W.G.Adams y R.E.Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio.

1904, Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, al mismo tiempo que un artículo sobre la teoría de la relatividad.

1921, Einstein gana el premio Nobel de 1921 por sus teorías de 1904 explicando el efecto fotovoltaico ("for his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect"). Recibe el premio y lee el discurso en Gotemburgo-Suecia, en 1923).

1954, Los investigadores D.M.Chaplin, C.S. Fuller y G.L.Pearson de los Laboratorios Bell en Murray Hill, New Jersey, producen la primera célula de silicio, publican en el artículo "A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power", y hacen su presentación oficial en Washington (26 abril).

1955, Se le asigna a la industria americana la tarea de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. Hoffman Electronic, empresa de Illinois (EE.UU.) ofrece células del 3% de 14mW a 1.500 \$/Wp).

1957, Hoffman Electronic alcanza el 8 % de rendimiento en sus células.

1958, El 17 de marzo se lanza el Vanguard I, primer satélite alimentado con energía solar. El satélite lleva 0,1W superficie aproximada de 100 cm<sup>2</sup>, para alimentar un transmisor de respaldo de 5 mW, que estuvo operativo 8 años. La Unión Soviética, muestra en la exposición Universal de Bruselas sus células con tecnología de silicio.

1959, Hoffman Electronic alcanza el 10 % de rendimiento en sus células comerciales.



1962, Se lanza el primer satélite comercial de telecomunicaciones, el Telstar, con una potencia fotovoltaica de 14W.

1963, Sharp consigue una forma práctica de producir módulos de silicio; en Japón se instala un sistema de 242W en un faro, el más grande en aquellos tiempos.

1964, El navío espacial Nimbus se lanza con 470W de paneles fotovoltaicos.

1966, El observatorio astronómico espacial lleva 1kW de paneles solares.

1973, La producción mundial de células es 100 kW. El Skylab lleva 20kW de paneles.

1975, Las aplicaciones terrestres superan a las aplicaciones espaciales.

1977, La producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 kW.

1980, ARCO Solar es la primera empresa que alcanzó, una fabricación industrial de 1 MW de módulos al año.

1983, La producción mundial excede los 20 MW al año.

1994, Se celebra la primera Conferencia Mundial fotovoltaica en Hawaii.

1998, Se alcanza un total de 1.000 MWp de sistemas fotovoltaicos instalados.

2004, Se producen más de 1.000 MW de módulos fotovoltaicas ese año.

2007, Se producen más de 2.000 MW de módulos fotovoltaicas ese año.<sup>1</sup>

**2.1.2 Nacional.** La generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente en el precio de los combustibles, y los costos de Operación y Mantenimiento en las distantes zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo y confiable. Estas actividades surgieron con el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom a comienzos de los años 80, con la asistencia técnica de la Universidad Nacional. En este programa se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos de 60 Wp (Wp: vatio pico) para radioteléfonos rurales y ya en 1983 habían instalados 2 950 de tales sistemas. El programa continuó instalando estos sistemas y pronto se escaló a sistemas de 3 a 4 kWp para las antenas satelitales terrenas. Muchas empresas comenzaron a instalar sistemas para sus servicios de telecomunicaciones y actualmente se emplean sistemas solares en repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, entre otras aplicaciones. Estos sistemas son hoy esenciales para las

---

<sup>1</sup>ASIF. Historia de la energía solar fotovoltaica, septiembre de 2008.

telecomunicaciones rurales del país. Según un estudio realizado, entre 1985 y 1994 se importaron 48 499 módulos solares para una potencia de 2.05 MWp. De estos 21 238 módulos con una potencia de 843.6 kW en proyectos de telecomunicaciones y 20 829 módulos con 953.5 kWp en electrificación rural. El estudio anterior también indicó, sobre una muestra de 248 sistemas (con 419 módulos), que 56% de los sistemas funcionaban sin problemas, 37% funcionaban con algunos problemas y 8% estaban fuera de servicio. Como principal fuente de problemas se encontraron la falta de mínimo mantenimiento, suministro de partes de reemplazo (reguladores y lámparas) y sistemas sub-dimensionados. Estos problemas, que se suelen repetir aún hoy en día, indican la importancia que tiene el asegurar la sostenibilidad del suministro del servicio de energía para estos usuarios. Estas dificultades se han mostrado como una de las debilidades más graves del servicio de energía con estos sistemas. Y más que tratarse de un problema meramente técnico, el problema es de calidad del servicio y de atención al usuario. En los últimos diez años tampoco se han realizado estudios sobre el comportamiento de estos sistemas.

En los programas de electrificación rural, el sistema convencional para hogares aislados ha constado de un panel solar de 50 a 70 Wp, una batería entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga. Estos pequeños sistemas suministran energía para iluminación, radio y TV, cubriendo las necesidades realmente básicas de los campesinos. El costo actual de este sistema es del orden de US\$ 1 200 a 1 500, afectado principalmente por los elevados costos de instalación en las zonas remotas.

Durante los últimos años, se han instalado muchos más sistemas en los programas de electrificación rural, con fuerte financiación del Estado, haciendo uso actualmente de recursos como el FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas). El IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) es en la actualidad la institución que lidera las acciones del Estado en la energización del campo colombiano. Según esta institución hay en la actualidad más de 15 000 sistemas instalados para estas aplicaciones. Pero, además, el IPSE tiene en desarrollo soluciones innovadoras como sistemas híbridos, en donde se combinan por ejemplo la energía solar fotovoltaica y las plantas diesel, para reducir los costos de generación del diesel y emplear el generador diesel como respaldo.

El mercado de sistemas solares fotovoltaicos tuvo su boom hacia finales de los años ochenta con el programa de telecomunicaciones rurales de Teleco; las conocidas dificultades de orden público de la década de 90 frenaron el desarrollo del mercado, que aún se puede estimar en el orden de 300 kW por año. Si se consideran 30 años de desarrollo de este mercado, entonces la potencia instalada sería del orden de 9 MWp.

La generación de electricidad con energía solar tiene, entonces, enormes perspectivas, teniendo en cuenta que en Colombia cerca de 1 millón de familias carecen del servicio de energía eléctrica en el sector rural.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>Rodríguez M, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas, Enero de 2009.

**2.1.3 Local.** El sol y las variaciones de temperaturas que día a día se sienten en varios municipios del departamento, lo hacen apto para la generación de energía limpia y sustentable en el país. En la provincia de Ocaña, se han realizado varios montajes de pequeños sistemas de generación de energía eléctrica, a través de paneles solares fotovoltaicos. Referenciando los casos más relevantes, tenemos al señor Alfredo Bohórquez Niño, quien se encuentra realizando montajes experimentales; por otra parte el señor César Tulio Robles Torrado, habitante del barrio El palomar, instaló su propia planta de energía solar en la casa donde vive, la cual tiene una potencia de generación de 1970 W.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

Energías renovables: son fuentes que producen constantemente energía, de forma que la energía consumida se renueva continuamente y en consecuencia su utilización es ilimitada; dentro de las cuales podemos destacar solar , eólica, hidráulica, biomasa entre otras.

Efecto fotovoltaico: Las celdas solares convierten directamente la luz solar en electricidad, debido al efecto fotovoltaico. La luz está compuesta de fotones con diferentes energías. Cuando un fotón con energía suficiente choca con un átomo de algún material, por ejemplo el silicio, el átomo absorbe la energía del fotón y un electrón del material queda en un estado excitado por la energía absorbida, lo que permite, en algunos casos, que se mueva libremente. Si en lugar de uno son varios los electrones que circulan libremente, puede producirse una corriente eléctrica bajo ciertas condiciones y, por lo tanto, generarse electricidad a partir de energía solar.<sup>3</sup>

Sol: es la estrella más cercana a la Tierra y el mayor elemento del Sistema Solar. El Sol es también nuestra principal fuente de energía, que se manifiesta, sobre todo, en forma de luz y calor.

Energía solar fotovoltaica: Es aquella que permite transformar en electricidad la radiación solar a través de células fotovoltaicas.

Irradiación (radiación): Es la energía solar incidente en una superficie por unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo expresado en (kWh/m<sup>2</sup>).

Irradiancia: es la Potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética (W/m<sup>2</sup>).

Sistema fotovoltaico: Es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua.

---

<sup>3</sup>**Domínguez G, Héctor.** diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el cobaev 35 Xalapa, noviembre de 2012.

Sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR): Es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional; estos pueden ser instalados en el suelo o integrados a la edificación. La energía producida por este sistema será consumida parcial o totalmente en las cercanías, y la energía sobrante será inyectada en la red para su distribución a otros puntos de consumo.

Sistema fotovoltaico autónomo (SFA): Produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo.

Sistema fotovoltaico estático: Los sistemas más comunes basan su funcionamiento en generadores fotovoltaicos orientados hacia el Ecuador Terrestre (Sur en el hemisferio Norte, Norte en el hemisferio Sur) con una inclinación que depende de la latitud.<sup>4</sup>

Si en los terminales de una Célula fotovoltaica iluminada se conecta una carga eléctrica, se establece la circulación de una corriente eléctrica y aparece una diferencia de potencial en los bornes del receptor. La energía eléctrica generada se utilizará en el receptor actuando la célula fotovoltaica como generador de energía. La generación de energía de una célula solar fotovoltaica está condicionada a la existencia de una radiación luminosa que incida sobre su superficie.

Tradicionalmente están definidos tres tipos de paneles fotovoltaicos atendiendo a los componentes semiconductores usados en la construcción de la célula solar fotovoltaica: monocristalino, policristalinos y amorfos.

Figura 1. Comparación entre diferentes tecnologías de células fotovoltaicas.<sup>5</sup>

CÉLULAS	RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
Monocristalino	24%	15-20%	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
Policristalino	19-20%	12-16%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos de azules.	Igual que el del monocristalino, pero se reduce el número de fases de cristalización.
Amorfo	16%	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: Entrenador instalación fotovoltaica real a escala. Linares B, Fernando, 2013.

Paneles o módulos fotovoltaicos son un conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre sí en serie o en paralelo con el fin de generar cantidades de corriente y voltaje requeridos por una carga determinada.

<sup>4</sup>Perpiñán I, Oscar. Energía solar fotovoltaica, enero 2012.

<sup>5</sup>Linares B, Fernando. Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.

**Corriente Eléctrica** Es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de los electrones en el interior del material.

Características físicas de los módulos o paneles. (Ver figura 2)

La superficie puede oscilar entre 0,5 y 1,3 metros cuadrados, donde las células están ensambladas entre dos estratos, uno superior de cristal de silicio y otro inferior de material plástico.

La cubierta exterior tiene una función protectora ya que padece la acción de los agentes atmosféricos. Se utiliza un vidrio templado que presenta una buena protección contra los impactos, respetando una buena transmisión de la radiación del espectro solar. }

Su espesor es de unos 4 mm.

Encapsulante, es el encargado de la protección de las células solares y de las conexiones. El material normalmente usado es el EVA (etil vinilo acetileno), comportándose muy favorablemente en la degradación por medio de las radiaciones UV.

Parte posterior, formada por materiales acrílicos como puede ser el EVA o el PVC. Su principal misión es proteger al panel de la humedad. Son de color blanco para que refleje la luz que alcance la cubierta posterior y así aumentar la eficiencia de la instalación.

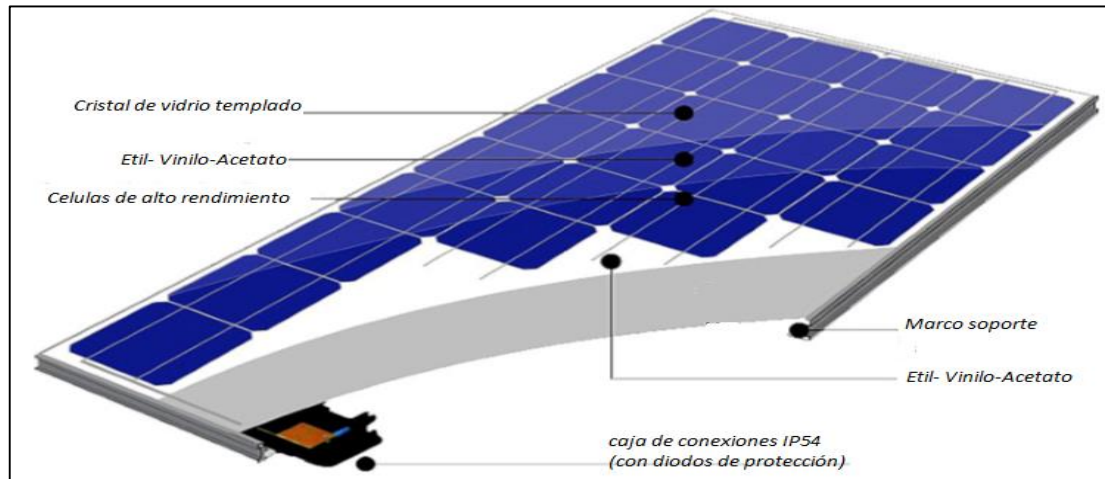
Marco soporte, este es donde se sujeta la placa solar. Generalmente construido de aluminio anodizado.

Inversor: es el dispositivo electrónico que permite convertir la corriente continua en alterna para satisfacer los requerimientos de funcionamiento de cargas que requieren corriente alterna para su funcionamiento.

Acumulador: Es una batería secundaria o recargable, capaz de almacenar energía eléctrica mediante una transformación en energía electroquímica. Es capaz de dar autonomía al sistema fotovoltaico al satisfacer los requerimientos de consumo en cualquier momento, independientemente de la generación.

Regulador de carga: Es un equipo electrónico capaz de evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador cuando se alcanzan determinados umbrales, generalmente determinados por la tensión en bornes de la batería.

Figura 2. Características físicas panel solar.<sup>6</sup>



Fuente: Entrenador instalación fotovoltaica real a escala. Linares B, Fernando, 2013.

## 2.3 MARCO TEÓRICO

**2.3.1 Radiación solar.** La naturaleza de la radiación emitida por el Sol atraviesa el espacio vacío en todas direcciones. No sufre pérdidas apreciables por interacción con medios materiales. Sin embargo, la irradiancia solar, definida como la densidad de flujo radiante solar, es atenuada de acuerdo con el cuadrado de la distancia. Parte de esta irradiancia solar es interceptada por el planeta Tierra.

Para el cálculo de la irradiancia solar que finalmente incide en una superficie arbitraria localizada en la corteza terrestre será útil distinguir tres contribuciones diferentes. Estas contribuciones, comúnmente denominadas componentes, son:

*Radiación Directa, B:* representa la fracción de irradiancia procedente en línea recta del Sol. *Radiación Difusa, D:* cuantifica la radiación procedente de todo el cielo salvo del Sol, y por tanto incluye todos los rayos dispersados por la atmósfera según los procesos descritos. Es una radiación anisotrópica, cuyo valor depende de la zona celeste de procedencia. Más aún, dado que las propiedades de la atmósfera varían de forma aleatoria con el tiempo, la radiación difusa deberá ser estudiada como un proceso estocástico. *Radiación del albedo, R o AL:* es aquella fracción de radiación procedente de la reflexión en el suelo. Habitualmente supone una contribución muy pequeña y en algunos casos puede ser despreciada. La suma de estas tres componentes constituye la denominada irradiancia global.

$$G = B + D + R \quad (2.1)$$

---

<sup>6</sup>Linares B, Fernando. Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.

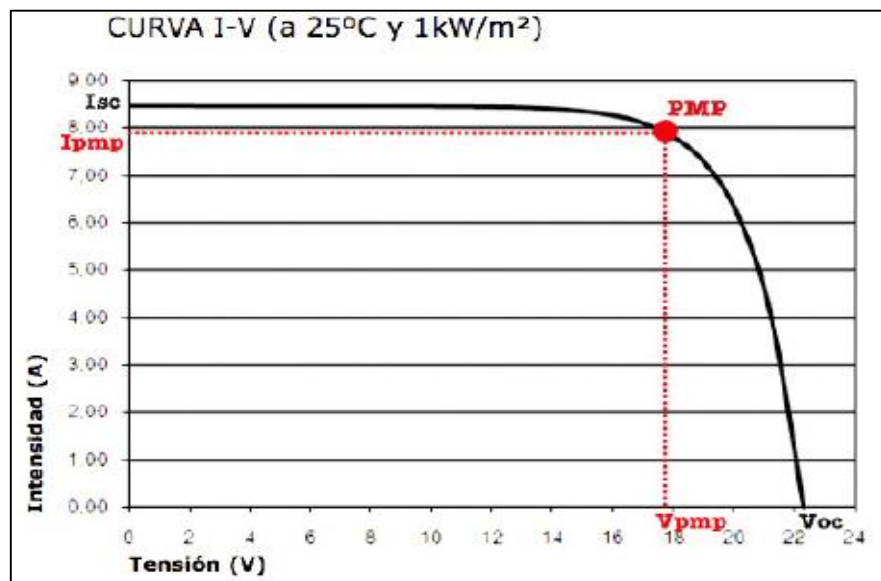
**2.3.2 Geometría de la radiación incidente en sistemas fotovoltaicos.** Es conocimiento común que la potencia entregada por un generador fotovoltaico es tanto mayor cuanto mayor sea el nivel de radiación efectiva incidente en el mismo. El cálculo de la radiación efectiva incluye las pérdidas por reflexión, efecto relacionado con el ángulo formado entre la línea que une el generador con el sol y la perpendicular al plano del módulo.

**2.3.3 Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.** La potencia, tensión y corriente de un módulo fotovoltaico dependerá del número de células solares asociadas en serie o en paralelo, del tipo de células usadas en su construcción y de las condiciones de trabajo.

La curva intensidad versus tensión (I-V) de una célula solar fotovoltaica para unas condiciones de radiación y temperaturas determinadas se caracteriza por:

- $V_{OC}$ : Tensión en vacío o en circuito abierto.
- $I_{SC}$ : Intensidad de cortocircuito.
- $P_{PMP}$ : Potencia en el punto de máxima potencia.
- $I_{PMP}$ : Corriente en el punto de máxima potencia.
- $V_{PMP}$ : Tensión en el punto de máxima potencia.

Figura 3. Curva característica I-V<sup>7</sup>



Fuente: Entrenador instalación fotovoltaica real a escala. Linares B, Fernando, 2013.

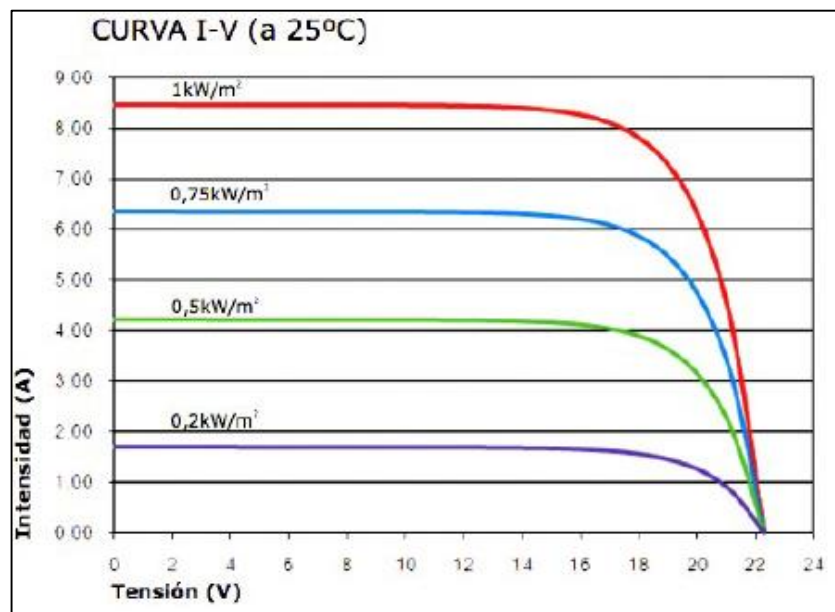
**2.3.4 Eficiencia de módulos fotovoltaicos.** La radiación que alcanza a la superficie del módulo fotovoltaico y la temperatura de trabajo de las células fotovoltaicas también son determinantes en los parámetros eléctricos de operación de un módulo fotovoltaico.

<sup>7</sup>Linares B, Fernando. Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.

La eficiencia de conversión de una célula solar fotovoltaica se define como el cociente entre la energía eléctrica generada por el modulo y la energía solar incidente sobre el modulo. Valores típicos varían entre el 12% y 20% para células de silicio cristalino y del 5% al 12% para silicio amorfo u otras tecnologías de capa delgada. Su valor se calcula mediante la siguiente expresión.

$$\eta = \frac{F.F * V_{OC} * I_{SC}}{G * A} \quad \text{donde} \quad F.F = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

Figura 4. Efecto de la radiación (I-V).<sup>8</sup>



Fuente: Entrenador instalación fotovoltaica real a escala. Linares B, Fernando, 2013.

**2.3.5 Asociación de módulos fotovoltaicos.** Según sea la asociación de los módulos fotovoltaicos se obtendrán variaciones en los parámetros eléctricos de los mismos. Con el fin de optimizar la producción de energía, nunca se conectarán entre si módulos de distintas características ni de distintos fabricantes. Para el conexionado se tienen tres posibilidades: ya sea serie, paralelo o mixto.

**Asociación en serie:** La conexión en serie de los módulos fotovoltaicos aumenta la tensión a la salida del grupo al sumar la tensión de cada uno de los módulos mientras que la corriente que circula es la misma para todos y cada uno de los módulos.

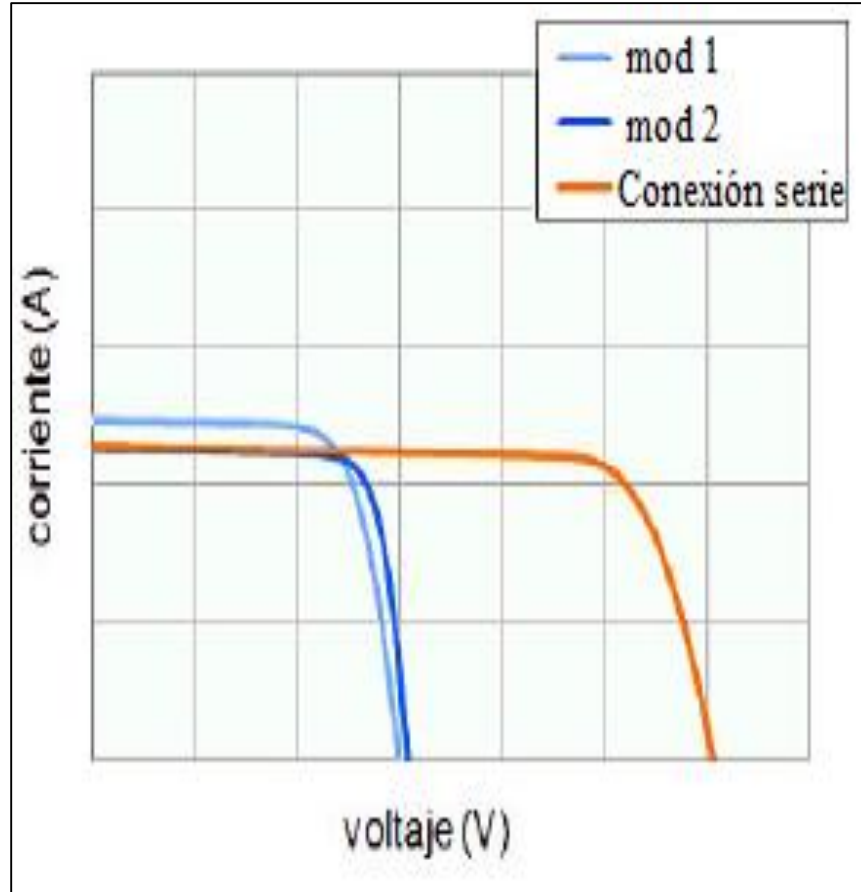
$$I_{Total} = I_{módulo1} = I_{módulo2} = \dots = I_{móduloN} \quad (2.3)$$

<sup>8</sup>Linares B, Fernando. Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.



$$V_{Total} = \sum V_{moduloi} = V_{modulo1} + V_{modulo2} + \dots + V_{moduloN} \quad (2.4)$$

Figura 5. Conexión en serie (I-V)<sup>9</sup>



Fuente: Entrenador instalación fotovoltaica real a escala. Linares B, Fernando, 2013.

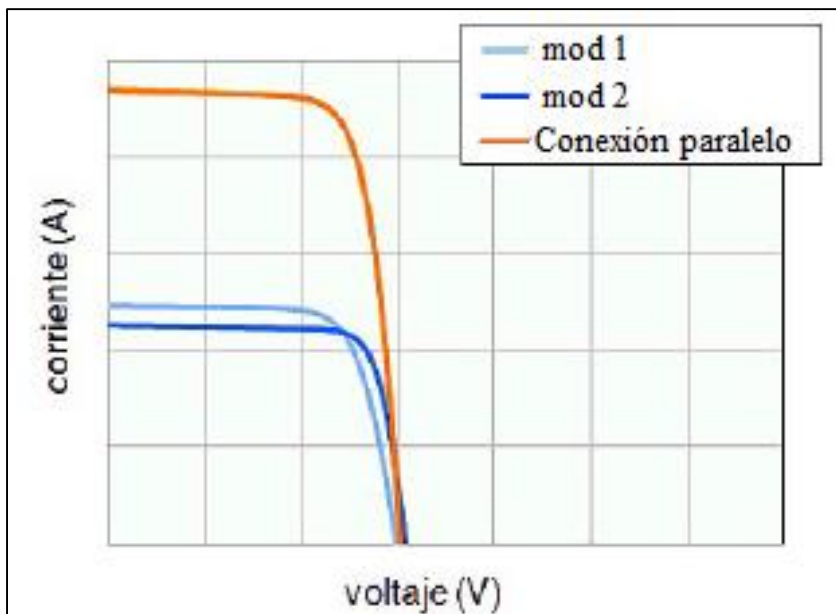
**Asociación en paralelo:** Mientras que para la asociación de los módulos en paralelo ocurre todo lo contrario. La conexión en paralelo de los módulos fotovoltaicos aumenta la corriente a la salida del grupo al sumar la corriente de cada uno de los módulos por su parte la tensión es la misma para todos y cada uno de los módulos.

$$I_{Total} = \sum I_{modulosi} = I_{módulo1} + I_{módulo2} + \dots + I_{móduloN} \quad (2.5)$$

$$V_{Total} = V_{módulo1} = V_{módulo2} = \dots = V_{móduloN} \quad (2.6)$$

<sup>9</sup>Linares B, Fernando. Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.

Figura 6. Conexión en paralelo (I-V)<sup>10</sup>



Fuente: Entrenador instalación fotovoltaica real a escala. Linares B, Fernando, 2013.

**Asociación mixta:** la tensión total y la intensidad total mediante conexas mixtas dependerá de los módulos conectados en serie y en paralelo.

$$V_{Total} = n^{\circ} \text{ paneles serie} \cdot V_{modulo} \quad (2.7)$$

$$I_{Total} = n^{\circ} \text{ paneles paralelo} \cdot I_{modulo} \quad (2.8)$$

## 2.4 MARCO LEGAL

En la instalación, puesta en marcha y supervisión de sistemas fotovoltaicos existen diversas normas, entre ellas:

**ASTM E2848 – 13.** Método de prueba estándar para la presentación de informes del rendimiento del sistema fotovoltaico.

**IEC 61724 de 1998.** Supervisión del rendimiento del sistema fotovoltaico - Directrices para la medición, el intercambio y análisis de datos.

<sup>10</sup>Linares B, Fernando. Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.

**2.4.1 República de Colombia.** Es importante tener presente, que lo concerniente con la energía renovable o también conocidas como fuentes no convencionales de energía, es un asunto de interés público debido a los impactos positivos que reporta respecto a la protección de los recursos naturales y la conservación del ambiente. Es por ello que el gobierno nacional, a través del Ministerio de Minas y Energía, junto con el de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expide la regulación económica y técnica, de lo relacionado con energía ya sea generación, distribución, transporte, uso y comercialización.

Para la generación eléctrica en Colombia hay unas normas generales (leyes 142 y 143 de 1994) en conjunto con las actividades de transmisión, distribución y comercialización, regidas por la neutralidad tecnológica para beneficiar a los usuarios; por tanto, no es viable usar fuentes renovables, con las tecnologías de hoy, mientras sus costos se mantengan sustancialmente mayores que los de las fuentes convencionales (agua, gas, diesel y carbón). Los costos de inversión son los no competitivos, porque los de administración, operación y mantenimiento sí lo son.

La Ley 697/01, sobre Uso Racional de Energía, define como propósito nacional avanzar hacia la utilización de fuentes renovables en pequeña escala y, particularmente, apoya la investigación básica y aplicada para que, con el tiempo, se reduzcan costos y se amplíe la capacidad de energías como la eólica, la solar, la geotérmica o la de biomasa.

La Ley 788/02 exime del impuesto a la renta las ventas de energía con fuentes renovables, durante quince años, si se obtienen los certificados de reducción de emisiones de carbono previstos en el Protocolo de Kioto, los cuales generan ingresos a los empresarios.<sup>11</sup>

### **Constitución Política Colombiana de 1991.**

#### **Capítulo III (de los derechos colectivos y del ambiente).**

**Artículo 79.** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

**Artículo 80.** El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

---

<sup>11</sup>**Revista Perspectiva**, Energías renovables: marco jurídico en Colombia, edición 21/2009.

Como una respuesta a la problemática ambiental de los sectores productivos colombianos, el gobierno nacional, a través del ministerio del medio ambiente, ha definido dentro de sus políticas ambientales fundamentales incentivar “la prevención de la contaminación” en su origen, en lugar de tratarla una vez generada.<sup>12</sup>

#### **2.4.2 Universidad Francisco de Paula Santander.**

**Acuerdo 065 de 1996.** El cual establece el estatuto estudiantil que es el regente actual en la institución.

**Artículo 140.** El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

##### **Proyecto de Investigación**

Monografía

Trabajo de Investigación: Generación o aplicación de conocimientos  
Sistematización del conocimiento.

##### **Proyecto de Extensión.**

Trabajo social

Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.

Pasantía

Trabajo dirigido

**Parágrafo 1.** El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

**Parágrafo 2º.** Para algunos Planes de Estudio y de acuerdo a sus características el Consejo Académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

**Artículo 141.** El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

Presentación del anteproyecto o plan de trabajo según corresponda a la modalidad del proyecto seleccionado.

Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.

Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

Parágrafo. Para todas las modalidades de proyecto de grado, el estudiante deberá presentar un informe final avalado por su director.

---

<sup>12</sup>**Asamblea Nacional Constituyente**, Constitución Política de Colombia, julio 1991.

**Artículo 142.** Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

**Parágrafo.** La Universidad incorporará los trabajos de grado, como componente básico de su hacer y creará bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vicerrectoría Asistente de Investigación y Extensión.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup>Consejo Superior Universitario UFPS, Estatuto estudiantil, agosto 1996.

### 3. DISEÑO METODOLOGICO

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La realización de este proyecto, se desarrolló teniendo en cuenta una combinación entre investigación aplicada y descriptiva.

La investigación aplicada consiste en la búsqueda de una solución inmediata a un problema a través de la confrontación entre los fundamentos teóricos y la realidad. Mientras que en la investigación descriptiva se implementa una serie de postulados numéricos que permiten conocer el comportamiento teórico de los componentes y características de un banco para ensayos de energía solar fotovoltaico, tales como: número, disposición de los paneles; acumulador, inversor, regulador entre otros.

#### 3.2. POBLACIÓN

La población objeto de esta investigación corresponde al programa de Ingeniería Mecánica de la UFPSO, ya que son quienes observarán el comportamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica a través del banco de ensayos.

#### 3.3. MUESTRA

Se recopilan datos obtenidos de los ensayos experimentales que permitan mediante medición cuantitativa observar y analizar el comportamiento del sistema.

#### 3.4 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Son fases para el desarrollo del proyecto cumpliendo los objetivos específicos. Se formula cada una de las fases y sus respectivas actividades a fin de dar solución al problema de investigación, entre las cuales tenemos:

**3.4.1 Fase I. Definir los parámetros para el funcionamiento del banco de energía solar fotovoltaica.** Para dar cumplimiento al objetivo se desarrollarán las siguientes actividades:

Verificación de las condiciones climáticas, geográficas y meteorológicas del lugar de estudio.  
Determinar la presencia de superficies reflectantes.  
Encontrar el punto de mayor incidencia de la irradiancia dentro de la plazoleta.

**3.4.2 Fase II. Calcular el sistema solar fotovoltaico capaz de generar 1900Wh/d, con base a su funcionamiento práctico.** A continuación, se describen las diferentes actividades del diseño de un sistema fotovoltaico, con la finalidad de establecer indicaciones sobre su diseño.

Cuantificación de la necesidad de consumo máximo de energía.  
Comprobar las horas pico solares en el lugar de estudio.

Calcular la potencia pico del sistema fotovoltaico.  
Establecer la conexión adecuada de los paneles.  
Posicionamiento de los paneles.  
Dimensionar la capacidad del sistema de acumulación.  
Dimensionado del sistema de regulación.  
Calcular la potencia del inversor.

### **3.4.3 Fase III. Diseñar la estructura de los paneles solar fotovoltaico en forma de árbol, el cual, se integre de forma paisajística en la “plazoleta a la vida”.**

Diseño estructural.  
Análisis estático de la estructura.  
Análisis mediante simulación CAE.  
Construcción de la estructura en forma de árbol.

### **3.4.4 Fase IV. Integrar los diferentes componentes electrónicos y mecánicos al banco de pruebas solar fotovoltaico.**

Adecuación de la estructura en el sitio de trabajo.  
Construir el cuarto eléctrico con sus respectivas conexiones.  
Interconexión de todos los elementos para su puesta en funcionamiento.  
Puesta a punto del banco solar fotovoltaico conectado a las luminarias de la “plazoleta a la vida”.

### **3.4.5 Fase V. Validar el banco solar fotovoltaico para su posterior funcionamiento.**

Elaborar las respectivas guías de laboratorio, manual de operación y mantenimiento para el banco de pruebas.

Operar el banco de pruebas de energía solar fotovoltaica, según las guías para el desarrollo de cada una de las experiencias a ejecutar.

## 4. RESULTADOS

Con el fin de lograr el diseño, construcción y puesta en funcionamiento; de un banco de pruebas de energía solar fotovoltaica para generar energía eléctrica en el programa de Ingeniería Mecánica de la UFPSO y que a su vez permitiera el suministro de energía eléctrica demandado por las luminarias situadas en la Plazoleta a la Vida, se tuvo que dar un estricto cumplimiento a los objetivos y a una serie de actividades.

### 4.1. VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS, GEOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS DEL LUGAR DE ESTUDIO.

La posición geográfica y las condiciones meteorológicas presentes en el sitio determinado para la ubicación y montaje de dicha instalación son de suma importancia. En este caso el sitio definido para realizar el ensamblaje de la instalación es La Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, la cual se encuentra ubicada específicamente a  $8^{\circ}14'15''$  latitud norte y  $73^{\circ}2'26''$  latitud oeste a 2,8 Km del casco urbano de la ciudad de Ocaña con una altura sobre el nivel del mar de 1.202 m. La ciudad posee una temperatura promedio de  $22^{\circ}\text{C}$ <sup>14</sup>

Figura 7. Ubicación geográfica UFPSO.



Fuente: Disponible en googlemaps.

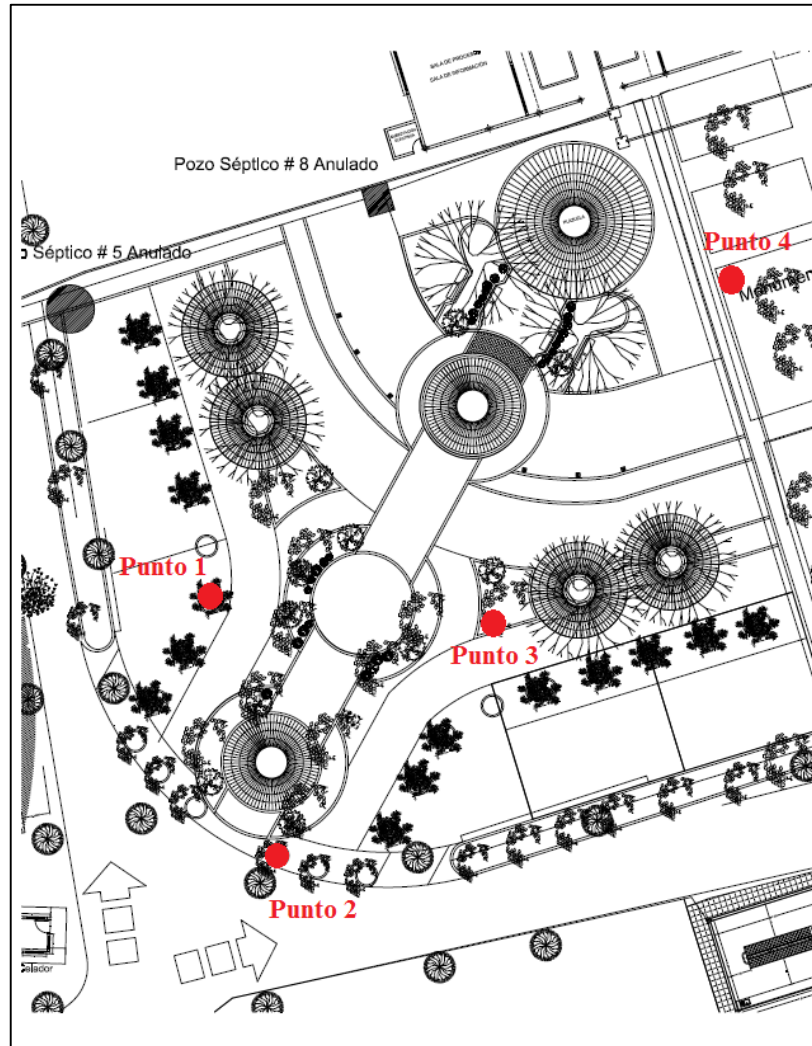
**4.1.1. Determinar la presencia de superficies reflectantes.** Se determinan cuatro (4) puntos de referencia, sobre los cuales se busca el mejor punto de ubicación de la estructura, sin que haya presencia de árboles. Como resultado de una mala ubicación bajo sombras se podrían afectar en forma directa la eficiencia de la instalación solar fotovoltaica.

<sup>14</sup><https://ufps.edu.co/Campus-Universitario>



De esta manera, se puede observar en la figura a continuación los puntos más importantes de menor incidencia con respecto a sombras.

Figura 8. Ubicación de los puntos de referencia solar.



Fuente: Planeación física de la Universidad Francisco de Paula Santander

#### 4.1.2. Encontrar el punto de mayor incidencia de la irradiancia dentro de la plazoleta.

Con los cuatro (4) puntos de referencia se procedió a determinar el punto de mayor irradiancia para establecer a través de ellos cual es el punto de mayor incidencia solar lo que ayudaría a establecer una mejor ubicación para un óptimo aprovechamiento solar dentro de la plazoleta.

El estudio se establece bajo un instrumento de medición de irradiancia (Solarímetro) en los cuatro (4) puntos de referencia (ver figura 8), la toma de datos se realizó en horarios de 6:00am a 6:00pm en intervalos de 1 hora sobre cada punto durante seis (6) días, además, se considera despreciable el resto de horas del día.

Figura 9. Toma de datos para el estudio de irradiancia.



Fuente: autores del proyecto.

Para la realización de esta práctica se ubica el solarimetro en una base que en su parte superior cuenta con una plataforma inclinada a  $19^\circ$  con respecto a la horizontal; esta inclinación se determina teniendo en cuenta el cálculo del ángulo óptimo para paneles solares:

$$\beta = \phi + 10^{o15}$$

En los siguientes cuadros se pueden observar los datos obtenidos:

---

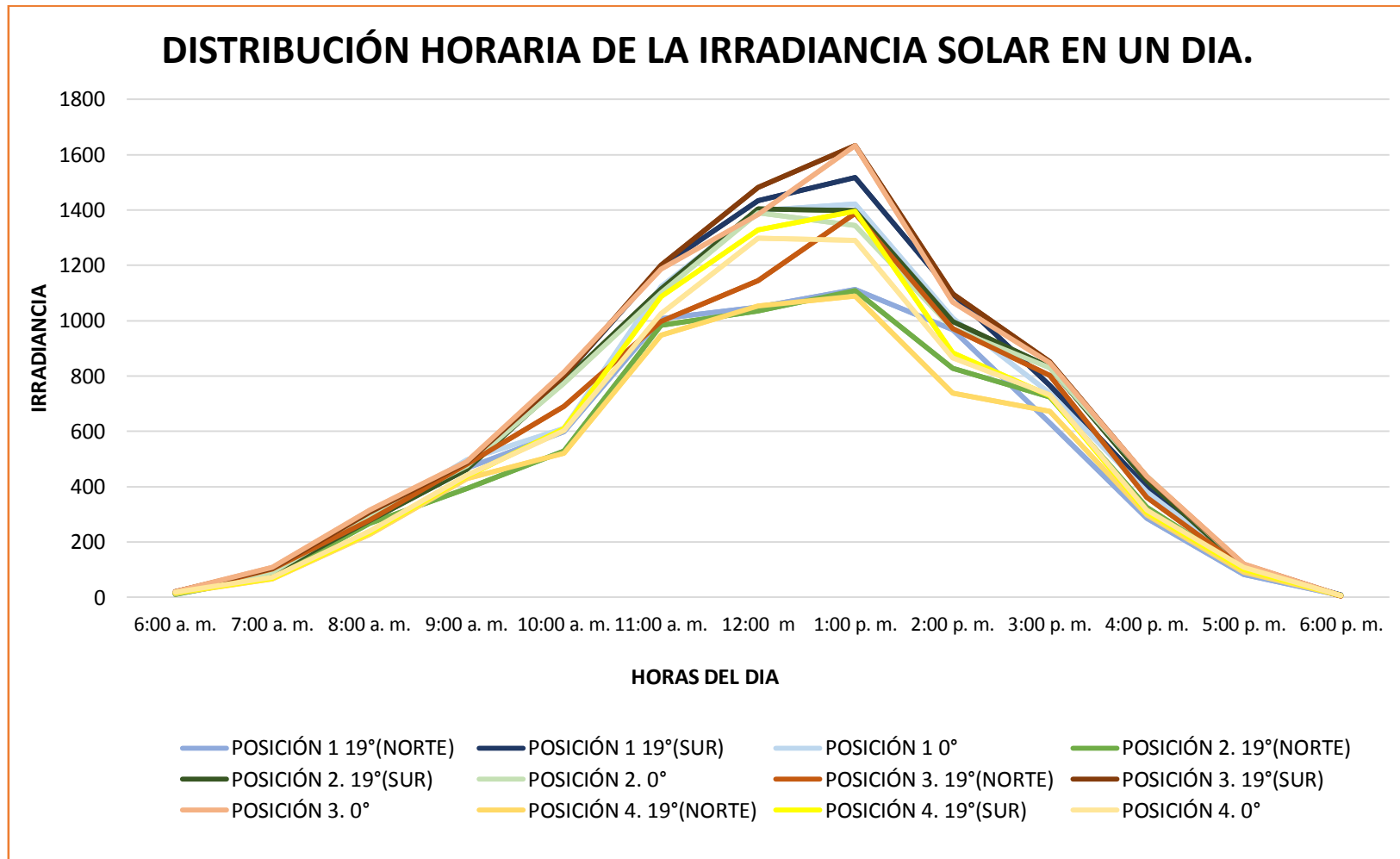
<sup>15</sup>Perpiñán I, Oscar. Energía solar fotovoltaica, enero 2012.

Cuadro 1. Distribución horaria de irradiancia solar en el día uno (1).

DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA IRRADIANCIA SOLAR EN UN DÍA EN LA PLAZOLETA A LA VIDA (W/m <sup>2</sup> )												
DÍA 1 (LUNES 9 DE MARZO DE 2015)												
HORA	POSICIÓN 1			POSICIÓN 2			POSICIÓN 3			POSICIÓN 4		
	19°(NORT E)	19°(SU R)	0°	19°(NORT E)	19°(SU R)	0°	19°(NORT E)	19°(SU R)	0°	19°(NORT E)	19°(SU R)	0°
6:00 a. m.	16	15	18	10	16	13	14	21	20	15	16	18
7:00 a. m.	73	75	75	76	89	91	103	105	109	67	68	72
8:00 a. m.	277	280	288	267	278	298	280	308	315	227	233	240
9:00 a. m.	467	467	496	394	463	475	482	486	490	429	437	442
10:00 a. m.	598	799	611	529	782	775	691	799	813	521	611	602
11:00 a. m.	1008	1195	1123	984	1115	1101	997	1201	1187	947	1088	1026
12:00 m	1049	1433	1398	1035	1405	1391	1145	1482	1385	1054	1328	1299
1:00 p. m.	1112	1517	1422	1109	1398	1345	1389	1634	1634	1089	1396	1291
2:00 p. m.	968	1098	1009	827	998	972	971	1097	1067	738	883	865
3:00 p. m.	631	767	739	724	831	829	802	851	848	673	729	733
4:00 p. m.	286	398	382	325	422	438	361	436	437	298	307	315
5:00 p. m.	83	102	115	101	108	115	107	119	120	91	101	108
6:00 p. m.	6,2	9,3	6	6,2	6,1	6,8	5,4	7	6,8	5,8	5,9	6
RADIACIÓN (Wh/m <sup>2</sup> )	6574,2	8155,3	7682	6387,2	7911,1	7849,8	7347,4	8546	8431,8	6154,8	7202,9	7017
PROM RADIACIÓN	7470.5			7382.7			8108.4			6791.6		

Fuente: autores del proyecto.

Grafica 1. Distribución horaria de la irradiancia solar (Día 1)



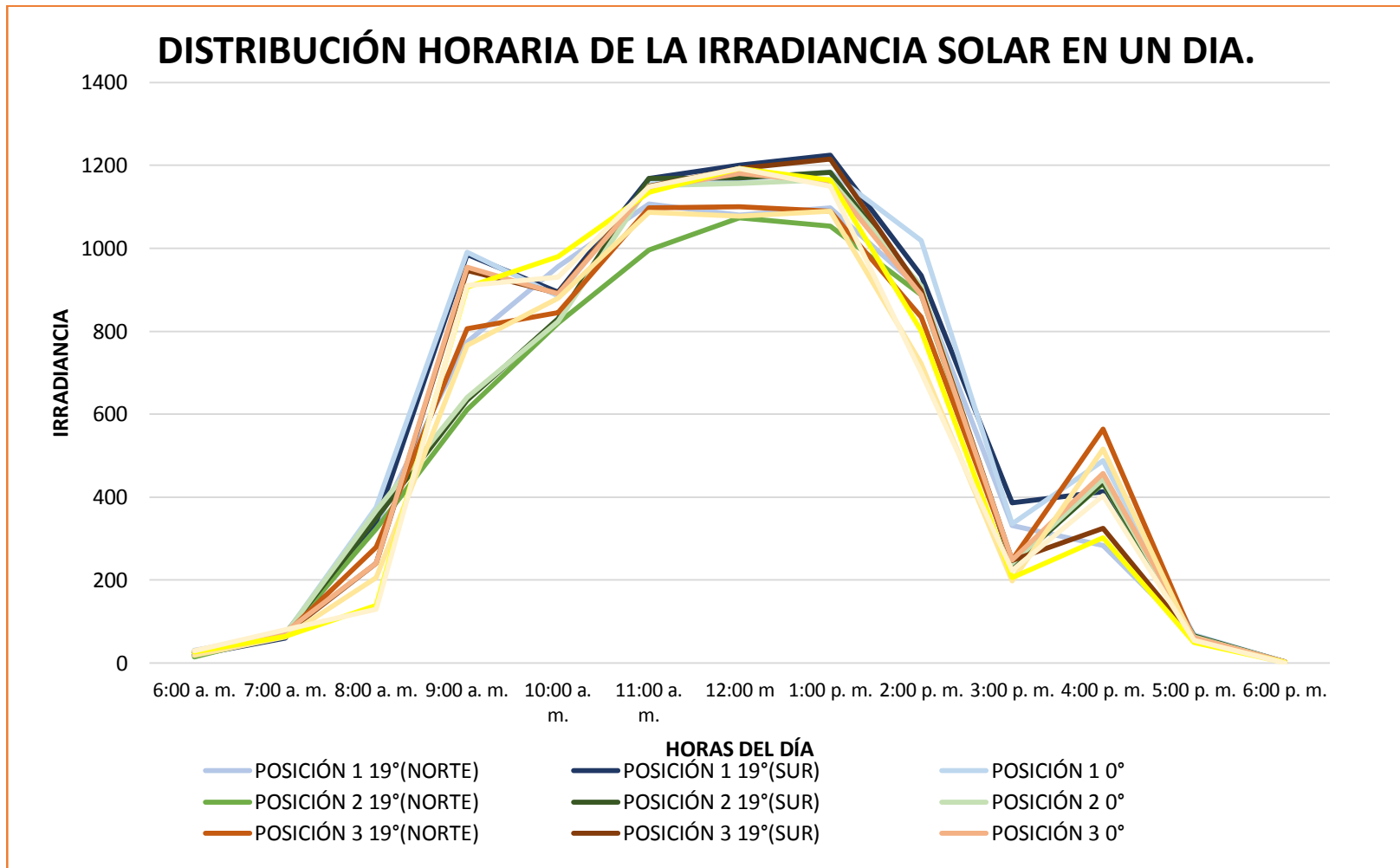
Fuente: Autores del proyecto

Cuadro 2. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 2)

DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA IRRADIANCIA SOLAR EN UN DIA EN LA PLAZOLETA A LA VIDA (W/m <sup>2</sup> )												
DIA 2 (MARTES 10 DE MARZO DE 2015)												
HORA	POSICIÓN 1			POSICIÓN 2			POSICIÓN 3			POSICIÓN 4		
	19°(NORT E)	19°(SU R)	0°	19°(NORT E)	19°(SU R)	0°	19°(NORT E)	19°(SU R)	0°	19°(NORT E)	19°(SU R)	0°
6:00 a. m.	26	19	30	14	20	26	27	27	29	18	26	29
7:00 a. m.	61	60	69	70	71	70	70	71	75	63	64	80
8:00 a. m.	333	340	376	324	349	367	279	241	241	206	139	130
9:00 a. m.	774	985	990	611	634	640	806	946	955	766	907	911
10:00 a. m.	956	894	885	820	830	824	845	891	890	880	980	930
11:00 a. m.	1107	1168	1159	996	1168	1151	1098	1150	1145	1087	1135	1148
12:00 m	1080	1200	1167	1074	1170	1157	1100	1193	1181	1077	1193	1192
1:00 p. m.	1098	1225	1185	1053	1183	1166	1089	1215	1160	1089	1165	1150
2:00 p. m.	900	934	1018	888	900	909	834	899	887	722	801	701
3:00 p. m.	332	386	335	241	236	240	248	247	248	198	206	223
4:00 p. m.	283	413	488	433	436	444	564	325	457	516	302	404
5:00 p. m.	64	63	68	62	65	63	57	57	62	51	50	55
6:00 p. m.	3	3	3	2,5	2,6	2,7	3	2,5	2,4	2	1,8	1,9
RADIACIÓN N (Wh/m <sup>2</sup> )	7017	7690	7773	6588,5	7064,6	7059,7	7020	7264,5	7332,4	6675	6969,8	6953
PROM RADIACIÓN N	7493.3			6904.3			7205.6			6865.9		

Fuente: Autores del proyecto.

Grafica 2. Distribución horaria de la irradiancia solar (Día 2)



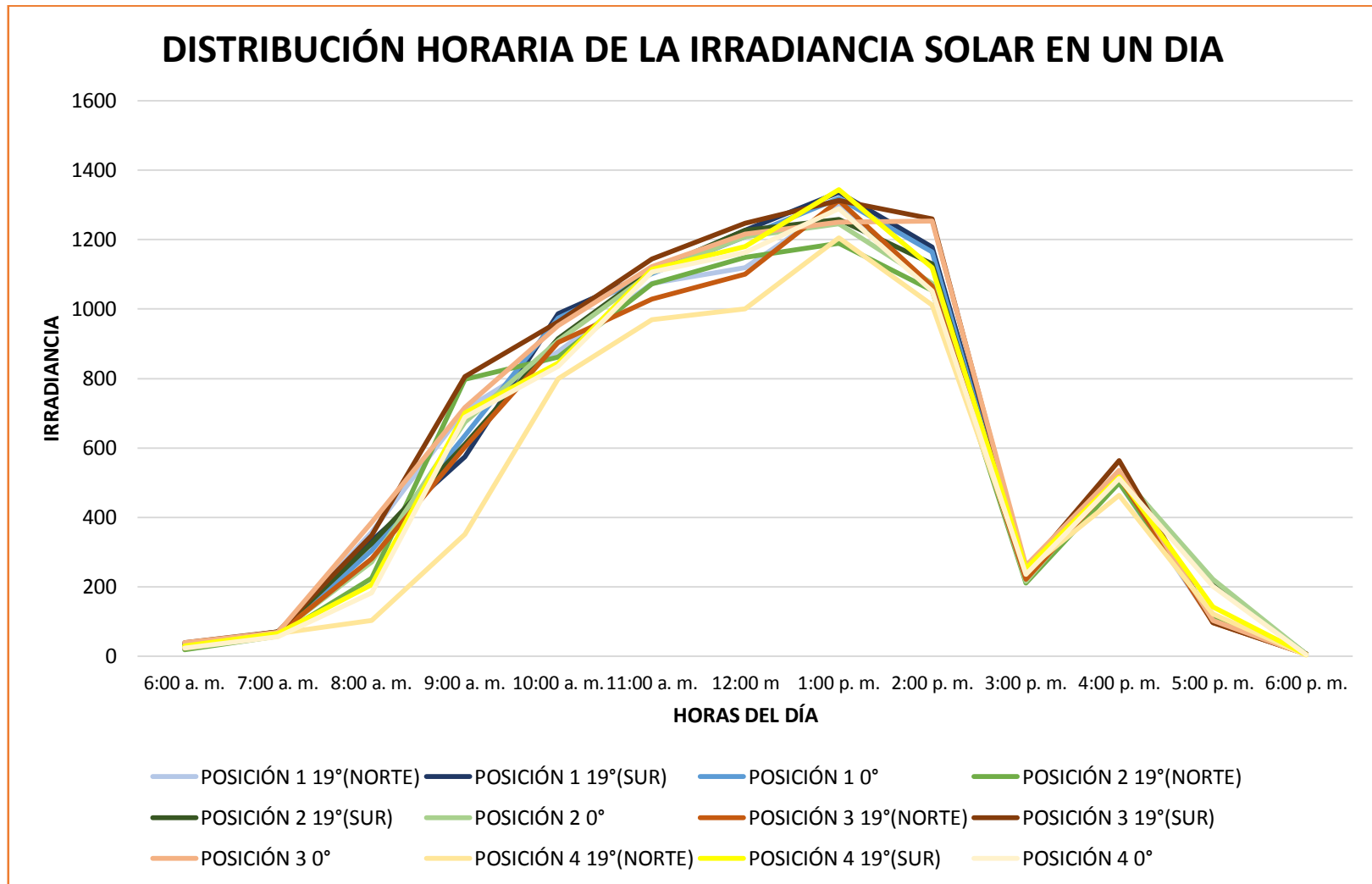
Fuente: Autores del proyecto.

Cuadro 3. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 3)

<b>DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA IRRADIANCIA SOLAR EN UN DIA EN LA PLAZOLETA A LA VIDA (W/m<sup>2</sup>)</b>												
<b>DÍA 3 (MIÉRCOLES 11 DE MARZO DE 2015)</b>												
<b>HORA</b>	<b>POSICIÓN 1</b>			<b>POSICIÓN 2</b>			<b>POSICIÓN 3</b>			<b>POSICIÓN 4</b>		
	<b>19°(NORTE)</b>	<b>19°(SUR)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NORTE)</b>	<b>19°(SUR)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NORTE)</b>	<b>19°(SUR)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NORTE)</b>	<b>19°(SUR)</b>	<b>0°</b>
6:00 a. m.	22	35	33	18	34	36	23	39	39	27	30	23
7:00 a. m.	65	61	63	58	70	66	64	70	68	65	65	56
8:00 a. m.	357	333	304	224	324	272	280	348	386	103	206	182
9:00 a. m.	710	574	635	798	611	674	602	806	716	351	701	688
10:00 a. m.	878	986	974	862	915	909	904	963	952	800	844	835
11:00 a. m.	1074	1107	1102	1072	1111	1105	1029	1145	1123	970	1115	1107
12:00 m	1120	1227	1208	1149	1228	1209	1100	1248	1217	1001	1181	1163
1:00 p. m.	1302	1337	1320	1190	1259	1246	1313	1313	1251	1205	1345	1289
2:00 p. m.	1068	1179	1165	1054	1130	1074	1066	1260	1253	1012	1120	1053
3:00 p. m.	223	239	225	211	241	215	222	248	260	247	253	235
4:00 p. m.	499	523	521	500	530	528	516	564	536	463	516	512
5:00 p. m.	98	103	107	112	210	221	96	96	103	122	141	201
6:00 p. m.	5,9	6,5	6,4	6,3	6,6	6,3	6,1	6,3	5,1	2,1	4,1	4,2
<b>RADIACIÓN(WWh/m<sup>2</sup>)</b>	7421,9	7710,5	7663,4	7254,3	7669,6	7561,3	7221,1	8106,3	7909,1	6368,1	7521,1	7348,2
<b>PROM RADIACIÓN</b>	7598.6			7495.1			7745.7			7079.1		

Fuente: Autores del proyecto.

Gráfica 3. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 3)



Fuente: Autores del proyecto.

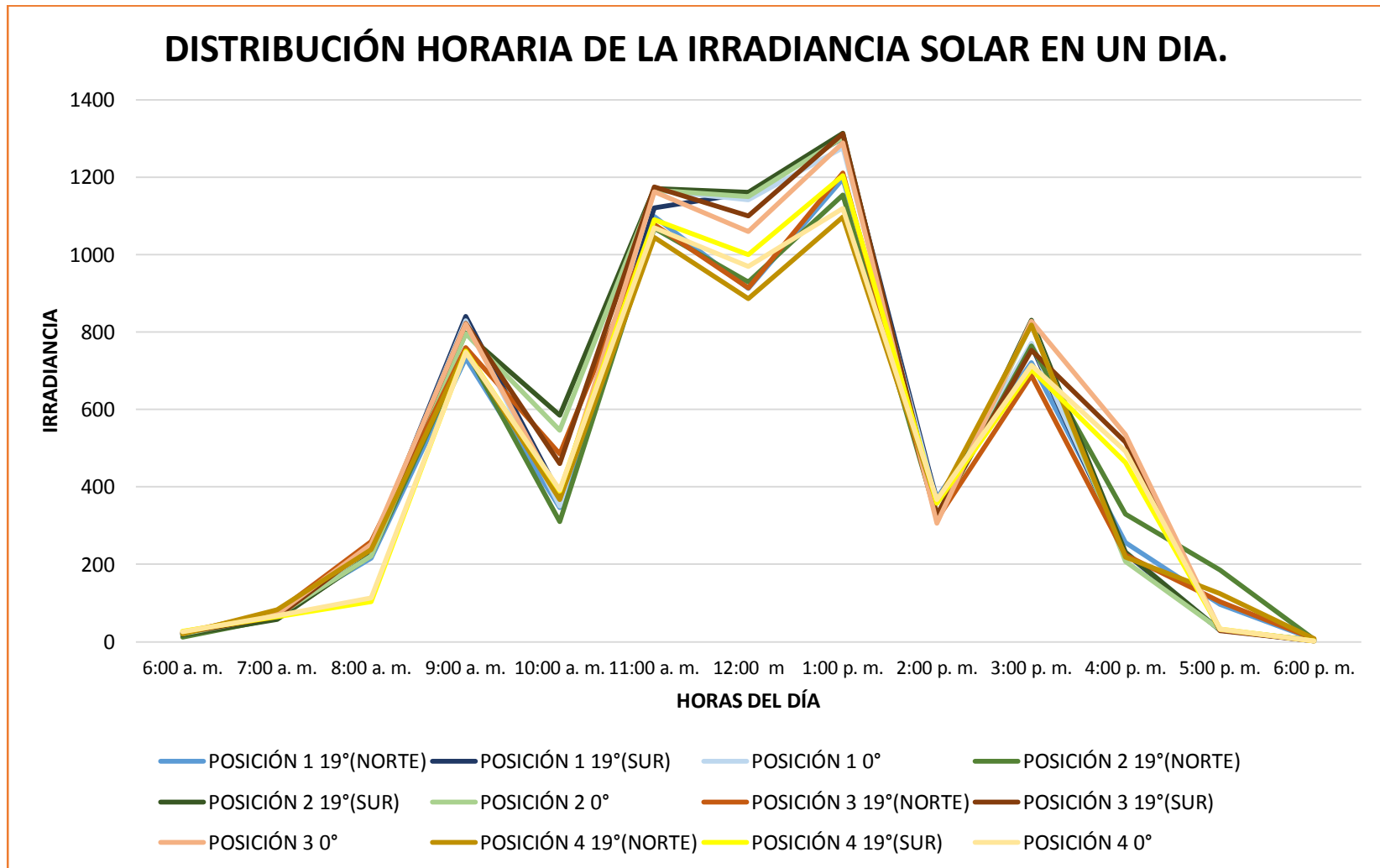


Cuadro 4. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 4).

<b>DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA IRRADIANCIA SOLAR EN UN DIA EN LA PLAZOLETA A LA VIDA (W/m<sup>2</sup>)</b>												
<b>DÍA 4 (JUEVES 12 DE MARZO DE 2015)</b>												
<b>HORA</b>	<b>POSICIÓN 1</b>			<b>POSICIÓN 2</b>			<b>POSICIÓN 3</b>			<b>POSICIÓN 4</b>		
	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>
6:00 a. m.	21	20	19	12	18	20	23	23	26	20	27	26
7:00 a. m.	72	65	67	60	58	68	77	64	72	82	65	67
8:00 a. m.	216	237	239	223	224	221	259	246	252	238	103	113
9:00 a. m.	732	841	830	755	798	797	760	823	821	753	751	748
10:00 a. m.	347	380	351	310	586	547	485	461	374	368	390	392
11:00 a. m.	1099	1122	1167	1069	1172	1167	1078	1176	1163	1045	1091	1070
12:00 m	913	1160	1142	930	1162	1151	915	1100	1060	887	1001	970
1:00 p. m.	1197	1302	1277	1155	1315	1303	1211	1313	1290	1098	1205	1120
2:00 p. m.	371	365	357	322	323	316	316	328	306	359	357	367
3:00 p. m.	722	766	772	764	831	822	688	754	829	818	703	715
4:00 p. m.	256	229	233	330	231	207	224	516	535	219	463	492
5:00 p. m.	96	30	30	186	30	31	103	29	31	124	32	33
6:00 p. m.	5,7	2,8	2,9	6,5	3,3	3	7,3	2,6	2,4	7,4	2,1	2,1
<b>RADIACION (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	6047,7	6519,8	6486,9	6122,5	6751,3	6653	6146,3	6835,6	6761,4	6018,4	6190,1	6115,1
<b>PROM RADIACION</b>	6351.5			6508.9			6585.1			6107.9		

Fuente: Autores del proyecto.

Gráfica 4. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 4)



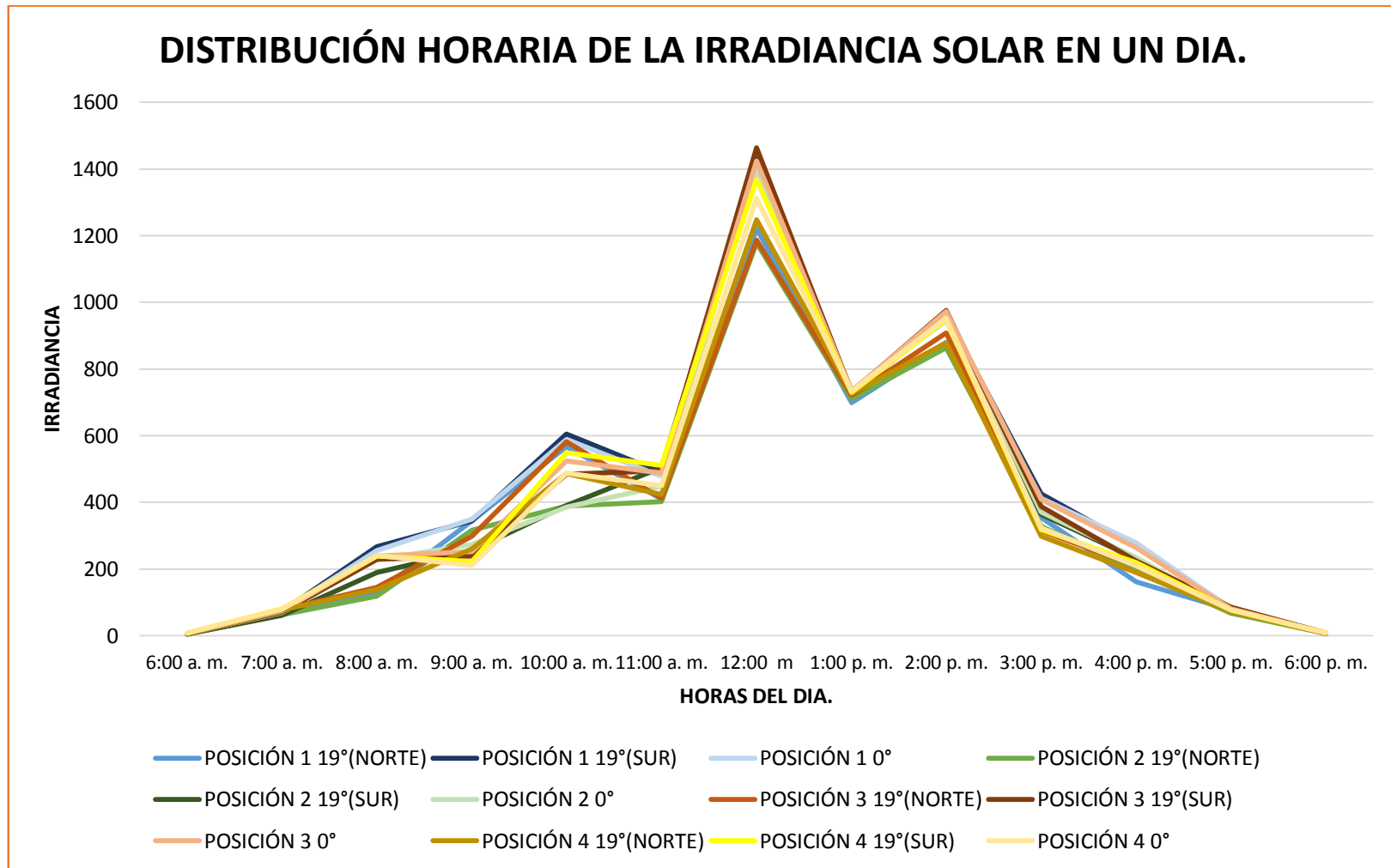
Fuente: Autores del proyecto.

Cuadro 5. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 5)

<b>DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA IRRADIANCIA SOLAR EN UN DIA EN LA PLAZOLETA A LA VIDA (W/m<sup>2</sup>)</b>												
<b>DÍA 5 (VIERNES 13 DE MARZO DE 2015)</b>												
<b>HORA</b>	<b>POSICIÓN 1</b>			<b>POSICIÓN 2</b>			<b>POSICIÓN 3</b>			<b>POSICIÓN 4</b>		
	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>
6:00 a. m.	5	4,8	5,5	5	5	6,3	5	7	7,1	6	8,2	8
7:00 a. m.	70	72	72	63	60	69	78	71	74	77	81	79
8:00 a. m.	129	267	256	119	189	228	145	229	238	139	238	241
9:00 a. m.	344	345	350	317	255	274	298	238	252	260	223	210
10:00 a. m.	567	604	589	389	390	386	582	485	524	486	549	487
11:00 a. m.	411	489	477	402	504	448	412	495	488	423	510	450
12:00 m	1221	1430	138 9	1179	1427	1412	1187	1464	1424	1247	1368	1312
1:00 p. m.	698	734	736	710	721	720	720	732	733	727	730	734
2:00 p. m.	880	961	945	863	958	961	908	976	973	879	948	953
3:00 p. m.	354	425	412	327	364	370	315	387	409	298	318	323
4:00 p. m.	161	266	279	196	230	233	209	224	263	189	219	209
5:00 p. m.	78	82	81	68	75	76	84	86	81	73	77	77
6:00 p. m.	6,3	5,7	6,5	5,8	6,5	6,8	6,4	7,3	8	5,9	7,4	7,7
<b>RADIACION (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	4924,3	5685,5	559 8	4643,8	5184,5	5190 ,1	4949,4	5401,3	5474 ,1	4809,9	5276,6	5090 ,7
<b>PROM RADIACION</b>	5402,6			5006,1			5274,9			5059,1		

Fuente: Autores del proyecto.

Gráfica 5. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 5)



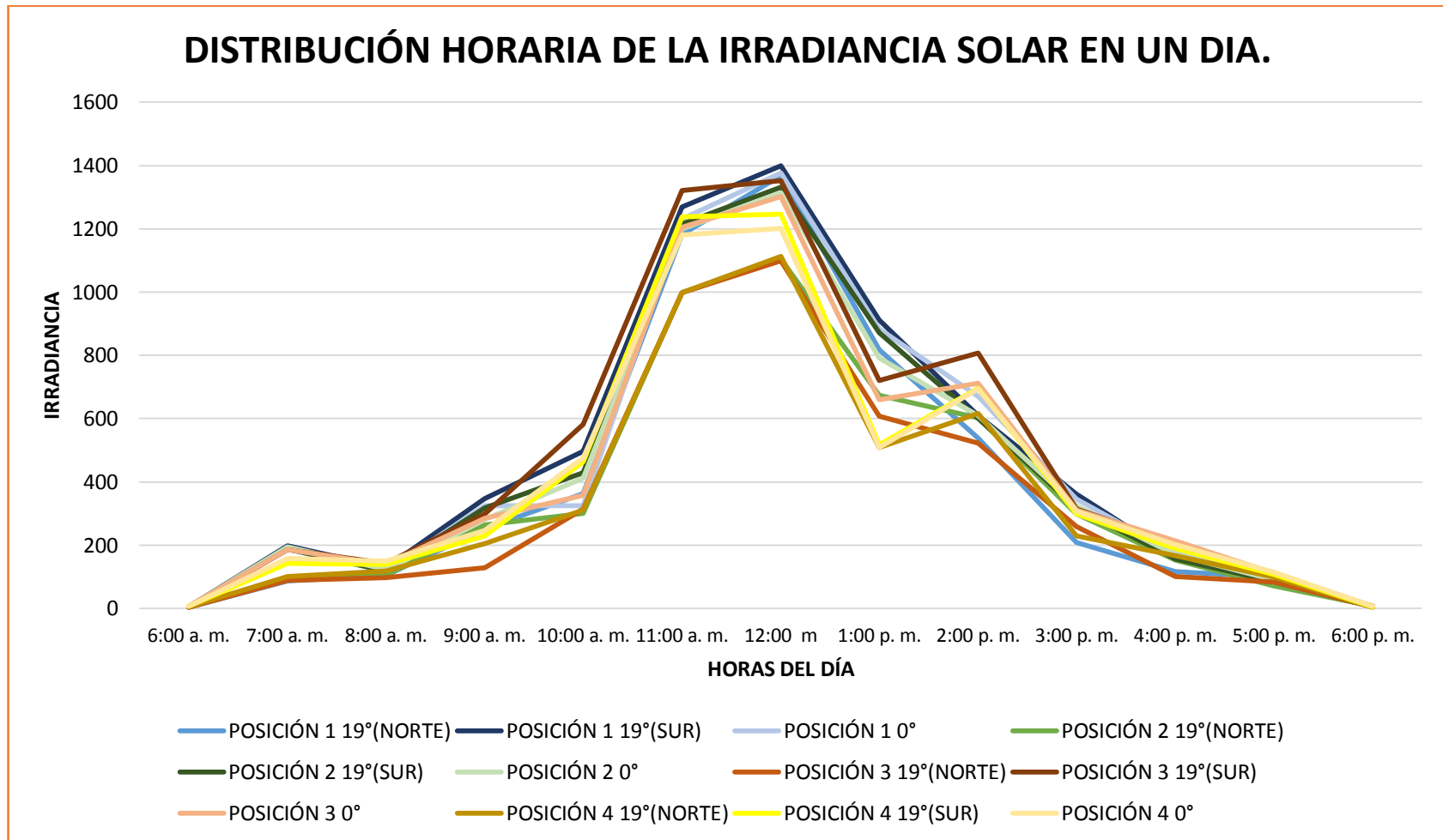
Fuente: Autores del proyecto.

Cuadro 6. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 6)

<b>DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA IRRADIANCIA SOLAR EN UN DIA EN LA PLAZOLETA A LA VIDA (W/m<sup>2</sup>)</b>												
<b>DIA 6 (SABADO 14 DE MARZO DE 2015)</b>												
<b>HORA</b>	<b>POSICIÓN 1</b>			<b>POSICIÓN 2</b>			<b>POSICIÓN 3</b>			<b>POSICIÓN 4</b>		
	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>	<b>19°(NOR TE)</b>	<b>19°(SU R)</b>	<b>0°</b>
6:00 a. m.	3,1	5	5	4,2	5,1	5,3	3,2	5,8	6,3	4,8	6,2	6,3
7:00 a. m.	87	198	188	99	188	194	88	186	186	101	143	158
8:00 a. m.	104	129	119	105	119	124	97	142	139	119	139	149
9:00 a. m.	251	347	324	264	317	281	128	298	284	205	230	247
10:00 a. m.	363	497	325	301	429	411	315	582	357	311	464	475
11:00 a. m.	1182	1269	1230	998	1215	1200	998	1321	1205	998	1237	1180
12:00 m	1368	1400	1377	1104	1331	1315	1099	1352	1302	1112	1247	1201
1:00 p. m.	817	911	883	673	871	792	608	720	660	509	517	509
2:00 p. m.	538	610	670	603	601	609	523	808	711	616	697	695
3:00 p. m.	209	361	345	299	317	325	259	315	310	229	298	307
4:00 p. m.	117	161	173	153	156	170	101	209	213	166	189	201
5:00 p. m.	99	93	98	72	86	91	83	103	111	99	108	115
6:00 p. m.	7,2	6,3	7,1	6,2	5,8	6,1	4,9	6,4	7,3	3,9	5,9	6,2
<b>RADIACION (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	5145,3	5987,3	5744,1	4681,4	5640,9	5523,4	4302,2	6048,2	5491,6	4473,7	5281,1	5249,5
<b>PROM RADIACION</b>	5625,6			5281,9			5280,6			5001,4		

Fuente: Autores del proyecto.

Gráfica 6. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 6)

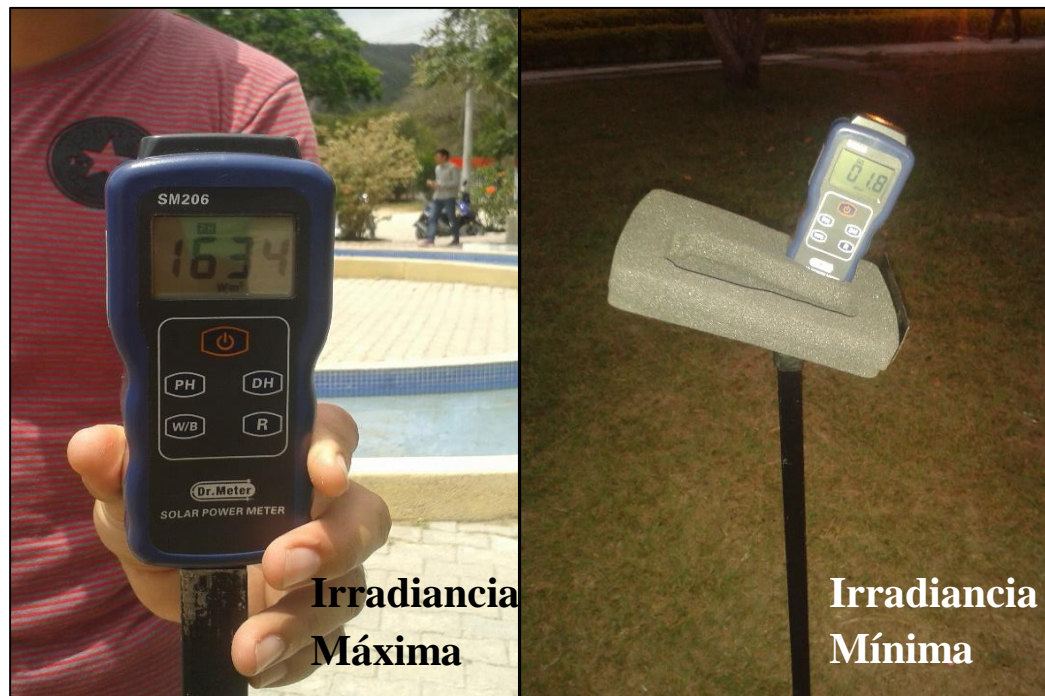


Fuente: Autores del proyecto.

Del estudio realizado durante la semana comprendida del 9 al 14 de marzo 2015, en la Plazoleta a la Vida de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña se concluyó que:

La irradiancia máxima incidente, se presentó en la posición 3 con inclinaciones de  $19^\circ$  y  $0^\circ$  respecto a la horizontal orientado hacia el sur; dicha irradiancia con valor de  $1634 \text{ W/m}^2$ . El cual se presentó a la 1:00 pm el día 1 (lunes 9 de marzo del 2015). Por otra parte, el valor mínimo reflejado  $1.8 \text{ W/m}^2$ , el cual tuvo cabida en la posición 4 con una inclinación de  $19^\circ$  orientado hacia el sur, exactamente a las 6:00 pm el día 2 (martes 10 de marzo 2015).

Figura 10. Irradiancia máxima y mínima registrada.



Fuente: Autores del proyecto.

En búsqueda de la posición más adecuada para la ubicación de la estructura, se ejecutó un análisis detallado a la distribución horaria de la irradiancia solar durante toda la semana, obteniendo como resultado que la posición de mayor aprovechamiento de la intensidad de la luz solar era la posición 3 seguida de la posición 1, la posición 2 y por último la posición 4. Ello se pudo evidenciar claramente en el comportamiento de la distribución horaria de la irradiancia solar del día 1 (lunes 9 de marzo del 2015) donde este por ser un día bastante soleado reveló un comportamiento similar al ideal.

Respecto a la orientación e inclinación se pudo ratificar lo expresado por las teorías (la orientación siempre será hacia el Sur en el hemisferio Norte y hacia el Norte en el hemisferio Sur; la inclinación óptima  $\beta = \phi + 10^\circ$ <sup>16</sup> donde  $\phi$  = latitud del lugar) debido a que los

<sup>16</sup>Perpiñán I, Oscar. Energía solar fotovoltaica, enero 2012.

valores de irradiancia de mayor magnitud fueron alcanzados en cada una de las posiciones con una inclinación de 19° y orientados hacia el sur sucediendo esto en el periodo comprendido entre las 10:00 am y las 2:00 pm.

En las gráficas de la distribución horaria de la irradiancia solar en una semana (del 9 al 14 de marzo 2015) se manifestaron comportamientos que podrían ser considerados como irregulares, como por ejemplo los días 4 y 5 (12 y 13 de marzo de 2015) donde se notaron los picos más relevantes en las gráficas. Dichos comportamientos se daban debido a la nubosidad intermitente presentada este día.

#### **4.2. CALCULO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CAPAZ DE GENERAR 1900Wh/d, CON BASE A SU FUNCIONAMIENTO PRÁCTICO.**

El dimensionado de una instalación solar fotovoltaica radica en determinar la capacidad del generador fotovoltaico, acumulador, controlador e inversor idóneos para proporcionar la energía requerida por una determinada carga a partir de la radiación disponible en la zona.

Con el fin de cubrir la demanda causada por el consumo de las luminarias de la Plazoleta a la Vida se procedió a efectuar el dimensionamiento de los componentes de la instalación teniendo en cuenta los parámetros anteriormente determinados.

**4.2.1 Cuantificación de la necesidad de consumo máximo de energía.** Teniendo previo conocimiento de todos los parámetros que intervienen en el dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica, se procede inicialmente a realizar la estimación del consumo real, donde, se efectuará un inventario de todos los equipos que estarán conectados a la instalación con el fin de determinar la demanda de energía eléctrica.

Cuadro 7. Estimación de consumo real de las luminarias

UNIDADES	EQUIPOS	POTENCIA UNITARIA (W)	HORAS DE FUNCIONAMIENTO (h)	TOTAL DE ENERGÍA NECESARIA (Wh/d)
11	Led jardín	20	3	660
12	Led fuente	20	3	720
				Total 1380

Fuente: Autores del proyecto.

El consumo diario se puede determinar efectuando la siguiente operación:

$$E_{dia} = potencia\ unitaria * tiempo\ de\ funcionamiento\ al\ dia * cantidad\ de\ equipos^{17}$$

<sup>17</sup>Alonso A.José, Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas, Santiago de Compostela España. p. 6.



$$E_{dia} = 20 * 3 * 23 = 1380 \frac{Wh}{d}$$

Por motivo de que algunos equipos al momento del encendido presentan un aumento considerable comparado con la potencia de funcionamiento normal se considera un factor de seguridad del 15% del valor del consumo medio diario.

$$E_{dia T} = E_{dia} * FS \text{ }^{18}$$

$$E_{dia T} = 1380 \frac{Wh}{d} * 1.15 = 1587 \frac{Wh}{d}$$

Por lo que entonces tendríamos un consumo de 1587 Wh/d.

**Consumo medio diario real.** Con el fin de obtener un óptimo dimensionamiento de una instalación fotovoltaica se deben tener en cuenta las condiciones reales de funcionamiento de todos los equipos que intervienen en dicha instalación; es por esto que se consideran algunos parámetros tanto de los equipos de la instalación como de las cargas a satisfacer:

$$L_{md} = \frac{E_{dia DC} + \frac{E_{dia T AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{Bat} * \eta_{cond}} \text{ }^{19}$$

Dónde:

$L_{md}$  = consumo medio diario real.

$E_{dia DC}$  = consumo medio en corriente directa.

$E_{dia T AC}$  = consumo medio en corriente alterna.

$\eta_{inv}$  = rendimiento del inversor (recomendación  $\eta_{inv} = 90\%$ ).

$\eta_{Bat}$  = rendimiento de la batería (recomendación  $\eta_{Bat} = 95\%$ ).

$\eta_{cond}$  = rendimiento del conductor (recomendación  $\eta_{cond} = 100\%$ ).

$$L_{md} = \frac{0 + \frac{1587 \frac{Wh}{d}}{0.9}}{0.95 * 1} = 1856.1 \frac{Wh}{d}$$

Teniendo en cuenta los valores obtenidos de los consumos y las recomendaciones respecto a los rendimientos del inversor, la batería y los conductores se obtiene un valor del consumo

---

<sup>18</sup> Ibid., p. 6.

<sup>19</sup> Ibid., p. 7.

medio diario real de  $1856.1 \frac{Wh}{d}$  siendo este el dato a tener en cuenta en los próximos cálculos.

Por otra parte, se puede expresar el consumo medio diario real de energía en Ah/día realizando una sencilla operación que consiste dividir el consumo medio diario real ( $L_{md}$ ) expresado en  $\frac{Wh}{d}$  sobre la tensión de la batería.

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{Bat}} \quad 20$$

$$Q_{Ah} = \frac{1856.1 \text{ Wh/d}}{12 \text{ V}} = 154.67 \text{ Ah/dia}$$

Este valor será de gran utilidad más adelante para calcular la capacidad de los acumuladores.

**Consumo total anual.** En realidad el dato de gran relevancia en este caso es el consumo medio diario real pero si se quisiese obtener el consumo medio anual solo es realizar el producto entre el consumo medio diario real y los días del año.

$$L_T = L_{md} * D_{ias \text{ año}} \quad 21$$

Dónde:

$L_T = \text{consumo total anual.}$

$D_{ias \text{ año}} = \text{dias del año.}$

$$L_T = 1856.1 \frac{Wh}{d} * 365 \text{ d} = 677491.2 \frac{Wh}{año}$$

Por lo tanto se tendrá un consumo anual de  $677491.2Wh$  .

#### 4.2.2 Horas pico solar. Radiación del mes crítico en Ocaña.

Para garantizar el óptimo funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica en cualquier época del año se toma como referencia el mes con menor incidencia del sol sobre la superficie; en este caso según EL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE COLOMBIA del INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), para el municipio de OCAÑA, NORTE DE SANTANDER el mes critico es diciembre con una radiación entre  $3500y4000Wh/m^2$ . (Ver figura 11).

---

<sup>20</sup> Ibid. p. 7.

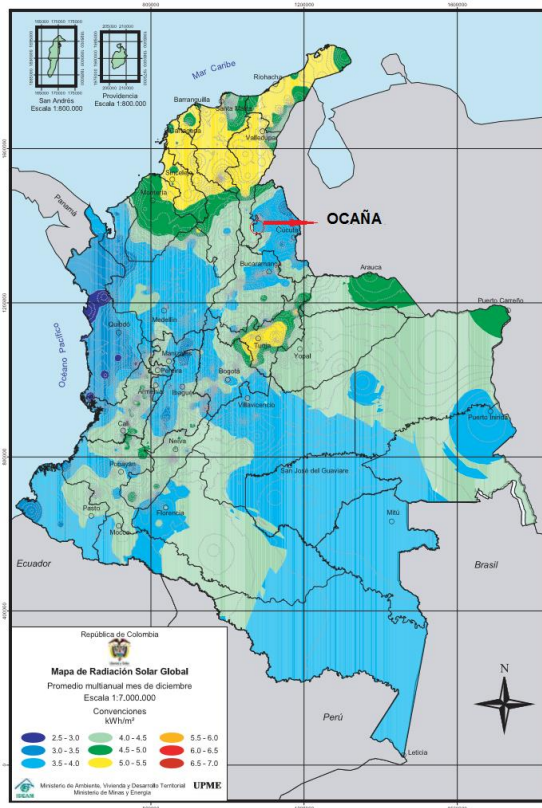
<sup>21</sup> Ibid. p. 7.

**Demanda diaria de energía solar (HPS - horas pico solar).** Para conocer las HPS de un determinado lugar, se divide el valor de la radiación local entre la irradiancia solar constante de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Por ejemplo en el caso específico de Ocaña se tiene una radiación de 3500 a  $4000 \text{ Wh/m}^2$  en los meses de noviembre y diciembre catalogados estos como críticos.

$$\text{HPS} = \frac{\text{Radiación del mes crítico}}{\text{Constante de radiación}}^{22}$$

$$\text{HPS} = \frac{3500 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 3.5 \text{ horas en el día}$$

Figura 11. Mapa de radicación solar de Colombia



Fuente: Base de datos IDEAM

De esta forma decimos entonces que Ocaña, norte de Santander cuenta con 3.5 horas pico solares en su mes crítico.

Por otra parte con el estudio realizado de la distribución horaria de la irradiancia en la plazoleta a la vida durante la semana comprendida entre el 9 y el 14 de marzo 2015 se pudo

<sup>22</sup>Miguel P Aparicio, Calculo de una instalación aislada, Enero del 2010.

determinar la radiación y por ende las horas pico solar para el municipio de Ocaña, norte de Santander.

Para determinar la radiación con los datos de irradiancia obtenidos en el estudio se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$\text{RADIACIÓN} = \int_{t_1}^{t_2} G(t)dt^{23}$$

Donde:

$G(t)$  = irradiancia respecto al tiempo.

$t_1$  = tiempo inicial.

$t_2$  = tiempo final.

Esto teniendo en cuenta que la radiación es igual al área bajo la curva de la distribución horaria de irradiancia, a demás viene dada por la cantidad de horas en las que obtendremos una hipotética irradiancia de 1.000 W/m<sup>2</sup>.

Aplicando la ecuación para el primer día en la posición 1 a 19° orientados hacia el sur:

Cuadro 8. Distribución horaria de irradiancia solar (Día 1, Posición 1)

Tiempo(h)	Posición 1		
	19°(NORTE)	19°(SUR)	90°
6:00	16	15	18
7:00	73	75	75
8:00	277	280	288
9:00	467	467	496
10:00	598	799	611
11:00	1008	1195	1123
12:00	1049	1433	1398
13:00	1112	1517	1422
14:00	968	1098	1009
15:00	631	767	739
16:00	286	398	382
17:00	83	102	115
18:00	6,2	9,3	6

Fuente: Autores del proyecto.

<sup>23</sup><http://www.oocities.org/imosolar/cont-7.htm>

$$\begin{aligned}
\text{RADIACIÓN} = & 15 \int_6^7 dt \\
& + 75 \int_7^8 dt + 280 \int_8^9 dt + 467 \int_9^{10} dt + 799 \int_{10}^{11} dt + 1195 \int_{11}^{12} dt \\
& + 1433 \int_{12}^{13} dt + 1517 \int_{13}^{14} dt + 1098 \int_{14}^{15} dt + 767 \int_{15}^{16} dt + 398 \int_{16}^{17} dt \\
& + 102 \int_{17}^{18} dt + 9.3 \int_{18}^{19} dt
\end{aligned}$$

Solucionando

$$\begin{aligned}
\text{RADIACIÓN} = & 15t|_6^7 + 75t|_7^8 + 280t|_8^9 + 467t|_9^{10} + 799t|_{10}^{11} + 1195t|_{11}^{12} + 1433t|_{12}^{13} \\
& + 1517t|_{13}^{14} + 1098t|_{14}^{15} + 767t|_{15}^{16} + 398t|_{16}^{17} + 102t|_{17}^{18} + 9.3t|_{18}^{19}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{RADIACIÓN} = & 15(7 - 6) + 75(8 - 7) + 280(9 - 8) + 467(10 - 9) + 799(11 - 10) \\
& + 1195(12 - 11) + 1433(13 - 12) + 1517(14 - 13) + 1098(15 - 14) \\
& + 767(16 - 15) + 398(17 - 16) + 102(18 - 17) + 9.3(19 - 18)
\end{aligned}$$

$$\text{RADIACIÓN} = 8155.3 \text{ Wh/m}^2$$

$$\text{HPS} = \frac{\text{RADIACIÓN}}{1000\text{W/m}^2} = \frac{8155.3 \text{ Wh/m}^2}{1000\text{W/m}^2} = 8.15h$$

Debe aclararse para el ejemplo (y en general) que 8.15 HSP no significa que existan 8.15 horas de Sol. En el cuadro 8 se puede observar que existen 12 horas de incidencia solar. Las 8.15 horas se refieren a un Sol hipotético de  $1000 \text{ W/m}^2$  que logra, en sólo 8.15 horas, producir la misma irradiación que logra el Sol verdadero en 12 horas.

Debido a que los valores de irradiancia son constantes y que la distribución horaria es uniforme (intervalos de 1 hora) se puede omitir el cálculo de la integral, teniendo en cuenta que el factor de evaluación de dicha integral sería uno. De esta forma la solución resulta ser igual a la sumatoria de los valores de irradiancia a cada hora del día.

Se debe resaltar que los valores de radiación y horas pico solar establecidos en este estudio no son tenidos en cuenta para el cálculo de los elementos de esta instalación debido a que solo son válidos para la semana anteriormente mencionada; por tal motivo los datos utilizados son los tomados de EL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE COLOMBIA del (IDEAM) los cuales han sido realizados con un promedio multianual superior a 20 años.

**4.2.3 Cálculo de la potencia pico del sistema fotovoltaico.** Teniendo en cuenta que esta instalación solar fotovoltaica tendrá una doble funcionalidad tanto didáctica como para satisfacer el consumo de las luminarias de LA PLAZOLETA A LA VIDA se toma la decisión de tener como puntos de partida algunos criterios de diseño entre ellos el número total de

paneles ( $N_T$ ), el cual para este caso se determina como requerimiento de uno de los ensayos que se desea realizar en dicha instalación.

$N_T = 3$  paneles ← criterio de diseño

$$P_{\text{panel}} = \frac{L_{\text{md}}}{N_T * \text{HPS} * \text{PR}} \quad 24$$

Donde PR es el factor global de funcionamiento en el dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas, el cual generalmente oscila entre 0.65 y 0.9; por lo que en este caso asumimos un PR=0.75.

$$P_{\text{panel}} = \frac{1856.1 \text{ Wh/d}}{3 * 3.5\text{h/d} * 0.75} = 235.7\text{W}$$

Por tal motivo se selecciona el módulo ASM250P12 solar PV de 250 W con las siguientes características:

Figura 12. Características eléctricas de los paneles solares asumidos

Specifications at 1000 W/m solar irradiance, 25°C cell temperature.		
Maximum Power	Short Circuit Current	Rated Current
<b>250 WATT</b>	<b>14.9 AH</b>	<b>13.8 AH</b>
Maximum System Open Circuit Voltage	Open Circuit Voltage	Rated voltage
<b>1000 V DC</b>	<b>23.1 V</b>	<b>18.0 V</b>
Fire Rating	Series Fuse	
<b>CLASS AAA</b>	<b>11 AH</b>	
Field Wiring	Bypass Diode	
<b>copper only 14 wag min insulated for 90 c min</b>	<b>install guide 908766</b>	

www.ampasolar.com

Fuente: Base de datos AMPA SOLAR.

<sup>24</sup>Alonso. Op. cit, p. 9.

**Energía de un panel.** Este cálculo se realizará para determinar cuanta energía puede aprovechar cada uno de los paneles.

$$E_{\text{Panel}} = P_{\text{Panel}} * \text{HPS} * \text{PR}^{25}$$

$$E_{\text{Panel}} = 250\text{W} * 3.5 \text{ h} * 0.75 = 656.25 \text{ Wh}$$

**4.2.4 Conexión adecuada de los paneles.** Al tener conocimiento de la potencia pico y el número total de paneles que conformarían esta instalación solar fotovoltaica se procede a realizar los cálculos para el conexionado de los paneles que garantice un buen funcionamiento y además permita conocer el comportamiento de los mismos.

**Conexión en serie.**

$$N_{\text{Serie}} = \frac{V_{\text{Bat}}^{26}}{V_{\text{MP}}}$$

Donde  $V_{\text{Bat}}$  es la tensión de la batería y  $V_{\text{MP}}$  es el voltaje de máxima potencia en los paneles.

$$N_{\text{Serie}} = \frac{12 \text{ V}}{18 \text{ V}} = 0.66 \cong 1 \text{ panel}$$

**Conexión en paralelo.**

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{N_{\text{T}}^{27}}{N_{\text{serie}}}$$

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{3}{1} = 3 \text{ paneles}$$

Así la conexión óptima sería de tres ramas en paralelo con un panel por rama.

**4.2.5 Posicionamiento de los paneles.** El generador fotovoltaico deberá contar con una orientación e inclinación particularmente adaptadas al lugar y a la aplicación. Nuevamente, la orientación siempre será hacia el Sur en el hemisferio Norte y hacia el Norte en el hemisferio Sur. Sin embargo, la inclinación depende ahora, no sólo de la latitud sino también del perfil del consumo. Así, para instalaciones con consumos constantes o similares a lo largo del año, el objetivo es maximizar la radiación en los meses de menor insolación y por tanto la inclinación debe ser  $\beta = \phi + 10^\circ$ . Para instalaciones con consumo menor en los meses de baja radiación se busca maximizar la radiación en los equinoccios y de ahí que  $\beta = \phi$ . Finalmente, para instalaciones con uso predominante en verano conviene emplear un ángulo

---

<sup>25</sup>Alonso. Op. cit, p. 9.

<sup>26</sup>Alonso. Op. cit, p. 10.

<sup>27</sup>Alonso. Op. cit, p. 10.

inferior a la latitud.  $\beta = \phi - 10^\circ$ . En general, la inclinación debe superar los  $15^\circ$  para conseguir que la lluvia pueda desplazar la suciedad acumulada en los paneles.<sup>28</sup>

Dónde:

$\beta$  = inclinación óptima.

$\phi$  = latitud del lugar.

Para este caso en particular la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña se encuentra a  $8^\circ 14' 15''$  latitud norte en grados sexagesimales; pero para el cálculo de la inclinación óptima se hace necesaria la latitud en grados decimales, por lo tanto se realiza la siguiente operación.

$$\phi = 8^\circ + \frac{14'}{60'} + \frac{15''}{3600''} = 8.2375^\circ$$

$$\beta = 8.2375^\circ + 10^\circ = 18.2375^\circ \cong 19^\circ$$

Al realizar un estudio de irradiancia solar en distintas posiciones dentro de la plazoleta a la vida se tuvieron en cuenta la orientación e inclinación teorizadas anteriormente ( $19^\circ$  respecto a la horizontal orientados hacia el sur) además de otras orientaciones (a  $90^\circ$  de la horizontal y  $19^\circ$  respecto a la horizontal orientados hacia el norte). De dicho estudio se pudo deducir la distribución horaria de la irradiancia solar en una semana (del 9 al 14 de marzo 2015) en la plazoleta a la vida de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Razón por la cual en esta instalación solar fotovoltaica los módulos estarán dispuestos hacia el sur y con una inclinación de  $19^\circ$ .

**4.2.6 Dimensionado del sistema de acumulación.** En las instalaciones solares fotovoltaicas autónomas el dimensionado del sistema de acumulación y el generador fotovoltaico son los que proporcionan la fiabilidad del sistema. Calcúlese entonces ahora la capacidad nominal necesaria de las baterías en función de la profundidad de descarga estacional. Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacionaria.

$$C_{ne} = \frac{L_{md} * D_{Aut}}{P_{De} * F_{CT}} \quad 29$$

Dónde:

$D_{Aut}$  = Días de autonomía del sistema.

$P_{De}$  = Profundidad de descarga estacionaria.

$F_{CT}$  = Factor de corrección de temperatura.

---

<sup>28</sup>Perpiñán I, Oscar. Energía solar fotovoltaica, enero 2012.

<sup>29</sup>Alonso.Op. cit, p. 12.



$$C_{ne} = \frac{1856.1 \text{Wh/d} * 2\text{d}}{0.7 * 1} = 5303.14 \text{Wh}$$

Para pasar este valor a amperios horas lo dividimos entre la tensión de la batería ya que comercialmente la capacidad de las baterías se encuentran generalmente estandarizadas es en estas unidades.

$$\frac{C_{ne}}{V_{Bat}} = \frac{5303.14 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 441.92 \text{ Ah} \cong 500 \text{ Ah}$$

O simplemente para facilitar este cálculo se puede usar el consumo medio diario real expresado en Ah/d.

$$C_{ne} = \frac{Q_{Ah} * D_{Aut} 30}{P_{De} * F_{CT}}$$

$$C_{ne} = \frac{154.67 \text{Ah/d} * 2\text{d}}{0.7 * 1} = 441.92 \text{ Ah} \cong 500 \text{ Ah}$$

Por lo tanto el acumulador necesario para cubrir la demanda de este sistema debe contar con una capacidad de 500 amperios hora; para lo cual se seleccionan dos baterías de la referencia AMPA 255Ah – 12V DC.

**4.2.7 Dimensionado del regulador.** Con el objetivo de evitar las sobrecargas y las descargas excesivas de un acumulador se procede ahora a calcular el regulador, para ello se debe computar cual es la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada pero también a su salida.

$$I_{ent} = FS * I_{CS} * N_P^{31}$$

Dónde:

$I_{ent}$  = corriente de entrada al regulador.

$I_{CS}$  = corriente de corto circuito del panel.

FS = factor de seguridad.

$N_{Paralelo}$  = numero de paneles en paralelo.

$$I_{ent} = 1.25 * 14.9 \text{ A} * 3 = 55.88 \text{ A}$$

Computemos ahora la corriente de salida del regulador.

---

<sup>30</sup>Alonso. Op. cit, p. 12.

<sup>31</sup>Alonso. Op. cit, p. 13.

$$I_{Sal} = \frac{FS * \left( P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{Bat}} \quad 32$$

Dónde:

$I_{ent}$  = corriente de salida del regulador.

$P_{AC}$  = potencia en corriente alterna.

$P_{DC}$  = potencia en corriente directa.

$P_{AC}$  = Potencia unitaria \* Cantidad de luminarias.

$$P_{DC} = 0$$

En esta instalación todos los equipos estarán conectados a corriente alterna por ende la potencia en corriente directa toma un valor igual a cero.

$$P_{AC} = 20 * 23 = 460 \text{ W}$$

$$I_{SAL} = \frac{1.25 \left( 0 + \frac{460W}{0.9} \right)}{12V} = 53.24 \text{ A}$$

De esta forma el regulador seleccionado es el XANTREX C60 12/24V.

**4.2.8 Potencia del inversor.** La potencia del inversor vendrá determinada en función de la potencia de los equipos conectados en corriente alterna considerando que estos se encuentren en funcionamiento al mismo tiempo. El cálculo de este se puede hacer multiplicando la sumatoria de la potencia en corriente alterna por un factor de seguridad (generalmente del 20%).

$$P_{Inv} = FS * P_{AC} \quad 33$$

$$P_{Inv} = 1.2 * 460W = 552W$$

Teniendo en cuenta el producto de la potencia en corriente alterna y el factor de seguridad, el inversor seleccionado sería de una potencia de 600 W; en consecuencia fue cotizado y pedido un equipo con estas características, pero en el momento de realizar el envío el proveedor por cuestiones de inventario informa que enviaría dos inversores de 500W los cuales también satisfacen el requerimiento.

---

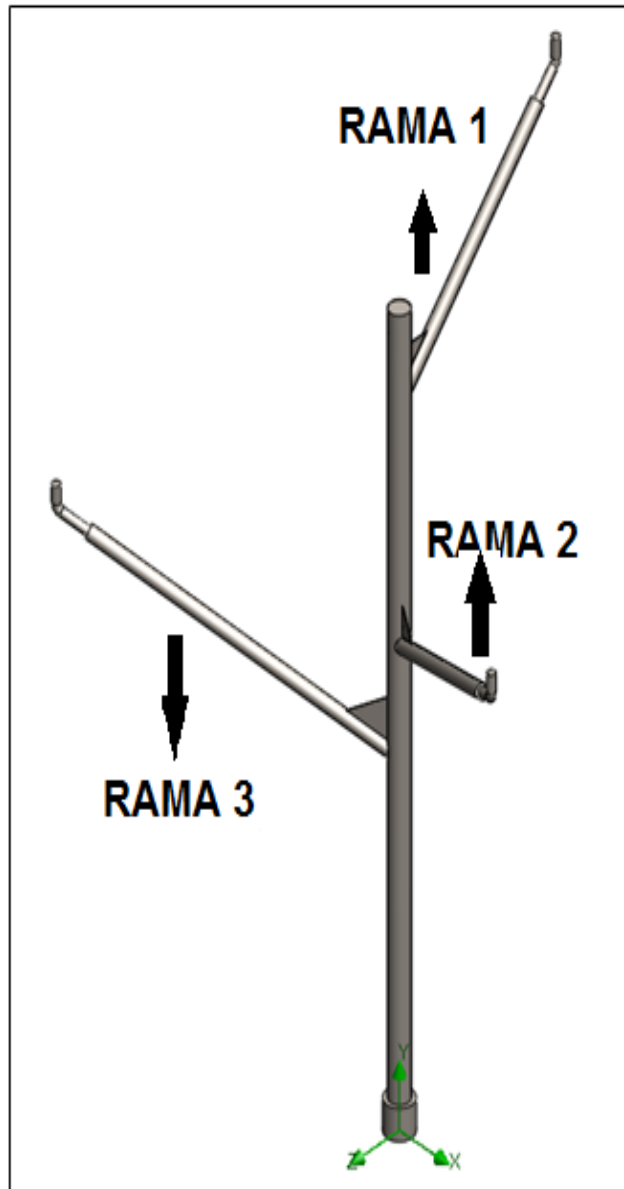
<sup>32</sup>Alonso. Op. cit, p. 13.

<sup>33</sup>Alonso. Op. cit, p. 14.

**4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICO EN FORMA DE ÁRBOL, EL CUAL, SE INTEGRE DE FORMA PAISAJÍSTICA EN LA “PLAZOLETA A LA VIDA”.**

**4.3.1 Diseño estructural.**

Figura 13. Diseño inicial de la estructural



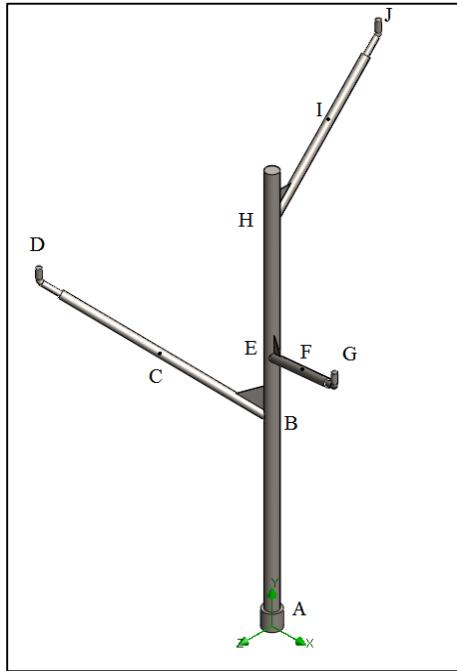
Fuente: Autores del proyecto

### 4.3.2 Análisis estático de la estructura.

Coordenadas:

A (0, 0, 0), B (0, 2, 0), C (0.56, 2.5, 1), D (1.12, 3, 2), E (0, 2.6, 0), F (0.56, 3.1, -1),  
G (1.12, 3.5, -2), H (0, 3.6, 0), I (-0.6, 4.05, 0), J (-1.2, 4.5, 0)

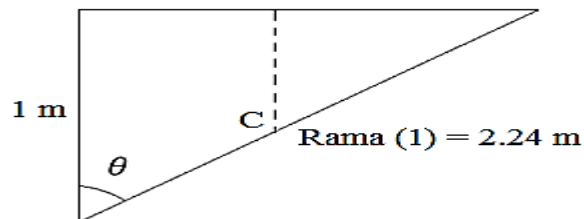
Figura 14. Análisis estático de la estructura



Fuente: Autores del proyecto

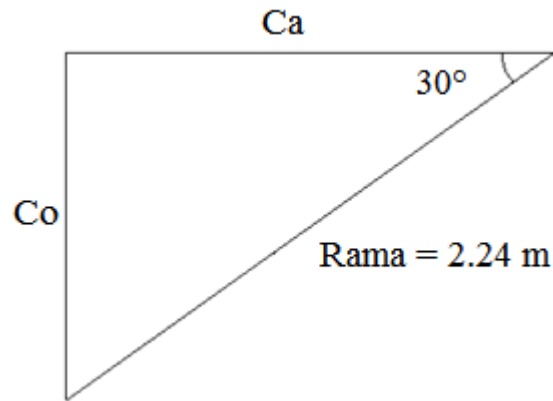
La primera parte del análisis consiste en determinar los ángulos de las ramas donde estarían ubicados los paneles solares:

Rama 1:



$$h \cos \theta = ca \rightarrow \theta = \cos^{-1} \frac{1}{2.24} = 63.5^\circ$$

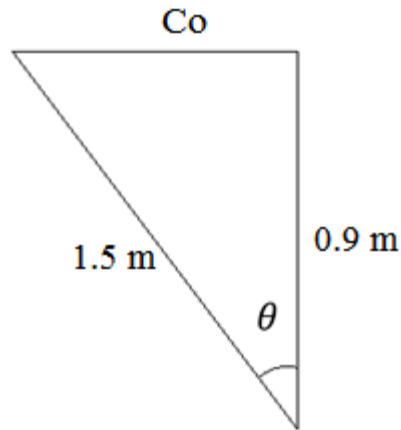
Proyección al piso:



$$h \sin \theta = Co \rightarrow 2.24m \sin 30^\circ = 1.12m \therefore Co = 1.12m$$
$$h \cos \theta = Ca \rightarrow 2.24m \cos 30^\circ = 2m \therefore Ca = 2m$$

Las coordenadas de la rama 2 son similares a las de la rama 1, solo difieren en que en la rama 2 las coordenadas en Z son negativas.

Rama 3:



$$\cos \theta = \frac{Ca}{h} \rightarrow \theta = \cos^{-1} \frac{0.9}{1.5} = 53.13^\circ$$

$$h \sin \theta = Co \rightarrow Co = 1.5m * \sin 53.13^\circ = 1.2m$$

En el diseño de algunas estructuras se debe considerar la fuerza del viento puesto que, tendrá una incidencia considerable en el montaje de las mismas por tal razón en este diseño se incluye este importante parámetro.

$F_V$  = fuerza ejercida por el viento.<sup>34</sup>

$$F_V = \frac{1}{2} \rho * A * V^2 * C_d$$

Donde:

$C_d$  = Coeficiente de resistencia (1.17 para placas planas perpendiculares).

$\rho$  = Densidad del aire ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$A$  = Area transversal ( $\text{m}^2$ ).

$V$  = Velocidad del viento ( $\text{m}/\text{s}$ ).

$$F_V = \frac{1}{2} (1.2 \text{ kg}/\text{m}^3) (0.99\text{m} * 1.95\text{m}) (2.5 \text{ m}/\text{s})^2 (1.17)$$

$$F_V = 8.47\text{N}$$

$$F_{V1} = F_{V2} = F_{V3} = 8.47\text{N}$$

La fuerza del viento actúa en los 3 módulos con la misma magnitud, en el mismo sentido y paralelas al eje X.

Determinación del peso de los distintos componentes de la estructura.

A continuación se calculan las cargas que actúan en la estructura, incluyendo el peso del árbol (ramas y tallo).

Una de las cargas principales que intervienen en el diseño de la estructura es el peso del módulo (estructura donde estarán soportados los paneles y los paneles propiamente) que estará resistido por las ramas del árbol.

$$W_m = g(W_e + W_p) = (20\text{kg} + 23\text{kg}) (9.81 \text{ m}/\text{s}^2) = 421.83\text{N}$$

Donde,

$g$  = Fuerza de la gravedad

$W_m$  = Peso del módulo.

$W_e$  = Peso de la estructura de los paneles.

$W_p$  = Peso panel.

---

<sup>34</sup> <http://ingenieria.anahuac.mx/boletin/boletin.201011.html>

Como se mencionó con antelación el peso de las ramas y el tronco es otro de los factores principales que se tendrá en cuenta dentro del diseño.

Peso de las ramas 1 y 2:

rama 3.

Condiciones:

$$M_{R3} = M_{R2} = M_R$$

$$W_R = W_{R3} = W_{R2} = M_R * g$$

Donde,

$M_R$  = Masa de la rama

$W_R$  = Peso de la rama

$W_{R3}$  = Peso de la rama 3.

$W_{R2}$  = Peso de la rama 2.

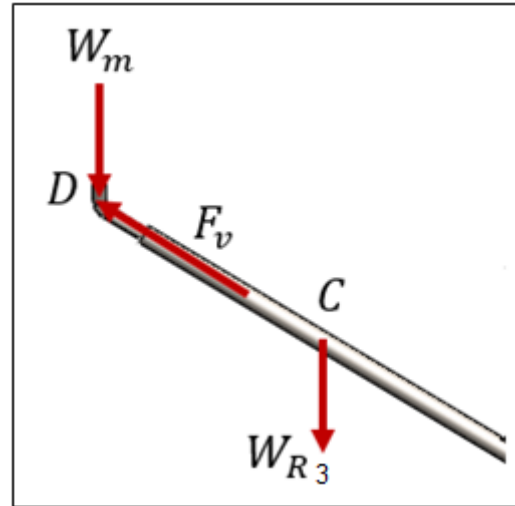
$W_{R1}$  = Peso de la rama 1.

$M_{R3}$  = Masa de la rama 3.

$M_{R2}$  = Masa de la rama 2.

$M_{R1}$  = Masa de la rama 1.

Figura 15. Diagrama de cuerpo libre



Fuente. Autores del proyecto.

Tubo de 5" = 0.127 m de diámetro y espesor  $e = 3\text{mm} \rightarrow 3 * 10^{-3}\text{m}$ .

$$V_{R3} = V_{R2} = V_R$$

rama 2.

Donde,

$V_{R3}$  = Volumen de la rama 3.

$V_{R2}$  = Volumen de la rama 2.

$V_R$  = Volumen de la rama .

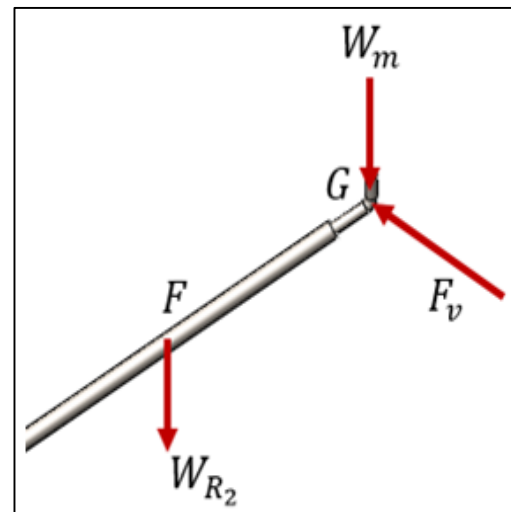
$$W_R = m_R * g$$

$$M_R = \rho_{A1020} * V_R$$

Donde,

$\rho_{A1020}$  = Densidad del acero

Figura 16. Diagrama de cuerpo libre



Fuente. Autores del proyecto.

$$\rho_{A1020} = 7870 \text{ kg/m}^3$$

$$V_R = A_{TR} * L_R \quad \therefore A_{TR} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

Donde:

$A_{TR}$  = Area transversal de las ramas 3 y 2.

$L_R$  = longitud de la rama 3 y 2.

Así

$$V_R = \left\{ \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \right\} (L_R)$$

$$V_R = \left[ \frac{\pi}{4} \{ (0.0762\text{m})^2 - (0.0732\text{m})^2 \} \right] (2.24\text{m})$$

$$V_R = 7.88 * 10^{-4} \text{m}^3$$

$$M_R = \left( 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (7.88 * 10^{-4} \text{m}^3) = 6.2 \text{kg}$$

$$W_R = (6.5 \text{kg}) (9.81 \text{ m/s}^2) = 60.76 \text{N}$$

Peso de la rama 3:  
rama 1.

$$W_{R1} = M_{R1} * g$$

Donde,

$W_{R1}$  =Peso de la rama 1.

$M_{R1}$  =Masa de la rama 1.

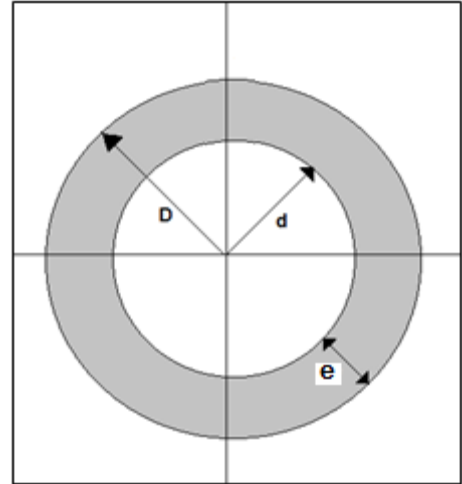
$M_{R1} = \rho_{A1020} * V_{R1}$  , Donde,  $V_{R1}$  = Volumen de la rama 1.

$$V_{R1} = A_{TR3} * L_{R1} \quad \therefore A_{TR1} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

Donde,

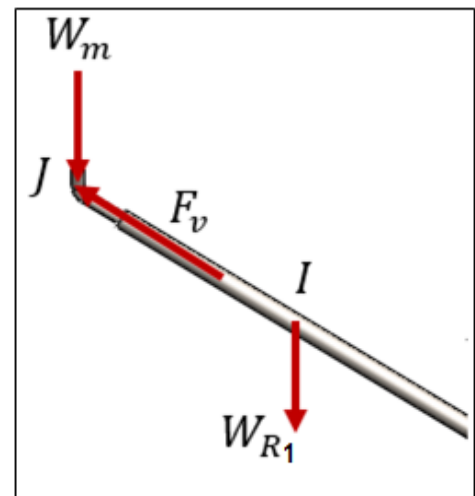
$A_{TR1}$  = Area transversal de la rama 1.

Figura 17. Sección transversal.



Fuente. Autores del proyecto.

Figura 18. Diagrama de cuerpo libre



Fuente. Autores del proyecto.



$L_{R1}$  = Lonjitud rama 1.

$$V_{R1} = \left\{ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right\} (L_{R1})$$

$$V_{R1} = \left[ \frac{\pi}{4} \{ (0.0762\text{m})^2 - (0.0732\text{m})^2 \} \right] (1.5\text{m}) = 5.28 * 10^{-4} \text{m}^3$$

$$M_{R1} = \left( 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (5.28 * 10^{-4} \text{m}^3) = 4.15\text{kg}$$

$$W_{R1} = (4.15\text{kg}) \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 40.76\text{N}$$

Peso del tronco:

Tubo de 5" → **0.127m** de diámetro y espesor **e = 3mm → 3 \* 10<sup>-3</sup>m**.

$$W_t = M_t * g$$

Donde,

$W_t$  = Peso del tronco.

$M_t$  = Masa del tronco.

$$M_t = \rho_{A_{1020}} * V_t$$

$$V_t = A_t * L_t \quad \therefore \quad A_t = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

Donde,

$V_t$  = Volumen del tronco.

$A_t$  = Area del tronco.

$L_t$  = lonjitud del tronco.

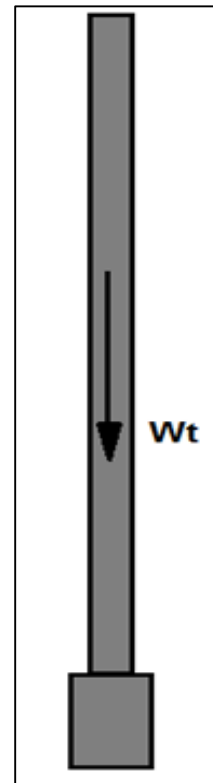
$$V_t = \left\{ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right\} (L_t)$$

$$V_t = \left[ \frac{\pi}{4} \{ (0.127\text{m})^2 - (0.124\text{m})^2 \} \right] (5\text{m}) = 2.957 * 10^{-3} \text{m}^3$$

$$M_t = \left( 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (2.957 * 10^{-3} \text{m}^3) = 23.2\text{kg}$$

$$W_t = (23.2\text{kg}) \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 227.4\text{N}$$

Figura 19. Esquema del tallo.



Fuente. Autores del proyecto

De esta manera las fuerzas que actúan en el sistema son:

$$W_m = 421.83\text{N}$$

$$W_{R1} = W_{R2} = 60.76\text{N}$$

$$W_{R3} = 40.76\text{N}$$

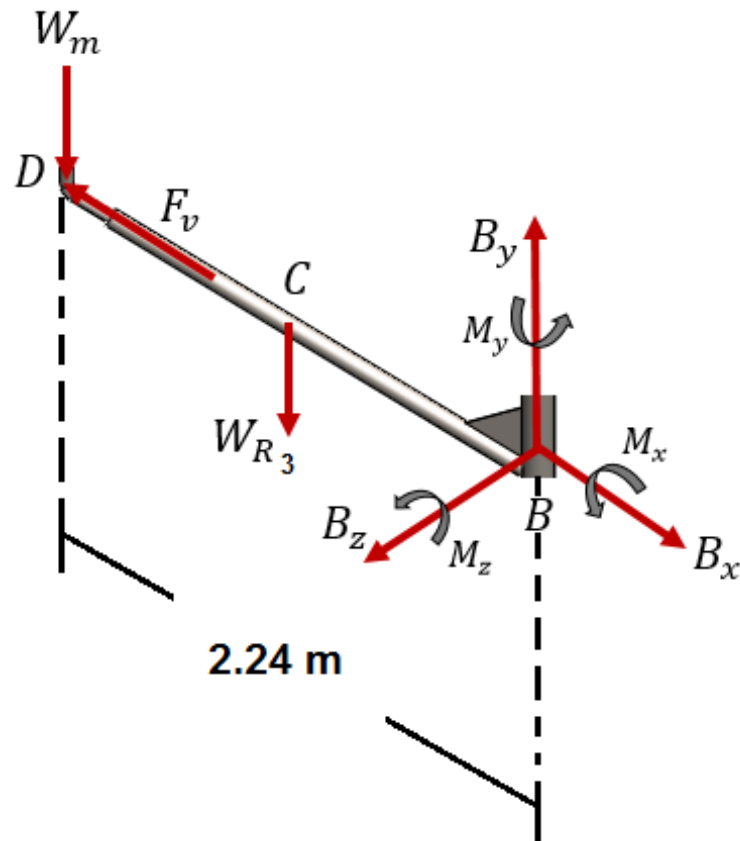
$$W_t = 182.9\text{N}$$

$$F_v = 8.47\text{N}$$

A partir de aquí se da inicio al análisis estático de los componentes estructurales del árbol solar fotovoltaico.

### Análisis estático rama 3:

Figura 20. Diagrama de fuerzas en la rama 3.



Fuente: Autores del proyecto

$$\sphericalangle \sum F_x = 0$$

$$F_V = B_X = 8.47 \text{ N}$$

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$B_X = W_m + W_{R1}$$

$$B_X = 482.6 \text{ N}$$

$$\swarrow \sum F_z = 0$$

$$B_Z = 0$$

$$\curvearrow \sum M = r \times F$$

$$(r_{BC} * W_{R1}) + (r_{BD} * F_V) + (r_{BD} * W_M) + M_{BX} + M_{BY} + M_{BZ} = 0$$

$$(r_{BC} * W_{R1}) + [r_{BD}(F_V + W_m)] + M_{BX} + M_{BY} + M_{BZ} = 0$$

Dónde:

$$r_{BC} = (0.56\hat{i} + 0.5\hat{j} + 1\hat{k})\text{m}$$

$$r_{BD} = (1.12\hat{i} + 1\hat{j} + 2\hat{k})\text{m}$$

Así:

$$[(0.56\hat{i} + 0.5\hat{j} + 1\hat{k})(-60.76\hat{j}) + (1.12\hat{i} + 1\hat{j} + 2\hat{k})(-8.47\hat{i} - 421.83\hat{j}) + M_{\hat{i}} + M_{\hat{j}} + M_{\hat{k}} = 0]$$

$$-34.03\hat{k} + 60.76\hat{i} - 472.45\hat{k} + 8.47\hat{k} - 16.94\hat{j} + 843.66\hat{i} + M_{\hat{i}} + M_{\hat{j}} + M_{\hat{k}} = 0$$

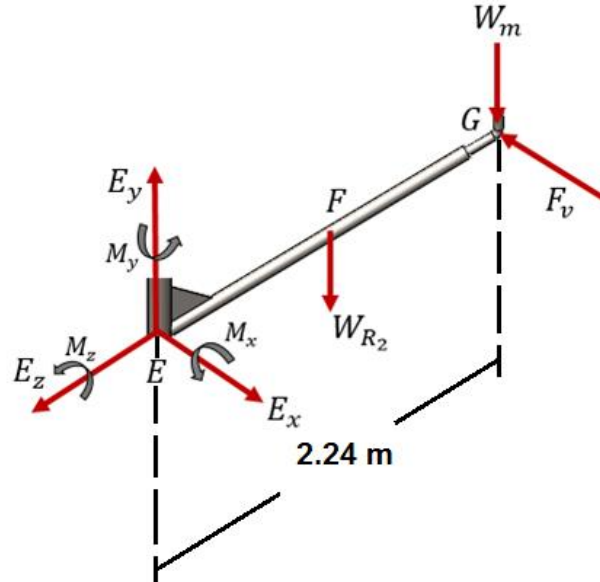
$$\hat{i} = \hat{i} \rightarrow M_{\hat{i}} = M_{BX} = -904.42 \text{ N} * \text{m}$$

$$\hat{j} = \hat{j} \rightarrow M_{\hat{j}} = M_{BY} = 16.94 \text{ N} * \text{m}$$

$$\hat{k} = \hat{k} \rightarrow M_{\hat{k}} = M_{BZ} = 16.94 \text{ N} * \text{m}$$

Análisis estático rama 2:

Figura 21. Diagrama de fuerzas en la rama 2.



Fuente. Autores del proyecto

$$\searrow \sum F_x = 0$$

$$F_v = E_x = 8.47\text{N}$$

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$E_y = W_m + W_{R2} = 421.83\text{N} + 60.76\text{N} = 482.6\text{N}$$

$$\swarrow \sum F_z = 0$$

$$B_z = 0$$

$$M = r \times F$$

$$(r_{EF} * W_{R2}) + (r_{EG} * F_v) + (r_{EG} * W_m) + M_{EX} + M_{EY} + M_{EZ} = 0$$

$$(r_{EF} * W_{R2}) + [r_{EG}(F_v + W_m)] + M_{EX} + M_{EY} + M_{EZ} = 0$$

Dónde:

$$r_{EF} = (0.56\hat{i} + 0.5\hat{j} - 1\hat{k})\text{m}$$

$$r_{EG} = (1.12\hat{i} + 0.9\hat{j} - 2\hat{k})\text{m}$$

Así:

$$[(0.56\hat{i} + 0.5\hat{j} - 1\hat{k})(-60.76\hat{j}) + (1.12\hat{i} + 0.9\hat{j} - 2\hat{k})(-8.47\hat{i} - 421.83\hat{j}) + M_{\hat{i}} + M_{\hat{j}} + M_{\hat{k}} = 0]$$

$$-34.02\hat{k} + 60.76\hat{i} - 472.44\hat{k} + 7.62\hat{k} + 16.94\hat{j} - 843.66\hat{i} + M_{\hat{i}} + M_{\hat{j}} + M_{\hat{k}} = 0$$

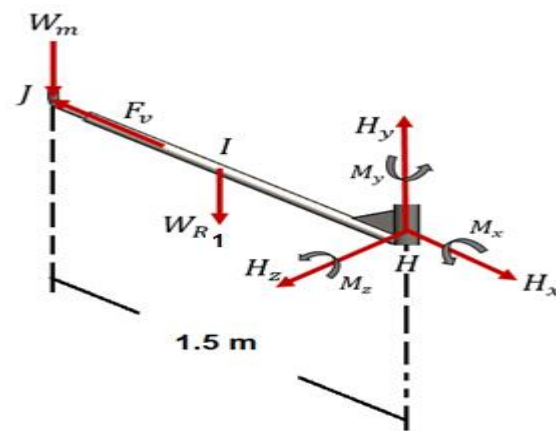
$$\hat{i} = \hat{i} \rightarrow M_{\hat{i}} = M_{EX} = 904.42 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\hat{j} = \hat{j} \rightarrow M_{\hat{j}} = M_Y = -16.94 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\hat{k} = \hat{k} \rightarrow M_{\hat{k}} = M_Z = 498.84 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Análisis estático rama 1:

Figura 22. Diagrama de fuerzas en la rama.



Fuente. Autores del proyecto

$$\sphericalangle \sum F_x = 0$$

$$F_V = H_x = 8.47 \text{ N}$$

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

$$H_y = W_m + W_{R3}$$

$$H_y = 421.83 \text{ N} + 40.76 \text{ N} = 462.59 \text{ N}$$

$$M = r \times F$$

$$(r_{HI} * W_{R3}) + (r_{HJ} * F_V) + (r_{HJ} * W_M) + M_{HX} + M_{HY} + M_{HZ} = 0$$

$$(r_{HI} * W_{R2}) + [r_{HJ}(F_V + W_m)] + M_{HX} + M_{HY} + M_{HZ} = 0$$

Dónde:

$$r_{HI} = (0.6\hat{i} + 0.45\hat{j})m \quad ; \quad r_{HJ} = (-1.2\hat{i} + 0.9\hat{j})m$$

Así:

$$[(-0.6\hat{i} + 0.45\hat{j})(-40.76\hat{j}) + (-1.2\hat{i} + 0.9\hat{j})(-8.47\hat{i} - 421.83\hat{j}) + M_i + M_j + M_k = 0]$$

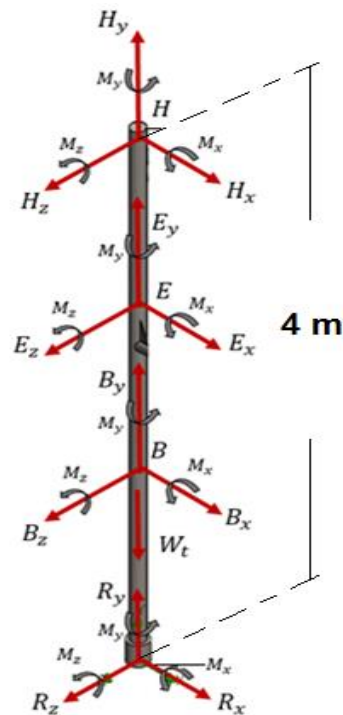
$$-24.45k + 506.19k + 7.62k + M_i + M_j + M_k = 0$$

$$\hat{i} = \hat{i} \rightarrow M_i = M_{HX} = 0 \text{ N} * \text{ m}$$

$$\hat{j} = \hat{j} \rightarrow M_j = M_{HY} = 0 \text{ N} * \text{ m}$$

$$k = k \rightarrow M_k = M_{HZ} = -538.26 \text{ N} * \text{ m}$$

Figura 23. Diagrama de fuerzas del tronco.



Fuente: autores del proyecto.

$$\downarrow \sum F_x = 0$$

$$R_x - B_x - E_x - H_x = 0 \rightarrow R_x = 25.41 \text{ N}$$

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

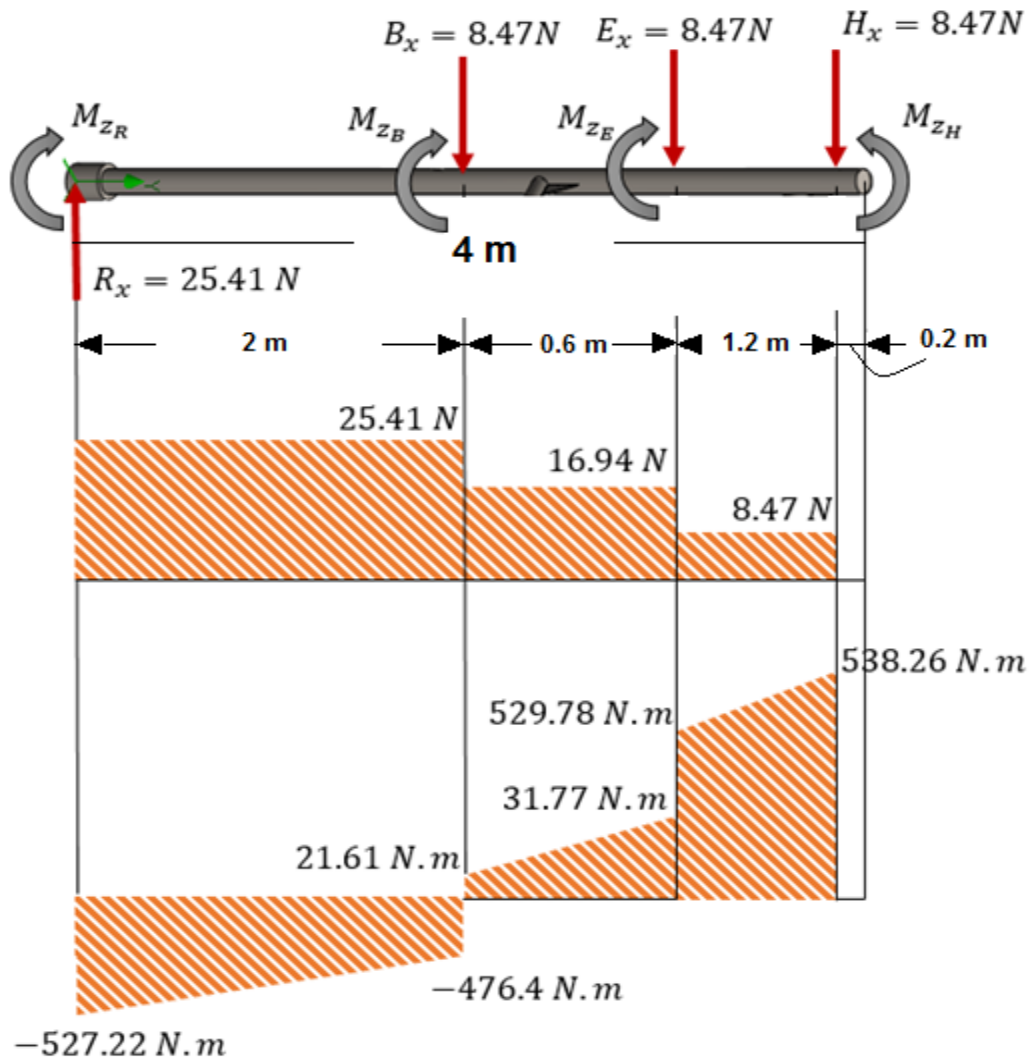
$$R_y - W_t - B_y - E_y - H_y = 0 \rightarrow R_y = 1655 \text{ N}$$

$$\curvearrowright \sum F_x = 0$$

$$R_z = 0$$

PLANO XY

Figura 24. Diagrama de fuerzas cortante y momento flexionante.



Fuente. Autores del proyecto.

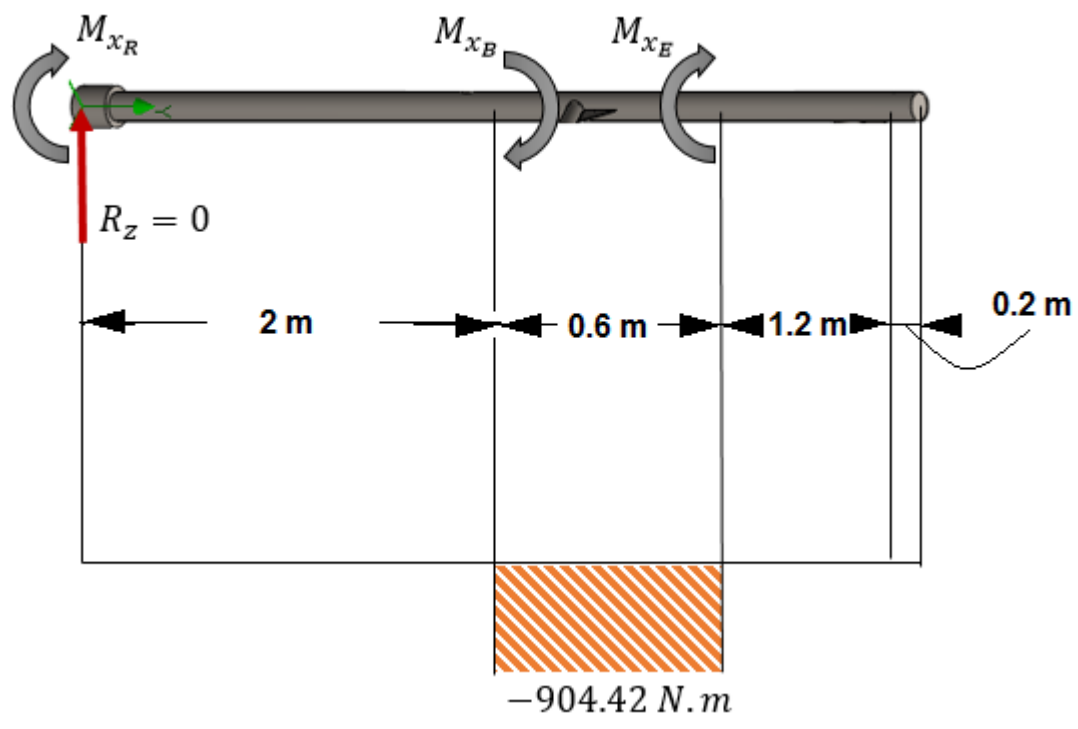
$$\curvearrowright \sum \mathbf{M} = 0; M_{zT} + (8.47 \text{ N} * 2) + M_{zB} + (8.47 \text{ N} * 2.6) + M_{zE} + (8.47 \text{ N} * 3.6) = 0$$

$$M_{zT} + 16.94 + 498.01 + 22.02 + 4988.01 + 30.5 - 538.26 = 0$$

$$M_{zT} = -527.22 \text{ N} \cdot \text{m}$$

PLANO YZ

Figura 25. Diagrama de fuerzas cortante.



Fuente. Autores del proyecto.

$$\sum \mathbf{M} = \mathbf{0}; \quad M_{TX} - M_{BX} + M_{EX} = 0$$

$$M_{TX} = 904.42 - 904.42 = 0$$

$$\sigma_x = \frac{M_{\max} C}{I} + \frac{F}{A}^{35}$$

Dónde:

<sup>35</sup>Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY.9ª edición. p. 87.



M = Momento maximo.

C = Distancia desde el centro a la fibra a analizar.

F = Cortante maximo.

A = Sección transversal.

I = Momento de inercia.

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal.

$$M_{\max} = \sqrt{(904.42\text{N} * \text{m})^2 + (476.4\text{N} * \text{m})^2} = 1022.2 \text{ N} * \text{m}$$

$$C = R_{\text{Exterior}} = 0.0635\text{m}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (0.127\text{m}^4 - 0.124\text{m}^4) = 1.164 * 10^{-6}\text{m}^4$$

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (0.127\text{m}^2 - 0.124\text{m}^2) = 5.914 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$F = 25.41 \text{ N}$$

Así:

$$\sigma_x = \frac{(1022.2 \text{ N} * \text{m})(0.0635\text{m})}{1.164 * 10^{-6}\text{m}^4} + \frac{25.41 \text{ N}}{5.914 * 10^{-4}\text{m}^2} = 55807312.92 \text{ Pa} = 55.80\text{MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

n = Factor de seguridad.

$S_y$  = Resistencia a la fluencia.

$$S_y = 210 \text{ MPa(AISI1020HR)}^{36}$$

$\sigma'$  = Esfuerzo de von mises.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \tau^2}$$

$\tau$  = Esfuerzo cortante.

T = Par de torsión.

r = Radio.

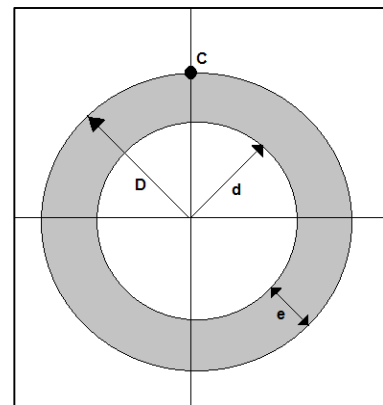
$$\tau = \frac{T * r}{J}^{37}$$

Dónde:

<sup>36</sup>Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p. 1004.

<sup>37</sup>Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p. 99.

Figura 26. Sección transversal.



Fuente Autores del proyecto.

T = Par de torsión.  
 r = Radio.Fuente.  
 J = Segundo momento polar de area.

$$J = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)^{38}$$

$$J = \frac{\pi}{64} (0.127^4 - 0.124^4) = 2.329 * 10^{-6} \text{m}^4$$

$$\tau = \frac{(904.42 \text{N} * \text{m})(0.0635 \text{m})}{2.329 * 10^{-6} \text{m}^4} = 24658663.2 \text{Pa} = 24.65 \text{MPa}$$

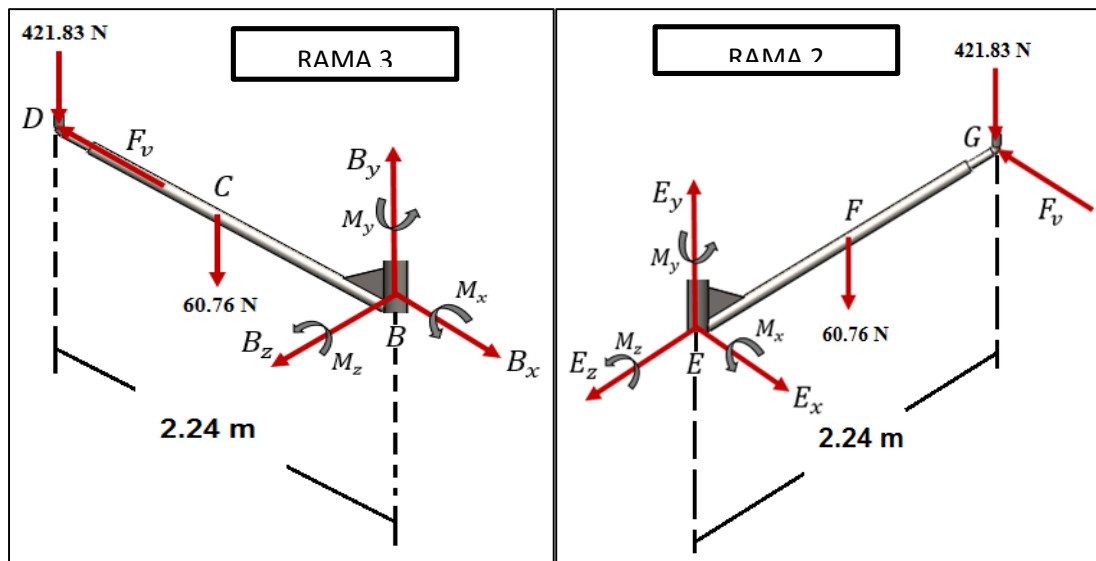
$$\sigma = \sqrt{(55.80 \text{MPa})^2 + (24.65 \text{MPa})^2} = 61 \text{MPa}$$

$$n = \frac{210 \text{MPa}}{61 \text{MPa}} = 3.44$$

### 4.3.3 Selección del tipo de unión (uniones soldadas)

- **Ramas 2 y 3 (teniendo en cuenta el peso)**

Figura 27. Diagramas de las ramas 2 y 3.



Fuente. Autores del proyecto.  
 $R_y = 482.59 \text{N}$

<sup>38</sup>Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9º edición. p.99.

$$\theta = 63.5^\circ$$

$$\zeta \sum M_O = 0$$

$$(421.83N * 2m) + (60.76N * 1m) = M_O$$

$$M_O = 904.42 N * m$$

### **Esfuerzos en uniones soldadas sujetas a flexión.**

$$\tau' = \frac{V_{39}}{A}$$

Donde:

$$V = R_y = 482.59N$$

$$A = 1.414\pi hr$$

$$h = \text{altura de garganta del cordon} = 0.01m$$

$$A = 1.414\pi(0.01m)(\pi)(0.0381m) = 1.69 * 10^{-3}m^2$$

$$\tau' = \frac{482.59N}{1.69 * 10^{-3}m^2} = 0.29MPa$$

### **Esfuerzo cortante nominal de garganta.**

$$\tau'' = \frac{MC}{I}^{40}$$

Donde:

$$I = 0.707hI_U^{41}$$

$$I_U = \pi r^3^{42}$$

$$I = 0.707(0.01m)\pi(0.0381m)^3 = 1.21 * 10^{-6}m^4$$

$$\tau'' = \frac{(904.42N * M)(0.0381m + 0.01m)}{1.21 * 10^{-6}m^4} = 35.95MPa$$

### **Esfuerzo resultante**

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{(0.29MPa)^2 + (35.95MPa)^2} = 35.95MPa$$

### **Esfuerzo de uniones soldadas sujetas a torsión**

<sup>39</sup>Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p..465

<sup>40</sup>Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p..465

<sup>41</sup> Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p..465

<sup>42</sup> Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p..465

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

Donde:

$$V = \text{Fuerza del viento} = 8.47 \text{ N}$$

$$A = 1.414\pi hr$$

$$h = \text{garganta} = 0.01 \text{ m}$$

$$\tau' = \frac{8.47 \text{ N}}{1.414\pi(0.01 \text{ m})(\pi)(0.0381 \text{ m})} = 0.05 \text{ MPa}$$

### **Esfuerzo torsionante secundario**

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} \quad 43$$

Donde:

$$J = 0.707h J_U \quad 44$$

$$J_U = 2\pi r^3 \quad 45$$

$$M = (8.47 \text{ N} * M)(2 \text{ m}) = 16.94 \text{ N} * \text{ m}$$

$$\tau'' = \frac{(16.94 \text{ N} * \text{ m})(0.0381 \text{ m})}{0.707(0.01 \text{ m})\{2\pi(0.0381 \text{ m})^3\}} = 0.263 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Max} = \tau_t + \tau_f \quad 46$$

$$\tau_{Max} = (0.26304 + 35.95) \text{ MPa} = 36.18 \text{ MPa}$$

Ramas 1 (teniendo en cuenta el peso).

---

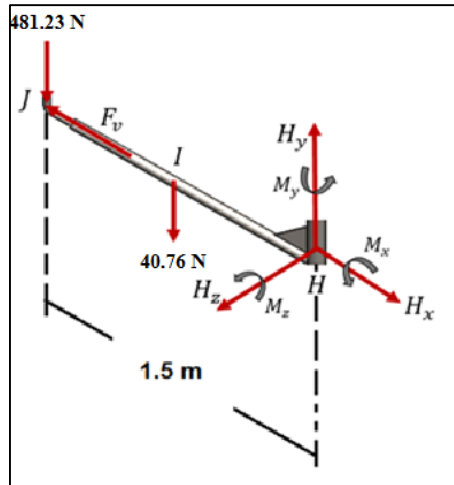
<sup>43</sup> Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p..459

<sup>44</sup> Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p..461

<sup>45</sup> Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p..462

<sup>46</sup> Richard G. Budinas y J Keith Nisbett, diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. 9° edición. p..465

Figura 28. Diagramas de la ramas 1.



Fuente. Autores del proyecto.

$$R_y = 462.59N$$

$$\theta = 53.13^\circ$$

$$\zeta \sum M_O = 0$$

$$(421.83N * 0.9 m) + (40.76N * 0.45 m) = M_O$$

$$M_O = 397.99 N * m$$

### Esfuerzos en uniones soldadas sujetas a flexión

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

Donde:

$$V = R_y = 462.59$$

$$A = 1.414\pi hr$$

$$h = \text{altura garganta cordon} = 0.01m$$

$$A = 1.414\pi(0.01m)(\pi)(0.0381m) = 1.69 *$$

$$\tau'' = \frac{MC}{I}$$

Donde:

$$I = 0.707hI_U$$

$$I_U = \pi r^3$$

$$I = 0.707(0.01m)\pi(0.0381m)^3 = 1.21 * 10^{-6}m^4$$

$$\tau'' = \frac{(397.99 N * M)(0.0381m + 0.01m)}{1.21 * 10^{-6}m^4} = 15.82MPa$$

### **Esfuerzo resultante**

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{(0.27MPa)^2 + (15.82MPa)^2} = 15.82MPa$$

### **Esfuerzo de uniones soldadas sujetas a torsión**

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

Donde:

$$V = Fuerza del viento = 8.47 N$$

$$A = 1.414\pi hr$$

$$h = garganta = 0.01m$$

$$\tau' = \frac{8.47N}{1.414\pi(0.01m)(\pi)(0.0381m)} = 0.05MPa$$

### **Esfuerzo torsionante secundario**

$$\tau'' = \frac{Mr}{J}$$

$$J = 0.707h J_U$$

$$J_U = 2\pi r^3$$

$$M = (8.47N * M)(0.9 m) = 7.62 N * m$$

$$\tau'' = \frac{(7.62N * m)(0.0381m)}{0.707(0.01m)\{2\pi(0.0381m)^3\}} = 0.11 MPa$$

$$\tau_{Max} = \tau_t + \tau_f = (0.11 + 15.82)MPa = 15.93 MPa$$

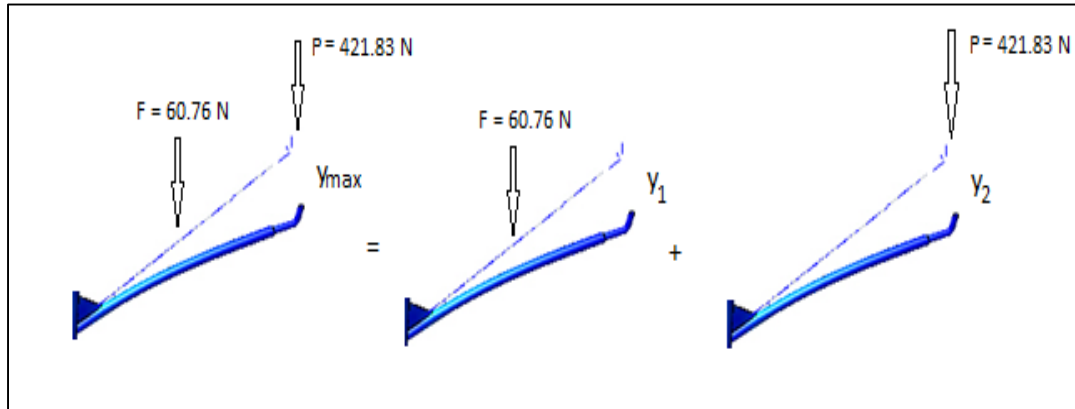
Teniendo en cuenta la tabla del sistema de numeración del código de especificaciones de la american welding society (AWS) para electrodos. Se debe seleccionar un electrodo con propiedades (esfuerzos) muchos mayores a los obtenidos en el cálculo anterior. En este caso se selecciona el electrodo:

*E7018* → Con resistencia a la fluencia de 393 MPa.  
**393MPa** >> **36.18MPa**(Tabla 9-3 Shigley)

#### 4.3.4 Deformación en las ramas.

Deformación ramas 2 Y 3.

Figura 29. Superposición de las ramas 2 y3.



Fuente. Autores del proyecto.

$$y_{\max(2,3)} = y_1 + y_2$$

$$y_{\max(2,3)} = \frac{F' a^2 (a - 3l)}{6EI} - \frac{P' L^3}{3EI}$$

Donde:

F = Fuerza.

a = Distancia desde el empotramiento hasta el punto donde se encuentra la fuerza (1.12 m).

L = Longitud total de la barra (2.24 m).

E = Módulo de elasticidad (ACERO 1020  $\rightarrow E = 205 * 10^9 Pa$ )

I = Momento de inercia.

P = fuerza en el extremo.

$$P \cos \theta = P'$$

$$y_{\max(2,3)} = \frac{F \cos \theta * a^2 (a - 3l)}{6EI} - \frac{P \cos \theta L^3}{3EI}$$

$$y_1 = \frac{(60.76N)(\cos 26.5^\circ)(1.12m)^2(1.12m - 3(2.24m))}{6(205 * 10^9 Pa)(2.456 * 10^{-7} m^4)} = -1.264 * 10^{-3} m$$

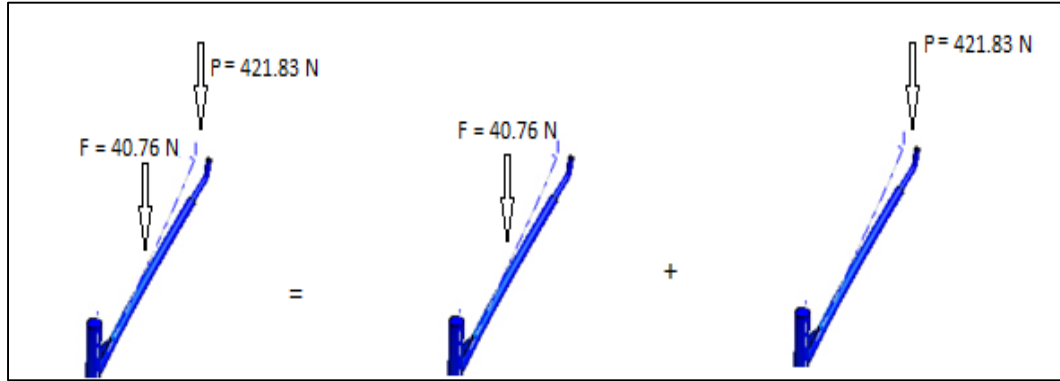
$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} \{(0.0762m)^4 - (0.0732m)^4\} = 2.456 * 10^{-7} m^4$$

$$y_2 = \frac{(421.83N)(\cos 26.5^\circ)(2.24m)^3}{3(205 * 10^9 Pa)(2.456 * 10^{-7} m^4)} = -0.028m$$

$$y_{\max} = -1.264 * 10^{-3}m - 0.028m = -0.0294m$$

Deformación rama 1.

Figura 30. Superposición de la rama 1.



Fuente. Autores del proyecto.

$$y_{\max 1} = \frac{F \cos \theta * a^2(a - 3l)}{6EI} - \frac{P \cos \theta L^3}{3EI}$$

Donde:

F = Fuerza.

a = Distancia desde el empotramiento hasta el punto donde se encuentra la fuerza (0.75 m).

L = Longitud total de la barra (1.5 m).

E = Módulo de elasticidad (ACERO 1020  $\rightarrow E = 205 * 10^9 Pa$ )

I = Momento de inercia.

P = fuerza en el extremo.

$$y_1 = \frac{40.76N (\cos 36.87^\circ)(0.75m)^2(0.75m - 3(1.5m))}{6(205 * 10^9 Pa)(2.456 * 10^{-7}m^4)}$$

$$y_2 = -\frac{421.83N(\cos 36.87^\circ)(1.5m^3)}{3(205 * 10^9 Pa)(2.456 * 10^{-7}m^4)}$$

$$y_{\max 1} = -0.00022m \quad (\text{Deformación casi nula}).$$

**4.3.5 Análisis mediante simulación CAE.** Se considera un análisis estático para determinar tensiones, deformaciones y pandeo que sufre la estructura debido al peso de los paneles. A continuación se describen las principales características de condiciones iniciales:

Carga en los tres extremos de la estructura de  $W=421.8$  N, representados por los tres (3) paneles solares los cuales tienen un peso máximo de 23 kg y la estructura que soporta el panel solar con peso de 20 kg.



La estructura principal de forma de tallo de árbol tiene forma tubular con dimensiones en su parte más gruesa de 5" de Diámetro con un espesor de pared de 3 mm. Y sus ramas tienen dimensiones de 3" de diámetro y espesor de pared de 3 mm.

El material de toda la estructura es Acero AISI 1020 HR:

**Tipo de modelo:** Isotrópico elástico lineal

**Criterio de error predeterminado:** Tensión máxima de von Mises

**Límite elástico:**  $3.5e+008$  N/m<sup>2</sup>

**Límite de tracción:**  $4.2e+008$  N/m<sup>2</sup>

**Módulo elástico:**  $2.05e+011$  N/m<sup>2</sup>

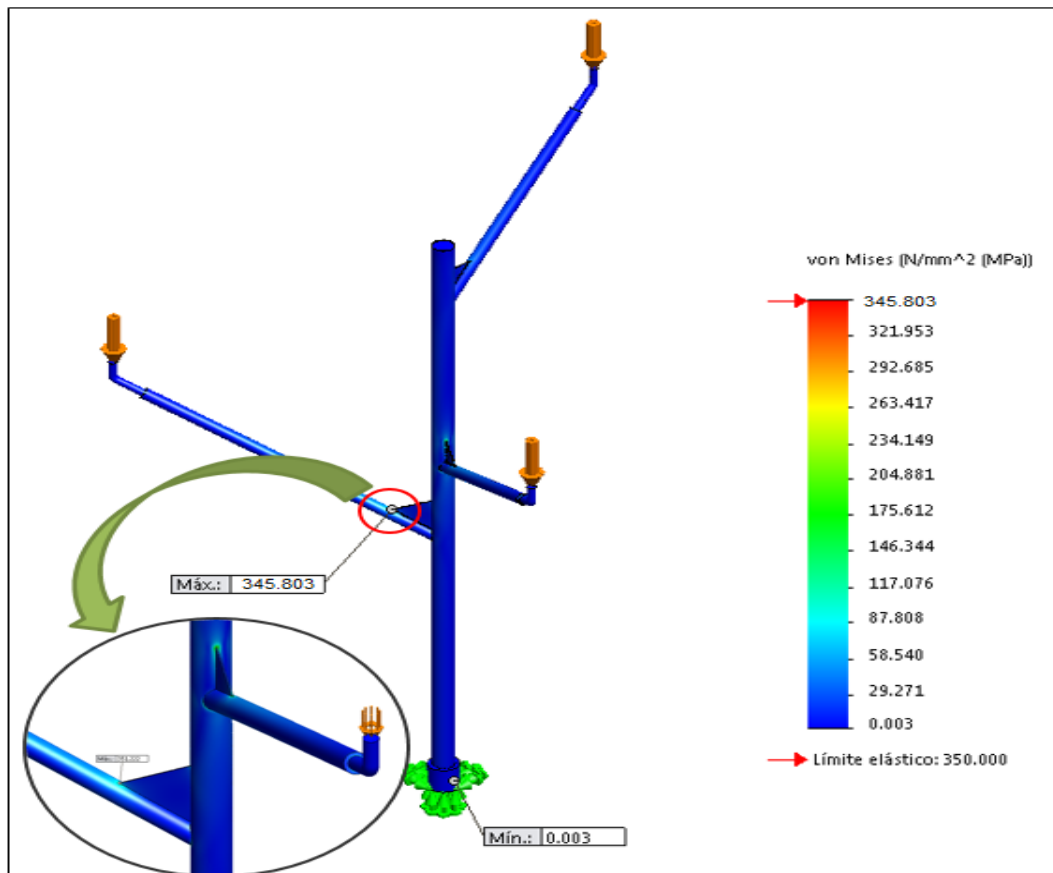
**Coefficiente de Poisson:** 0.29

**Densidad:** 7870 kg/m<sup>3</sup>

**Módulo cortante:**  $8e+010$  N/m<sup>2</sup>

**Coefficiente de dilatación térmica:**  $1.17e-005$  /Kelvin

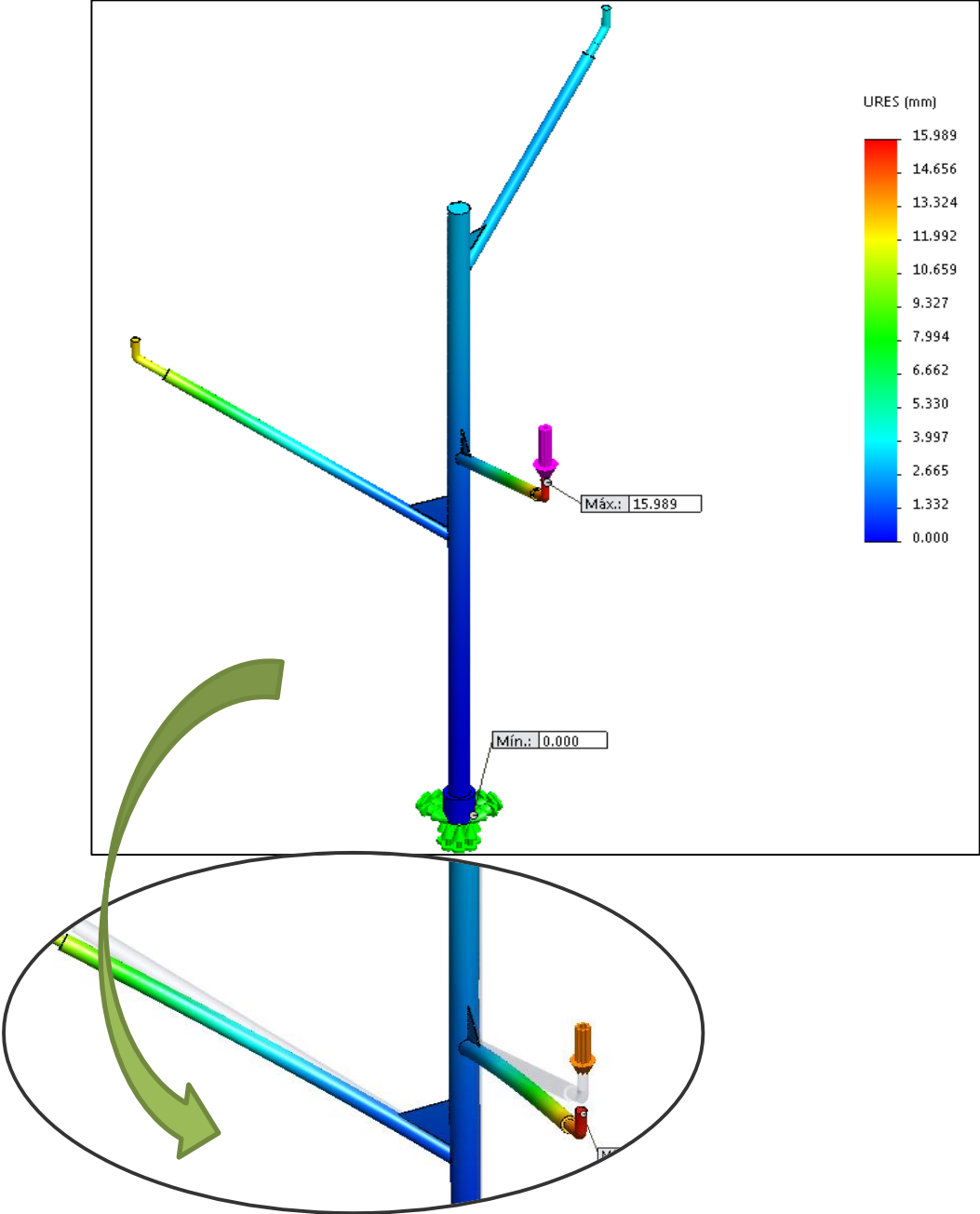
Figura 31. Prueba de Tensión realizada en Solidworks.



Fuente: Autores del proyecto

En esta imagen se puede observar el comportamiento detallado cuando la estructura es sometida a esfuerzos de tensión, se muestra también en la escala de colores que los valores máximos están de rojo y los mínimos en color azul. El valor máximo 345.803 MPa se presenta en el extremo de la cartela de la rama 3 en una sección casi imperceptible.

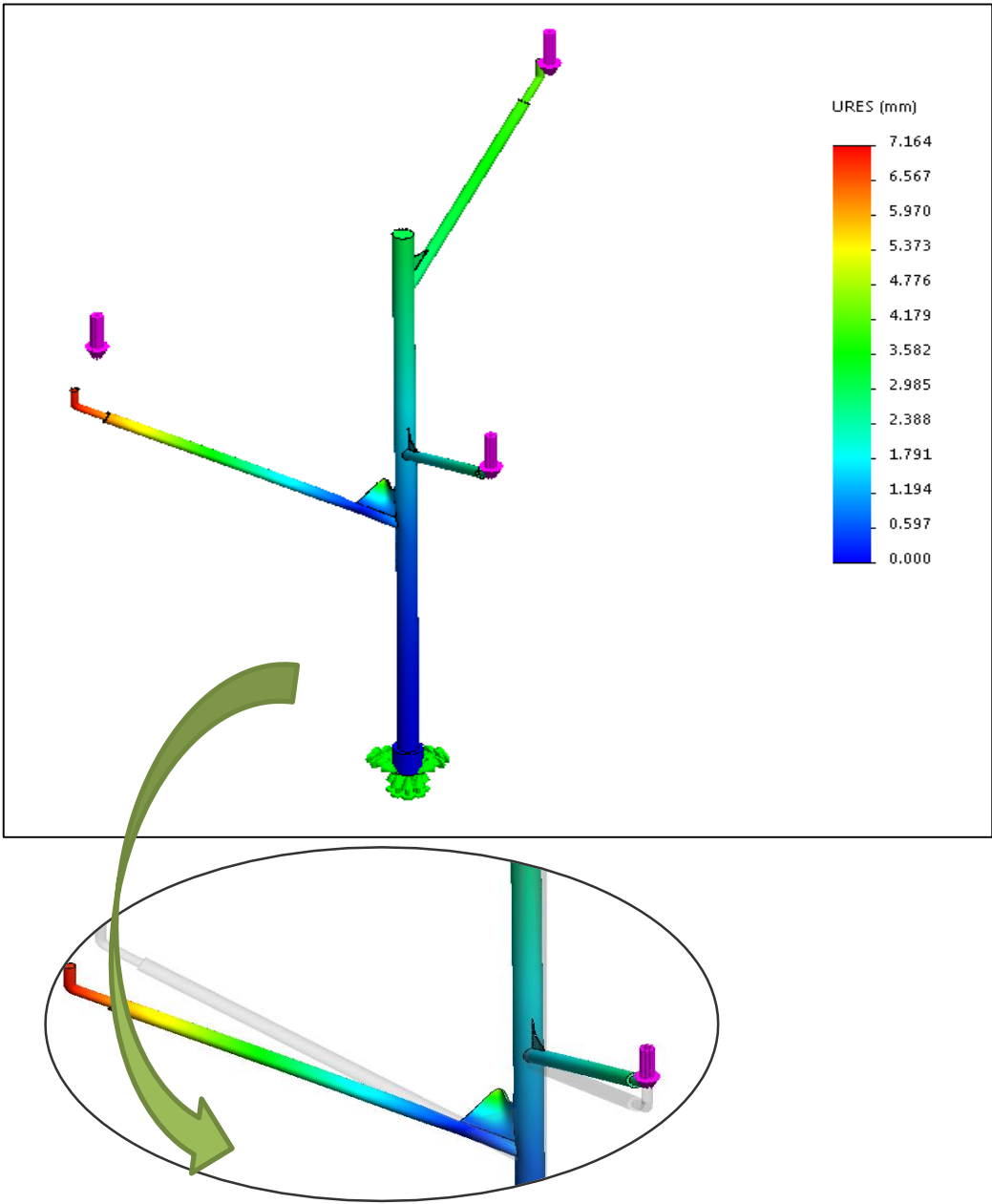
Figura 32. Prueba de Deformación realizada en Solidworks.



Fuente: Autores del proyecto

En la imagen anterior se observa el comportamiento respecto a las deformaciones, la escala de colores muestra una deformación máxima en el extremo de la rama 2 de 15.989 mm, la rama 3 una deformación 11.99 mm y por último la rama 1 con una deformación aproximada de 3.999 mm.

Figura 33. Prueba de Pandeo realizada en Solidworks.



Fuente: Autores del proyecto

Ya por último se realizó la simulación para determinar el pandeo en la estructura teniendo en cuenta el peso de los paneles y la fuerza ejercida por el viento. En la imagen se puede ver claramente los desplazamientos en cada rama, rama 1 alrededor de 3.58 mm, rama (2) 4.2 mm y el desplazamiento máximo es en la rama 3 con una magnitud de 7.164 mm.

**4.3.6 Construcción de la estructura en forma de árbol.** Para que fuese posible la materialización del presente proyecto, fue necesaria la aplicación de diversos procesos de manufactura (corte, soldadura, pulido, torneado, taladrado, esmerilado, pintura, entre otros.) con el fin de efectuar de manera óptima, segura y confiable la construcción de los elementos estructurales que requerían de estos procesos de metalmecánica.

Figura 34. Procesos de manufactura para la construcción del banco.



Fuente: Autores del proyecto

Luego de la llegada de los equipos que conforman una instalación solar fotovoltaica y obteniendo acceso a los mismos se procedió a la toma de medidas de los paneles solares teniendo como objetivo el dimensionado de la estructura que los soportaría, para posteriormente determinar el peso de dicha estructura y a su vez la carga (peso del panel más el peso de la estructura soporte) que resistiría cada una de las ramas.

Figura 35. Estructura de soporte para paneles



Fuente: Autores del proyecto

A partir de la carga que resistiría la rama (peso del panel más el peso de la estructura soporte) y otros factores, se derivaría el dimensionado del tubo que sería usado para dar forma similar a la de un árbol. Esto fue posible aplicando distintos criterios de diseño mecánico, estática y resistencia de materiales. Arrojando como resultado que el tubo adecuado para el tallo sería de 5 pulgadas de diámetro y 3 milímetros de espesor de pared; mientras que para las ramas sería de 3 pulgadas de diámetro y 3 milímetros de espesor de pared. Siendo ambos tubos del mismo material, en este caso acero 1020 laminado en caliente.

Figura 36. Tubo de acero para tallo del árbol



Fuente: Autores del proyecto



Con posesión de los tubos adecuados para la construcción del árbol, el paso a seguir consistió en cortar los tubos a las medidas determinadas en los cálculos, tanto para las ramas como para el tallo. Luego de esto se hicieron perforaciones en el tallo (tubo de 5 pulgadas) para empotrar las ramas (tubo 3 pulgadas) en él; seguido de esto, buscando lograr una fijación óptima y permanente se soldaron las partes entre sí, para finalmente obtener la apariencia de árbol deseada.

Figura 37. Construcción del árbol



Fuente: Autores del proyecto

#### **4.4 INTEGRAR LOS DIFERENTES COMPONENTES ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS AL BANCO DE PRUEBAS SOLAR FOTOVOLTAICO.**

**4.4.1. Adecuación de la estructura en el sitio de trabajo.** Sucesivamente de finalizar la construcción de la estructura en forma de árbol se pasó a empotrarla en el lugar determinado que estaría ubicado en la plazoleta a la vida de la universidad francisco de paula Santander.

Este punto fue determinado teniendo en cuenta un estudio de irradiancia en la plazoleta además de algunos requerimientos exigidos por la oficina de planeación física de la UFPSO.

Figura 38. Empotramiento de la estructura en forma de árbol



Fuente: Autores del proyecto

Algunas de las exigencias recibidas por parte de la oficina de planeación física de la UFPSO era la integración de la estructura con el medio ambiente; es decir, darle apariencia de tal manera que no impactara de forma negativa ni el paisaje, ni la arquitectura de la universidad. Por la razón antes mencionada se optó por darle un aspecto de árbol.

Figura 39. Aerografía a la estructura del árbol



Fuente: Autores del proyecto



**4.4.2. Construir el cuarto eléctrico con sus respectivas conexiones eléctricas.** Debido a que los equipos electrónicos que conforman una instalación solar fotovoltaica (inversor, regulador, baterías, etc.) necesitan estar ubicados en un lugar donde puedan ser protegidos del sol, el agua y la indebida manipulación; se construye un cuarto en ladrillos con puertas metálicas en la parte superior y frontal

Figura 40. Cuarto eléctrico.



Fuente. Autores del proyecto

Teniendo presente lo consignado en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) respecto a las instalaciones subterráneas, estas deben ser conducidas y protegidas en tubería plástica ya sea corrugada o lisa; en este caso en particular se utilizó tubería flexible para la estructura con forma de árbol, y para el tramo subterráneo comprendido entre la caja y el árbol se usó tubería lisa.

Figura 41. Ejecución del conexionado eléctrico



Fuente autores del proyecto



**4.4.3 Interconexión de todos los elementos para su puesta en funcionamiento.** A demás del funcionamiento que ofrece una instalación solar fotovoltaica de satisfacer una demanda de energía eléctrica, en el presente proyecto también se pretendía realizar distintas pruebas que permitieran a los estudiantes familiarizarse con este tipo de instalaciones. Razón por la cual, sumado a los elementos que conforman una instalación solar fotovoltaica, se integró un tablero didáctico a través del cual se pudiera interactuar con la instalación.

Figura 42. Tablero eléctrico



Fuente. Autores del proyecto

Siguiendo algunas recomendaciones e indicaciones estrictas de los manuales de instalación/operación se procede a efectuar el correspondiente conexionado de cada uno de los equipos.

Figura 43. Interconexionado de los equipos de la instalación solar fotovoltaica.



Fuente. Autores del proyecto.

A partir de este punto la instalación se encuentra apta para iniciar la etapa de pruebas piloto.

**4.4.4 Puesta a punto del banco solar fotovoltaico conectado a las luminarias de la “plazoleta a la vida”.** Ya finalizada la instalación de todos los dispositivos del sistema solar fotovoltaico (paneles, controlador, baterías e inversores.) y el tablero de conexiones, solo restaba formalizar el cumplimiento de uno de los objetivos propuesto al inicio de este trabajo de grado, el cual consistía en satisfacer la carga demandada por las luminarias de la plazoleta en mención. Es por ello que se efectúa la interconexión entre el cuarto eléctrico de la instalación solar y el cuarto eléctrico de las luminarias y sistema de bombeo de la fuente.

Figura 44. Puesta a punto de la instalación solar fotovoltaica.



Fuente. Autores del proyecto

#### **4.5 VALIDAR EL BANCO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SU POSTERIOR FUNCIONAMIENTO.**

**4.5.1 Elaborar las respectivas guías de laboratorio, manual de operación y mantenimiento para el banco de pruebas.**

##### **Manual de operación.**

**Descripción del equipo.** El banco de energía solar fotovoltaica es un sistema diseñado teniendo en cuenta diversos factores. Este banco además de satisfacer la energía demandada por las luminarias de la plazoleta a la vida, sirve como una herramienta donde se pueden conocer y constatar algunas leyes de la física de forma didáctica.

##### **Especificaciones del equipo.**

Potencia pico 750 W

Tensión del sistema en DC 12 Voltios.

Corriente máxima 60 Amperios.

Capacidad del acumulador 510 Amperios /hora.

Potencia máxima de salida 1000 W

Tensión de salida del sistema en AC 110 Voltios.



**Baterías:** tienen como finalidad almacenar la energía eléctrica generada por los paneles para ser utilizada en tiempos de poca o nula irradiancia.

Figura 47. Acumulador o batería.



Fuente. Autores del proyecto

**Inversores:** es el dispositivo electrónico que permite convertir la corriente continua en corriente alterna, en este caso de 12 a 110 voltios.

Figura 48. Acumulador o batería.



Fuente. Autores del proyecto

**Tablero frontal:** es un elemento de sección rectangular donde se encuentran soportadas las bananas de conexión.

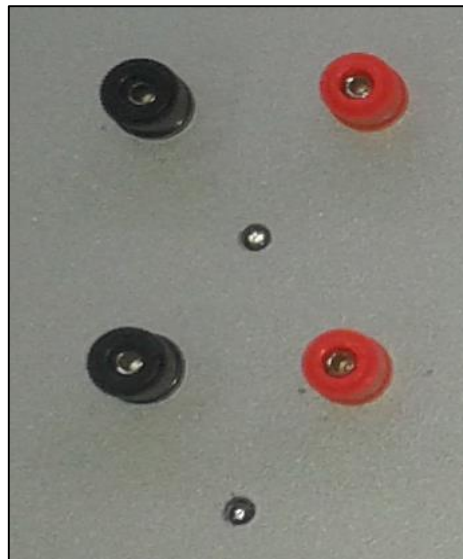
Figura 49. Tablero de conexiones.



Fuente. Autores del proyecto

**Bananas de conexión:** este componente permite trasladar las entradas y salidas de los equipos al tablero frontal con el fin de realizar las distintas conexiones.

Figura 50. Bananas de conexión

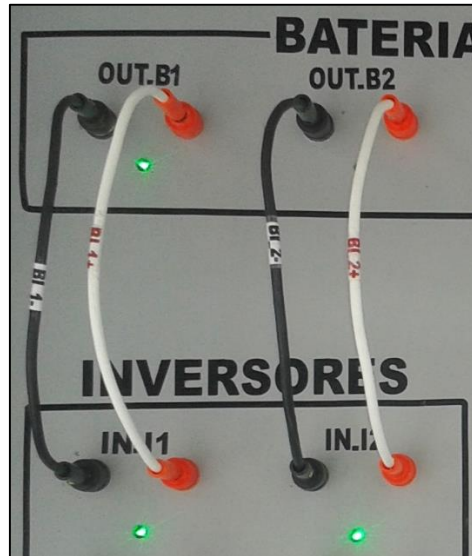


Fuente. Autores del proyecto



**Puentes:** estos elementos están formados por una sección de cable y unos terminales que se insertan en las bananas con el propósito de interconectar los diferentes equipos.

Figura 51. Puentes de conexión.



Fuente. Autores del proyecto

**Interruptor automático:** es un aparato capaz de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica excede de una determinada magnitud, con el objetivo de evitar daños a los equipos eléctricos.

Figura 52. Interruptor automático.



Fuente. Disponible en la web.

**Conexión estándar del sistema.** A continuación se muestra detalladamente la forma de interconectar los equipos de la instalación solar fotovoltaica para un óptimo funcionamiento teniendo en cuenta los parámetros con que fue diseñada.

La instalación después de ser manipulada debe ser dejada con esta configuración.

Antes de realizar alguna conexión en el tablero frontal, asegúrese de portar los elementos de protección personal (guantes dieléctricos) y que los interruptores automáticos estén en posición off (abajo).

Identifique los puentes correspondientes para cada conexión, los cuales estarán debidamente nombrados (PR: panel a controlador, RB: regulador a baterías, BI: baterías a inversores, IS: inversor a salida AC).



*Advertencia:* Por ningún motivo conecte puentes positivos en bananas negativas.

Siguiendo un esquema estándar de conexión de sistemas solares proceda a interconectar las baterías con el regulador. Esto se puede obtener del siguiente modo.

Conecte los terminales del puente RB+ desde la banana positiva (roja) OUT\_R hasta la banana positiva (roja) IN\_B. de la misma forma se conectan los terminales del puente RB- desde la banana negativa (negra) OUT\_R hasta la banana negativa (negra) IN\_B.

Figura 53. Conexión de regulador a baterías.



Fuente. Autores del proyecto.

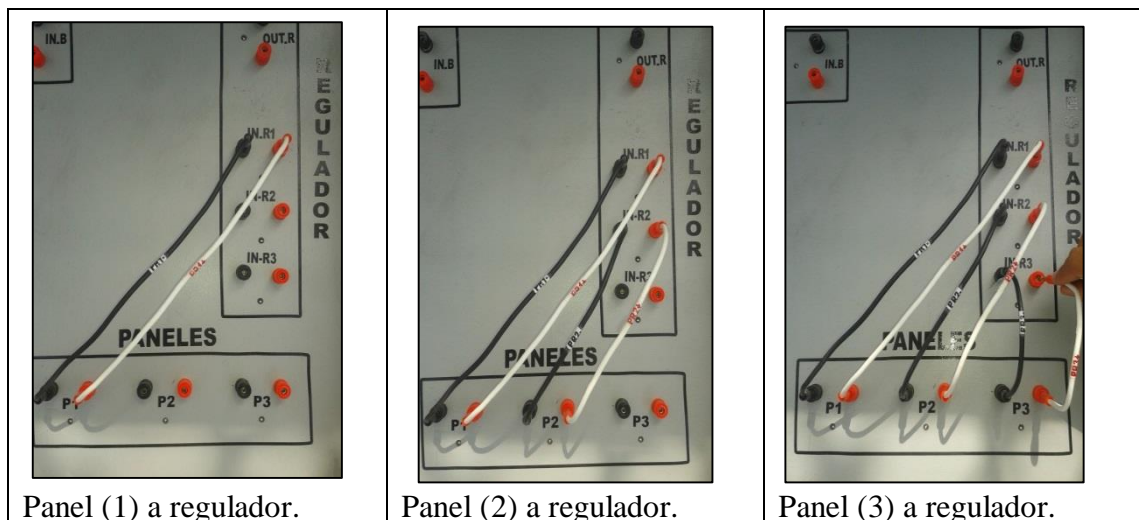
El paso a seguir es la conexión de los paneles solares. Esto se puede lograr realizando la conexión de los puentes de la siguiente manera:

Conecte los terminales de los puentes nombrados con PR1+ desde la banana positiva (roja) de P1 hasta la banana positiva (roja) de IN\_R1 del regulador. De la misma forma conecte los terminales de los puentes nombrados con PR1- desde la banana negativa (negra) de P1 hasta la banana negativa (negra) de IN\_R1 del regulador.

Para conectar el segundo panel conecte los terminales de los puentes nombrados con PR2+ desde la banana positiva (roja) de P2 hasta la banana positiva (roja) de IN\_R2 del regulador. De la misma forma conecte los terminales de los puentes nombrados con PR2- desde la banana negativa (negra) de P2 hasta la banana negativa (negra) de IN\_R2 del regulador.

Así mismo conecte los terminales de los puentes nombrados con PR3+ desde la banana positiva (roja) de P3 hasta la banana positiva (roja) de IN\_R3 del regulador. De la misma forma conecte los terminales de los puentes nombrados con PR3- desde la banana negativa (negra) de P3 hasta la banana negativa (negra) de IN\_R3 del regulador.

Figura 54. Conexión de paneles a regulador.



Fuente. Autores del proyecto.



**Advertencia:** Por ningún motivo conecte puentes positivos en bananas negativas.

Luego de haber interconectado los paneles y el regulador se procede a interconectar las baterías a los inversores.

Conecte los terminales del puente BI\_1+ desde la banana positiva (roja) de OUT\_B1 hasta la banana positiva (roja) de IN\_I1. Ahora conecte los terminales del puente negativo BI\_1- desde la banana negativa (negra) de OUT\_B1 hasta la banana negativa (negra) de IN\_I1.



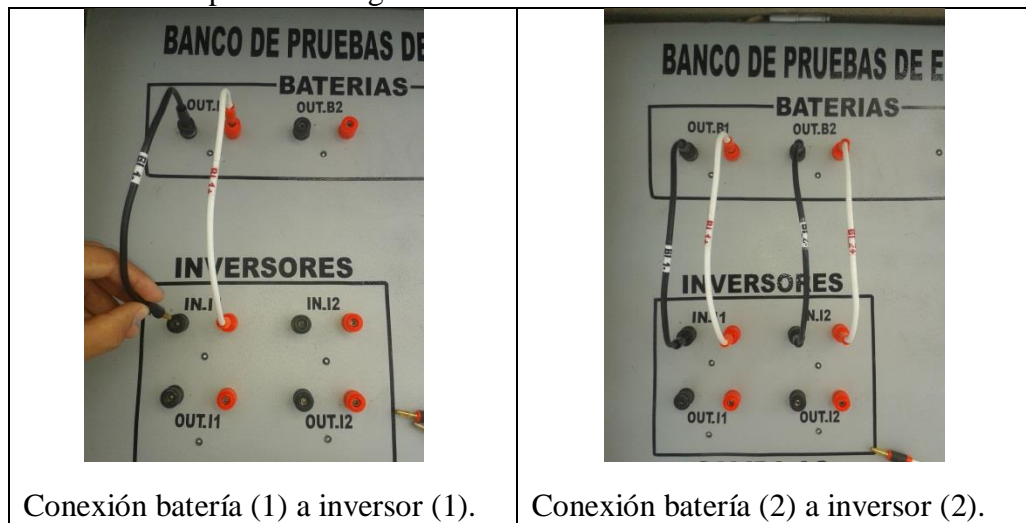


*Advertencia:* Por ningún motivo conecte puentes positivos en bananas negativas.

De la misma forma que se interconectó la batería 1 y el inversor 1 se realiza el proceso para interconectar la batería 2 con el inversor 2.

Conecte los terminales del puente BI\_2+ desde la banana positiva (roja) de OUT\_B2 hasta la banana positiva (roja) de IN\_I2. Ahora conecte los terminales del puente negativo BI\_2- desde la banana negativa (negra) de OUT\_B2 hasta la banana negativa (negra) de IN\_I2.

Figura 55. Conexión de paneles a regulador.



Fuente. Autores del proyecto.

Ya por ultimo solo faltaría conectar la salida del inversor con los interruptores de salida hacia las luminarias o carga a satisfacer.

Conecte los terminales del puente IS\_1+ desde la banana positiva (roja) de OUT\_I1 hasta la banana positiva (roja) de S1+. Ahora conecte los terminales del puente negativo IS\_1- desde la banana negativa (negra) de OUT\_I1 hasta la banana negativa (negra) de S1-.

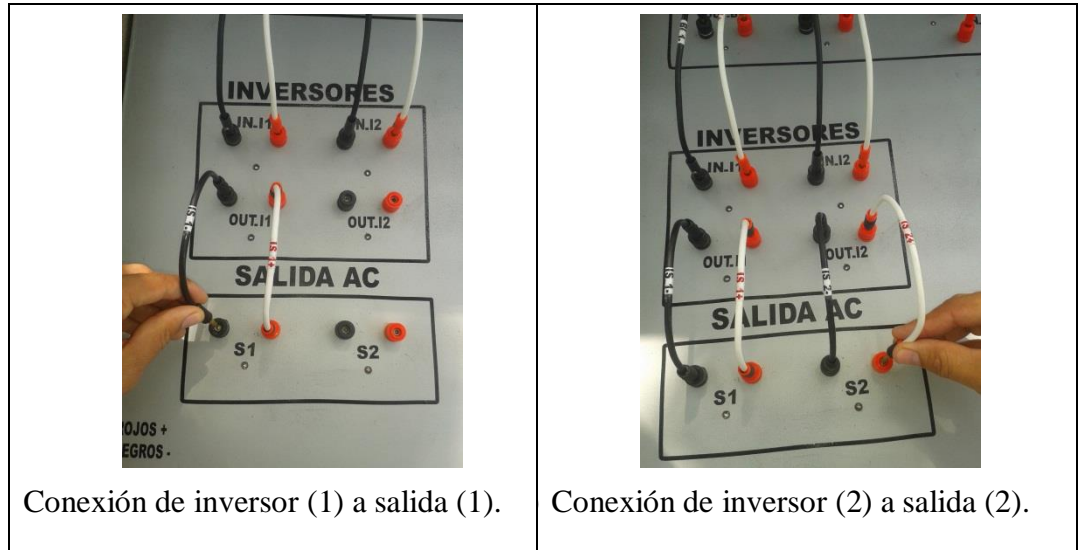


*Advertencia:* Por ningún motivo conecte puentes positivos en bananas negativas.

Este mismo proceso se realiza para conectar el inversor 2 a la salida 2.

Conecte los terminales del puente IS\_2+ desde la banana positiva (roja) de OUT\_I2 hasta la banana positiva (roja) de S2+. Ahora conecte los terminales del puente negativo IS\_2- desde la banana negativa (negra) de OUT\_I2 hasta la banana negativa (negra) de S2-.

Figura 56. Conexión de paneles a regulador.

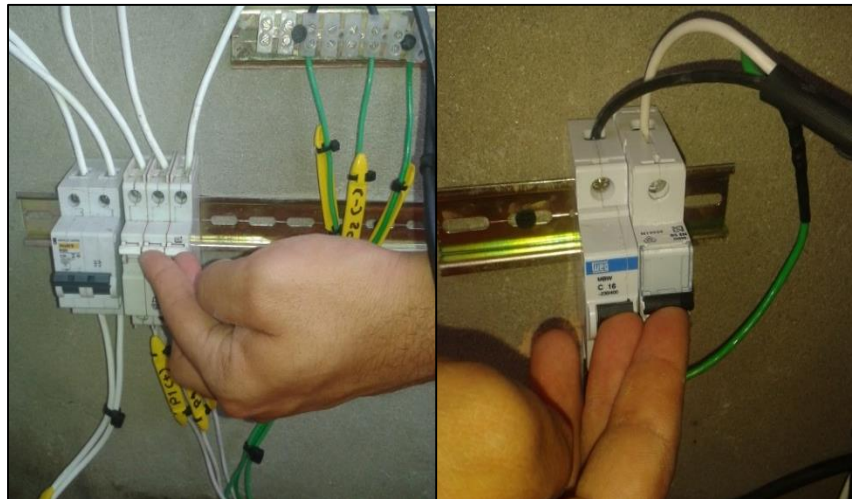


Fuente. Autores del proyecto.

Los inversores están dotados de un botón de encendido/apagado, llévelos a la posición de encendido.

Después de haber realizado todas las conexiones indicadas anteriormente, accione los interruptores automáticos desplazándolos hacia la posición de encendido (arriba).

Figura 57. Interruptores automáticos en posición de encendido.



Fuente. Autores del proyecto.

Si usted ha seguido detenida y correctamente los pasos anteriores en el tablero de conexiones debe observar que los indicadores luminosos (led), dispuestos en cada par de bananas, estén

encendidos. En el tablero se encontrará con indicadores luminosos de color verde y rojo que indican el flujo de corriente continua (12V) y corriente alterna (115V) respectivamente.



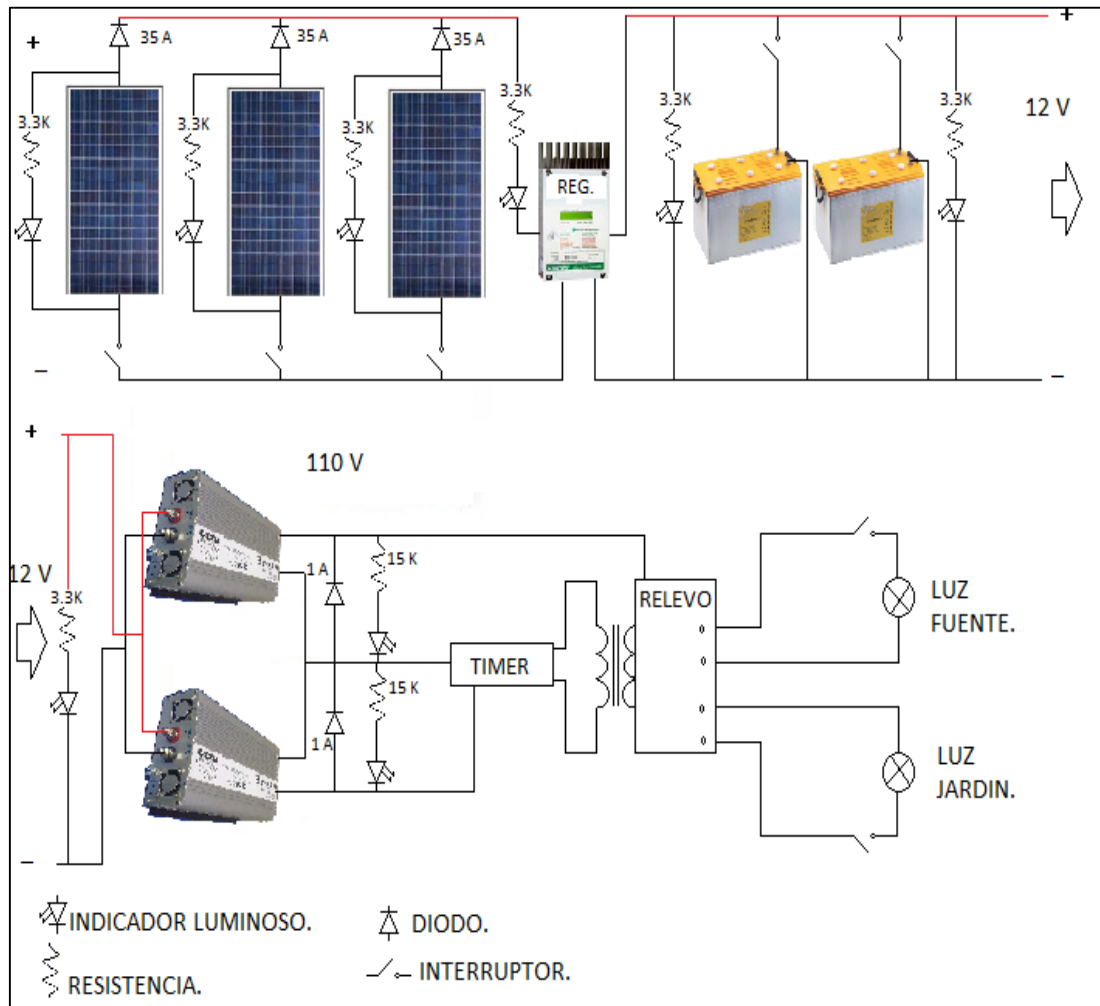
**Recomendación:** Si escucha un indicador sonoro (pitido), indica que algo está mal en el inversor, revise y posteriormente reinicie con el botón encendido/apagado.



**Advertencia:** En ningún caso haga conexiones de puentes estando activo el sistema.

A continuación se muestra el plano electrónico de la configuración anterior.

Figura 58. Plano electrónico del conexionado estándar de la instalación.



Fuente. Autores del proyecto.

**Manual de mantenimiento.** En vista de que todos estos equipos se encuentran sometidos a agentes externos que pueden interferir en su óptimo funcionamiento es recomendable ejecutar algunas acciones de mantenimiento.

Antes de realizar alguna acción de mantenimiento en el sistema, asegúrese de que los interruptores automáticos estén en posición off (abajo).

### **Mantenimiento de los paneles solares.**

Lavar periódicamente los paneles con agua y un trapo suave o esponja por lo menos una vez al mes.



*Recomendación:* Esta actividad debe ser realizada al amanecer o al anochecer de tal manera que los paneles estén fríos.

Verificar que los módulos estén bien ajustados.

No permitir la presencia de superficies que generen sombras sobre los módulos.

Realizar periódicamente una inspección visual para detectar alteraciones en el color de las celdas y rupturas en las mismas.

**Mantenimiento del regulador.** Debido a la complejidad de este equipo la única acción de mantenimiento permitida es el ajuste en la entrada y salida de los cables (bornes de conexión). En caso de daños y averías consultar con personal capacitado.

Figura 59. Parte interna del regulador



Fuente. Autores del proyecto



*Advertencia:* Por ningún motivo permita que este equipo se moje.

**Mantenimiento de acumuladores.** Las baterías utilizadas en esta instalación son totalmente selladas y por lo tanto de escaso mantenimiento. A continuación algunas de las acciones permitidas.

Limpiar los bornes con una lija retirando suciedad o sulfataciones.

Mantener aislada del suelo la batería, en lo posible sobre madera.



*Advertencia:*

Por ningún motivo invierta la polaridad de las baterías.

Evite colocar objetos sobre las baterías.

Figura 60. Limpieza de bornes.



Fuente. Autores del proyecto.

**Mantenimiento de inversores.** Debido a la complejidad de estos equipos la única acción de mantenimiento permitida es el ajuste en la entrada y salida de los cables (bornes de conexión). En caso de daños y averías consultar con personal capacitado.

**Mantenimiento de tablero de conexiones.**

Revisar que las bananas y puentes de conexión se encuentren en buen estado.

Revisar que las bananas se encuentren ajustadas.

En caso de fallar alguno de los elementos del tablero de conexiones (indicadores luminosos, bananas y puentes) reemplazar inmediatamente.



*Recomendación:* mantener en buen estado las demarcaciones del tablero.

Guías de laboratorio.

<b>GUÍA DE LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</b>	
<b>Unidad:</b> Energías alternativas	
<b>Facultad:</b> Ingenierías	
<b>Carrera:</b> Ingeniería mecánica	
<b>Tema:</b> Energía solar fotovoltaica	

**Descripción.** Este laboratorio permitirá a la comunidad en general acercarse y conocer algunos factores correspondientes a la energía solar fotovoltaica, en el cual se realizaran diferentes prácticas que harán posible el conocimiento de los elementos que conforman un sistema solar fotovoltaico además de las características eléctricas del mismo.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Conocer el comportamiento eléctrico de una instalación solar fotovoltaica.

### **Objetivos específicos**

Estudiar los distintos equipos que conforman una instalación solar fotovoltaico y su respectivo conexionado.

Determinar las características eléctricas de los paneles teniendo en cuenta la conexión en serie y en paralelo.

Determinar la eficiencia real de los paneles solares fotovoltaicos a partir de la irradiación real.

### **Instrumentos para las pruebas.**

Multímetro.

Solarímetro.

Base para el solarímetro.

**Base teórica.** El efecto fotoeléctrico o fotovoltaico consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de

absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones son capturados se producen una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.<sup>47</sup>

La tecnología solar fotovoltaica (FV) consiste en la conversión directa de la radiación del sol en electricidad. Esta conversión se realiza en la célula solar, unidad básica donde se efectúa el efecto fotoeléctrico.<sup>48</sup>

**Asociación de módulos fotovoltaicos.** Según sea la asociación de los módulos fotovoltaicos se obtendrán variaciones en los parámetros eléctricos de los mismos

**Asociación en serie:** La conexión en serie de los módulos fotovoltaicos aumenta la tensión a la salida del grupo al sumar la tensión de cada uno de los módulos mientras que la corriente que circula es la misma para todos y cada uno de los módulos.

$$I_{Total} = I_{módulo1} = I_{módulo2} = \dots = I_{móduloN}$$

$$V_{Total} = \sum V_{moduloi} = V_{módulo1} + V_{módulo2} + \dots + V_{móduloN}$$

**Asociación en paralelo:** Mientras que para la asociación de los módulos en paralelo ocurre todo lo contrario. La conexión en paralelo de los módulos fotovoltaicos aumenta la corriente a la salida del grupo al sumar la corriente de cada uno de los módulos por su parte la tensión es la misma para todos y cada uno de los módulos.<sup>49</sup>

$$I_{Total} = \sum I_{modulosi} = I_{módulo1} + I_{módulo2} + \dots + I_{móduloN}$$

$$V_{Total} = V_{módulo1} = V_{módulo2} = \dots = V_{móduloN}$$

La **eficiencia de una célula solar fotovoltaica** es el valor de la energía eléctrica aprovechada del total de energía solar impactada sobre la superficie de dicho panel.

$$\eta = \frac{F \cdot F \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}}{G \cdot A}$$

Donde:

F. F = Factor de forma.

$V_{OC}$  = Tensión de circuito abierto.

$I_{SC}$  = Corriente de corto circuito.

G = Irradiancia real.

A = Superficie expuesta del panel ( $A = 1.93m^2$ )

<sup>47</sup>Méndez J y Cuervo R, energía solar fotovoltaica segunda edición, Madrid 2007.

<sup>48</sup>Abella a, Miguel. Sistemas fotovoltaico, Introducción al diseño y dimensionado, Madrid 2001.

<sup>49</sup>Linares B, Fernando. Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.



El factor de forma es la relación entre la potencia máxima teórica y la potencia real medida en el momento solar.<sup>50</sup>

$$F.F = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

Donde:

$V_{mp}$  = tensión de máxima potencia (teórico = 18 V).

$I_{mp}$  = corriente de máxima potencia (teórico = 13.8 A).

**Practica 1.** Estudiar los distintos equipos que conforman una instalación solar fotovoltaica y su respectivo conexionado.

Luego de haber estudiado los diferentes equipos que conforman una instalación solar fotovoltaica se procede a realizar el conexionado estándar.

### **Conexionado estándar del sistema.**

A continuación se muestra detalladamente la forma de interconectar los equipos de la instalación solar fotovoltaica para un óptimo funcionamiento teniendo en cuenta los parámetros con que fue diseñada.

La instalación después de ser manipulada debe ser dejada con esta configuración.

Antes de realizar alguna conexión en el tablero frontal, asegúrese de portar los elementos de protección personal (guantes dieléctricos) y que los interruptores automáticos estén en posición off (abajo).

Identifique los puentes correspondientes para cada conexión, los cuales estarán debidamente nombrados (PR: panel a controlador, RB: regulador a baterías, BI: baterías a inversores, IS: inversor a salida AC).



*Advertencia:* Por ningún motivo conecte puentes positivos en bananas negativas.

Siguiendo un esquema estándar de conexión de sistemas solares proceda a interconectar las baterías con el regulador. Esto se puede obtener del siguiente modo.

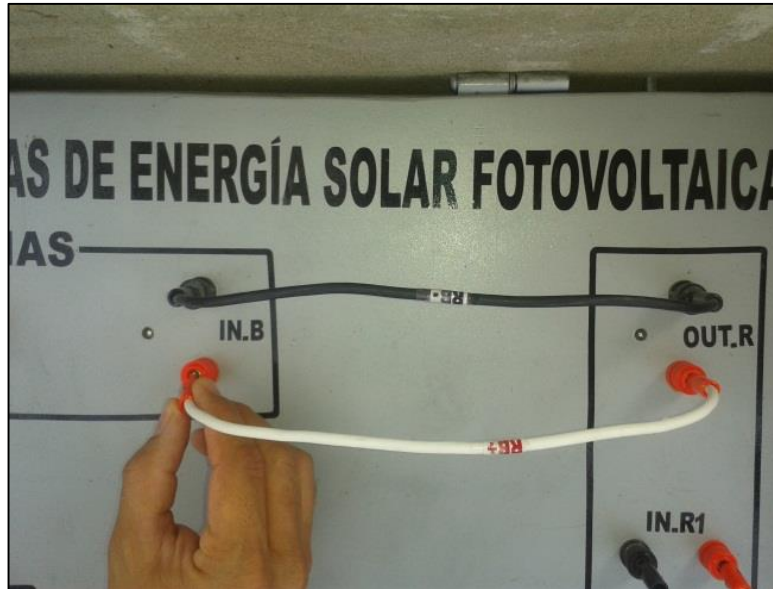
Conecte los terminales del puente RB+ desde la banana positiva (roja) OUT\_R hasta la banana positiva (roja) IN\_B. de la misma forma se conectan los terminales del puente RB- desde la banana negativa (negra) OUT\_R hasta la banana negativa (negra) IN\_B.

---

<sup>50</sup><http://eliseosebastian.com/como-calcular-rend-de-celula-solar-fv/>



Figura 61. Conexión de regulador a baterías.



Fuente. Autores del proyecto.

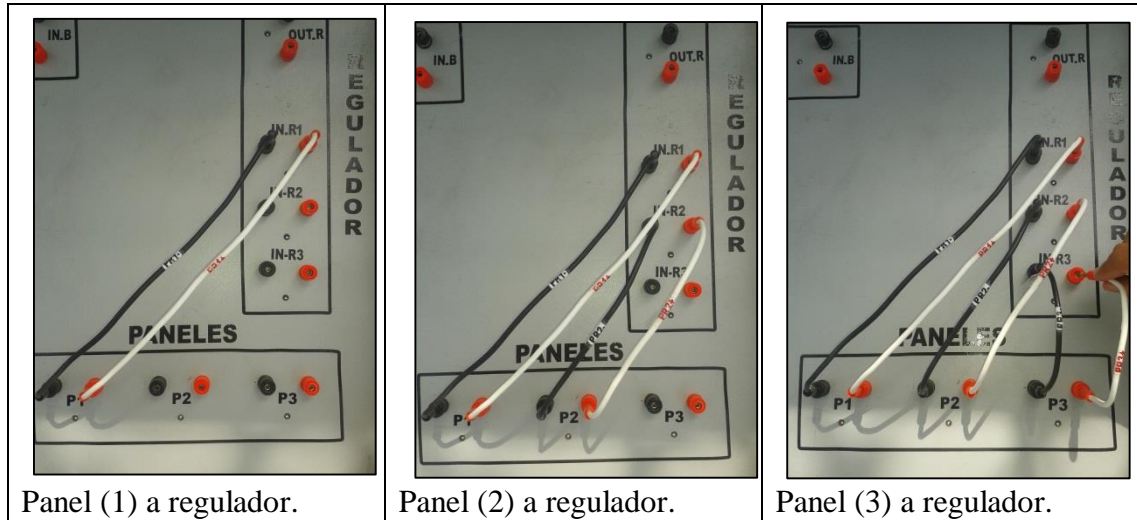
El paso a seguir es la conexión de los paneles solares. Esto se puede lograr realizando la conexión de los puentes de la siguiente manera:

Conecte los terminales de los puentes nombrados con PR1+ desde la banana positiva (roja) de P1 hasta la banana positiva (roja) de IN\_R1 del regulador. De la misma forma conecte los terminales de los puentes nombrados con PR1- desde la banana negativa (negra) de P1 hasta la banana negativa (negra) de IN\_R1 del regulador.

Para conectar el segundo panel conecte los terminales de los puentes nombrados con PR2+ desde la banana positiva (roja) de P2 hasta la banana positiva (roja) de IN\_R2 del regulador. De la misma forma conecte los terminales de los puentes nombrados con PR2- desde la banana negativa (negra) de P2 hasta la banana negativa (negra) de IN\_R2 del regulador.

Así mismo conecte los terminales de los puentes nombrados con PR3+ desde la banana positiva (roja) de P3 hasta la banana positiva (roja) de IN\_R3 del regulador. De la misma forma conecte los terminales de los puentes nombrados con PR3- desde la banana negativa (negra) de P3 hasta la banana negativa (negra) de IN\_R3 del regulador.

Figura 62. Conexión de paneles a regulador.



Fuente. Autores del proyecto.



*Advertencia:* Por ningún motivo conecte puentes positivos ( ) en bananas negativas. Luego de haber interconectado los paneles y el regulador se procede a interconectar las baterías a los inversores.

Conecte los terminales del puente BI\_1+ desde la banana positiva (roja) de OUT\_B1 hasta la banana positiva (roja) de IN\_I1. Ahora conecte los terminales del puente negativo BI\_1- desde la banana negativa (negra) de OUT\_B1 hasta la banana negativa (negra) de IN\_I1.

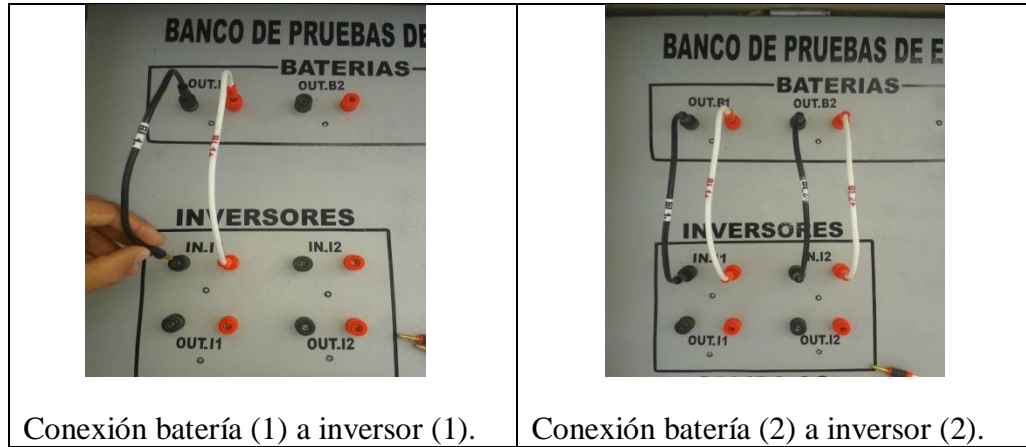


*Advertencia:* Por ningún motivo conecte puentes positivos en bananas negativas.

De la misma forma que se interconectó la batería 1 y el inversor 1 se realiza el proceso para interconectar la batería 2 con el inversor 2.

Conecte los terminales del puente BI\_2+ desde la banana positiva (roja) de OUT\_B2 hasta la banana positiva (roja) de IN\_I2. Ahora conecte los terminales del puente negativo BI\_2- desde la banana negativa (negra) de OUT\_B2 hasta la banana negativa (negra) de IN\_I2.

Figura 63. Conexión de baterías a inversor.



Fuente. Autores del proyecto.

Ya por ultimo solo faltaría conectar la salida del inversor con los interruptores de salida hacia las luminarias o carga a satisfacer.

Conecte los terminales del puente IS\_1+ desde la banana positiva (roja) de OUT\_I1 hasta la banana positiva (roja) de S1+. Ahora conecte los terminales del puente negativo IS\_1- desde la banana negativa (negra) de OUT\_I1 hasta la banana negativa (negra) de S1-.

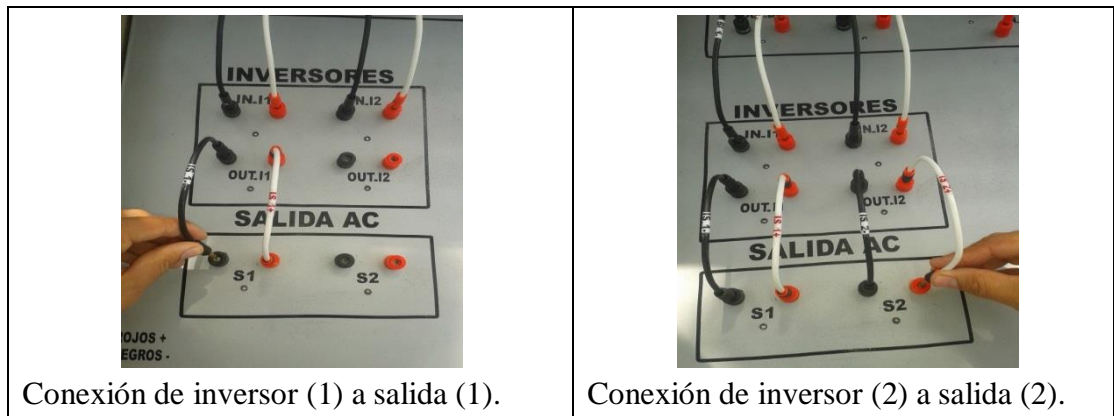


*Advertencia:* Por ningún motivo conecte puentes positivos en bananas negativas.

Este mismo proceso se realiza para conectar el inversor 2 a la salida 2.

Conecte los terminales del puente IS\_2+ desde la banana positiva (roja) de OUT\_I2 hasta la banana positiva (roja) de S2+. Ahora conecte los terminales del puente negativo IS\_2- desde la banana negativa (negra) de OUT\_I2 hasta la banana negativa (negra) de S2-.

Figura 54. Conexión de inversor a salida.

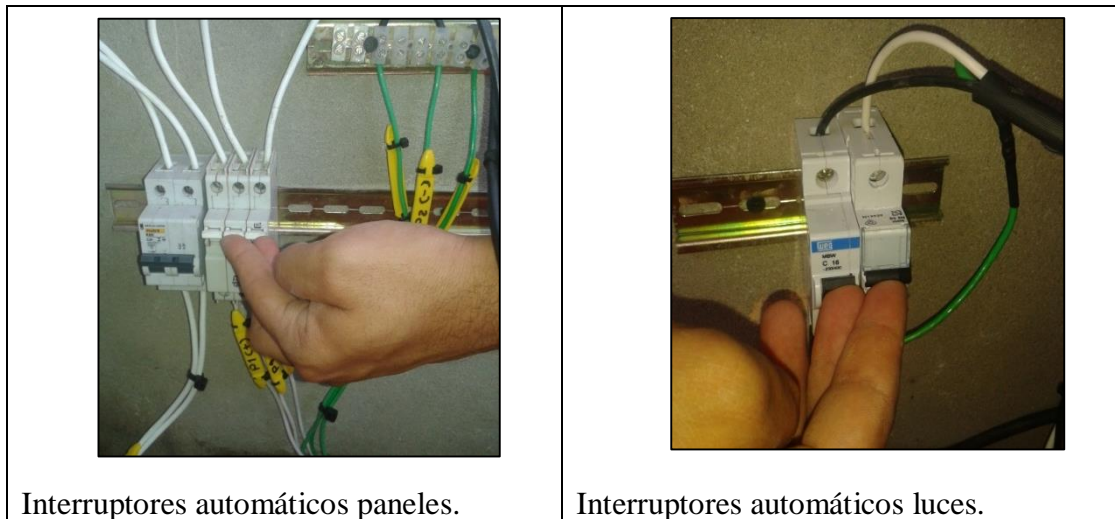


Fuente. Autores del proyecto.

Los inversores están dotados de un botón de encendido/apagado, llévelos a la posición de encendido.

Después de haber realizado todas las conexiones indicadas anteriormente, accione los interruptores automáticos desplazándolos hacia la posición de encendido (arriba).

Figura 55. Interruptores automáticos en posición de encendido (ON).



Fuente. Autores del proyecto.

Si usted ha seguido detenida y correctamente los pasos anteriores en el tablero de conexiones debe observar que los indicadores luminosos (led), dispuestos en cada par de bananas, estén encendidos. En el tablero se encontrará con indicadores luminosos de color verde y rojo que indican el flujo de corriente continua (12V) y corriente alterna (115V) respectivamente.



*Recomendación:* Si escucha un indicador sonoro (pitido), indica que algo está mal en el inversor, revisa y posteriormente lo reinicias con el botón encendido/apagado.



*Advertencia:* En ningún caso haga conexiones de puentes estando activo el sistema.

**Practica 2.** Determinar las características eléctricas de los paneles teniendo en cuenta la conexión en serie y en paralelo.

Conexionado en paralelo:

Debido a que esta práctica es solo para determinar las características eléctricas de los paneles solares conectados en paralelo, se deben desconectar todos los puentes del tablero de conexiones para evitar posibles daños al resto de los equipos.

Figura 56. Tablero de conexiones, puentes y multímetro.



Fuente. Autores del proyecto.



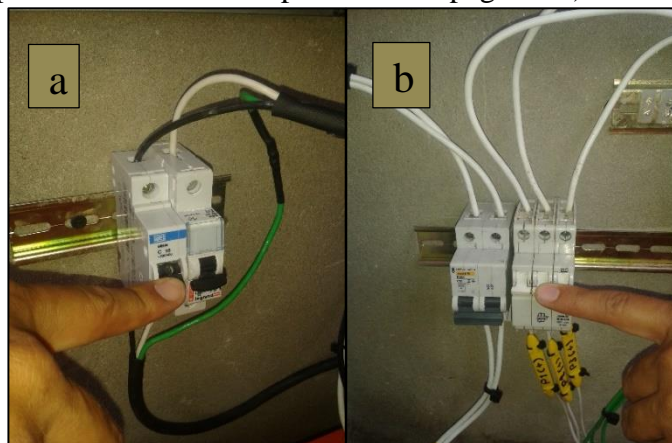
*Advertencia:* Para continuar con esta práctica es obligatorio recordar o tener conocimiento sobre el uso del instrumento de medidas (multímetro).



*Recomendación:* Si no se encuentra seguro acerca del uso del multímetro no continúe con la práctica.

Luego de tener el tablero de conexiones totalmente desocupado proceda a bajar todos los interruptores automáticos.

Figura 57. Interruptores automáticos en posición de apagado: a) luces b) paneles.

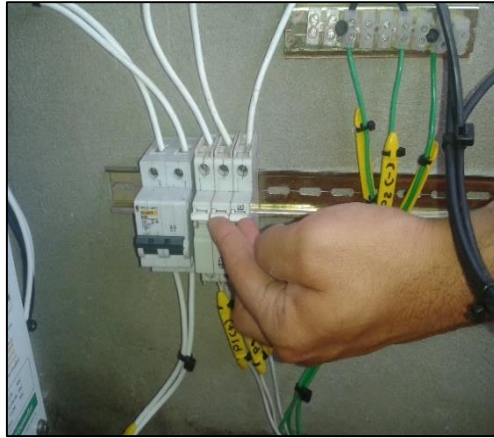


Fuente. Autores del proyecto.



Ahora lleve el interruptor automático de los paneles a la posición ON (arriba).

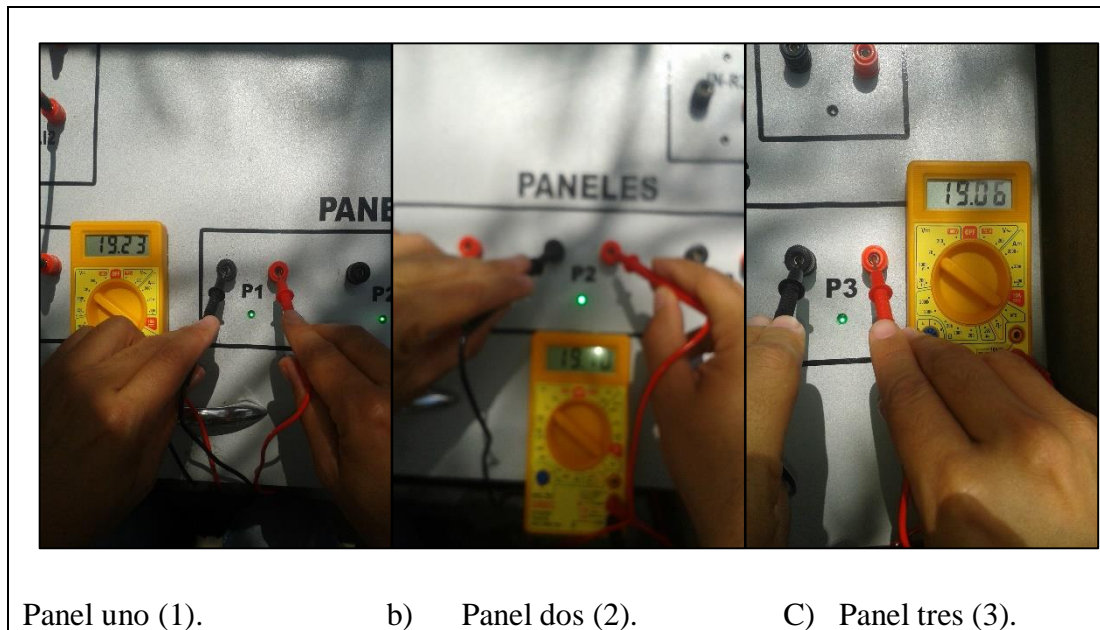
Figura 58. Interruptores automáticos de los paneles en posición ON.



Fuente. Autores del proyecto.

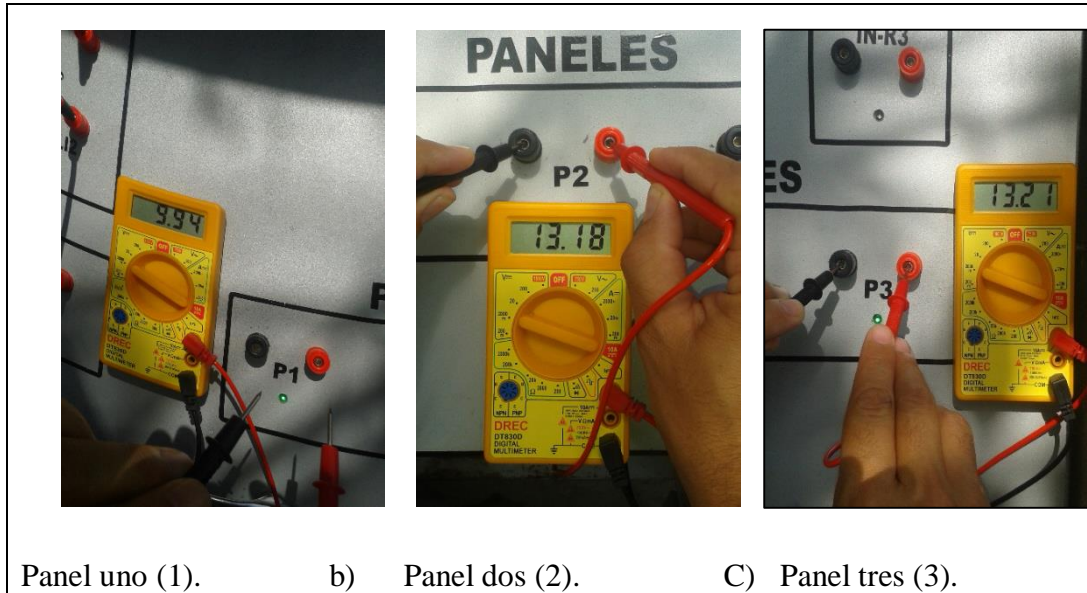
Continúe a realizar la toma de tensión ( $V_{oc}$ ) y corriente ( $I_{sc}$ ) para cada uno de los paneles.

Figura 59. Toma de tensión en paneles.



Fuente. Autores del proyecto.

Figura 60. Toma de corriente en paneles.



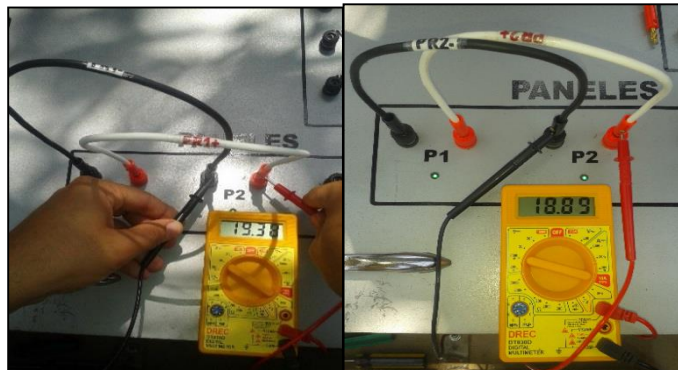
Fuente. Autores del proyecto.

Con los datos adquiridos llene la siguiente tabla.

VALORES INICIALES CONEXIÓN DE PANELES EN PARALELO					
$V_{oc1}$ (V)	$I_{sc1}$ (A)	$V_{oc2}$ (V)	$I_{sc2}$ (A)	$V_{oc3}$ (V)	$I_{sc3}$ (A)

Ahora realice la conexión en paralelo entre el panel 1 (P1) y el panel 2 (P2). Esto lo logrará conectando un puente desde el terminal positivo de P1 (banana roja ) hasta el terminal positivo de P2 (banana roja) y conecte también un puente desde el terminal negativo de P1 (banana negra ) hasta el terminal negativo de P2 (banana negra).

Figura 61. Toma de tensión y corriente en paneles (1 Y 2) en paralelo.



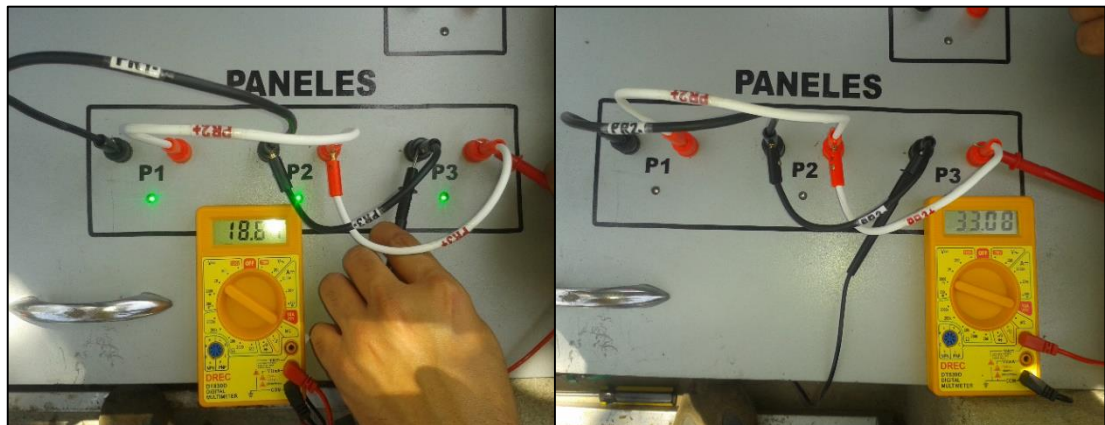
Fuente. Autores del proyecto.

Teniendo la conexión de los dos paneles en paralelo continúe a realizar la toma de tensión ( $V_{oc}$ ) y corriente ( $I_{sc}$ ) en uno de los paneles ya sea en el P1 o en P2.

$V_{oc2}$ (V)	$I_{sc2}$ (A)

Posteriormente conecte en paralelo los tres paneles P1 P2 y P3, partiendo de que P1 y P2 ya están conectados en paralelo, ahora conecte un puente desde el terminal positivo de P2 (banana roja) hasta el terminal positivo de P3 (banana roja); así mismo, conecte un puente desde el terminal negativo de P2 (banana negra) hasta el terminal negativo de P3 (banana negra).

Figura 62. Toma de tensión y corriente en paneles (1,2 Y 3) en paralelo.



Fuente. Autores del proyecto.

Teniendo la conexión de los tres paneles en paralelo continúe a realizar la toma de tensión ( $V_{oc}$ ) y corriente ( $I_{sc}$ ) ubicando los terminales del multímetro en las bananas positiva y negativa de P3.

$V_{oc3}$ (V)	$I_{sc3}$ (A)

Ya con los datos obtenidos de la práctica proceda a determinar el comportamiento de los paneles según esta conexión.

Conexionado en serie:





**Advertencia:** Para continuar con esta práctica es obligatorio recordar o tener conocimiento sobre el uso del instrumento de medidas (multímetro).



**Recomendación:** Si no se encuentra seguro acerca del uso del multímetro no continúe con la práctica.

Para dar a inicio a esta nueva práctica usted deberá tener el tablero de conexiones sin ninguna conexión.

Figura 63. Tablero de conexiones, puentes y multímetro.



Fuente. Autores del proyecto.

Inicialmente para esta conexión realice la toma de tensión ( $V_{oc}$ ) y corriente ( $I_{sc}$ ) para cada uno de los paneles.

Con los datos adquiridos llene la siguiente tabla.

VALORES INICIALES CONEXIÓN DE PANELES EN SERIE					
$V_{oc1}$ (V)	$I_{sc1}$ (A)	$V_{oc2}$ (V)	$I_{sc2}$ (A)	$V_{oc3}$ (V)	$I_{sc3}$ (A)

Ahora realice la conexión en serie entre el panel 1 (P1) y el panel 2 (P2). Esto lo logrará conectando un puente desde el terminal positivo de P1 (banana roja) hasta el terminal negativo de P2 (banana negra); así mismo, conecte un puente desde el terminal negativo de P1 (banana negra) y otro desde el terminal positivo de P2 (banana roja); realice la toma de datos ubicando los terminales del multímetro en los terminales de los dos puentes libres.

Figura 64. Toma de tensión y corriente en paneles (1 y 2) en serie.



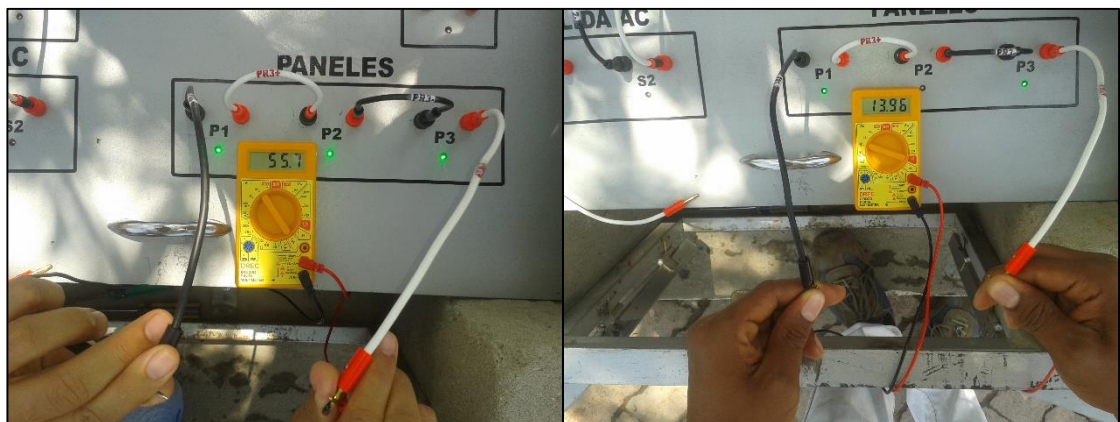
Fuente. Autores del proyecto.

Teniendo la conexión de los dos paneles en serie continúe a realizar la toma de tensión ( $V_{oc}$ ) y corriente ( $I_{sc}$ ) de los paneles en P2.

$V_{oc2}$ (V)	$I_{sc2}$ (A)

Posteriormente conecte en serie los tres paneles P1 P2 y P3, esto lo lograra conectando un puente desde el terminal positivo P1 (banana roja) hasta el terminal negativo de P2 (banana negra), luego conecte un puente desde el terminal positivo P2 (banana roja) hasta el terminal negativo de P3 (banana negra), para finalizar conecte un puente en la banana negativa de P1 (banana negra), luego conecte otro puente en la banana positiva de P3 (banana roja); ahora realice la toma de datos ubicando los terminales del multímetro en los terminales de los dos puentes libres.

Figura 65. Toma de tensión y corriente en paneles (1, 2 y 3) en serie.



Fuente. Autores del proyecto.

Teniendo la conexión de los tres paneles en serie continúe a realizar la toma de tensión ( $V_{oc}$ ) y corriente ( $I_{sc}$ ) ubicando los terminales del multímetro en las bananas positiva y negativa de P3.

$V_{oc3}$ (V)	$I_{sc3}$ (A)

Ya con los datos obtenidos de la práctica proceda a determinar el comportamiento de los paneles según esta conexión.



*Advertencia:* En ninguna circunstancia deje todo el sistema conectado bajo esta configuración.

**Practica 3.** Determinar la eficiencia real de los paneles solares fotovoltaicos a partir de la irradiación real.



*Advertencia:* Para continuar con esta práctica es obligatorio recordar o tener conocimiento sobre el uso del instrumento de medidas (multímetro).



*Recomendación:* Si no se encuentra seguro acerca del uso del multímetro no continúe con la práctica.

Para dar a inicio a esta nueva práctica usted deberá tener el tablero de conexiones sin ninguna conexión.

Figura 66. Tablero de conexiones, puentes y multímetro.



Fuente. Autores del proyecto.

Con el multímetro realice la toma de datos de tensión a circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) para cada uno de los paneles, y al mismo tiempo tome los valores de

irradiancia (G) con el solarimetro puesto sobre la base con la misma inclinación y orientación de los paneles (19° sur) y registre la toma de datos en la siguiente tabla.

Figura 67. Toma de irradiancia.



Fuente. Autores del proyecto.

Con los datos adquiridos llene la siguiente tabla.

FACTORES PARA CALCULAR RENDIMIENTO DE PANELES						
P1		P2		P3		G (W/m <sup>2</sup> )
V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>SC</sub> (A)	V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>SC</sub> (A)	V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>SC</sub> (A)	

Calcule el rendimiento de cada uno de los paneles con la correspondiente ecuación.

$$\eta_1 = \frac{F \cdot F_1 \cdot V_{OC1} \cdot I_{SC1}}{G \cdot A}$$

$$\eta_2 = \frac{F \cdot F_2 \cdot V_{OC2} \cdot I_{SC2}}{G \cdot A}$$

$$\eta_3 = \frac{F \cdot F_3 \cdot V_{OC3} \cdot I_{SC3}}{G \cdot A}$$

Ya por ultimo efectúe sus conclusiones.

#### 4.5.2 Operar el banco de pruebas de energía solar fotovoltaica, según las guías para el desarrollo de cada una de las experiencias a ejecutar.

**Practica 1.** Estudiar los distintos equipos que conforman una instalación solar fotovoltaico y su respectivo conexionado.

Esta práctica tiene como fin que se conozcan los equipos que componen la instalación solar fotovoltaica y su correspondiente conexionado, por tal razón en esta actividad no se realiza ningún tipo de cálculo.

**Practica 2.** Determinar las características eléctricas de los paneles teniendo en cuenta la conexión en serie y en paralelo.

**Conexión en paralelo.** La siguiente práctica se realizó a las 10:00 am en un día soleado.

Siguiendo lo manifestado en la guía de laboratorio respecto a la práctica dos se tomaron los siguientes valores iniciales para cada panel.

VALORES INICIALES CONEXIÓN DE PANELES EN PARALELO					
$V_{oc1}$ (V)	$I_{SC1}$ (A)	$V_{oc2}$ (V)	$I_{SC2}$ (A)	$V_{oc3}$ (V)	$I_{SC3}$ (A)
19.23	9.94	19.10	13.18	19.06	13.21

Luego de conectar los paneles uno y dos (P1 y P2) en paralelo se realizaron las medidas indicadas obteniendo los siguientes valores.

$V_{oc2}$ (V)	$I_{SC2}$ (A)
19.38	18.89

Ya con los paneles uno dos y tres (P1, P2 y P3) conectados en paralelos se realiza la toma de datos, obteniendo.

$V_{oc3}$ (V)	$I_{SC3}$ (A)
18.64	33.08

**Conexión en serie.** La siguiente práctica se realizó a la 1:00 pm en un día soleado.

Siguiendo lo manifestado en la guía de laboratorio respecto a la práctica dos se tomaron los siguientes valores iniciales para cada panel.

VALORES INICIALES CONEXIÓN DE PANELES EN SERIE					
$V_{oc1}$ (V)	$I_{SC1}$ (A)	$V_{oc2}$ (V)	$I_{SC2}$ (A)	$V_{oc3}$ (V)	$I_{SC3}$ (A)
19.23	9.94	19.10	13.18	19.06	13.21

Luego de conectar los paneles uno y dos (P1 y P2) en serie se realizaron las medidas indicadas obteniendo los siguientes valores.

$V_{oc2}$ (V)	$I_{SC2}$ (A)
<b>37.3</b>	<b>13.72</b>

Ya con los paneles uno dos y tres (P1, P2 y P3) conectados en serie se realiza la toma de datos obteniendo.

$V_{oc3}$ (V)	$I_{SC3}$ (A)
<b>55.7</b>	<b>13.96</b>

**Practica 3.** Determinar la eficiencia real de los paneles solares fotovoltaicos a partir de la irradiación real.

De los días en los cuales se realizaron las pruebas se decidió escoger un día y una hora (1:00 pm) para citarlo como ejemplo.

FACTORES PARA CALCULAR RENDIMIENTO DE PANELES						
P1		P2		P3		$G$ ( $W/m^2$ )
$V_{oc}$ (V)	$I_{SC}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$I_{SC}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$I_{SC}$ (A)	
<b>19.23</b>	<b>9.94</b>	<b>19.10</b>	<b>13.18</b>	<b>19.06</b>	<b>13.21</b>	<b>901</b>

A continuación se efectúa el cálculo del rendimiento para cada panel.

Panel 1.

$$\eta_1 = \frac{F \cdot F_1 \cdot V_{OC1} \cdot I_{SC1}}{G \cdot A}$$

Donde:

$$F \cdot F = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Calculando

$$F \cdot F = \frac{18 V \cdot 13.8 A}{19.23 V \cdot 9.94 A} = 1.30$$

Ahora

$$\eta_1 = \frac{1.30 \cdot 19.23 V \cdot 9.94 A}{901 W/m^2 \cdot 1.93 m^2} = 0.1430 \cong 14.30 \%$$

Panel 2.

$$\eta_2 = \frac{F \cdot F_2 \cdot V_{OC2} \cdot I_{SC2}}{G \cdot A}$$

Donde:

$$F.F = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

Calculando

$$F.F = \frac{18 V * 13.8 A}{19.10 V * 13.18 A} = 0.9867$$

Ahora

$$\eta_2 = \frac{0.9867 * 19.10 V * 13.18 A}{901 W/m^2 * 1.93m^2} = 0.1428 \cong 14.28 \%$$

Panel 3.

$$\eta_3 = \frac{F.F_3 * V_{OC3} * I_{SC3}}{G * A}$$

Donde:

$$F.F = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

Calculando

$$F.F = \frac{18 V * 13.8 A}{19.06 V * 13.21 A} = 0.9865$$

Ahora

$$\eta_3 = \frac{0.9865 * 19.06 V * 13.21 A}{901 W/m^2 * 1.93m^2} = 0.1428 \cong 14.28 \%$$

## 5. CONCLUSIONES.

En este proyecto, con el fin de conocer cuál es el porcentaje de la luz solar absorbida por un panel que es transformada en energía eléctrica, se ha efectuado una serie de mediciones las cuales han permitido evaluar este indicador en condiciones reales. Por ejemplo en determinado momento con una irradiancia de ( $901 W/m^2$ ) los paneles de esta instalación alcanzan un rendimiento de 14.28 % aproximadamente, lo cual es un buen indicador debido a que es un valor sobresaliente para la tecnología de los mismos (policristalinos 12-16%).

Con la realización del estudio de la distribución horaria de irradiancia en la plazoleta a la vida de la Universidad Francisco de paula Santander Ocaña se pudo determinar que dentro de la plazoleta se contaba con las condiciones necesarias para el óptimo funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica, puesto que en dicho sitio se lograron percibir valores de irradiancia considerablemente altos ( $1634 W/m^2$ ). Por otra parte de este estudio se pudo establecer que para el periodo en el cual se realizó la toma de datos específicamente en la posición de interés (posición 1) en promedio se contó con una radiación global en el plano del generador de  $6657 Wh/m^2$ ; lo que indica que se cuenta con aproximadamente 6.5 horas pico solares (HPS).

Con el objetivo de determinar las características eléctricas de los paneles teniendo en cuenta la conexión en serie y en paralelo se procedió a ejecutar el paso a paso planteado en las guías de laboratorio donde se pudo constatar lo planteado teóricamente (en serie: la tensión se suma y la intensidad tiende a permanecer constante. En paralelo: la tensión tiende a permanecer constante mientras que la intensidad resulta ser una sumatoria de cada uno de ellos).

Haciendo un análisis exhaustivo de los resultados emanados del estudio de la distribución horaria de la irradiancia, se concretó lo manifestado teóricamente respecto a la orientación e inclinación de mayor aprovechamiento de los módulos ( $19^\circ$  respecto a la horizontal y orientados hacia el sur). De la misma forma el estudio permitió jerarquizar las posiciones según el aprovechamiento de la intensidad lumínica y así determinar la posición ideal para la ubicación de la estructura.

Debido a las condiciones a las cuales estaría sometida esta estructura era pertinente efectuar un buen cálculo que ofreciera un 100% de confiabilidad, por lo cual se realizó un diseño de forma analítica obteniendo como resultado un factor de seguridad  $n = 3.44$ , valores de deformaciones máxima, en las ramas 2 y 3, del orden de los 2.98 cm. El diseño efectuado analíticamente fue confrontado con un análisis realizado en un software de diseño asistido por computador (solidworks) determinando algunos parámetros en el diseño de estructuras, tales como tensión máxima de von Mises (345.803Mpa) sin superar el valor del límite elástico (350Mpa), deformación máxima de 15.989 mm este último presente en el extremo de la rama 2 siendo un valor admisible en estos casos y considerablemente cercano al dato emitido por el diseño analítico.



Al profundizar en las prácticas realizadas en el banco de pruebas, se puede exteriorizar con toda certeza que en esta instalación real, está ocurriendo lo manifestado teóricamente donde se cumple que cuando los paneles 1 2 y 3 están conectados en paralelo la tensión tiende a ser la misma  $\cong 19 V$  (caso particular 10:00 am, irradiancia  $901 W/m^2$ ) y la intensidad total resulta ser la sumatoria ( $\cong 35 A$ ) de las intensidades de cada uno de los paneles; sucediendo todo lo contrario en la conexión en serie.

Esta instalación solar fotovoltaica ha sido puesta a prueba dejándola con la carga durante 8 horas continuas desde las 2:00pm hasta las 10:00pm, en esta etapa de prueba el banco reveló en sus acumuladores una pequeña caída de tensión desde 15.3 V hasta 13.5 V. Lo cual indica que cumple con los requerimientos para los que fue diseñado sin sufrir grandes descargas en sus baterías.

Con la ayuda de una simulación realizada en Excel se pudo predecir el posible comportamiento de los acumuladores en dos situaciones específicas. En la primera de ellas (6 días con sol) se obtuvo una descarga del 29.94 % (76.35 A) teniendo lugar el primer día a las 10:00 pm, mientras que el segundo día se da una sobrecarga de 10.09 % equivalente a 25.73 A a las 12:00 m.; a partir de allí el comportamiento es normal. En la segunda situación se toma el caso hipotético (3 días con sol y 3 días sin sol) donde se presentó una sobrecarga de 10.09 % equivalente a 25.73 Ah a las 12:00 m el segundo día, por otro lado la descarga máxima (-13.68%) se presentaría el sexto día a las 10:00 pm. Todo el comportamiento obtenido anteriormente es propiciado por el perfil de consumo de esta instalación donde la demanda se presenta en horas de la noche (6:00pm – 10:00pm).

Para la buena manipulación de este banco se ha realizado un práctico, claro y amigable manual de operación y mantenimiento que ofrece toda la información necesaria de las partes que conforman el banco de pruebas y además describe los pasos a seguir para cumplir con los ensayos propuestos y las acciones de mantenimiento necesarias.

Se analizaron los resultados obtenidos a través de una simulación, con este análisis de resultados, se pretende realizar una primera aproximación a los puntos fuertes y debilidades de la aplicación de este método para la optimización de los modelos geo-estructurales planteados. Este análisis servirá como punto de partida para la realización de futuros estudios que permitan la mejora de las debilidades encontradas, permitiendo de este modo, en un futuro, facilitar el desarrollo de una herramienta que proporcione resultados fiables en el análisis geo-estructural.

De modo general, al observar las tensiones que se producen en la estructura, tanto en la primera rama como en la segunda y tercera, se observa que las distribuciones de tensiones no son homogéneas en todo su tallo principal; sino que toman una distribución en las cartelas o soportes de cada estructura. Este fenómeno es propio del método utilizado para la modelación del continuo. El hecho de modelar toda la estructura mediante elementos discretos implica que cada partícula presente un estado tensional distinto. A la hora de presentar resultados, el valor que se atribuye a cada partícula se obtiene como, un valor medio de tensión en relación con las partículas que cada elemento discreto tiene a su alrededor, lo

que hace que los valores de tensión aparezcan zonificados. En especial se observan zonas con elevados valores de tensión en las zonas laterales de las secciones. Es en estas zonas donde se producen los valores máximos que se presentan en la tabla resumen de resultados. Este fenómeno es debido a la aplicación de condiciones de contorno en las que se ha limitado el desplazamiento vertical y horizontal. Así pues, estos valores tensionales localizados no se pueden considerar significativos a la hora de evaluar los resultados. Es por ello que, tras la obtención de los resultados que se muestran en las figuras, se han obtenido los valores medios de tensión.

Por otro lado, si comparamos los valores  $S_{xx}$  con  $S_{yy}$ , podemos observar que los mayores valores de tensión se dan para  $S_{yy}$ , lo que parece lógico dado que la carga predominante que soporta la sección procede de las ramas que sostiene el panel sobre el tallo principal, y esta carga es predominantemente vertical. Así mismo, también parece un resultado lógico que los valores obtenidos, fruto del tipo de carga al que se ve sometido el panel, son negativos, lo que según el criterio de signos seguido por este modelo, implica compresión.

Del análisis de este ejemplo de aplicación del método combinado de elementos finitos y discretos en el análisis de problemas geo-estructurales, se concluye que: dicho método es razonablemente aplicable para estudiar este tipo de problemas, dando en general resultados del orden de lo esperado; A pesar de obtener resultados del orden esperado, para poder decir que el modelo predice de un modo suficientemente fiable los resultados que se produciría en la realidad, sería necesario aplicar un proceso similar al realizado en esta sección a un caso real, y contrastar los resultados reales obtenidos; En caso de continuar obteniendo resultados del orden pero no lo suficientemente precisos, habrá que mejorar la estimación de parámetros, sobretodo en el caso bidimensional, donde dicho campo presenta más incertidumbre.

## **6. RECOMENDACIONES**

Es de vital importancia que el usuario antes de operar este banco de pruebas haya realizado una contextualización previa respecto a los equipos que conforman una instalación solar fotovoltaica, como también debe tener total manejo de los instrumentos de medida (multímetro y solarímetro). Buscando evitar accidentes y/o daños en los equipos e instrumentos de medida.

La forma de interconectar los equipos de la instalación solar fotovoltaica, para un óptimo funcionamiento, se ha dejado expuesta anteriormente (conexión estándar), lo cual es de obligatorio cumplimiento; así mismo para la realización de las diferentes experiencias en el banco es obligatorio el uso de los elementos de protección personal así como la manipulación responsable del mismo.

Se recomienda que todas las prácticas de operación, de laboratorio y/o mantenimiento se realicen según lo estipulado tanto en el manual de operación y mantenimiento como en la guía de laboratorio.

Con el fin de fortalecer la línea de energías alternativas en la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña en este banco podrán realizar trabajos de mejoras, perfeccionamiento o extensión del mismo.

## **BIBLIOGRAFIA**

**ASIF.** Historia de la energía solar fotovoltaica, septiembre de 2008.

**Rodríguez M, Humberto.** Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas, Enero de 2009.

**Domínguez G, Héctor.** Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el cobaev 35 Xalapa, noviembre de 2012.

**Perpiñán I, Oscar.** Energía solar fotovoltaica, enero 2012.

**Linares B, Fernando.** Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.

**Revista Perspectiva,** Energías renovables: marco jurídico en Colombia, edición 21/2009.

**Asamblea Nacional Constituyente,** Constitución Política de Colombia, julio 1991.

**Consejo Superior Universitario UFPS,** Estatuto estudiantil, agosto 1996.

**Méndez J y Cuervo R,** energía solar fotovoltaica segunda edición, Madrid 2007.

**Abella a, Miguel.** Sistemas fotovoltaico, Introducción al diseño y dimensionado, Madrid 2001.

**Linares B, Fernando.** Entrenador instalación fotovoltaica real a escala, 2013.

**Miguel P Aparicio,** Calculo de una instalación aislada, Enero del 2010.

# **ANEXOS**

Anexo A: Ficha técnica del panel solar fotovoltaico.



with  
**SIEMENS**  
CELLS

---

**PV MODULE AMPA ASM250P12**



---

**Specifications at 1000 W/m solar irradiance, 25°C cell temperature.**

<p><b>Maximun Power</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><b>250 WATT</b></div>	<p><b>Short Circuit Current</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><b>14.9 AH</b></div>	<p><b>Rated Current</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><b>13.8 AH</b></div>
<p><b>Maximun System Open Circuit Voltage</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><b>1000 V DC</b></div>	<p><b>Open Circuit Voltage</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><b>23.1 V</b></div>	<p><b>Rated voltage</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><b>18.0 V</b></div>
<p><b>Fire Rating</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><b>CLASS AAA</b></div>	<p><b>Series Fuse</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><b>11 AH</b></div>	
<p><b>Field Wiring</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><i>copper only 14 wag min insulated for 90 c min</i></div>	<p><b>Bypass Diode</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"><i>install guie 908766</i></div>	



[www.ampasolar.com](http://www.ampasolar.com)





## Anexo B. Tabla de propiedades de los materiales.

**Tabla A-20**

Resistencias determinísticas mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estrados en frío (CD). [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ( $\frac{3}{4}$  a  $1\frac{1}{4}$  pulg.). Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación.] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

## Anexo C: Ficha técnica del regulador.

<h3>Controladores serie C</h3> <div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Controladores de carga, derivación o recarga</div>  <p style="text-align: center;">C40 &amp; C60      C35      CM</p>	
<p>Un controlador de carga es un componente importante del sistema que regula el voltaje generado por el sistema de energía renovable y para un mantenimiento correcto de las baterías. Impide que la carga de las baterías sea demasiado elevada o demasiado baja, y garantiza la máxima duración de las mismas. Los controladores de carga Xantrex están considerados como los mejores de la industria y ofrecen diversas funciones. La serie C dispone de tres modelos, C35, C40 y C60, diseñados para 35, 40 y 60 amperios de CC.</p> <p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Funcionamiento muy eficaz, silencioso, con modulación de la anchura entre impulsos.</li> <li>▶ Carga de las baterías en tres etapas (en bruto, absorción y flotación) con compensación de temperatura opcional.</li> <li>▶ Protección automática contra sobrecargas, tanto en modo activo como pasivo.</li> <li>▶ Protección contra inversión de polaridad y cortocircuitos de grupo FV.</li> <li>▶ Construcción duradera.</li> <li>▶ Controlado por procesador.</li> </ul> <p><b>Como controlador de carga solar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Si se utiliza como controlador de carga solar, el C40 puede controlar el funcionamiento de grupos de 12, 24 ó 48 VCC, y el C35 y el C60 pueden controlar el funcionamiento de grupos de 12 y 24 VCC.</li> <li>▶ Todas las unidades permiten seleccionar configuraciones para baterías de plomo-ácido inundadas, de electrolito gelificado o de electrolito absorbido en fibra de vidrio.</li> </ul> <p><b>Como controlador de carga de CC</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Como controladores de carga de CC, la serie C tiene un indicador de advertencia de desconexión de baja tensión y puntos de ajuste de control para su utilización sobre el terreno que gestionan la desconexión automática de alta y baja tensión.</li> <li>▶ Interruptor de puesta a cero manual para funcionamiento de emergencia con baja tensión.</li> </ul> <p><b>Como controlador de derivación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ La serie C dirige automáticamente la energía adicional a una carga dedicada como, por ejemplo, un calentador de agua, y garantiza que no se sobrecarguen nunca las baterías.</li> </ul> <p><b>Opciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Sensor de temperatura de la batería remoto (BTS) incorporado para aumentar la precisión de carga.</li> <li>▶ Medidor de amperios-hora acumulativo que se puede instalar en la parte frontal del controlador o de forma remota hasta una distancia de 30 metros (100 pies)</li> </ul>	<p><b>Xantrex Technology Inc.</b>          Oficina principal          8999 Nelson Way          Burnaby, Columbia Británica          Canadá V5A 4B5          Teléfono gratuito: 800 670 0707          Fax: 604 420 1591</p> <p>Edificio Diagonal 2A,          C/ Constitución 3, 4º2ª          08960 Sant Just Desvern          Barcelona, España          Tel. general: +34 93.470.5330          Fax general: +34 93.473.6093</p> <p>5916 195th Northeast          Arlington, Washington          EE.UU. 98223          Teléfono gratuito: 800 446 6180          Fax: 360 925 5144</p>



## Controladores serie C

### Controladores de carga, derivación o recarga

#### Especificaciones eléctricas

Modelos	C35	C40	C60
Configuraciones de voltaje	12 y 24 VCC	12, 24, y 48 VCC	12 y 24 VCC
Tensión máx. del conjunto en circuito abierto PV	55 VCC	125 VCC	55 VCC
Carga / Corriente de carga (a 25 °C)	35 amperios CC	40 amperios CC	60 amperios CC
Corriente pico máx.	85 amperios	85 amperios	85 amperios
Caida de tensión máx. a través del controlador	0,30 voltios	0,30 voltios	0,30 voltios
Consumo normal en funcionamiento	15 ma	15 ma	15 ma
Consumo normal en estado inactivo	3 ma	3 ma	3 ma
Tamaño de breaker recomendado	45 amperios	50 amperios	60 amperios a 100% funcionamiento continuo
Tamaño del cableado recomendado	#8 AWG	#8 AWG	#6 AWG
Instalaciones con baterías de plomo-ácido	Ajustable	Ajustable	Ajustable
Instalaciones con baterías de NiCad	Ajustable	Ajustable	Ajustable
Modo de control de carga	Reconexión de baja tensión - Ajustable (pegatina proporcionada junto con la unidad) en todos los modelos Desconexión de baja tensión - Reconexión automática o manual seleccionable por el usuario - Incluye indicador de advertencia antes de la desconexión y proporciona un período de gracia para una vez seleccionable por el usuario en todos los modelos		

#### Especificaciones generales

Rango de temperatura especificado	0 °C a 40 °C (32 °F a 104 °F)		
Tipo de caja	ara uso en interiores, ventilado, de acero con revestimiento pulverizado con discos removibles de 3/4" y 1".		
Peso de la unidad	1,7 kg (3,5 lb)	1,4 kg (3,0 lb)	1,4 kg (3,0 lb)
Peso del envío	1,4 kg (3,0 lb)	1,6 kg (3,5 lb)	1,6 kg (3,5 lb)
Dimensiones (Al x An x P)	20,3 x 12,7 x 6,4 cm 8,0 x 5,0 x 2,5"	25,4 x 12,7 x 6,35 cm 10 x 5 x 2,5"	25,4 x 12,7 x 6,35 cm 10 x 5 x 2,5"
Dimensiones del envío (Al x An x P)	31,5 x 17,8 x 6,4 cm 12,4 x 7 x 2,5"	31,5 x 17,8 x 6,4 cm 12,4 x 7 x 2,5"	31,5 x 17,8 x 6,4 cm 12,4 x 7 x 2,5"
Montaje	Montaje vertical sobre pared - sólo en interiores		
Altitud - operativa	4.572 m (15.000')		
Altitud - no operativa	15.240 m (50.000')		
Garantía	2 años		
Números de referencia	C35, C40, C60 - Controladores CM - Panel de visualización frontal CMR-50, CMR-100 - Panel de visualización remoto BTS - Sensor de temperatura de la batería		

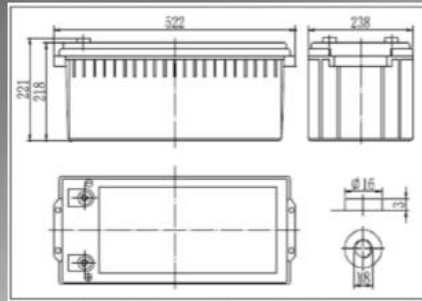
#### Características y opciones

Método de regulación	Tres etapas (en bruto, absorción y flotación), estado sólido, modulación de la anchura entre impulsos
Puntos de ajuste de control ajustables sobre el terreno	Dos puntos de ajuste de voltaje ajustables por el usuario para el control de cargas o fuentes de carga - el ajuste se mantiene si se desconecta la batería
Panel de visualización	CM, CMR-50 ó CMR-100 - pantalla LCD alfanumérica opcional con iluminación posterior que muestra el voltaje de la batería, el amperaje de CI, los amperios hora acumulados y los amperios hora desde la última puesta a cero - el dispositivo remoto incluye un cable de 15 m (50') ó 30,5 m (100')
Carga de compensación	Compensación automática cada 30 días o manual seleccionable por el usuario
Sensor de temperatura de la batería	BTS - sensor de temperatura de la batería remoto opcional para aumentar la precisión de carga

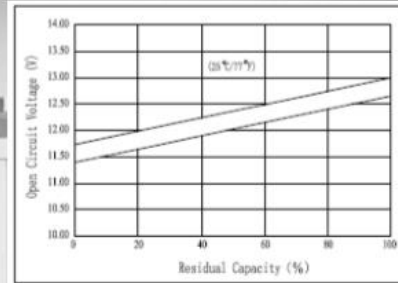
#### Aprobaciones reguladoras

Conformidad UL según los estándares UL 1741 - 1999 y CSA 22.2 N° 107.1-05, cumple la normativa CE

Anexo D. ficha técnica baterías.

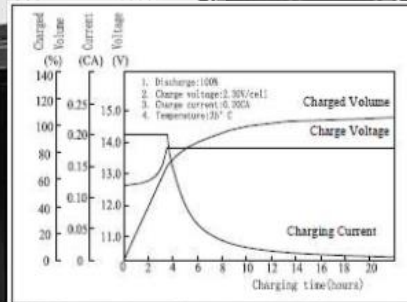


and Residual Capacity (25°C)



Nominal Voltage		12 V
Capacity(10HR, 25°C)		205 Ah
Dimension	Length	522mm (20.55inch)
	Width	238mm (9.37inch)
	Height	218mm (8.58inch)
	Total Height	221mm (8.70inch)
Approx. Weight		65kg (143lbs)
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx. 3.3mΩ
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C ± 3°C (77°F ± 5°F)
Operating temperature range		-15°C ~ 50°C (5°F ~ 122°F)
Float charging voltage(25°C)		13.50 to 13.80V
Cyclic charging voltage(25°C)		14.50 to 14.90V
Maximum charging current		60A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		1500A(5 sec.)

Charging Characteristics



The Relationship for Open Circuit Voltage

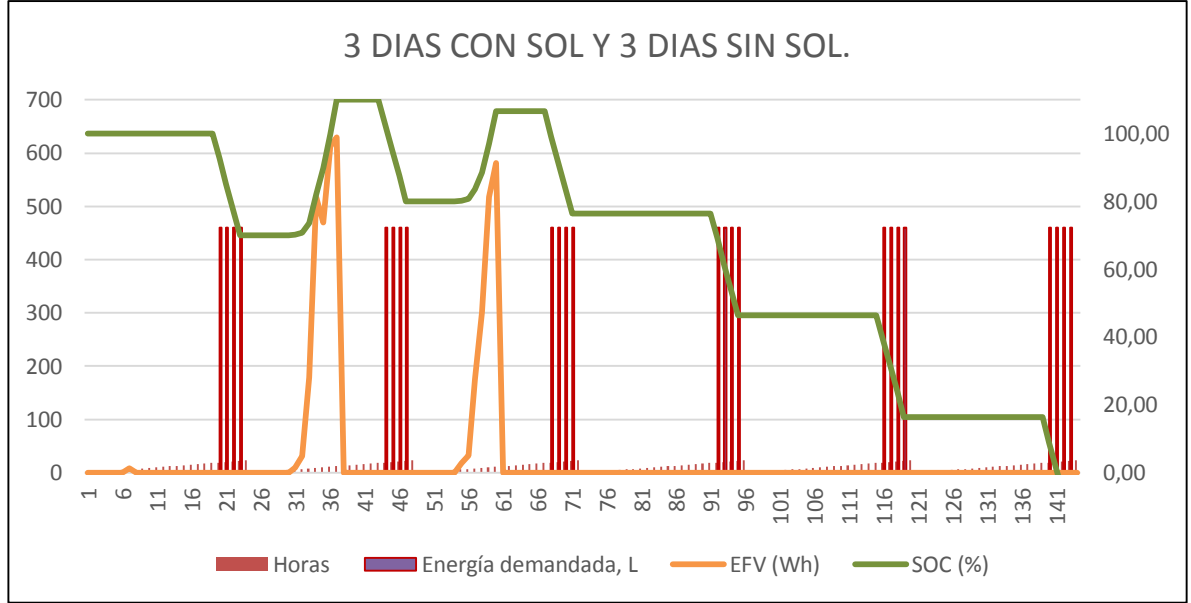
FV/TIME	5min	10min	15min	30min	60min	3h	5h	10h	20h
9.60V	651	430	363	209	135	55.0	38.2	20.3	10.4
10.2V	615	409	350	202	127	53.5	37.0	20.1	10.3
10.8V	575	380	331	190	119	52.4	36.3	20.0	10.2

Constant Power Discharge Characteristics (Watt, 25°C)

FV/TIME	5min	10min	15min	30min	60min	3h	5h	10h	20h
9.60V	6720	4550	4010	2319	1482	639	444	242	124
10.2V	6480	4400	3852	2227	1423	629	437	240	123
10.8V	6012	4123	3651	2136	1352	617	429	240	122

Anexo E: Simulación de descarga de la batería.

Tres días con sol y tres días sin sol.



Horas	Irradiancia W/m2	Energía demandada, L	EFV (Wh)	EFV,B (Wh)	QB (Ah)	SOC (%)
0	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
1	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
2	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
3	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
4	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
5	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
6	15	0	7,88	7,88	510,66	100,13
7	75	0	0,00	0,00	510,66	100,13
8	280	0	0,00	0,00	510,66	100,13
9	467	0	0,00	0,00	510,66	100,13
10	799	0	0,00	0,00	510,66	100,13
11	1195	0	0,00	0,00	510,66	100,13
12	1433	0	0,00	0,00	510,66	100,13
13	1517	0	0,00	0,00	510,66	100,13
14	1098	0	0,00	0,00	510,66	100,13
15	767	0	0,00	0,00	510,66	100,13
16	398	0	0,00	0,00	510,66	100,13
17	102	0	0,00	0,00	510,66	100,13

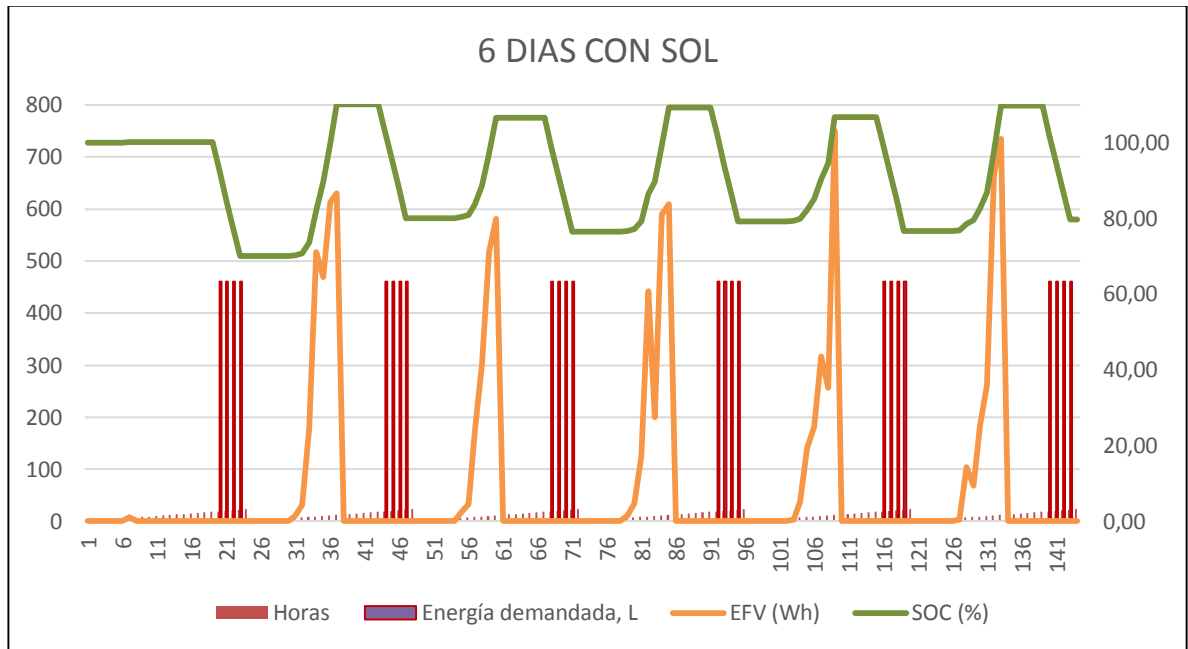
<b>18</b>	9,3	0	0,00	0,00	510,66	100,13
<b>19</b>	0	460	0,00	460,00	472,32	92,61
<b>20</b>	0	460	0,00	460,00	433,99	85,10
<b>21</b>	0	460	0,00	460,00	395,66	77,58
<b>22</b>	0	460	0,00	460,00	357,32	70,06
<b>23</b>	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
<b>0</b>	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
<b>1</b>	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
<b>2</b>	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
<b>3</b>	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
<b>4</b>	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
<b>5</b>	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
<b>6</b>	19	0	9,98	9,98	358,15	70,23
<b>7</b>	60	0	31,50	31,50	360,78	70,74
<b>8</b>	340	0	178,50	178,50	375,65	73,66
<b>9</b>	985	0	517,13	517,13	418,75	82,11
<b>10</b>	894	0	469,35	469,35	457,86	89,78
<b>11</b>	1168	0	613,20	613,20	508,96	99,80
<b>12</b>	1200	0	630,00	630,00	561,46	110,09
<b>13</b>	1225	0	0,00	0,00	561,46	110,09
<b>14</b>	934	0	0,00	0,00	561,46	110,09
<b>15</b>	386	0	0,00	0,00	561,46	110,09
<b>16</b>	413	0	0,00	0,00	561,46	110,09
<b>17</b>	63	0	0,00	0,00	561,46	110,09
<b>18</b>	3	0	0,00	0,00	561,46	110,09
<b>19</b>	0	460	0,00	460,00	523,13	102,57
<b>20</b>	0	460	0,00	460,00	484,79	95,06
<b>21</b>	0	460	0,00	460,00	446,46	87,54
<b>22</b>	0	460	0,00	460,00	408,13	80,02
<b>23</b>	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
<b>0</b>	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
<b>1</b>	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
<b>2</b>	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
<b>3</b>	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
<b>4</b>	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
<b>5</b>	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
<b>6</b>	35	0	18,38	18,38	409,66	80,33
<b>7</b>	61	0	32,03	32,03	412,33	80,85
<b>8</b>	333	0	174,83	174,83	426,90	83,71
<b>9</b>	574	0	301,35	301,35	452,01	88,63

10	986	0	517,65	517,65	495,15	97,09
11	1107	0	581,18	581,18	543,58	106,58
12	1227	0	0,00	0,00	543,58	106,58
13	1337	0	0,00	0,00	543,58	106,58
14	1179	0	0,00	0,00	543,58	106,58
15	239	0	0,00	0,00	543,58	106,58
16	523	0	0,00	0,00	543,58	106,58
17	103	0	0,00	0,00	543,58	106,58
18	6,5	0	0,00	0,00	543,58	106,58
19	0	460	0,00	460,00	505,24	99,07
20	0	460	0,00	460,00	466,91	91,55
21	0	460	0,00	460,00	428,58	84,03
22	0	460	0,00	460,00	390,24	76,52
23	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
0	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
1	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
2	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
3	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
4	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
5	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
6	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
7	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
8	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
9	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
10	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
11	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
12	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
13	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
14	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
15	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
16	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
17	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
18	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
19	0	460	0,00	460,00	351,91	69,00
20	0	460	0,00	460,00	313,58	61,49
21	0	460	0,00	460,00	275,24	53,97
22	0	460	0,00	460,00	236,91	46,45
23	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
0	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
1	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45

2	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
3	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
4	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
5	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
6	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
7	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
8	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
9	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
10	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
11	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
12	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
13	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
14	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
15	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
16	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
17	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
18	0	0	0,00	0,00	236,91	46,45
19	0	460	0,00	460,00	198,58	38,94
20	0	460	0,00	460,00	160,24	31,42
21	0	460	0,00	460,00	121,91	23,90
22	0	460	0,00	460,00	83,58	16,39
23	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
0	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
1	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
2	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
3	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
4	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
5	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
6	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
7	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
8	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
9	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
10	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
11	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
12	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
13	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
14	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
15	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
16	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
17	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39

<b>18</b>	0	0	0,00	0,00	83,58	16,39
<b>19</b>	0	460	0,00	460,00	45,24	8,87
<b>20</b>	0	460	0,00	460,00	6,91	1,35
<b>21</b>	0	460	0,00	460,00	-31,42	-6,16
<b>22</b>	0	460	0,00	460,00	-69,76	-13,68
<b>23</b>	0	0	0,00	0,00	-69,76	-13,68

Seis días con sol.



Horas	Irradiancia W/m2	Energía demandada, L	EFV (Wh)	EFV,B (Wh)	QB (Ah)	SOC (%)
<b>0</b>	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
<b>1</b>	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
<b>2</b>	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
<b>3</b>	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
<b>4</b>	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
<b>5</b>	0	0	0,00	0,00	510,00	100,00
<b>6</b>	15	0	7,88	7,88	510,66	100,13
<b>7</b>	75	0	0,00	0,00	510,66	100,13
<b>8</b>	280	0	0,00	0,00	510,66	100,13
<b>9</b>	467	0	0,00	0,00	510,66	100,13
<b>10</b>	799	0	0,00	0,00	510,66	100,13
<b>11</b>	1195	0	0,00	0,00	510,66	100,13

12	1433	0	0,00	0,00	510,66	100,13
13	1517	0	0,00	0,00	510,66	100,13
14	1098	0	0,00	0,00	510,66	100,13
15	767	0	0,00	0,00	510,66	100,13
16	398	0	0,00	0,00	510,66	100,13
17	102	0	0,00	0,00	510,66	100,13
18	9,3	0	0,00	0,00	510,66	100,13
19	0	460	0,00	460,00	472,32	92,61
20	0	460	0,00	460,00	433,99	85,10
21	0	460	0,00	460,00	395,66	77,58
22	0	460	0,00	460,00	357,32	70,06
23	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
0	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
1	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
2	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
3	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
4	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
5	0	0	0,00	0,00	357,32	70,06
6	19	0	9,98	9,98	358,15	70,23
7	60	0	31,50	31,50	360,78	70,74
8	340	0	178,50	178,50	375,65	73,66
9	985	0	517,13	517,13	418,75	82,11
10	894	0	469,35	469,35	457,86	89,78
11	1168	0	613,20	613,20	508,96	99,80
12	1200	0	630,00	630,00	561,46	110,09
13	1225	0	0,00	0,00	561,46	110,09
14	934	0	0,00	0,00	561,46	110,09
15	386	0	0,00	0,00	561,46	110,09
16	413	0	0,00	0,00	561,46	110,09
17	63	0	0,00	0,00	561,46	110,09
18	3	0	0,00	0,00	561,46	110,09
19	0	460	0,00	460,00	523,13	102,57
20	0	460	0,00	460,00	484,79	95,06
21	0	460	0,00	460,00	446,46	87,54
22	0	460	0,00	460,00	408,13	80,02
23	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
0	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
1	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
2	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
3	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
4	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
5	0	0	0,00	0,00	408,13	80,02
6	35	0	18,38	18,38	409,66	80,33



7	61	0	32,03	32,03	412,33	80,85
8	333	0	174,83	174,83	426,90	83,71
9	574	0	301,35	301,35	452,01	88,63
10	986	0	517,65	517,65	495,15	97,09
11	1107	0	581,18	581,18	543,58	106,58
12	1227	0	0,00	0,00	543,58	106,58
13	1337	0	0,00	0,00	543,58	106,58
14	1179	0	0,00	0,00	543,58	106,58
15	239	0	0,00	0,00	543,58	106,58
16	523	0	0,00	0,00	543,58	106,58
17	103	0	0,00	0,00	543,58	106,58
18	6,5	0	0,00	0,00	543,58	106,58
19	0	460	0,00	460,00	505,24	99,07
20	0	460	0,00	460,00	466,91	91,55
21	0	460	0,00	460,00	428,58	84,03
22	0	460	0,00	460,00	390,24	76,52
23	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
0	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
1	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
2	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
3	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
4	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
5	0	0	0,00	0,00	390,24	76,52
6	20	0	10,50	10,50	391,12	76,69
7	65	0	34,13	34,13	393,96	77,25
8	237	0	124,43	124,43	404,33	79,28
9	841	0	441,53	441,53	441,13	86,50
10	380	0	199,50	199,50	457,75	89,75
11	1122	0	589,05	589,05	506,84	99,38
12	1160	0	609,00	609,00	557,59	109,33
13	1302	0	0,00	0,00	557,59	109,33
14	365	0	0,00	0,00	557,59	109,33
15	766	0	0,00	0,00	557,59	109,33
16	229	0	0,00	0,00	557,59	109,33
17	30	0	0,00	0,00	557,59	109,33
18	2,8	0	0,00	0,00	557,59	109,33
19	0	460	0,00	460,00	519,25	101,81
20	0	460	0,00	460,00	480,92	94,30
21	0	460	0,00	460,00	442,59	86,78
22	0	460	0,00	460,00	404,25	79,27
23	0	0	0,00	0,00	404,25	79,27
0	0	0	0,00	0,00	404,25	79,27
1	0	0	0,00	0,00	404,25	79,27

2	0	0	0,00	0,00	404,25	79,27
3	0	0	0,00	0,00	404,25	79,27
4	0	0	0,00	0,00	404,25	79,27
5	0	0	0,00	0,00	404,25	79,27
6	4,8	0	2,52	2,52	404,46	79,31
7	72	0	37,80	37,80	407,61	79,92
8	267	0	140,18	140,18	419,30	82,21
9	345	0	181,13	181,13	434,39	85,17
10	604	0	317,10	317,10	460,81	90,36
11	489	0	256,73	256,73	482,21	94,55
12	1430	0	750,75	750,75	544,77	106,82
13	734	0	0,00	0,00	544,77	106,82
14	961	0	0,00	0,00	544,77	106,82
15	425	0	0,00	0,00	544,77	106,82
16	266	0	0,00	0,00	544,77	106,82
17	82	0	0,00	0,00	544,77	106,82
18	5,7	0	0,00	0,00	544,77	106,82
19	0	460	0,00	460,00	506,44	99,30
20	0	460	0,00	460,00	468,10	91,79
21	0	460	0,00	460,00	429,77	84,27
22	0	460	0,00	460,00	391,44	76,75
23	0	0	0,00	0,00	391,44	76,75
0	0	0	0,00	0,00	391,44	76,75
1	0	0	0,00	0,00	391,44	76,75
2	0	0	0,00	0,00	391,44	76,75
3	0	0	0,00	0,00	391,44	76,75
4	0	0	0,00	0,00	391,44	76,75
5	0	0	0,00	0,00	391,44	76,75
6	5	0	2,63	2,63	391,66	76,80
7	198	0	103,95	103,95	400,32	78,49
8	129	0	67,73	67,73	405,96	79,60
9	347	0	182,18	182,18	421,14	82,58
10	497	0	260,93	260,93	442,89	86,84
11	1269	0	666,23	666,23	498,41	97,73
12	1400	0	735,00	735,00	559,66	109,74
13	911	0	0,00	0,00	559,66	109,74
14	610	0	0,00	0,00	559,66	109,74
15	361	0	0,00	0,00	559,66	109,74
16	161	0	0,00	0,00	559,66	109,74
17	93	0	0,00	0,00	559,66	109,74
18	6,3	0	0,00	0,00	559,66	109,74
19	0	460	0,00	460,00	521,32	102,22
20	0	460	0,00	460,00	482,99	94,70

<b>21</b>	0	460	0,00	460,00	444,66	87,19
<b>22</b>	0	460	0,00	460,00	406,32	79,67
<b>23</b>	0	0	0,00	0,00	406,32	79,67

## Anexo F. simulación en solidworks



La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.

La tensión de Von Mises puede calcularse fácilmente a partir de las tensiones principales del tensor tensión en un punto de un sólido deformable.

Se considera un análisis estático para determinar las tensiones y deformaciones que sufre la estructura debido al peso de los paneles,

A continuación se describe las principales características de condiciones iniciales:

Carga en los tres extremos de la estructura de  $W=421.8$  N, representados por los tres (3) paneles solares los cuales tienen un peso máximo de 23 kg y la estructura que soporta el panel solar con peso de 20 kg.

La estructura principal de forma de tallo de árbol tiene forma tubular con dimensiones en su parte más gruesa de 5" de Diámetro con un espesor de pared de 3 mm. Y sus ramas tienen dimensiones de 3" de diámetro y espesor de pared de 3 mm.

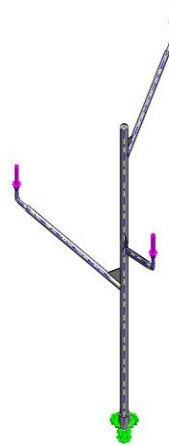
## Simulación de Tallo

**Fecha:** viernes, 27 de marzo de 2015  
**Diseñador:** Solidworks  
**Nombre de estudio:** Análisis estático 1  
**Tipo de análisis:** Análisis estático


### Table of Contents

Descripción	¡Error! Marcador no definido.
Suposiciones .....	¡Error! Marcador no definido.
Información de modelo .....	143
Propiedades del estudio .....	144
Unidades .....	144
Propiedades de material.....	145
Cargas y sujeciones .....	146
Definiciones de conector	¡Error! Marcador no definido.
Información de contacto.	¡Error! Marcador no definido.
Información de malla .....	147
Detalles del sensor ....	¡Error! Marcador no definido.
Fuerzas resultantes .....	149
Vigas .....	¡Error! Marcador no definido.
Resultados del estudio.....	150
Conclusión.	¡Error! Marcador no definido.

Información de modelo



Nombre del modelo: Tallo  
Configuración actual: Default

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir24 	Sólido	Masa:89.9223 kg Volumen:0.011426 m <sup>3</sup> Densidad:7870 kg/m <sup>3</sup> Peso:881.238 N	C:\Users\Tecnoparque\Documents\Juan Guillermo\Juan G - Tecnoparque\PROYECTOS - JUAN GUILLERMO - AÑO 2014\Proyecto_5086 - Banfot\Tallo.SLDPRT Mar 26 17:39:19 2015

## Propiedades del estudio

<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 1
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorksFlowSimulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automática
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Adaptativo-h

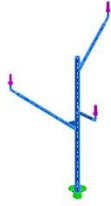
## Adaptativo-h Opciones

<b>Nivel de precisión</b>	98 %
<b>Balance de precisión</b>	50
<b>Máximo n.º de bucles</b>	5
<b>Reducir el n.º de elementos en regiones con bajo nivel de error</b>	Desactivar

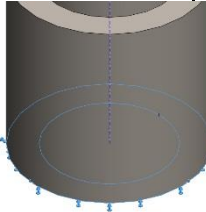
## Unidades


<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>AISI 1020 Acero laminado en frío</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión máxima de von Mises</b></p> <p>Límite elástico: <b>3.5e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>4.2e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>2.05e+011 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.29</b></p> <p>Densidad: <b>7870 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>8e+010 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: <b>1.17e-005 /Kelvin</b></p>	<p><b>Sólido 1(Saliente-Extruir24)(Tallo)</b></p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<b>Entidades: 1 cara(s)</b> <b>Tipo: Geometría fija</b>		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>-0.0148499</b>	<b>1258.57</b>	<b>-0.00799453</b>	<b>1258.57</b>
<b>Momento de reacción(N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		<b>Entidades: 3 cara(s)</b> <b>Tipo: Aplicar fuerza normal</b> <b>Valor: 421.5 N</b> <b>Ángulo de fase: 0</b> <b>Unidades: deg</b>		



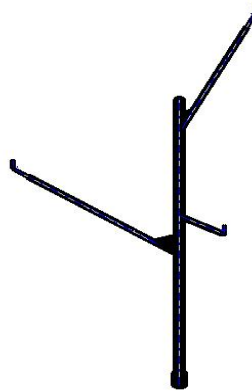
## Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla basada en curvatura
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	50.1569 mm
<b>Tamaño mínimo del elemento</b>	16.7188 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden


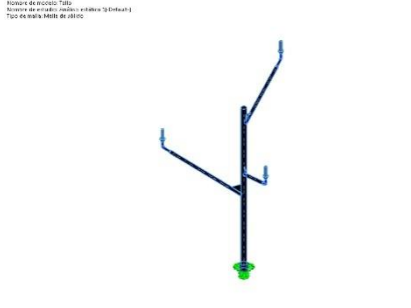
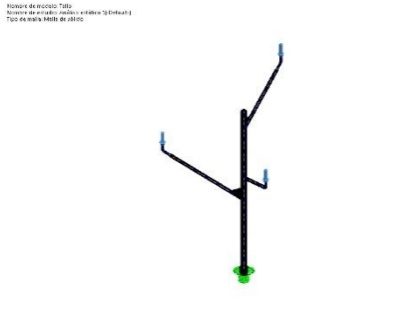
## Información de malla - Detalles

<b>Número total de nodos</b>	402047
<b>Número total de elementos</b>	207990
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	39.119
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	27.1
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0.0379
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0

Nombre de modelo: Tallo  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)  
Tipo de malla: Malla de sólida



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1	 <p>Nombre de entidad: Tabla Número de entidades (nodos) = número de Entidad(s) Tipo de malla: Malla de sólido</p>	<p><b>Entidades:</b> 1 Sólido(s)  <b>Unidades:</b> mm  <b>Tamaño:</b> 12.4193  <b>Coefficiente:</b> 1.5</p>
Control-2	 <p>Nombre de entidad: Tabla Número de entidades (nodos) = número de Entidad(s) Tipo de malla: Malla de sólido</p>	<p><b>Entidades:</b> 1 Sólido(s)  <b>Unidades:</b> mm  <b>Tamaño:</b> 12.5114  <b>Coefficiente:</b> 1.5</p>
Control-3	 <p>Nombre de entidad: Tabla Número de entidades (nodos) = número de Entidad(s) Tipo de malla: Malla de sólido</p>	<p><b>Entidades:</b> 1 componente(s)  <b>Unidades:</b> mm  <b>Tamaño:</b> 25.0228  <b>Coefficiente:</b> 1.5</p>

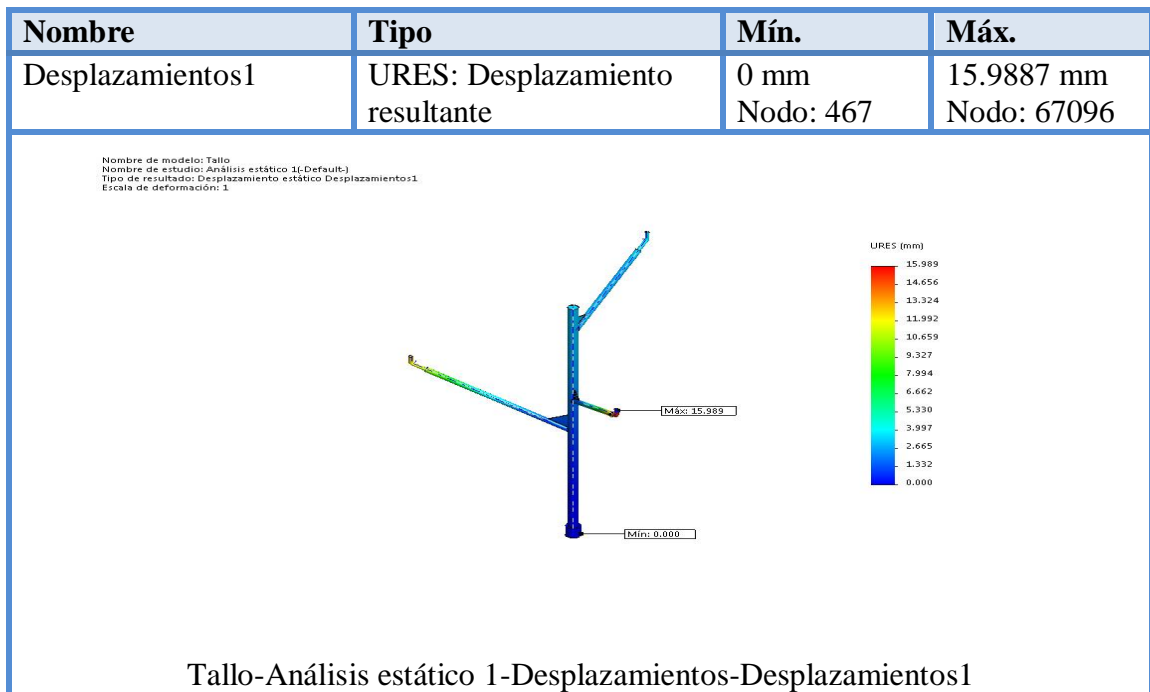
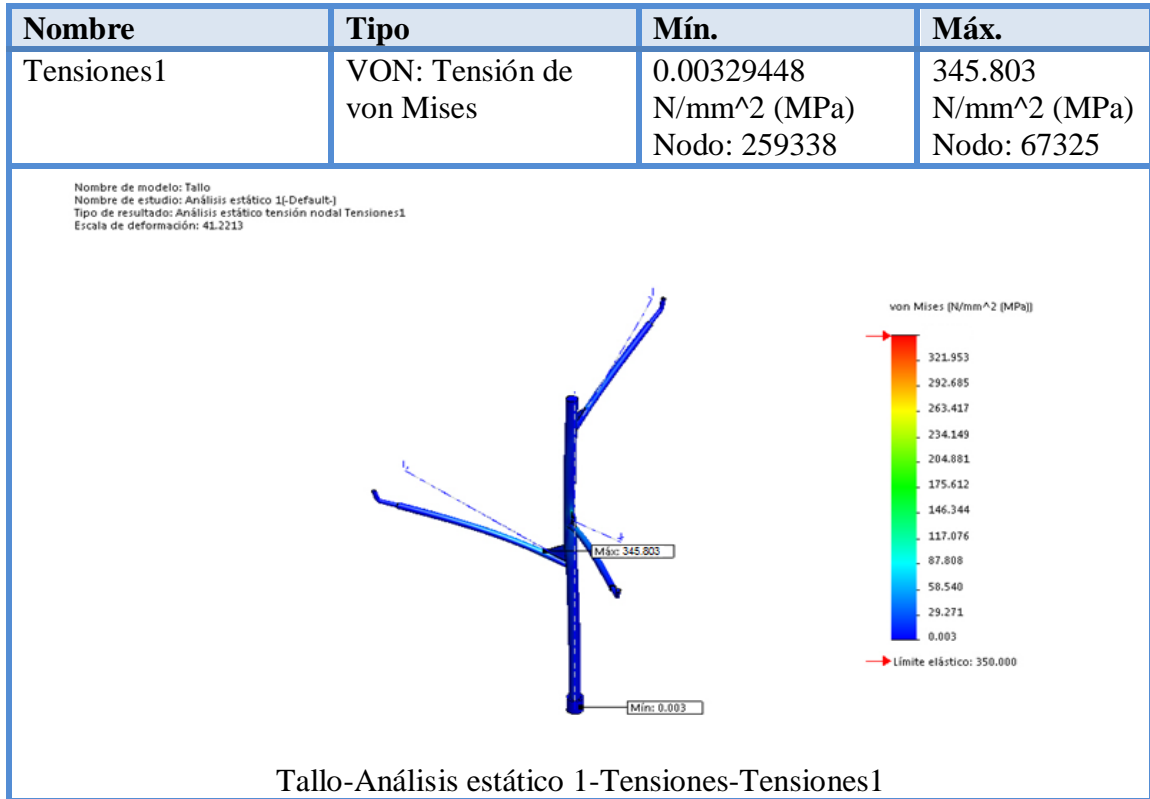
Fuerzas resultantes  
Fuerzas de reacción

<b>Conjunto de selecciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Suma X</b>	<b>Suma Y</b>	<b>Suma Z</b>	<b>Resultante</b>
Todo el modelo	N	-0.0148499	1258.57	-0.00799453	1258.57

Momentos de reacción

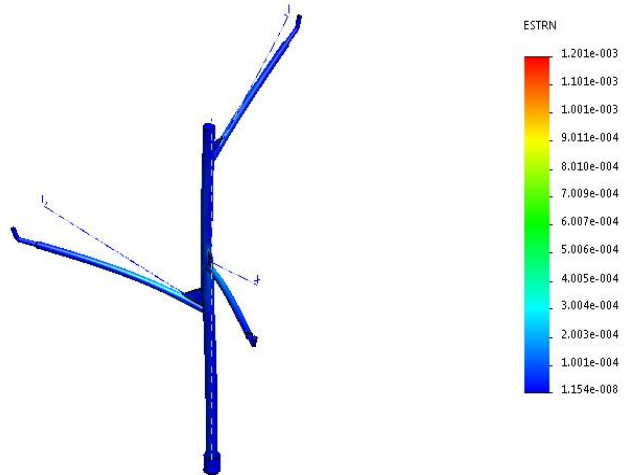
<b>Conjunto de selecciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Suma X</b>	<b>Suma Y</b>	<b>Suma Z</b>	<b>Resultante</b>
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

## Resultados del estudio




Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.15445e-008 Elemento: 4796	0.00120148 Elemento: 152316

Nombre de modelo: Tallo  
Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Default-)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 41.2213



Tallo-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Anexo G. Costos del kit de energía solar.



**Suministro 2165 WH/D 12 v dc**

<b>Cant.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Vlr. Unit</b>	<b>Vlr total</b>
<b>3</b>	<b>Panel solar SIEMENS – AMPASOLAR 250 watt 12 v dc</b>	<b>854.310</b>	<b>2'562.930</b>
<b>1</b>	<b>Sistema de bases aluminio anodizado sobre piso para ASM250P24 x 3</b>	<b>582.914</b>	<b>582.914</b>
<b>2</b>	<b>Bateria AMPASOLAR libre mant aplic solar front terminal 200 ah 12 v dc</b>	<b>729.125</b>	<b>1'458.250</b>
<b>1</b>	<b>Controlador AMPASOLAR 60ah 12/24 v dc display LCD</b>	<b>318.456</b>	<b>318.456</b>
<b>1</b>	<b>Inversor de onda pura AMPASOLAR 600 watt 12 v dc</b>	<b>939.456</b>	<b>939.456</b>
<b>Costo (A)</b>			<b>5'862.006</b>
<b>IVA 16%</b>			<b>937.921</b>
<b>TOTAL (A)</b>			<b>6'799.927</b>

Anexo H: Costo total del proyecto.

<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO.</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	
	<b>UFPSO.</b>	<b>Autores del proyecto.</b>
Kit de energía solar fotovoltaica.	\$ 6'799.927	
Caja eléctrica, empotramiento y acometidas.	\$1'000.000	
Estructura en forma de árbol.		\$700.000
Mano de obra(construcción estructura.)		\$500.000
Tablero de conexiones.		\$233.000
Aerografía (pintura)		\$430.000
Transporte		\$320.000
Papelería		\$185.000
Otros		\$150.000
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 7'799.927</b>	<b>\$2.518.000</b>
<b>Total</b>	<b>\$10'317.927 =</b>	