

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**Implementación de un seguidor solar en eje
horizontal controlado con hardware y software de
libre distribución.**

PRESENTADO POR:

PEDRO DAVID GARCÍA REYES

RAFAEL ANTONIO PEÑATE SANTOS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR :

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

Implementación de un seguidor solar en eje horizontal controlado con hardware y software de libre distribución.

Presentado por :

PEDRO DAVID GARCÍA REYES

RAFAEL ANTONIO PEÑATE SANTOS

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Asesor :

MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

San Salvador, Agosto de 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

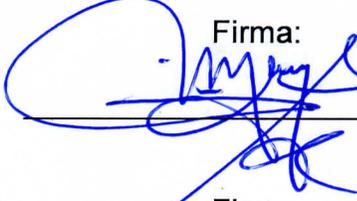
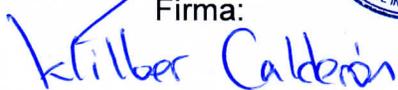
MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, jueves 11 de agosto de 2016, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 3:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

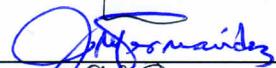
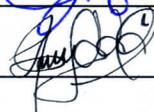
Firma: 
Firma: 


Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

1- MSc. Jorge Alberto Zetino Chicas

2- Ing. José Miguel Hernández

3- Ing. Luis José Salalá Santos

Firma: 



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

Implementación de un seguidor solar en eje horizontal controlado con hardware y software de libre distribución.

A cargo de los Bachilleres:

- García Reyes Pedro David

- Peñate Santos Rafael Antonio

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.7

(OCHO SIETE)

AGRADECIMIENTOS

Primero agradecer a Dios por permitirme los logros alcanzados, por brindarme las fuerzas necesaria y guiarme para completar esta etapa de mi vida, agradezco de todo corazón el apoyo incondicional, sincero y sin medida de mi madre Rosa Hilda Reyes y de mi padre Luis García que me han motivado para seguir adelante cada día, este triunfo alcanzado también es de ustedes, de corazón les agradezco su apoyo, cariño y amor. Con orgullo les puedo decir: Lo logramos!

Le agradezco a mis hermanos Luis, Marissa y Gaby porque juntos vivos y compartimos momento de toda esta etapa universitaria que finalizo con este trabajo de investigación, y espero que todos podamos alcanzar nuestras metas ánimamente que los esfuerzo y desvelos valdrán la pena más tarde que temprano, a Meli por tu ayuda y apoyo con una pequeña parte de este documento, además por entender las frustraciones que tuve a lo largo de esta investigación.

Quiero agradecer a todos mis amigos, que conocí y compartí a lo largo de mi recorrido por la universidad, en especial a Luis Sandoval, Luis Salalá, Alfredo Amaya, Eduardo Ancheta y otros más con los que compartí y viví mi paso por la universidad y más de uno de ustedes me ayudo con este trabajo de investigación.

También a mis amigos, compañeros y colegas de carrera Doratt, Narváez, Amílcar, que nos apoyamos firmemente a lo largo de la carrera.

A mi compañero de tesis y amigo Rafa Peñate, por un año completo de desvelos, frustraciones, enojos, asoleadas y por trabajo constante a través del cual pudimos terminar este trabajo.

MUCHAS GRACIAS A TODOS.

Atte. Pedro David García Reyes.

RAFAEL ANTONIO PEÑATE SANTOS

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios primero por los logros alcanzados, por las promesas cumplidas, por brindar la guía que necesitaba para el camino que me ha llevado a esta etapa de mi vida, agradezco de todo corazón el apoyo incondicional y sin medida de mi madre y de mi padre que me han formado para seguir adelante cada día, este triunfo alcanzado no solo me pertenece, es de ustedes que han estado a mi lado todo el trayecto de mi vida, de corazón les agradezco su amor.

Le agradezco a mi novia Claudia Marina su apoyo y su constancia, ha brindado un aporte vital para mi avance tanto académico como personal, me has salvado una infinidad de ocasiones, el alcanzar la meta es un trabajo en conjunto, y que cada proceso nos une y nos llena de fortaleza, y agradezco el apoyo de tus padres Leonel González y Marina Aquino, que he podido contar con su ayuda y sus consejos a lo largo de estos años.

A mis amigos especialmente Amílcar Alexander, Amílcar Ernesto, Valentín Bolaños, que me han apoyado firmemente hasta la finalización de mi carrera.

Mis compañeros y amigos de carrera Narváez, Christian, Wendy, Anuvis, Vega, por ultimo pero no menos importante Sergio, gracias Banda el viaje ha culminado ya para todos y nuevas proezas nos esperan.

A mi compañero y amigo de tesis Pedro García, un año completo de desvelos, asoleadas, trabajo constante, pero que finalmente rindió su fruto.

DEDICATORIA.

Las palabras más difíciles de escribir son las que se le dedican a esa persona que nos ve desde el cielo, este logro es el sueño de quien más deseaba verlo hecho realidad, esta etapa es una de las que Elisa Angélica Herrera de Peñate esperaba lograr presenciar, mi mamalicha, quiero decirte que lo logre, que eso que querías ver realizado ya lo alcance y donde estés allá en el cielo te sientas muy orgullosa de mi. Siempre estarás en mi corazón, con amor Rafael.

PREFACE.

Renewable energies are those obtained from virtually inexhaustible natural sources, either by the immense amount of energy they contain, or because they are able to regenerate by natural means among renewable energy include:

Hydroelectric power, Eolitic energy, Solar energy, Geothermal energy, Seawater energy, Biomass, and fuel.

These energies have been an important part of the energy used by humans since ancient times, especially solar energy, eolitic energy and hydropower.

There are many photovoltaic systems installed in El Salvador that harness the energy of the solar resource. Most of these are isolated photovoltaic systems with battery bank, which are used as Solar Home Systems. There are a limited number Photo Voltaic Systems connected to the network, which are used for self-consumption, of which most of them are installed in government buildings, schools and universities.

The use of solar trackers is becoming more common in photovoltaic plants, it is that the solar industry has been able to see the great benefits they present. Solar trackers allow significantly increase energy production, and therefore improve project profitability and return on investment.

Throughout this document, it describes the development, design and implementation of a solar tracker in a horizontal, first axis; but throughout the investigation and due to system Photo Voltaic against which the generation was to be compared, the initial idea of the construction was changed by a inclined tracker axis.

The generation of solar tracking system with increased an average of 38% in a day of full sun, representing an average increase of 1.29 kWh / day.

PREFACIO

Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la energía hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, la biomasa y los biocombustibles. Estas energías han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica.

Existen muchos sistemas fotovoltaicos instalados en El Salvador que aprovechan la energía del recurso solar. La mayoría de estos son sistemas fotovoltaicos aislados con banco de baterías, los cuales son usados como Sistemas Solares Domésticos. Hay un número limitado de sistemas FV conectados a la red que son utilizados para autoconsumo, de los cuales la mayoría de ellos están instalados en edificios gubernamentales, escuelas y universidades.

El uso de los seguidores solares cada vez es más frecuente en las plantas fotovoltaicas, y es que la industria solar ha podido comprobar las grandes ventajas que éstos presentan. Los seguidores solares permiten aumentar notablemente la producción de energía, y por tanto mejoran la rentabilidad de los proyectos y el retorno de inversión.

A lo largo de este documento se describe, el desarrollo, diseño e implementación de un seguidor solar en un eje horizontal, pero a lo largo de la investigación y debido al sistema FV contra el cual debía ser comparada la generación, la idea inicial de construcción cambio por un seguidor de eje inclinado.

La generación del sistema con seguimiento solar incrementó un promedio del 38%, en un día de sol pleno, lo que representa un incremento promedio 1.29 kWh/día.

OBJETIVOS:

GENERALES:

- Construir un sistema de seguimiento solar de eje horizontal y evaluar su aporte en la generación fotovoltaica.

ESPECIFICOS:

- Estudiar los sistemas de seguimiento y sus diferentes alternativas, incluyendo problemas de sombra y la relación del área del terreno con el área del generador fotovoltaico (ROT).
- Comparar la producción generada por el sistema de eje horizontal y un sistema fijo colocado en la escuela de Ingeniería Eléctrica.
- Desarrollar un sistema de control automático por hardware y software libre para el sistema de seguimiento solar, que incluya la medición de tiempo solar y la adquisición de datos.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	7
1.1. RADIACION SOLAR.....	7
VARIACIONES DE LA RADIACION SOLAR	7
TIPOS DE RADIACION SOLAR	9
1.2. LOS MOVIMIENTOS RELATIVOS ENTRE EL SOL Y LA TIERRA	11
MOVIMIENTOS RELATIVOS DE LA TIERRA RESPECTO AL SOL.....	11
COORDENADAS CELESTES.....	13
1.3. CARTAS SOLARES	14
1.4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	15
MÓDULOS O PÁNELES FOTOVOLTAICOS.	15
TIPOS DE PÁNELES FOTOVOLTAICOS.....	15
PÁNELES FOTOVOLTAICOS AMORFOS.....	15
1.5. SEGUIDORES SOLARES O TRACKER SOLAR	17
TIPOS DE SEGUIDORES SOLARES.....	17
SEGUIDORES SOLARES DE DOBLE EJE.....	19
SEGUIDORES SOLARES SEGÚN SU ALGORITMO DE SEGUIMIENTO	19
CAPÍTULO 2: CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	20
2.1. ESTUDIO DE SOMBRAS.....	20
2.1. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	21
2.2. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO POR HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE PARA EL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR.	23
2.3. DESARROLLO DE ALGORITMO MATEMATICO Y LOGICA DE PROGRAMACION DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.	24
ECUACIÓN DEL TIEMPO	24
HORA SOLAR VERDADERA.	24
ÁNGULO DE HORA SOLAR (ω).	25
2.4. FLUJOGRAMA PARA DESARROLLO DE SOFTWARE.....	25
2.5. ELECCION DE HARDWARE PARA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	29

REDBOARD DE SPARKFUN (ARDUINO UNO).....	29
EL MÓDULO GPS GY-GPS6MV2	30
ACELERÓMETRO TRIPLE EJE MMA8452Q SPARKFUN	32
MODULO CONVERTIDOR DE NIVEL DE VOLTAJE.	33
MÓDULO DE RELEVADORES.	39
ACTUADOR LINEAL	40
2.6. DISEÑO FINAL DE CIRCUITO DE CONTROL AUTOMÁTICO.	41
2.7. IMPLEMENTACIÓN Y ELABORACIÓN DE CIRCUITO IMPRESO PARA EL SISTEMA DE CONTROL.	42
CAPÍTULO 3: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E INSTALACION DE ESTRUCTURA MECÁNICA PARA EL SEGUIDOR SOLAR.	47
3.1. DISEÑO CONCEPTUAL DE ESTRUCTURA MECÁNICA.	48
3.2. DISEÑO PARA LAS COLUMNAS DE SOPORTE DEL SEGUIDOR SOLAR.	51
3.3. SOPORTE DEL ACTUADOR LINEAL EN COLUMNA B	53
3.4. FIJACIÓN DE LOS COLUMNAS.	54
3.5. DISEÑO DEL EJE	55
3.6. COLLARES	55
3.7. DISEÑO DE MARCO SOPORTE DE LOS PÁNELES SOLARES.....	56
3.8. SOPORTE DE SISTEMA DEL CONTROL AUTOMÁTICO	56
3.9. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA MECÁNICA PARA EL SEGUIDOR SOLAR.	57
3.10. CONEXIONES DE CABLE DE ENERGÍA DESDE LOS PÁNELES FOTOVOLTAICOS HACIA EL INVERSOR.	61
3.11. OPERACIÓN REAL DEL SEGUIDOR SOLAR	62
3.12. OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO.	64
ANÁLISIS ENTRE FILAS.....	65
ANALISIS ENTRE COLUMNAS.	69
ANÁLISIS DE PUNTO INFERIOR C.....	72
ANÁLISIS DE PUNTO MEDIO B	75
ANÁLISIS DE PUNTO SUPERIOR A.	77
SIMULACIÓN DE SOMBRAS MUTUAS.....	81
RELACIÓN DE OCUPACIÓN DE TERRENO (ROT)	84

3.13. COMPRACION CON SEGUIDORES COMERCIALES.....	86
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LA ENERGIA GENERADA.	88
4.1. CAPACIDAD INSTALADA.....	88
4.2. ADQUISICION DE DATOS DE LA ENERGÍA GENERADA.....	89
4.3. COMPARACIÓN DE LA GENERACIÓN DIARIA PROMEDIO.....	94
CONCLUSIONES GENERALES	108
REFERENCIAS	111
ANEXO 1:.....	A
ESTUDIO DE SOMBRAS.....	A
ANEXO 2:.....	B
CODIGO DEL SOFTWARE IMPLEMENTADO EN EL SISTEMA DE CONTROL.....	B
ANEXO 3:.....	C
DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO EN FRITZING	C
ANEXO 4:.....	D
PLANOS DE DISEÑO DEL SEGUIDOR SOLAR.....	D
ANEXO 5:.....	E
COSTO DE MATERIALES	E
Y CONSTRUCCIÓN	E
ANEXO 6:.....	F
MANUAL DE MANTENIMIENTO	F
ANEXO 7:.....	G
DATOS DE GENERACIÓN OBTENIDA ENTRE EL 12 Y EL 18 DE JUNIO DE 2016.....	G
ANEXO 8:.....	H
HOJA DE DATOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SHARP	H
ANEXO 9:.....	I
HOJA DE DATOS TECNICOS SEGUIDOR SOLAR COMERCIAL.....	I

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Diferentes variaciones del flujo solar (FARROÑAY, 2000).....	9
Ilustración 2: Representación gráfica de la radiación global proveniente del sol	10
Ilustración 3: Movimientos relativos de la tierra alrededor del sol.....	12
Ilustración 4: Representación gráfica de las coordenadas celestes.	13
Ilustración 5: Cartas solares, carta estereográfica y carta cilíndrica respectivamente.	14
Ilustración 6: Páneles fotovoltaicos amorfos	16
Ilustración 7: Celdas Fotovoltaica Policristalina y Monocristalinas respectivamente	16

Ilustración 8: Seguidor solar de eje inclinado	18
Ilustración 9: Ubicación Geográfica del Edificio de Potencia, Coordenadas 13°43'15.8"N 89°12'00.2"W	20
Ilustración 10: Sitio elegido posterior al estudio de sombras.	21
Ilustración 11: Rango del ángulo hora solar ω deseado.....	26
Ilustración 12: Flujograma para desarrollo de Software.	28
Ilustración 13: Redboard de Sparkfun.....	29
Ilustración 14: Modulo GPS	30
Ilustración 15: Conexiones del módulo de GPS.....	32
Ilustración 16: Módulo MMA8452Q acelerómetro SPARKFUN.....	33
Ilustración 17: Modulo convertidor de nivel de voltaje.....	34
Ilustración 18: Representación gráfica de los niveles lógicos.....	35
Ilustración 19: Diagrama de conexiones del acelerómetro, convertidor lógico y Arduino..	35
Ilustración 20: Acelerómetro en posición horizontal sin ninguna inclinación experimentado 1g de aceleración en el plano Z.	37
Ilustración 21: Vista perpendicular al plano X, con componentes de la fuerza de gravedad	37
Ilustración 22: Diagrama vectorial para el cálculo del ángulo de inclinación plano XZ.....	38
Ilustración 23: Diagrama vectorial para el cálculo del ángulo de inclinación plano YZ.....	39
Ilustración 24: Modulo de relevadores	39
Ilustración 25: Actuador lineal eléctrico.....	40
Ilustración 26: Diseño conceptual del circuito de control automático.....	41
Ilustración 27: Circuito PCB diseñado en fritzing.....	42
Ilustración 28: Pistas de la cara inferior de la placa	43
Ilustración 29: Impresión de la parte superior de la placa	43
Ilustración 30: Pines para colocar sensores.....	44
Ilustración 31: Elementos desmontables.....	44
Ilustración 32: RedBoard (Arduino) fijado a la base.....	45
Ilustración 33: Etapas conectadas.....	45
Ilustración 34: Sistema de control automático finalizado	46
Ilustración 35: Costado Este del Edificio de Potencia.....	47
Ilustración 36: Ubicación exacta, costado Este del Edificio de Potencia	47
Ilustración 37: $\omega=20^\circ$ para el actuador lineal retraído	48
Ilustración 38: Se busca $\omega=160^\circ$ para el actuador lineal extendido.....	49
Ilustración 39: Sistema de 3 columnas de soporte.....	51
Ilustración 40: Medidas a implementar calculadas por Pitágoras.....	52
Ilustración 41: Posición de izquierda a derecha columna A, columna B y columna C.	52
Ilustración 42: Tipo de soporte adecuado para el actuador lineal y brazo de palanca en eje.....	53
Ilustración 43: Fijación por pernos	54
Ilustración 44: Apoyo y fijación con pernos de columnas.....	54
Ilustración 45: Diseño final del eje.....	55
Ilustración 46: diseño de marco a implementar	56
Ilustración 47: Soporte de sistema del control automático	56
Ilustración 48: Marco soporte de los paneles solares.....	57
Ilustración 49: Eje pre ensamblado con el marco soporte de los paneles.....	57
Ilustración 50: Instalación de las columnas de la estructura.....	58
Ilustración 51: : Diseño utilizado para fijar eje y marco con los soportes	58
Ilustración 52: Estructura fijada al techo de Edificio de Potencia.....	59
Ilustración 53: Diagrama de conexiones del sistema de control automático.....	59
Ilustración 54: Sistema de control fijado en el eje.....	60

Ilustración 55: Sistema de control automático y etapa de potencia.	60
Ilustración 56: Diagrama de conexión general del sistema fotovoltaico con seguimiento solar.....	61
Ilustración 57: instalación subterránea entre los edificios.....	62
Ilustración 58: Operación real del seguidor solar.	63
Ilustración 59: Diagrama de distancia mínima entre columnas y filas de seguidores solares.	65
Ilustración 60: Diagrama de separación entre filas de seguidores solares.	66
Ilustración 61: Diagrama de análisis de separación mínima entre filas seguidores solares.	67
Ilustración 62: Distancia mínima de separación entre filas.	68
Ilustración 63: Diagrama de separación entre columnas de seguidores solares.	69
Ilustración 64: Diagrama para el cálculo de la separación mínima entre columnas de seguidores solares.....	70
Ilustración 65: Distancia mínima de separación entre columnas.	71
Ilustración 66: Punto crítico inferior C.	72
Ilustración 67: Calculo de ángulo de elevación del punto inferior C.....	73
Ilustración 68: Angulo azimut del punto inferior C.	73
Ilustración 69: Representación del punto C en la carta solar.....	74
Ilustración 70: Punto crítico B con respecto a J y K	75
Ilustración 71: Elevación de los puntos J y K con respecto del punto B.	75
Ilustración 72: Azimut del punto B hacia los puntos J y K.	76
Ilustración 73: Representación del punto B en la carta solar.....	77
Ilustración 74: Punto crítico A con respecto a J y K	77
Ilustración 75: Azimut del punto A respecto al punto J y K.....	78
Ilustración 76: Elevación de punto A con respecto a los puntos J y K.	78
Ilustración 77: Representación del punto A en la carta solar.....	79
Ilustración 78: Representación de los puntos A, B y C, en la carta solar.....	80
Ilustración 79: Distribución de seguidores a evaluar en un simulador.	81
Ilustración 80: Simulación de sombras mutuas en la mañana del 21 de diciembre.	82
Ilustración 81: Simulación de sombras mutuas por la tarde del 21 de diciembre.....	82
Ilustración 82: Carta solar cilíndrica, obtenida mediante software de simulación.	83
Ilustración 83: Áreas correspondientes al terreno y generado fotovoltaico.....	84
Ilustración 84: Capacidad Instalada 4 Páneles 700 watts.	88
Ilustración 85: Sunny Portal WebBox.....	89
Ilustración 86: Inicio de portal web.....	89
Ilustración 87: Opción Análisis de Sunny portal.	90
Ilustración 88: Opción Análisis seleccionada, grafica producción diaria de todo sistema.	90
Ilustración 89: Opción Selección de equipo.	91
Ilustración 90: Selección de inversor C.	91
Ilustración 91: Producción el inverso C en un día.	92
Ilustración 92: Opción Seleccionar todos los equipos.	92
Ilustración 93: Producción individual de cada inversor.	93
Ilustración 94: Símbolo Opción de descarga.....	93
Ilustración 95: Opción de descarga.....	94
Ilustración 96: Descarga de archivo *.csv	94
Ilustración 97: Sistemas a comparar.....	95
Ilustración 98: Ubicación escuela ingeniería eléctrica.	95
Ilustración 99: Sistema fijo en techo de la escuela de ingeniería eléctrica	96
Ilustración 100: Grafica de mejor generación entre las fechas señaladas.....	96
Ilustración 101: Índice de menor Producción	100

Ilustración 102: Graficas de generación de la semana muestreada.	103
Ilustración 103: Aporte en la generación total por cada inversor.	104
Ilustración 104: Comparación de la generación semanal entre los inversores B y C.....	105
Ilustración 105: Generación Semanal de los inversores A y C	106

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Datos de azimut y elevación para punto inferior C.	74
Tabla 2: Datos de azimut y elevación para punto inferior B.....	76
Tabla 3: Datos de azimut y elevación del punto superior A.	79
Tabla 4: Comparación de características técnicas seguidor comercial y seguidor implementado.	87
Tabla 5: Promedio de generación más alto, 13 de junio del 2016.	98
Tabla 6: Generación promedio en términos económicos, Inversor C.	99
Tabla 7: Generación promedio en términos económicos, Inversor B.	99
Tabla 8: Generación promedio en términos económicos, Inversor A.	100
Tabla 9: Datos promedios del 18 de junio	101
Tabla 10: Valores totales de la generación promedio por cada inversor.	104

CAPÍTULO 1: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado celda fotovoltaica.

1.1. RADIACION SOLAR

La energía que emite el sol o radiación solar, que recibe la superficie terrestre, es la fuente de casi todos los fenómenos meteorológicos y de sus variaciones en el curso del día y del año.

La radiación es un proceso físico, por medio del cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas, en línea recta, sin intervención de una materia intermedia, a 300.000 km por segundo. La radiación solar está formada por rayos de distinta longitud de onda: (FARROÑAY, 2000)

- **Los rayos ultravioletas:** no son visibles y tienen muy pequeña longitud de onda.
- **Los rayos luminosos:** son los únicos visibles; su longitud de onda corresponde al violeta y al rojo, respectivamente, ya que varía entre 0,36 y 0,76 micrones.
- **Los rayos térmicos o calóricos:** tampoco son visibles y su longitud de onda es mayor de 0,76 micrones. Son los rayos infrarrojos.

VARIACIONES DE LA RADIACION SOLAR

No toda la radiación solar incidente en la atmósfera llega a la superficie terrestre, esto se debe a que la capa gaseosa actúa sobre ella produciendo distintos fenómenos:

- **Absorción:** el flujo de radiación penetra en la atmósfera y transformada en energía térmica, aumenta su temperatura y la hace irradiar calor hacia la Tierra y el espacio interplanetario. Las radiaciones térmicas de la atmósfera que alcanzan la superficie terrestre atenúan el enfriamiento de la misma, especialmente durante la noche; este fenómeno se conoce como amparo térmico de la atmósfera.
- **Reflexión:** se produce cuando parte de la radiación solar al incidir sobre un cuerpo es desviada o devuelta, sin modificar sus caracteres: la atmósfera refleja la radiación que incide sobre gases y partículas sólidas en suspensión; la que llega a la superficie de la tierra en parte se absorbe y en parte se refleja.
- **Dispersión:** fenómeno similar a la reflexión, pero la radiación modifica sus caracteres al ser devuelta o desviada. En la alta atmósfera la radiación solar es dispersada por las moléculas de los gases del aire: los rayos luminosos de onda más corta (violeta y azul) son más fácilmente dispersados, dando el color azulado al cielo. Los demás, (rojo, anaranjado, amarillo), llegan casi directamente al suelo, sin dispersarse, se dispersan cuando atraviesan capas atmosféricas de espesor considerable, como ocurre en los crepúsculos: en estos casos el cielo presenta un color que va del amarillo al rojo intenso.

La reflexión y dispersión de los rayos solares dan como resultado la radiación solar difusa a esta corresponden las primeras luces antes de la salida del Sol y gracias a su existencia el pasaje del día a la noche y viceversa se hace en forma gradual.

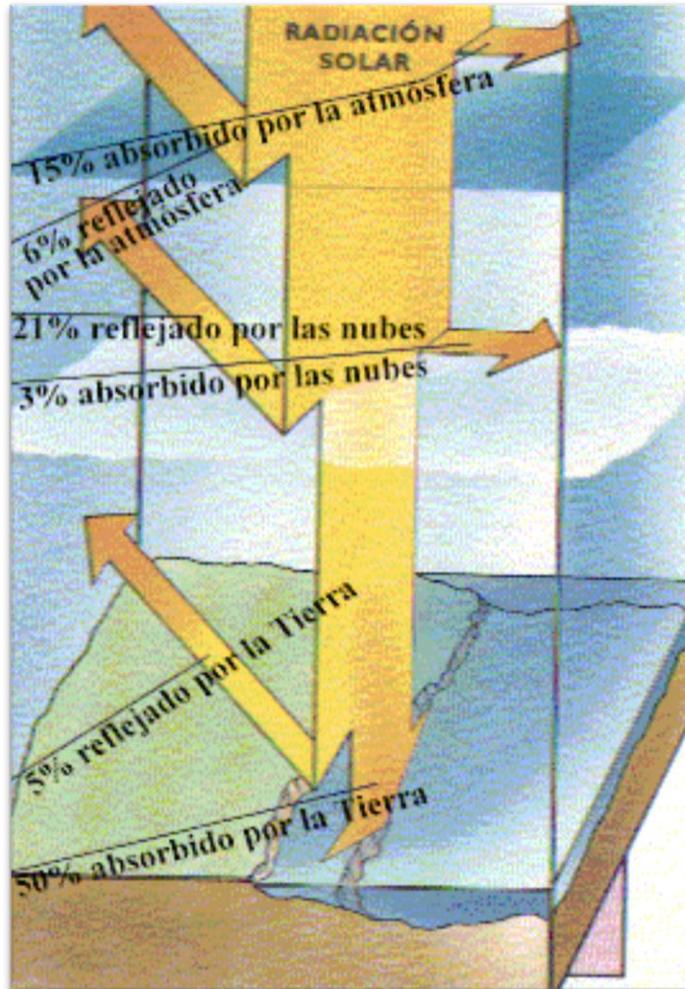


Ilustración 1: Diferentes variaciones del flujo solar (FARROÑAY, 2000)

TIPOS DE RADIACION SOLAR

La radiación global directa, procedente directamente del sol, es reflejada por la presencia de las nubes y el vapor de agua, y a su vez dispersada por las moléculas de agua, el polvo en suspensión etc. Por lo tanto la radiación solar que llega a una superficie puede dividirse en tres partes:

- **RADIACION DIRECTA:** Formada por los rayos procedentes del sol directamente.

- **RADIACION DIFUSA:** Aquella procedente de toda la bóveda celeste excepto la que llega del sol. Originada por los efectos de dispersión mencionados anteriormente.
- **RADIACION REFLEJADA:** Procedente del suelo, debida a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre él. Depende muy directamente de la naturaleza del suelo.

La suma de las tres radiaciones anteriores, da lugar a la radiación global.

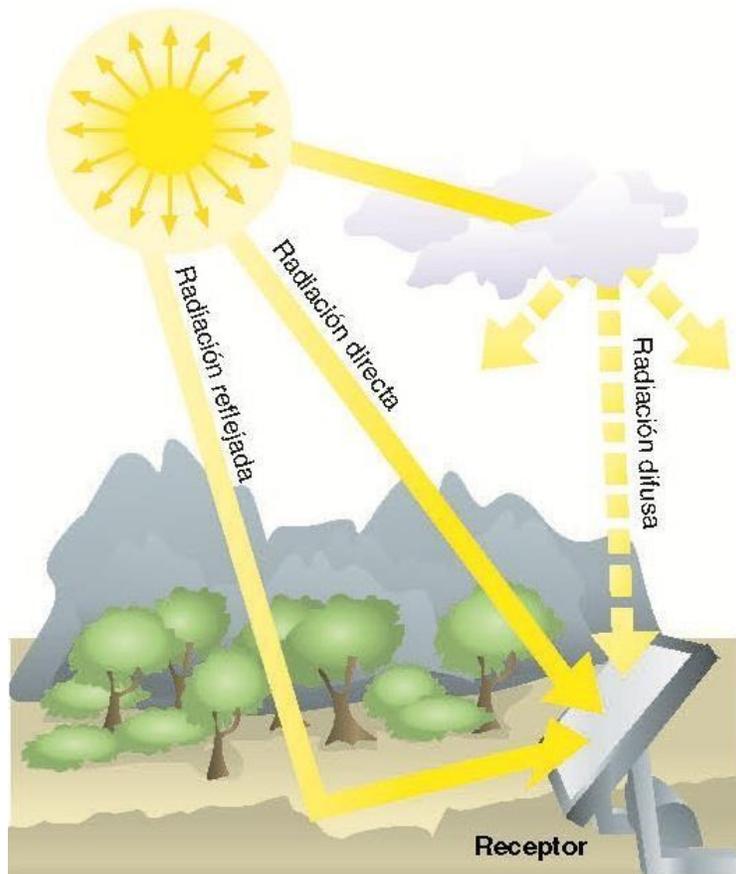


Ilustración 2: Representación gráfica de la radiación global proveniente del sol

1.2. LOS MOVIMIENTOS RELATIVOS ENTRE EL SOL Y LA TIERRA

Ahora que se conoce sobre los tipos de radiación solar y para tener una comprensión de lo que un seguidor solar realiza, se debe conocer también el movimiento al que está sometido, por encontrarse en un planeta que no está inmóvil con respecto al sol. Se tomará en cuenta para el estudio, aquellos movimientos en los que se ve envuelto el planeta, La Tierra, con respecto a nuestra estrella más cercana, el Sol, y del cual se generará energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico.

MOVIMIENTOS RELATIVOS DE LA TIERRA RESPECTO AL SOL.

La tierra tiene un movimiento de rotación en torno a un eje y otro de translación de forma elíptica alrededor del sol. El primero de estos movimientos hace que un punto sobre ella se vea iluminado de forma periódica por el sol, originando el día y la noche, el segundo movimiento hace que los tiempos de exposición al sol sean variables originando las estaciones. Esta variación en los tiempos de exposición es debido a que el eje de rotación de la tierra permanece prácticamente siempre paralelo a sí mismo con un ángulo de $66^{\circ} 33'$, respecto al plano de la elíptica (plano que contiene a la trayectoria de la tierra).

A continuación se presenta en un esquema la elíptica que forma la tierra alrededor del sol:

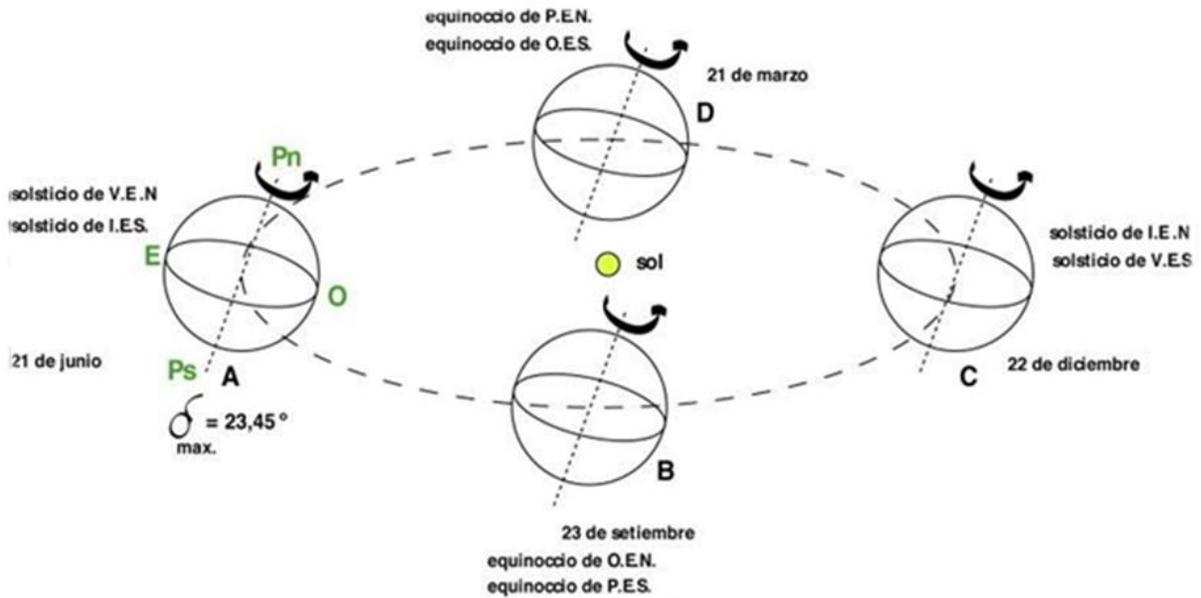


Ilustración 3: Movimientos relativos de la tierra alrededor del sol.

En la ilustración anterior se muestra la declinación σ ($23,45^\circ$), el cual es el ángulo formado por la línea que une los centros de la tierra y el sol y su proyección sobre el ecuador.

Cuando la tierra está en "A", la declinación tiene su valor máximo positivo disminuyendo hasta ser igual a 0 en B (23 de septiembre). En C la declinación toma el valor de $-23^\circ 27'$. Y va aumentando hasta anularse en D.

Los equinoccios, son los momentos del año en que el sol está situado en el plano del ecuador terrestre. Ese día y para un observador en el ecuador terrestre, el sol alcanza el cenit (el punto más alto en el cielo con relación al observador, que se encuentra justo sobre su cabeza). El paralelo de declinación del sol y el ecuador celeste entonces coinciden.

Ocurre dos veces por año: el 20 o 21 de marzo y el 22 o 23 de septiembre de cada año, épocas en que los dos polos terrestres se encuentran a una misma distancia del sol, así la luz se proyecta por igual en ambos hemisferios.

Los solsticios, son los momentos del año en los que el Sol alcanza su mayor o

menor altura aparente en el cielo, y la duración del día o de la noche son las máximas del año, respectivamente. Astronómicamente, los solsticios son los momentos en los que el Sol alcanza la máxima declinación norte ($+23^{\circ} 27'$) o sur ($-23^{\circ} 27'$) con respecto al ecuador terrestre.

En el solsticio de verano del hemisferio norte el Sol alcanza el cenit al mediodía sobre el trópico de Cáncer y en el solsticio de invierno alcanza el cenit al mediodía sobre el trópico de Capricornio. Ocurre dos veces por año: el 20 o el 21 de junio y el 21 o el 22 de diciembre de cada año.

COORDENADAS CELESTES

Para finalizar el estudio de los movimientos del sol, se considera que el sol realiza su recorrido por una bóveda celeste, de la cual los seres humanos son el centro. Los puntos singulares de la bóveda o hemisferio celeste serían el punto más alto o Cenit (Nadir sería el punto opuesto), y el plano del horizonte con las orientaciones principales (N, S, E y W). Las coordenadas celestes permiten localizar cualquier punto del hemisferio por su altura, h , sobre el horizonte y su azimut, Z , o desviación al Este u Oeste desde el Sur.

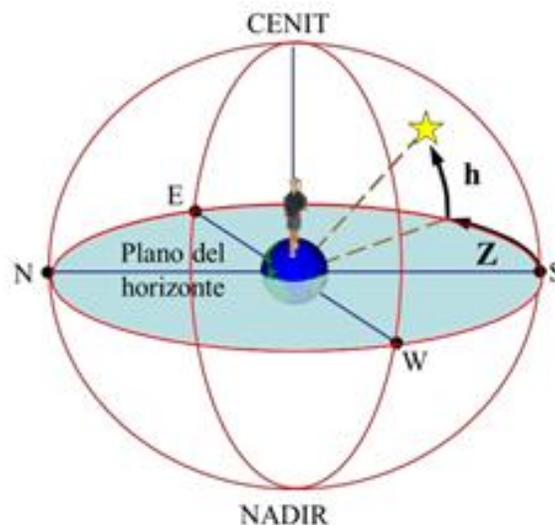


Ilustración 4: Representación gráfica de las coordenadas celestes.

Como se menciona anteriormente la Tierra, además de girar sobre su propio eje denotando así los días y las noches, desde el Este en el amanecer hasta el oeste en el anochecer.

En las latitudes cercanas al ecuador la duración del día y la noche son relativamente iguales durante todo el año, con un promedio de horas de sol 11 horas aproximadamente, pero el seguimiento solar aprovechable en promedio es de 8 horas aproximadamente criterio que se deberá tener en cuenta al momento de diseñar el seguidor solar.

1.3. CARTAS SOLARES

Es posible estimar la proyección solar, su elevación y posición, de acuerdo a gráficos geométricos, por medio de los cuales, existen curvas establecidas correspondientes a diferentes fechas importantes a lo largo del año, existen dos tipos de cartas solares, la carta estereográfica y la cilíndrica, las cuales se muestran a continuación.

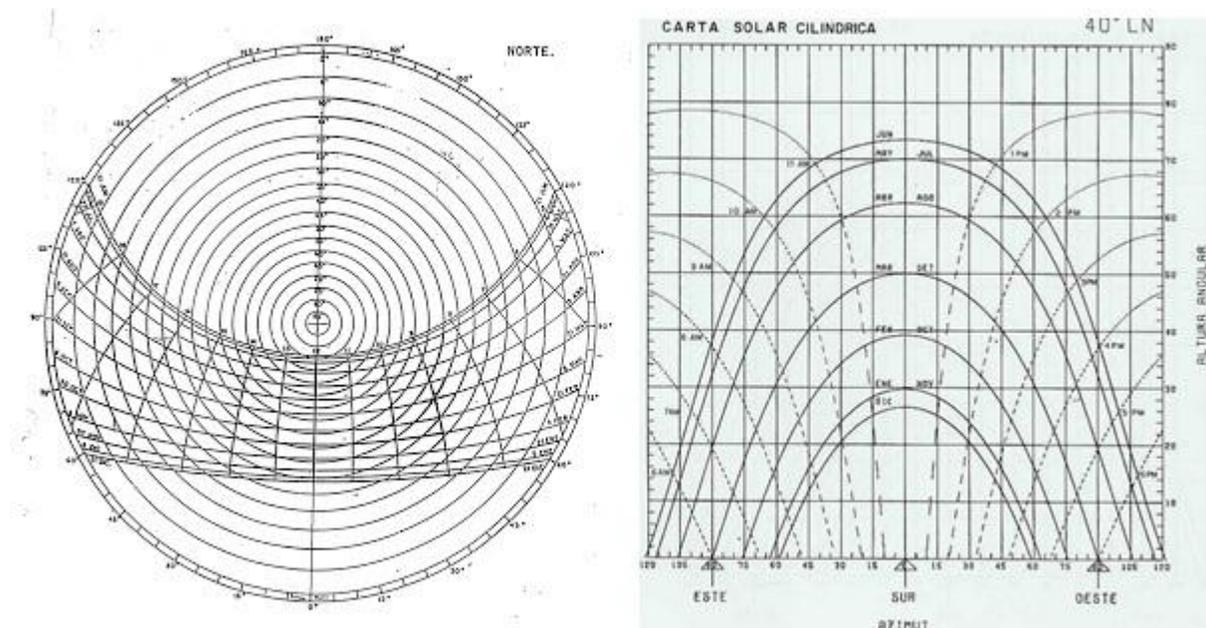


Ilustración 5: Cartas solares, carta estereográfica y carta cilíndrica respectivamente.

1.4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos son plantas generadoras de electricidad que sirven para generar energía eléctrica por medio de la radiación proveniente del sol. Están compuestos principalmente por paneles fotovoltaicos e inversores entre otros elementos, dependiendo del tipo de sistema, sin embargo, todos los sistemas fotovoltaicos tienen en común que requieren de módulos fotovoltaicos para convertir la radiación del sol en energía eléctrica.

MÓDULOS O PÁNELES FOTOVOLTAICOS.

Están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico. Una celda solar o celda fotovoltaica como se mencionó, es un instrumento que genera electricidad directamente de la luz visible, debido al efecto fotovoltaico. Para poder generar energía útil, se deben interconectar un cierto número de celdas para formar un panel solar, también conocido como un módulo fotovoltaico.

TIPOS DE PÁNELES FOTOVOLTAICOS.

PÁNELES FOTOVOLTAICOS AMORFOS.

Son paneles solares generalmente pequeños, como en las calculadoras y lámparas de jardín, aunque cada vez son más usadas para paneles de mayor tamaño, este tipo de paneles está conformado de una película de Silicón depositada sobre otra lámina de materiales como el acero por esto la eficiencia de los paneles solares de celdas amorfas no es tan alta como la de aquellos paneles conformados por celdas solares individuales.



Ilustración 6: Páneles fotovoltaicos amorfos

PÁNELES FOTOVOLTAICOS CRISTALINOS.

Las celdas solares cristalinas se interconectan unas con otras para formar páneles solares. Cada celda fotovoltaica produce un voltaje individual de 0.5 a 0.6 voltios, se requieren 36 celdas solares o celdas fotovoltaicas para producir un circuito abierto cerca de 20 voltios, el cual es suficiente para cargar una batería de 12 voltios.

Las celdas solares monocristalinas, se cortan de una sola pieza de cristal de silicón, mientras que las celdas solares policristalinas se hacen a base de múltiples cristales.

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



Ilustración 7: Celdas Fotovoltaica Policristalina y Monocristalinas respectivamente

1.5. SEGUIDORES SOLARES O TRACKER SOLAR

Un seguidor solar es un dispositivo mecánico capaz de orientar los paneles solares de forma que éstos permanezcan aproximadamente perpendiculares a los rayos solares, siguiendo al sol desde el Este en la alborada hasta el Oeste en la puesta o también durante todo el año siguiendo la elevación del sol. Los seguidores solares son usados en todas las tecnologías de seguimiento solar: energía solar fotovoltaica y energía solar térmica.

TIPOS DE SEGUIDORES SOLARES.

Existen dos tipos básicos de seguidores solares. Los seguidores solares de un eje solamente rotan alrededor de un eje, moviéndose a lo largo del azimut de este a oeste a lo largo del día. Los seguidores de doble eje se mueven no solamente a lo largo del azimut fijo sino que alteran el ángulo de elevación.

SEGUIDORES SOLARES DE UN EJE.

Estos seguidores de un eje son la forma más directa de mejorar el rendimiento potencial de una instalación solar residencial y comercial, Hay varios tipos de seguidores de un solo eje, que se explica brevemente a continuación.

UN SOLO EJE HORIZONTAL.

Este tipo de seguidor tiene el eje horizontal respecto al suelo. En este caso, el eje horizontal está orientado Norte-Sur, y a lo largo del día los paneles horizontales girarán sobre este eje, siguiendo el movimiento aparente del Sol. Este tipo de seguidor es aceptable en latitudes cercanas al ecuador.

UN SOLO EJE VERTICAL.

En este caso el eje está vertical respecto al suelo. En latitudes lejanas al ecuador son recomendables este tipo de seguidores. Los paneles suelen estar orientados con un ángulo respecto al eje de rotación, y cuando giran forman un cono alrededor del eje.

UN SOLO EJE INCLINADO.

Los seguidores de un solo eje que no sea ni vertical ni horizontal, es un seguidor de eje inclinado. Los paneles están inclinados con la misma inclinación del eje, y cuando giran forman un cilindro alrededor de este eje. Una variación de este tipo de seguidor es la que tiene la inclinación igual a la latitud donde se encuentra la instalación.

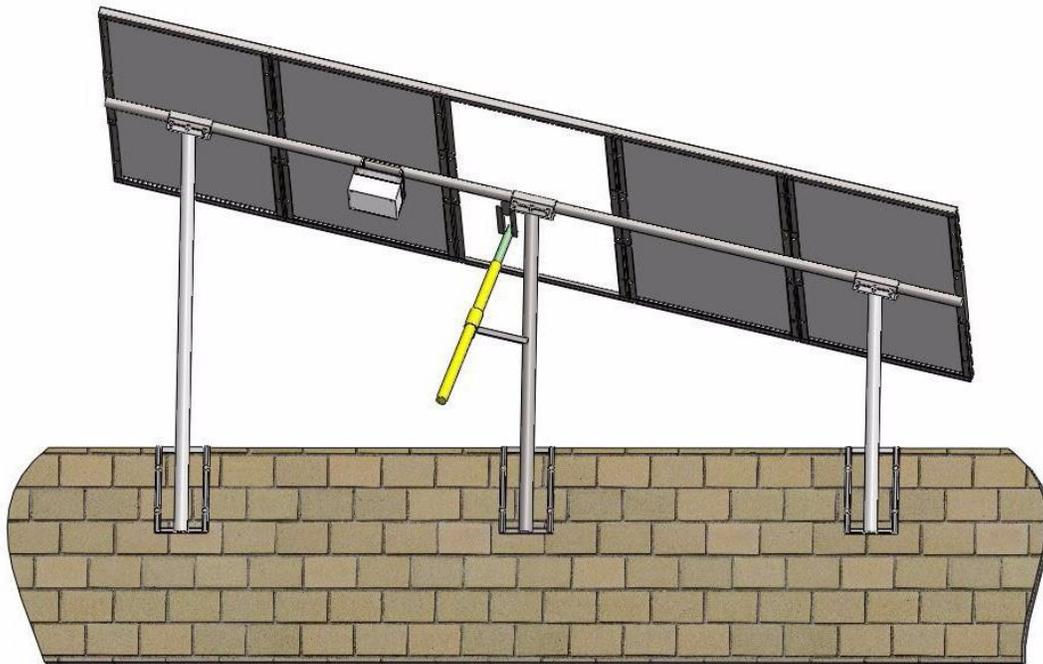


Ilustración 8: Seguidor solar de eje inclinado

SEGUIDORES SOLARES DE DOBLE EJE.

Los seguidores de doble eje, tienen dos grados de libertad, es decir, dos ejes de rotación. Estos ejes están típicamente perpendiculares el uno del otro. El eje primario es el que está fijo respecto a La Tierra, y el otro eje, que está referenciado al eje primario se llama eje secundario. Los seguidores de dos ejes más comunes son:

SEGUIDOR DE DOS EJES DE INCLINACIÓN.

Este tipo de seguidores tienen su eje primario horizontal respecto a la tierra. El eje secundario es perpendicular al primario. Uno de los ejes permite orientar al panel en su posición Norte-Sur y el otro en la posición Este-Oeste que se encuentre el Sol en el cielo.

SEGUIDOR DE ACIMUT-ALTITUD.

Este tipo de seguidor tiene su eje primario vertical respecto al suelo. El eje secundario es perpendicular al primario. Este seguidor de dos ejes es el más implementado debido a su sencillez en la estructura, además que no requiere estar a gran altura por sobre el suelo; esto es importante en el caso de tratarse de grandes instalaciones. Este tipo de seguidor ubica a los paneles solares frente al Sol girando alrededor de su eje vertical un ángulo conocido como Acimut, y elevando la inclinación de los paneles a la Altitud a la que se encuentra el Sol.

SEGUIDORES SOLARES SEGÚN SU ALGORITMO DE SEGUIMIENTO

SEGUIDORES POR PUNTO LUMINOSO.

Este tipo de seguidores poseen un sensor que les indica cual es el punto del cielo más luminoso y al que deben apuntar.

SEGUIDORES CON PROGRAMACIÓN ASTRONÓMICA.

Se trata de seguidores que mediante un programa y de acuerdo con las ecuaciones solares conocen en qué punto debería estar el sol a cada hora y apuntan a dicha posición.

CAPÍTULO 2: CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.

Para llevar a cabo el diseño del seguidor solar, se debe identificar la ubicación geográfica donde será instalado, en este caso se decidió por instalarse en El Edificio de Potencia, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, de la Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.



Ilustración 9: Ubicación Geográfica del Edificio de Potencia, Coordenadas 13°43'15.8"N 89°12'00.2"W

Establecido el sitio para instalar el sistema fotovoltaico con seguimiento solar, se procede a evaluar la orientación e inclinación óptima, así como el estudio de sombras correspondiente al lugar.

2.1. ESTUDIO DE SOMBRAS.

Para poder determinar la mejor ubicación, se realizó un estudio de sombras detallado véase Anexo 1, por todo el techo del Edificio de Potencia, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, ya que se deben evitar las sombras sobre los paneles solares pues esto limita la producción de energía y puede acortar la vida útil de los

páneos.

Como resultado del estudio de sombras, se obtuvo que la mejor ubicación para la instalación del seguidor solar es el costado noreste.



Ilustración 10: Sitio elegido posterior al estudio de sombras.

2.1. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Al finalizar el estudio sobre los movimientos del sol, surgen dudas e interrogante, acerca de cómo conseguir la mejor captación de luz y sacar el máximo rendimiento del sistema fotovoltaico, por lo que es importante que se encuentren bien orientados y con el grado de inclinación más adecuado a la ubicación geográfica de la instalación fotovoltaica.

Los sistemas fotovoltaicos necesitan de una adecuada instalación para esto se deberá tener en cuenta la ubicación geográfica y la variante entre los hemisferios norte y sur de la tierra al instalar un panel solar, ya que en el hemisferio norte puede ser de mañana, mientras que en el sur está anocheciendo.

Por esta razón se recomienda que los módulos fotovoltaicos en el hemisferio norte, que comprende a Norteamérica, el Ártico, parte de África, Asia y todo país arriba de la línea del ecuador, estén orientados hacia el sur. Mientras que en las regiones de Sudamérica, el sur de África, Australia, Oceanía y todo país por debajo de la línea del ecuador, que son parte del hemisferio sur, se recomienda que los paneles solares se encuentren orientados al norte.

Además de la orientación es necesario establecer el ángulo de inclinación del sistema fotovoltaico. Existen diversas formas de calcular la inclinación óptima de los paneles solares, uno de los más utilizados es el método de la inclinación óptima anual para conseguir la mayor radiación solar anual posible sobre un captador solar. Este se basa en el análisis estadístico de la radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, por lo que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

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

Siendo:

β : ángulo de inclinación óptima (grados)

$|\phi|$: latitud del lugar, sin signo (grados)

(LAMIGUEIRO, 2013)

Las coordenadas geográficas promedio del lugar de instalación son; 13°43'15.8"N 89°12'00.2"W, de la Ec.1 se sustituye la latitud promedio de El Salvador 13.4° aproximadamente.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot 13,4^\circ = 13,01^\circ \quad \text{Ec. (2)}$$

Debido a que nuestra ubicación geográfica es El Salvador, Centroamérica, en el hemisferio Norte, con un ángulo de inclinación óptima de 13°, por lo se debe orientar los paneles solares hacia el Sur, asegurando así la mayor radiación solar durante todo el día pero también durante el año.

Esto se debe a que al encontrarse en el hemisferio Norte y debido al ángulo de inclinación de la tierra hacia el sol, el máximo de radiación solar es hacia la línea ecuatorial o hacia el Sur. Estando en el hemisferio Sur es al revés como se mencionó anteriormente y se inclinan los paneles hacia el Norte.

La elección de una buena orientación e inclinación es cuestión de geometría y de considerar el movimiento del sol en el cielo es Este a Oeste y se debe de dirigir los paneles fotovoltaicos en un ángulo perpendicular al sol en su posición al medio día e un sistema fijo, y el objetivo de un sistema con seguimiento es lo lograr que los rayos del sol estén siempre perpendicular a los paneles a lo largo del día y así aprovechar un máximo de sol.

Para la implementación del seguidor solar, cuyo objetivo es que los rayos de luz incidan sobre el panel solar de la manera más perpendicular posible para aprovecharse al máximo y para que no haya tantos rayos reflejados por el cristal que cubre estos paneles, siendo la orientación hacia el Sur y una inclinación de 13° o latitud promedio de El Salvador.

2.2. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO POR HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE PARA EL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR.

Como se mencionó anteriormente existe dos tipos de seguidores solares según el algoritmo de seguimiento; de punto luminoso el cual posee un sensor que les indica cual es el punto del cielo más luminoso y al que deben apuntar y los seguidores con programación astronómica, es decir, se trata de seguidores que mediante un programa y de acuerdo con las ecuaciones solares conocen en qué punto debería estar el sol a cada hora y apuntan a dicha posición, este último será el tipo de seguidor a implementarse .

Como el seguidor solar a implementar es astronómico a base de ecuaciones matemáticas a continuación se presentan y se desarrolla el algoritmo matemático y lógica de programación del sistema de control automático para luego seleccionar el hardware a utilizar en el sistema de control.

2.3. DESARROLLO DE ALGORITMO MATEMATICO Y LOGICA DE PROGRAMACION DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.

ECUACIÓN DEL TIEMPO

El movimiento aparente del Sol no es uniforme y la duración del día solar no es constante a lo largo del año. La diferencia entre el movimiento aparente del Sol y el movimiento medio se denomina ecuación del tiempo (*ET*).

$$ET = 229.18 * (0.000075 + 0.001868 * \cos(x) - 0.032077 * \text{sen}(x) - 0.014615 * \cos(2 * x) - 0.040849 * \text{sen}(2 * x)) \quad \text{Ec. (3)}$$

(NOAA)

Expresión da la ecuación del tiempo en minutos.

Donde *x* se define en función del número de día *N* y la hora *h*.

$$x = \frac{2\pi}{365} * (N - 1 + \frac{h - 12}{24}) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

N= # Día del Año.

h= Hora del Día.

HORA SOLAR VERDADERA.

La hora solar se fundamenta en que la Tierra da una vuelta completa en 24 horas y que a las 12:00 h el Sol se encuentra exactamente sobre el observador. La hora solar verdadera se calcula mediante las dos ecuaciones siguientes:

$$TimeOffset = ET - 4 * longitud + 60 * timezone \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

ET, tiempo en minutos.

Longitud, es la longitud del lugar en grados.

Timezone, tiempo en horas desde UTC (Tiempo Universal Coordinado).

La hora solar verdadera HSV, en minutos, se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$HSV = hr * 60 + mn + seg / 60 + TimeOffset \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

hr es la hora (0-23),
mn es el minuto (0-60) y
seg es el segundo (0-60)

ÁNGULO DE HORA SOLAR (ω).

El ángulo horario es cero al mediodía (cuando el Sol alcanza la máxima altura en el cielo) y negativo para la mañana, positivos en la tarde, el ángulo horario se incrementa 15 grados por cada hora y se calcula el ángulo de hora solar (ω), en grados.

$$\omega = (HSV/4) - 180 \quad \text{Ec. (7)}$$

2.4. FLUJOGRAMA PARA DESARROLLO DE SOFTWARE.

Con las ecuaciones definidas a utilizar en el algoritmo aritmético para el seguimiento solar, el siguiente pasó en el desarrollo del sistema de control automático por hardware y software libre para el sistema de seguimiento solar.

Se construye el flujograma que muestra el funcionamiento lógico del software, a continuación se ilustra el funcionamiento de este:

Como primer paso se inicializan los periféricos que conforman el sistema de control, y se verifica e inicia el funcionamiento del GPS (Sistema de Posicionamiento Global), del cual se adquiere la lectura de la hora y fecha, esta lectura se procesa para calcular la variable x de la Ec. 4 y la ecuación del tiempo, Ec.3.

Desarrollada la ecuación del tiempo, Ec. 3, se lee la posición geográfica y se obtienen las coordenadas (Latitud y Longitud) del lugar por medio del GPS, y poder calcular él *TimeOffset* o cálculo de desfase de tiempo entre la hora local y hora solar, Ec. 5.

Una vez se obtiene él *TimeOffset* se procede con el cálculo de la hora solar verdadera *HSV* en minutos, se obtiene mediante la Ec. 6, que es necesaria para calcular finalmente ω , el ángulo de hora solar de la Ec. 7, que permite determinar la posición del sol referente a la ubicación geográfica, con el valor de ángulo solar que varía con respecto al tiempo.

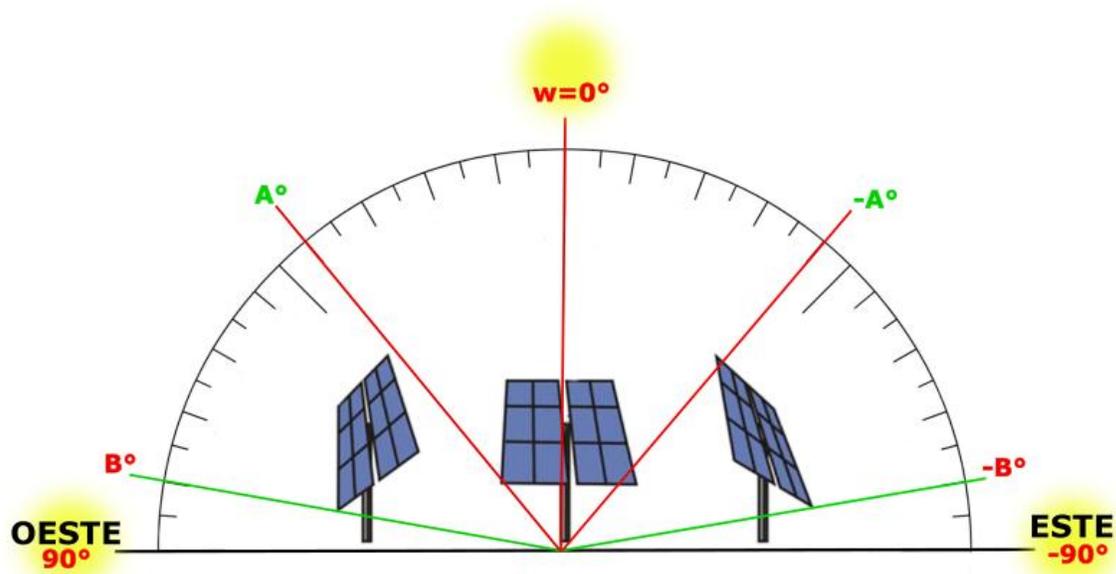


Ilustración 11: Rango del ángulo hora solar ω deseado.

Ahora que se sabe la posición del sol a lo largo del día, se debe comparar si el ω se encuentra dentro del rango de movimiento deseado, se ha establecido dos rangos de movimiento real el primero se denominara GradosMovimiento, que serán los que seguidor solar tendrá, este rango se encuentra entre $-A^\circ$ y A° , y el rango de movimiento ideal se conocerá como GradosTrabajo entre $-B^\circ$ y B° , se eligen dos rangos de movimiento ya se a la momento de construir el seguidor solar surgirán dificultades que evitaran cumplir con el rango para el cual fue diseñado.

Por lo tanto el seguimiento solar solo se realiza dentro del rango real de movimiento, entonces; ¿Por qué establecer dos rangos de movimientos, real (GradosMovimiento) e ideal (GradosTrabajo)?

Es bastante simple ya que dentro el rango de movimiento ideal se ha considera que los rayos solares son más aprovechables, y como se desea maximizar la generación a lo largo del día, entonces las sentencias que deberá ejecutar el software con respecto a ω serán:

- Cuando ω sea menor que $-B^\circ$ y mayor que B° , el seguidor solar debe posicionarse perpendicular a $\omega=0^\circ$, es decir, el seguidor solar deberá estar en posición horizontal.
- Si ω se encuentra entre $-B^\circ$ y $-A^\circ$, el seguidor solar deberá posicionarse en $-A^\circ$ hasta que ω sea mayor o igual que $-A^\circ$.
- Si ω se encuentra entre A° y B° , el seguidor solar deberá tener la posición de A° hasta que ω sea mayor que B° .
- Si ω se encuentra entre $-A^\circ$ y A° , se realiza el seguimiento solar hasta no sea válida.

Una vez ω cumpla una las sentencias se debe hacer el seguimiento solar, posicionando el sistema por medio de un actuador lineal de manera que los rayos del sol estén perpendiculares a la superficie de los paneles fotovoltaicos la mayor parte del día, para terminar el sistema de control y que el seguidor solar sea totalmente autónomo se controlara el movimiento del sistema a través de un inclinometro que leerá la posición en la que se encuentra el sistema, e igualara la posición con respecto a ω , el ángulo de hora solar, el sistema se detendrá hasta que el ángulo de hora solar sea igual al ángulo de inclinación del seguidor solar durante todo el día, el sistema repetirá el cálculo constantemente para determinar la posición del sol en el transcurso del día.

A continuación el flujograma utilizado para el software implementación en el sistema de control automático, véase el software implementado en el Anexo 2.

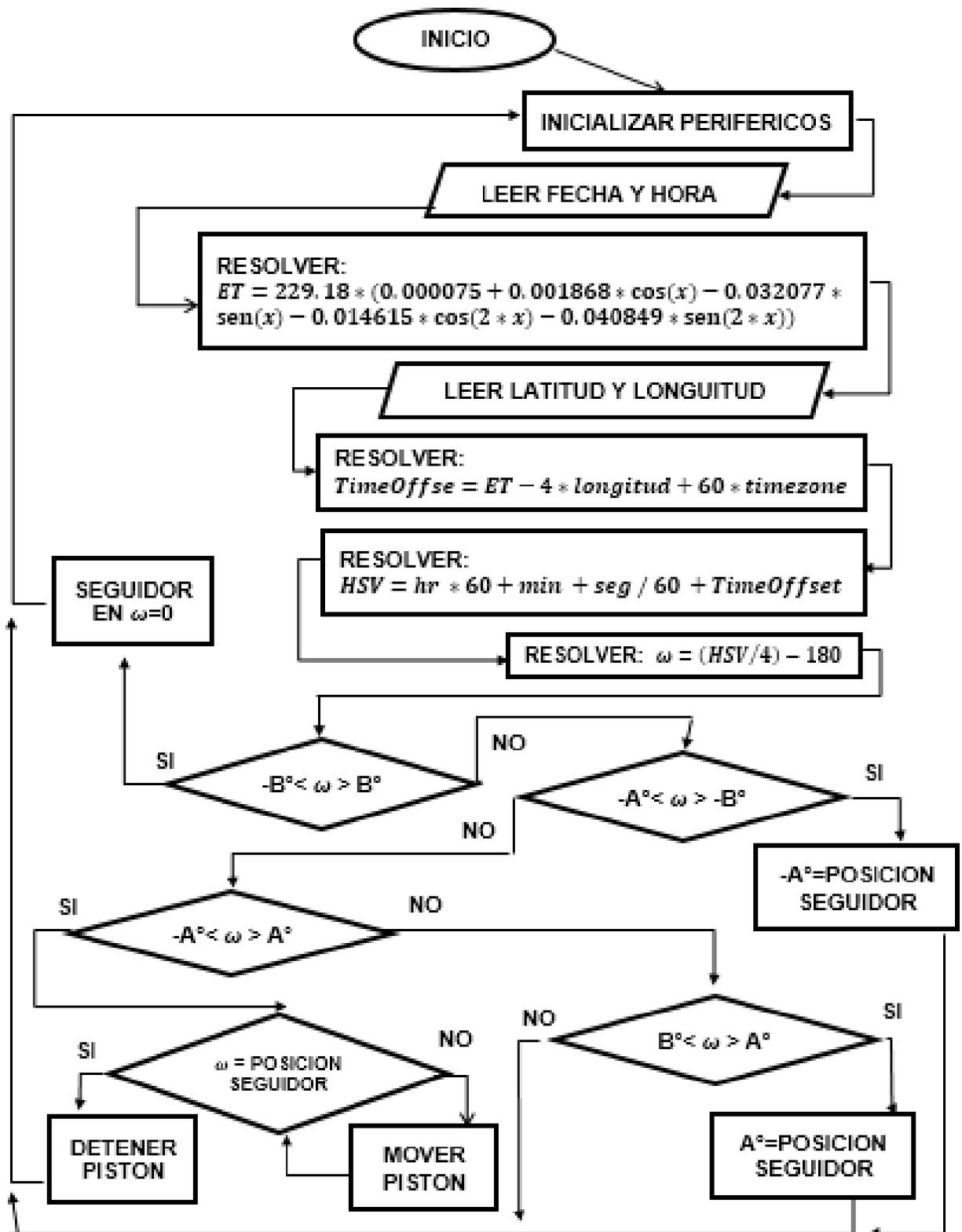


Ilustración 12: Flujograma para desarrollo de Software.

2.5. ELECCION DE HARDWARE PARA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.

Para el diseño del seguidor solar consistirá en un circuito electrónico capaz de calcular matemáticamente la posición del sol, realimentado con un GPS que brinda las variables necesarias para realizar el cálculo y un inclinómetro para conocer la posición en la que se encuentra nuestra estructura del seguidor solar, junto con un módulo de relés para controlar el actuador y este se oriente con la posición del Sol calculada en tiempo real y corregir dicho desbalance.

Como anteriormente se desarrolló la lógica y funcionamiento que tendrá el sistema de control automático, en este apartado se selecciona y describe el hardware de libre distribución a utilizar en el diseño, ya que fue la primera etapa en ser implementada y probada, aunque antes de eso se tuvieron consideraciones respecto a la parte estructural y mecánica del mismo. Puesto que deben estar complementados ambos diseños, de otro modo la operación del sistema se vería afectada, limitada o bien completamente suprimida.

REDBOARD DE SPARKFUN (ARDUINO UNO).

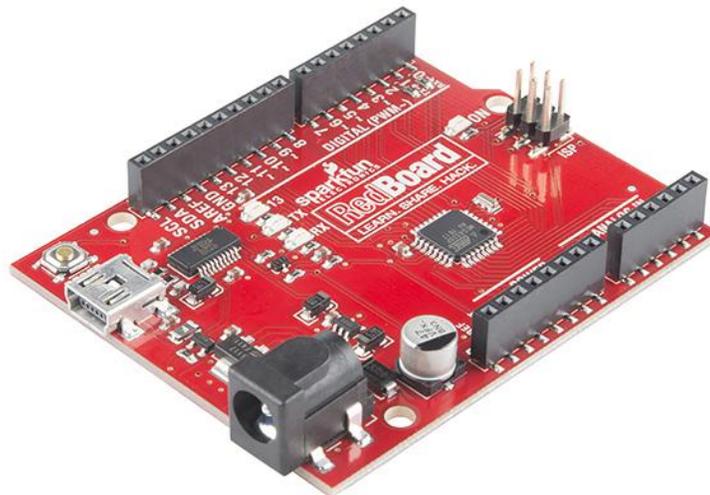


Ilustración 13: Redboard de Sparkfun.

La RedBoard, es un producto original del fabricante estadounidense Sparkfun, es el símil del Arduino Uno, la estabilidad de la conexión FTD, y la compatibilidad del shield R3 utilizado en la última versión del Arduino Uno R3.

Para programar la placa, se utiliza el entorno de programación de Arduino y se selecciona la placa "Arduino Uno", a través del cable USB Mini-B.

Para el sistema de control que se desea implementar la RedBoard dispone de todos los puertos esperados: 14 entradas/salidas digitales con 6 pines PWM, 6 entradas analógicas, entrada UART, y SPI. Esta versión tiene un header ISP para utilizar con shields.

La RedBoard se puede alimentar por USB o por una conexión de tipo jack. El regulador de potencia incluido en la placa puede recibir entre 7 y 15VDC, además de la versatilidad al momento de la programación y este es compatible con los demás periféricos seleccionados que se describen a continuación.

EL MÓDULO GPS GY-GPS6MV2

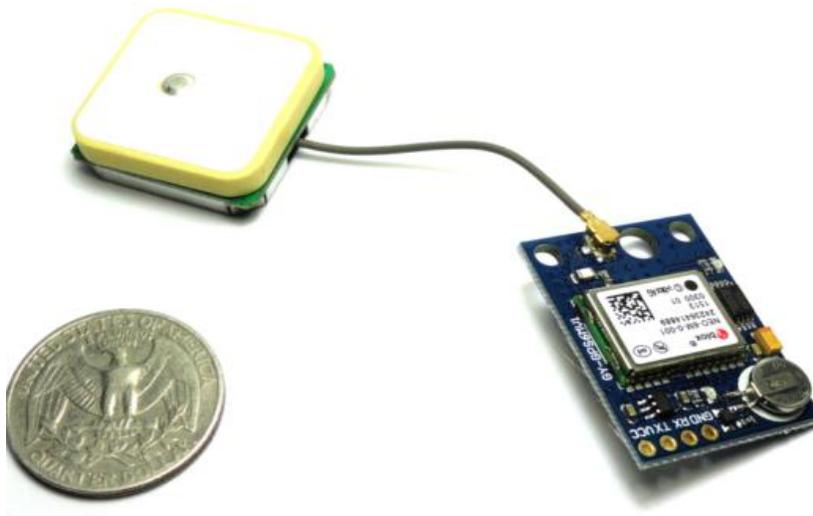


Ilustración 14: Modulo GPS

El sistema de control debe ser capaz de calcular la posición del sol en tiempo real, como se mostró en el algoritmo matemático y flujograma de programación es necesario que datos como la fecha, hora y coordenadas sean adquiridos constantemente para ellos se emplea un módulo GPS.

El módulo GPS en su modelo GY-GPS6MV2 viene con un módulo de serie U-Blox NEO 6M equipado en el PCB, una EEPROM con configuración de fábrica, una pila de botón para mantener los datos de configuración en la memoria EEPROM, un indicador LED y una antena cerámica. También posee los pines o conectores Vcc, Rx, Tx y Gnd por el que se puede conectar al RedBoard (Arduino Uno). Para que el módulo GPS funcione a la perfección se recomienda hacer las pruebas en un ambiente abierto o cercano a una ventana para una correcta recepción de la señal.

El sistema GPS opera a través de un conjunto de satélites que viajan a través de la atmósfera terrestre cuya posición es conocida dentro de un margen de tolerancia aceptado. Estos dispositivos transmiten sus coordenadas hacia la tierra, señal que es capturada por los dispositivos pasivos en la tierra. Los dispositivos pasivos se encargan de recibir la señal y calcular con respecto a la posición del GPS en el espacio, las coordenadas globales en 'x' y 'y' de los dispositivos con respecto al eje global terrestre.

Esto tiene la ventaja de permitir, a diferencia del caso de acelerómetros y codificadores ópticos, el obtener una referencia absoluta que puede ser usada para mantener la posición con respecto al planeta y sin error acumulado. El dispositivo utilizado para esta práctica es el sensor GY-GPS6MV1, que consiste en un módulo GPS de alta resolución y permite la captura de coordenadas absolutas con respecto al eje terrestre.

CONEXIONES DEL MÓDULO GPS

Para probar el módulo sencillamente se debe conectar al Arduino (en este caso se usará un Arduino UNO) mediante un puerto serie que se emulará por Software ya que se usara el Rx0 y TX0 (puerto serie por Hardware) para la comunicación con la PC y poder verificar los datos que recibe el módulo GPS.

Se deben realizar las conexiones que se muestran en la imagen 8, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

Conecte el pin 5V del Arduino UNO al pin Vcc del módulo GPS.

Conecte el pin GND del Arduino UNO al pin GND del módulo GPS.

Conecte el pin digital 8 del Arduino UNO al pin Tx del módulo GPS.

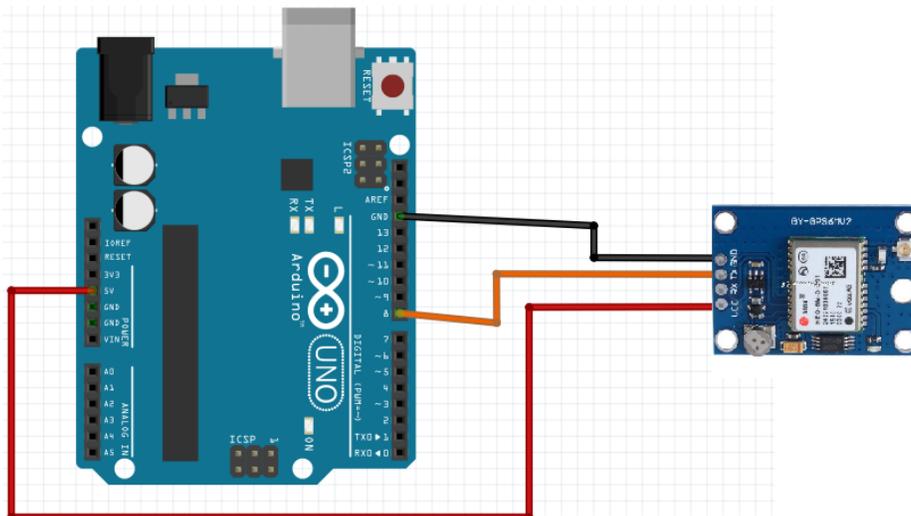


Ilustración 15: Conexiones del módulo de GPS.

ACELERÓMETRO TRIPLE EJE MMA8452Q SPARKFUN

El acelerómetro es otro de los periféricos que realimentan el sistema de control, este será el encargado de indicar el ángulo de inclinación al que se encuentra el sistema de seguimiento en el espacio, a continuación se describe más de este módulo.

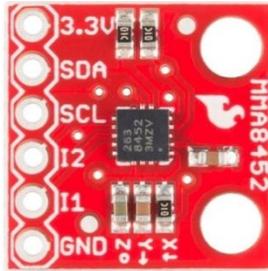


Ilustración 16: Módulo MMA8452Q acelerómetro SPARKFUN.

El MMA8452Q es un módulo de bajo consumo de energía además este acelerómetro MMA8452Q posee escalas completas seleccionables de ± 2 g / ± 4 g / ± 8 g con datos filtrados de paso alto, así como los datos no filtrados disponibles en tiempo real.

Para un correcto funcionamiento el acelerómetro necesita ser interconectado a un convertidor de niveles lógicos o convertidor de niveles de voltaje para que las E/S digitales operen de manera segura.

Ya que el módulo MMA8452Q trabaja a niveles lógicos diferentes, uno a 5V y el otro 3.3V.

MODULO CONVERTIDOR DE NIVEL DE VOLTAJE.

El convertidor de nivel de voltaje es muy fácil de usar. Y necesario para el funcionamiento del acelerómetro, ya este necesita ser alimentado por dos fuentes voltajes (de alta tensión y baja tensión). Alto voltaje (5V) para el pin 'HV', baja tensión (3,3 V) para 'LV', y de tierra del sistema para el pin 'GND'. Los dos comparten una fuente de alimentación de energía negativa.

Descripción:

Tamaño de módulo: Aprox. 1.5cm x 1.5 cm.

Convertidor lógico de nivel, 3.3V 5V TTL transferencias bidireccionales nivel Cuando se conecta el módulo MCU y 3.3V dispositivo, 5V y 3.3V TTL transferencia mutua nivel es muy conveniente.

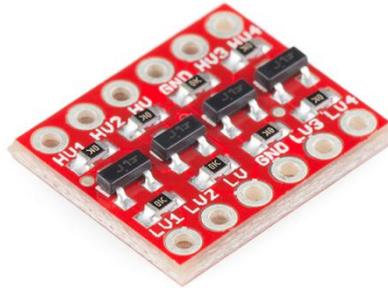


Ilustración 17: Modulo convertidor de nivel de voltaje.

Para entender el cambio de nivel lógico, es conveniente tener clara la diferencia entre electrónica digital y analógica; se llama electrónica digital a aquella basada en dos estados únicos (verdadero o falso) obtenidos a través de dos niveles de voltaje diferenciados que pueden variar en función del circuito. Estos niveles son tratados como 1 o 0, e interpretados por un circuito controlador que usando una estructura algebraica conocida como “lógica binaria” es capaz de realizar operaciones complejas.

La electrónica analógica por su parte no considera dos únicos niveles de tensión, éstos por el contrario son infinitos.

El asunto sin embargo no es tan sencillo como conectar un circuito con otro y listo. Para comprenderlo es conveniente explicar con un poco más de profundidad el concepto de “niveles lógicos”.

Dependiendo del tipo de circuito electrónico, el valor máximo de tensión que determina la escala a través de la que se obtendrá un 1 o un 0 (HIGH o LOW voltage) puede variar (1.5, 3.3, 5, etc.) Arduino trabaja con 5V. Este circuito (como es habitual) usa lógica positiva; un 1 corresponde al nivel de tensión alta y un 0 a la baja.

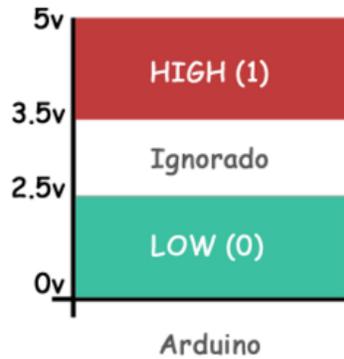


Ilustración 18: Representación gráfica de los niveles lógicos.

Se observa en la Ilustración 17 existe una franja en la que el valor del voltaje se desprecia; no se considera ni un 1 ni un 0, de este modo se filtran posibles datos erróneos producidos por el fenómeno conocido como “histéresis” o posibles rebotes de tensión provenientes de dispositivos externos.

Puesto que la tensión máxima del MMA8452Q es de 3,6 V, que tendrá que hacer algún cambio de nivel entre la placa Arduino y el acelerómetro.

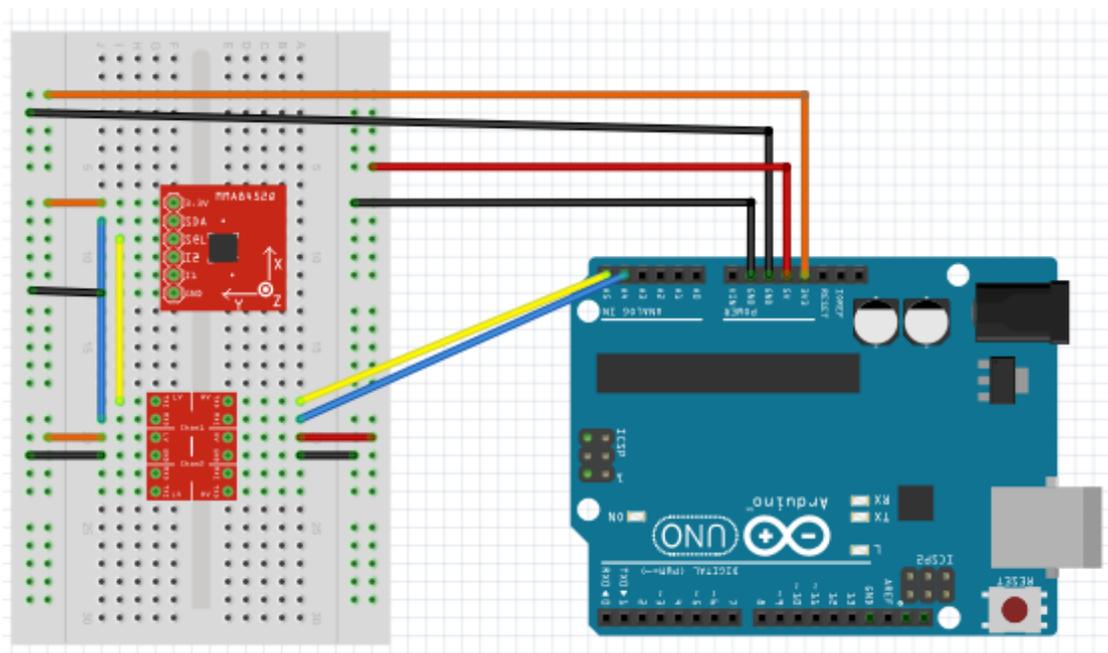


Ilustración 19: Diagrama de conexiones del acelerómetro, convertidor lógico y Arduino.

Alimentación del acelerómetro del carril de Arduino 3,3 V es un buen comienzo, pero también tendrá que añadir un poco de protección en la SDA y SCL líneas. Esta versión de "cambio de nivel" trabaja en un instante, pero, si se desea una configuración más fiable de cambio de nivel. En la ilustración 18 se muestra la conexión utilizando un bidireccional de nivel lógico Shifter entre Arduino y el acelerómetro.

Este circuito es capaz de funcionar con 5V, sin embargo internamente funciona con 3.3V por lo que se utiliza como referencia para el convertidor Análogo->Digital. Esto permitirá tener mayor precisión a la hora de leer los cambios de voltaje en las salidas análogas del acelerómetro.

ACELERÓMETRO UTILIZADO COMO INCLINÓMETRO

Se debe tener en cuenta que para existir una aceleración debe haber una fuerza tal y como lo indica la segunda ley del movimiento de Newton.

“Si una fuerza externa neta actúa sobre un cuerpo, este se acelera. La dirección de aceleración es la misma que la de la fuerza neta. El vector de fuerza neta es igual a la masa del cuerpo multiplicada por la aceleración”.

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a} \text{ (Segunda ley de Newton)}$$

Ec. (8)

Para la aplicación del acelerómetro, como inclinómetro no se tomara en cuenta la magnitud del vector de aceleración sino su dirección. Y esto lo aplicará utilizando la idea de que todo cuerpo está sometido bajo la influencia de la fuerza de gravedad y el acelerómetro permitirá conocer la dirección de esta fuerza y mediante trigonometría calcular la inclinación de la superficie donde este montado el acelerómetro que en este caso será la superficie del panel solar que conforma el sistema móvil.

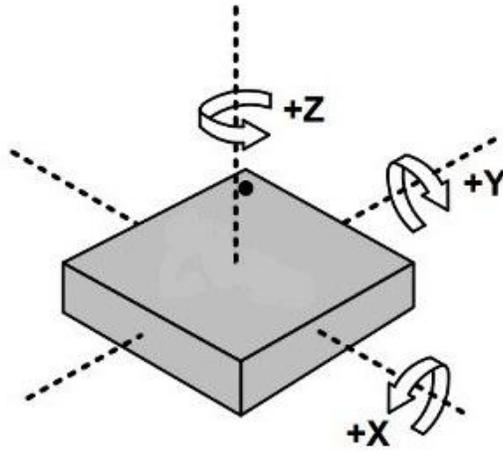


Ilustración 20: Acelerómetro en posición horizontal sin ninguna inclinación experimentado 1g de aceleración en el plano Z.

Si se considera que el acelerómetro es visto perpendicularmente hacia el plano X, y al mismo tiempo realiza movimiento giratorio alrededor del eje y. se observa que el eje z y el eje x, se han desplazado a nuevos puntos renombrados como x' y z' . La aplicación de las componentes de las fuerzas de gravedad en cada eje resulta de la ilustración 20.

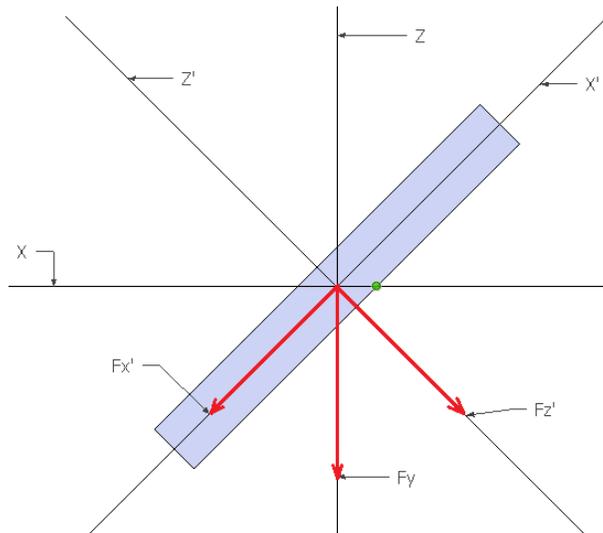


Ilustración 21: Vista perpendicular al plano X, con componentes de la fuerza de gravedad

INCLINACIÓN EN EL PLANO XZ

El acelerómetro como tal no conoce en ningún momento su posición. Sin embargo conoce los componentes de la fuerza de gravedad expresados a un valor de tensión proporcional a dicha fuerza. Utilizando estos valores de fuerza expresados en tensión que se aplican a los componentes se puede conocer el ángulo de inclinación ya sea para el plano XZ y plano YZ, respectivamente utilizando la función trigonométrica inversa y por ángulo complementario se tiene.

$$\alpha = \text{ARCTan}(F_{x'}/F_{z'})$$

Ec. (9)

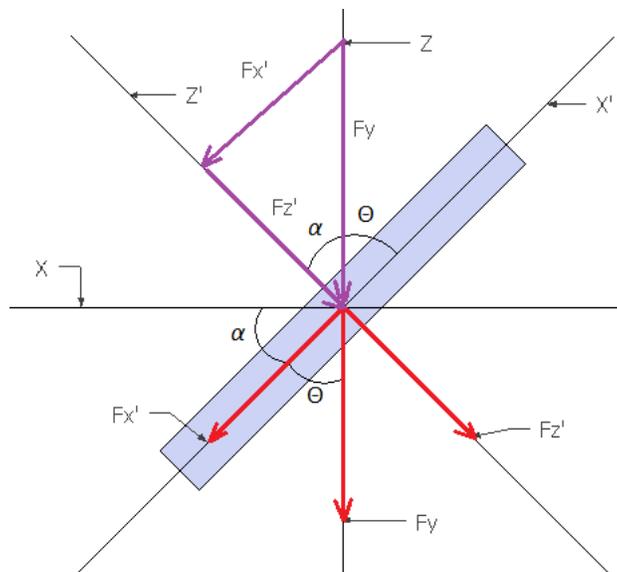


Ilustración 22: Diagrama vectorial para el cálculo del ángulo de inclinación plano XZ.

INCLINACIÓN EN EL PLANO YZ

Al realizar el mismo procedimiento anterior pero ahora el acelerómetro es visto perpendicularmente al plano Y, y con un movimiento giratorio alrededor del eje x, se obtiene el ángulo de inclinación del plano YZ, como se muestra a continuación en la siguiente ilustración.

$$\alpha = \text{ARCTan}(F_{y'}/F_{z'})$$

Ec. (10)

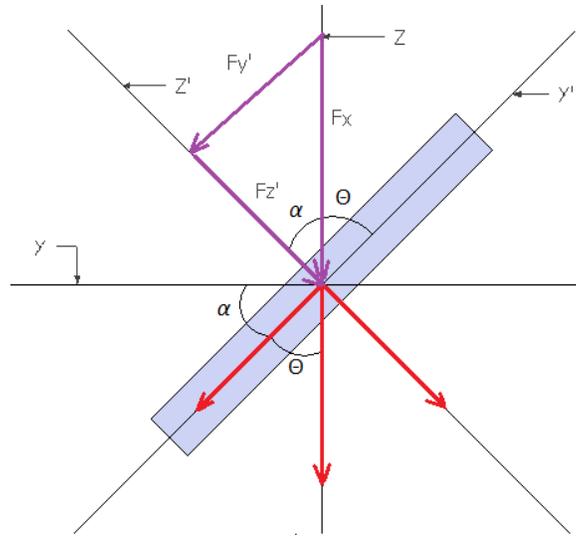


Ilustración 23: Diagrama vectorial para el cálculo del ángulo de inclinación plano YZ.

MÓDULO DE RELEVADORES.

Se tiene la parte del sistema de control automático encargada de calcular la posición del sol a lo largo del día, para que el sistema fotovoltaico siga el sol necesita estar en movimiento constante, esto se logra mediante un actuador lineal eléctrico, que posteriormente será descrito, a continuación se describe el módulo de relevadores encargado de manejar el actuador lineal.

Módulo de 4 relevadores opto acoplados, con control independiente, dispone de un jumper para seleccionar el aislamiento completo del circuito de mando y fuerza. Cada relé soporta 10 A a 220 VAC, o 10 A y hasta 30 VDC. El control se realiza entre 3 y 6 V.



Ilustración 24: Módulo de relevadores

ACTUADOR LINEAL

Un actuador lineal eléctrico es un dispositivo que convierte el movimiento de rotación de un motor de corriente continua de baja tensión en movimiento lineal, es decir, los movimientos de empuje y halado. De esta manera es posible elevar, ajustar, inclinar, empujar o halar objetos pesados o difíciles de alcanzar con sólo pulsar un botón.



Ilustración 25: Actuador lineal eléctrico.

Adicionalmente, los actuadores ofrecen seguridad, movimiento silencioso, limpio de control preciso. Ellos son energía eficiente de larga vida útil con poco o ningún mantenimiento. La instalación de un actuador es muy fácil en comparación con los sistemas hidráulicos y espacio requerido es mucho menor, ya que no tiene bombas o mangueras.

La capacidad de los actuadores de adaptarse a necesidades específicas garantiza soluciones eficaces en una amplia gama de aplicaciones y productos.

Un actuador lineal eléctrico consta de un motor, un engranaje y una rosca de eje que incluye una tuerca.

2.6. DISEÑO FINAL DE CIRCUITO DE CONTROL AUTOMÁTICO.

Se arma el circuito preliminar en protoboard con los elementos acoplados, el inclinómetro, el Redboard, y el GPS como se muestra en la Ilustración 25 y se realiza las pruebas con el software diseñado, para determina su mejor ubicación del hardware y diseño para el sistema de control, de esta manera se ordenan los elementos y se hacen las pruebas necesarias.

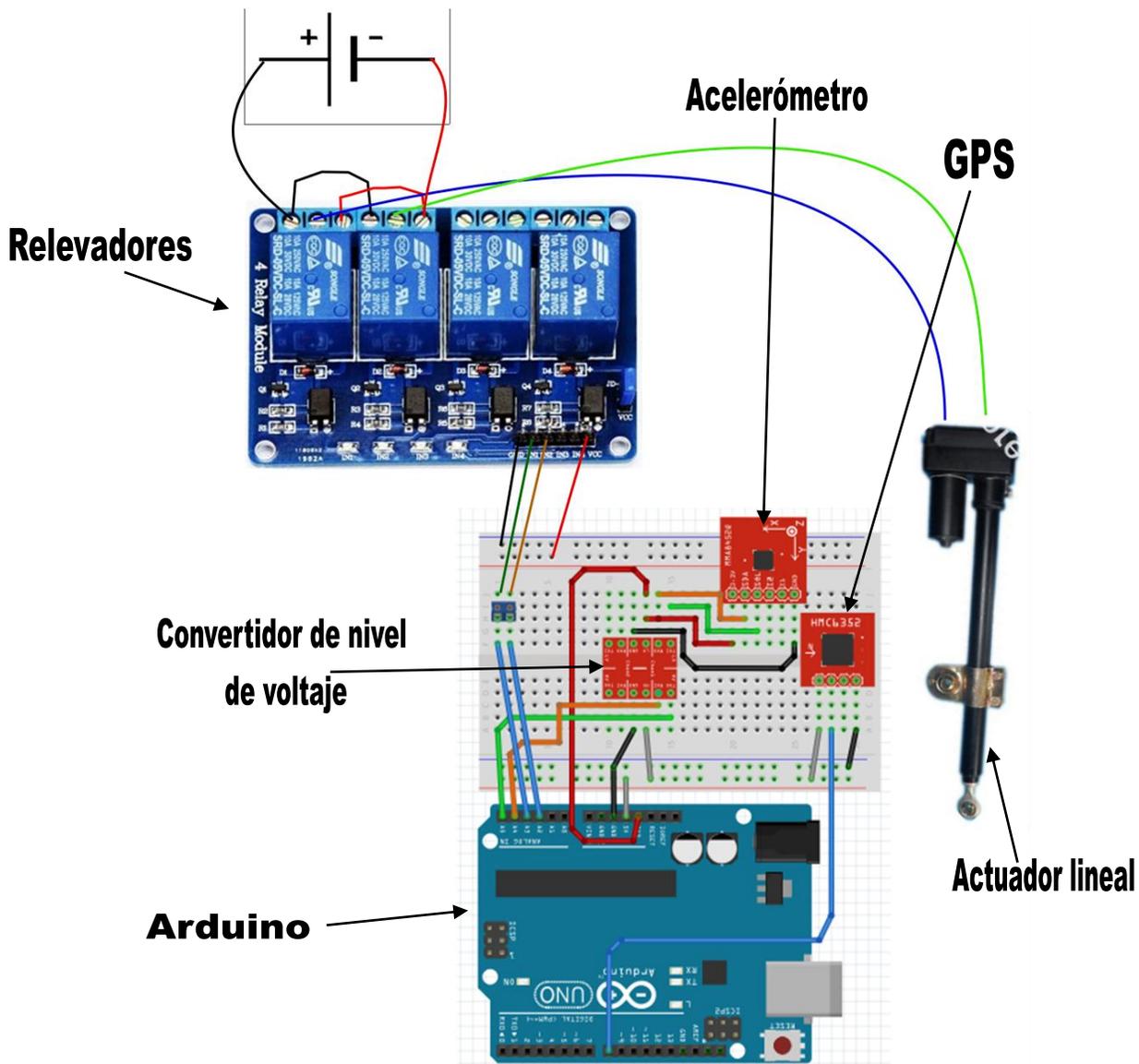


Ilustración 26: Diseño conceptual del circuito de control automático

2.7. IMPLEMENTACIÓN Y ELABORACIÓN DE CIRCUITO IMPRESO PARA EL SISTEMA DE CONTROL.

Realizadas las pruebas de posición y recolección de datos se prepara el diseño para el circuito impreso, este permitirá acoplar todos los elementos sobre el RedBoard (Arduino) así como permitir montar y desmontar para una fácil manipulación.

Se ubican todos los elementos en el modo PCB el en programa FRITZING, el cual permite colocar los elementos y poder hacer las pistas de cobre para hacer un shield (escudo) cual será montada sobre el RedBoard, se elabora el ruteo de las líneas hacia los elementos para los pines en la placa de cobre, así como el mejor posicionamiento elegido en la Ilustración 26, la cual muestra cómo quedaría el circuito impreso.

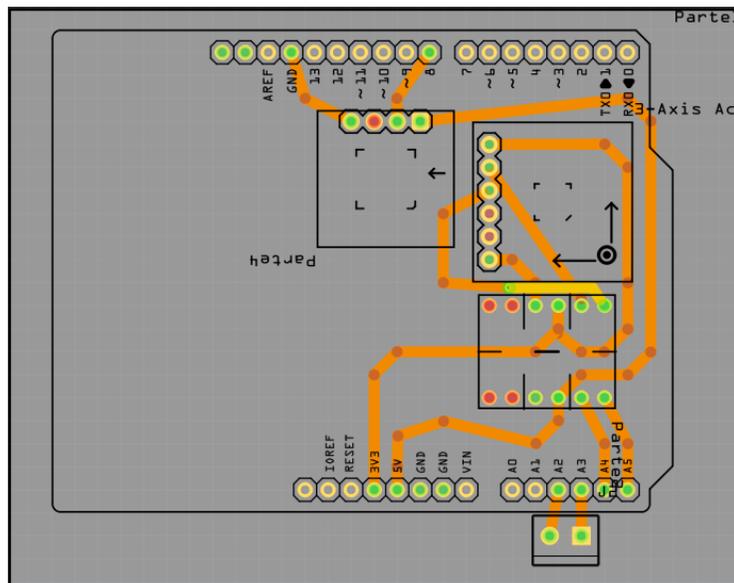


Ilustración 27: Circuito PCB diseñado en fritzing

Ya con el circuito diseñado se prepara la impresión que marcará las pistas en la placa de cobre, se realiza en papel cuche, ya sea impresión láser o tonner de fotocopiadora, y luego se adhiere a la placa de cobre mediante calor, con esto lograr la fijación del tonner en la placa de cobre y lista para preparar el quemado y así culminar con las pistas para la soldadura de los elementos.

La impresión de la cara inferior que lleva la placa de cobre se muestra en la Ilustración 27 la cual se pondrán los pines que acoplaran a los elementos.

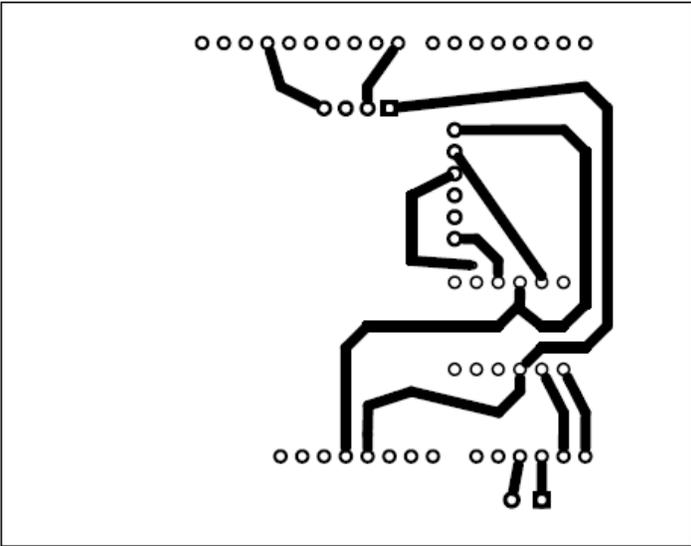


Ilustración 28: Pistas de la cara inferior de la placa

Luego se realiza la impresión para la parte superior, por la colocación de los elementos es necesario hacer un puente de este lado de la placa, la cual se muestra en la Ilustración 28.

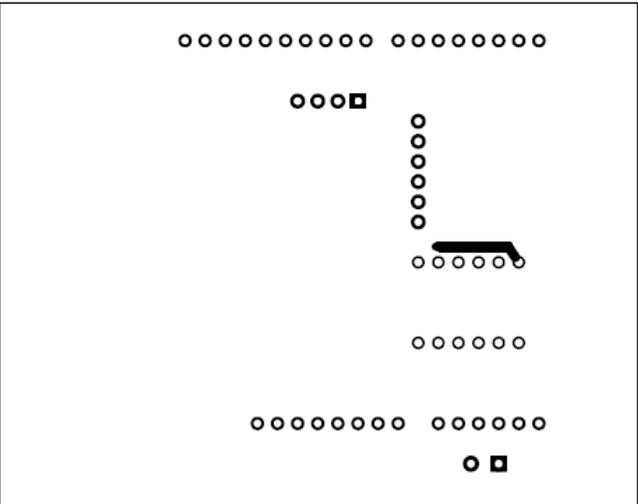


Ilustración 29: Impresión de la parte superior de la placa

Como resultado se obtiene el circuito impreso con los pines para la colocación de los elementos del control por arduino en la Ilustración 29.

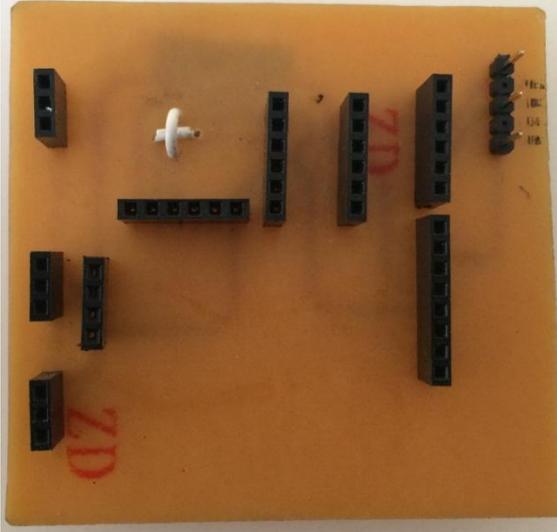


Ilustración 30: Pines para colocar sensores

Con los pines en su lugar se colocan los sensores, el GPS, el acelerómetro y el convertidor de nivel, y se podrá colocar y retirar con facilidad, como se muestra en la Ilustración 30.

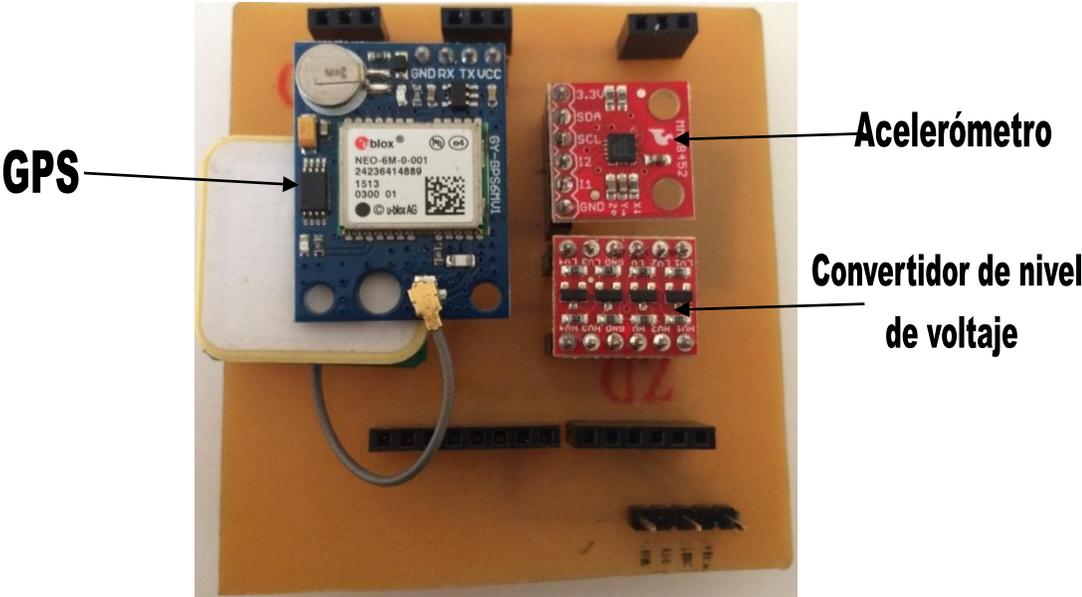


Ilustración 31: Elementos desmontables

Ya con los elementos colocados se fija la redboard a la base para la colocación del circuito impreso en la parte superior Ilustración 31.

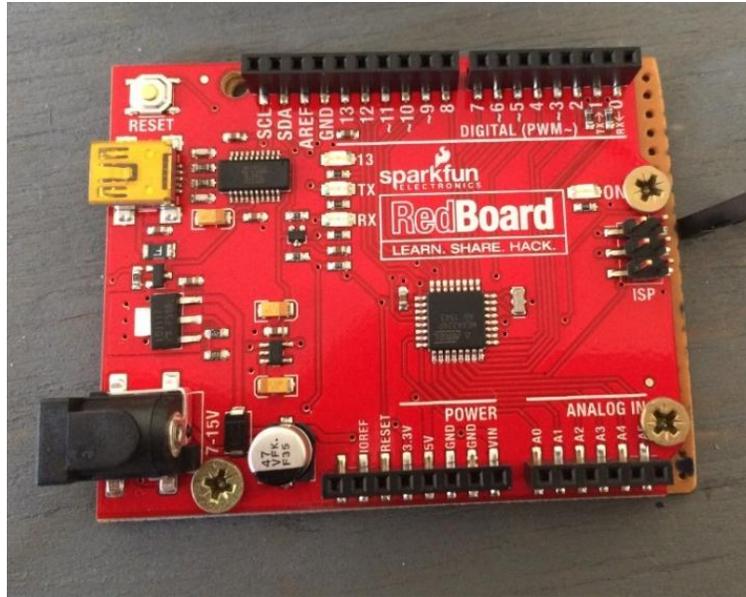


Ilustración 32: RedBoard (Arduino) fijado a la base.

Solo se coloca la etapa de los componentes sobre el arduino, y se conectan los cables de poder y de pulsos que activan los relevadores para controlar el actuador vertical.

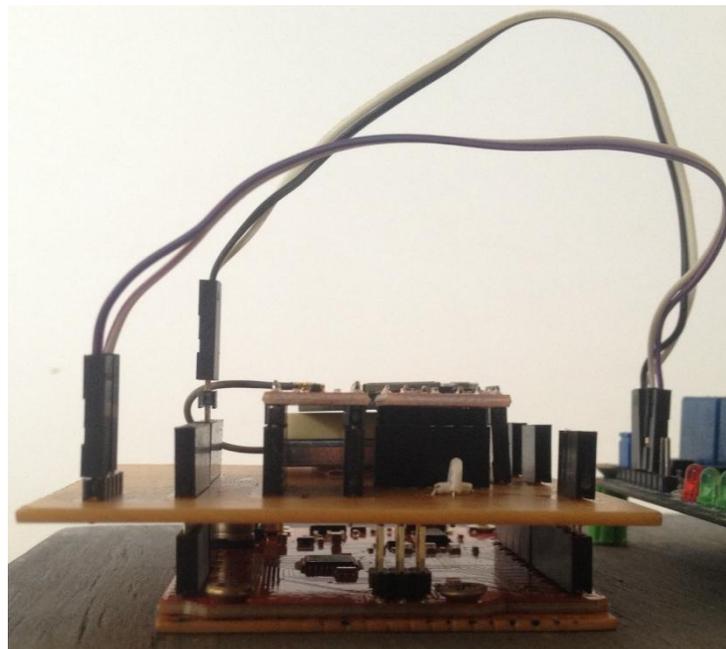


Ilustración 33: Etapas conectadas.

Con los circuitos ya interconectados se colocan en la caja de inemperie que será colocada en la parte inferior del eje del sistema mecánico, por lo que se deja un espacio muy considerable para su funcionamiento Ilustración 33.

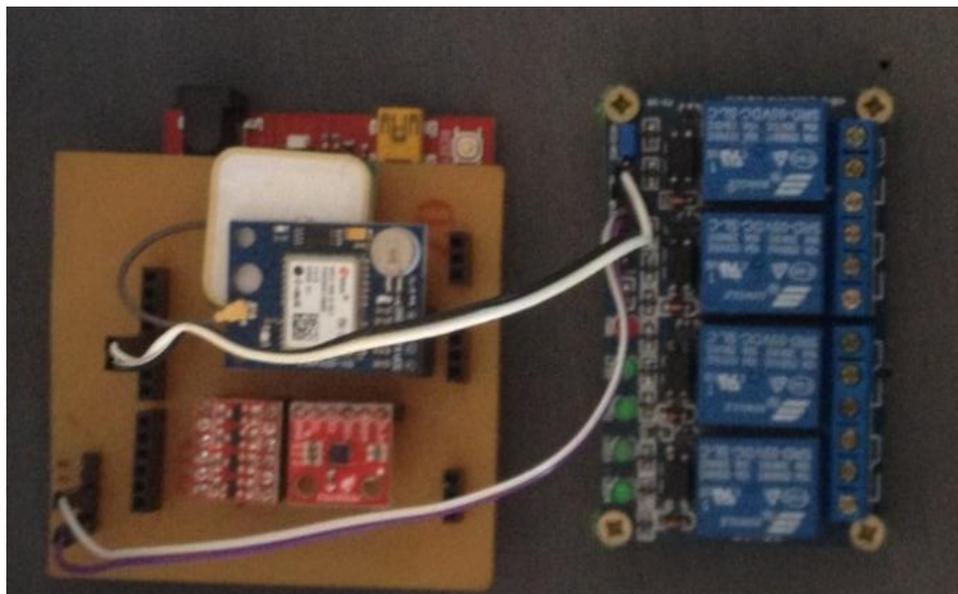


Ilustración 34: Sistema de control automático finalizado

CAPÍTULO 3: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E INSTALACION DE ESTRUCTURA MECÁNICA PARA EL SEGUIDOR SOLAR.

Para comenzar a diseñar la estructura mecánica del seguidor solar, se necesita analizar la ubicación donde será instalado el sistema de seguimiento solar, como se mencionó, se ha elegido el techo del Edificio de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al costado Este, como se muestra en la ilustración 34.



Ilustración 35: Costado Este del Edificio de Potencia.

Se mide la ubicación donde se instalará, el sistema de seguimiento solar. El dato obtenido da una distancia de 5.20 metros, esto permite hacer un diseño que pueda adecuarse a esta condición.



Ilustración 36: Ubicación exacta, costado Este del Edificio de Potencia

3.1. DISEÑO CONCEPTUAL DE ESTRUCTURA MECÁNICA.

Luego de conocer la ubicación, en el diseño de la estructura se tomara como primera etapa el análisis del actuador lineal que será el delegado de mover el sistema, por lo que se analizara para las dos posiciones críticas de este, el mínimo que es la posición de inicio donde el actuador lineal se encuentra retraído, cuya longitud es de $C = 0.34$ metros, para simplificar el análisis se elabora un diagrama y se asignan datos ideales de ω (ángulo de movimiento), para el primer cálculo se elige ω en un rango entre 20° para el mínimo y 160° para el máximo datos necesarios para el análisis en la ilustración 36.

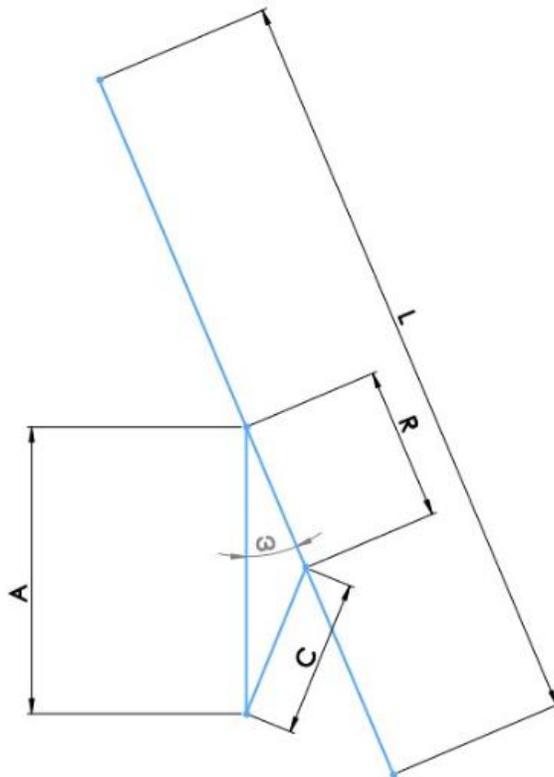


Ilustración 37: $\omega=20^\circ$ para el actuador lineal retraído

Y por la ley de cosenos se genera la Ec. (11) del sistema tomando “C” cuando el actuador lineal se encuentra retraído completamente, y la altura “A” en la cual se quiere instalar el actuador lineal para alcanzar el ángulo movimiento que se desea alcanzar.

$$C^2 = A^2 + R^2 - 2AR\cos(20^\circ)$$

Ec. (11)

Donde:

- ω : Ángulo de movimiento.
- A: Altura de soporte de actuador lineal
- C: Distancia del actuador lineal retraído.
- R: Brazo de palanca.

Siguiendo el análisis de las posiciones críticas del actuador lineal ahora se muestra este en su máxima extensión (C+X), con la cual se comprueba que las medidas que han elegido para la distancia de la altura de soporte del actuador lineal (A) y brazo de palanca (R), se logra obtener el ángulo de movimiento (ω) que se está buscando, es decir que permite el rango del ángulo de movimiento que se obtiene con el actuador lineal. El diagrama para la segunda posición crítica se muestra en la ilustración 37.

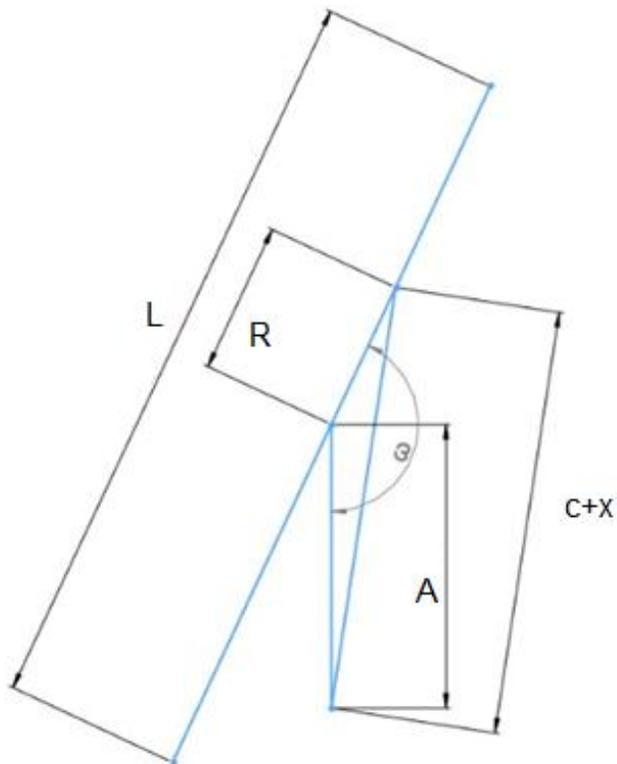


Ilustración 38: Se busca $\omega=160^\circ$ para el actuador lineal extendido.

Se genera la Ec. (12) para el sistema con el actuador lineal extendido completamente, la altura en la cual se instalará el actuador lineal para efectuar los movimientos es igual que en la Ec. (11).

$$(C + X)^2 = A^2 + R^2 - 2AR\cos(160^\circ) \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

- ω : Ángulo de movimiento.
- A: Altura de soporte del actuador lineal
- X: Carrera del actuador lineal
- C: Distancia del actuador lineal retraído.
- R: Brazo de palanca.

Simultaneando las Ec. (9) y Ec. (10) para las dos posiciones críticas del actuador lineal, se obtiene los valores óptimos de A, R, es necesarios para el movimiento del eje pivotee entre un rango 20° y 160° idealmente, dependiendo completamente de la retracción y extensión del actuador lo que permite el movimiento del sistema, como resultado de los cálculos.

$$A = 60 \text{ cm}, \quad R = 33 \text{ cm}$$

Una vez se obtienen estos datos se procede con el diseño de las columnas junto con el soporte para el actuador lineal, eje, collares, y el marco de soporte de los paneles fotovoltaicos

3.2. DISEÑO PARA LAS COLUMNAS DE SOPORTE DEL SEGUIDOR SOLAR.

El sistema de seguimiento solar elegido tiene una inclinación igual a la latitud del lugar donde será instalado, esta es de 13° aproximadamente y tendrá que soportar 4 paneles fotovoltaicos, lo cual se tomara como factor para el diseño de las columnas.

Por esto se considera que el seguidor solar deberá tener al menos tres columnas con lo que se logra mantener estable, así como tener un mayor control y mejor distribución del peso en la pared donde estará instalado, se muestra estas consideraciones en la ilustración 38.

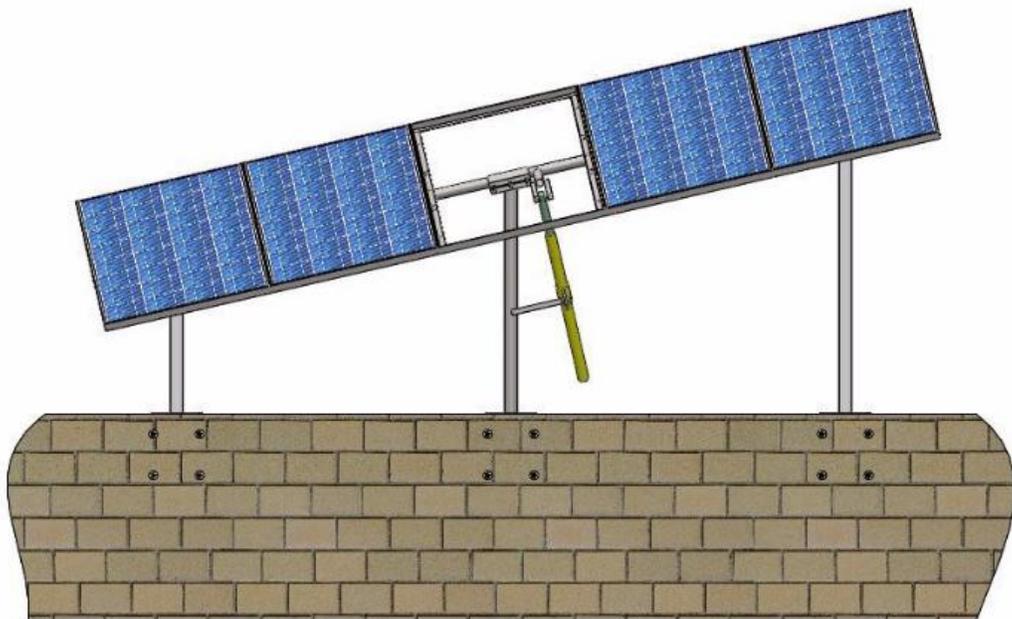


Ilustración 39: Sistema de 3 columnas de soporte.

Para el cálculo de las alturas de las columnas se hace mediante un cálculo trigonométrico simple como es ley de Pitágoras, como a continuación se muestra en la ilustración 40.

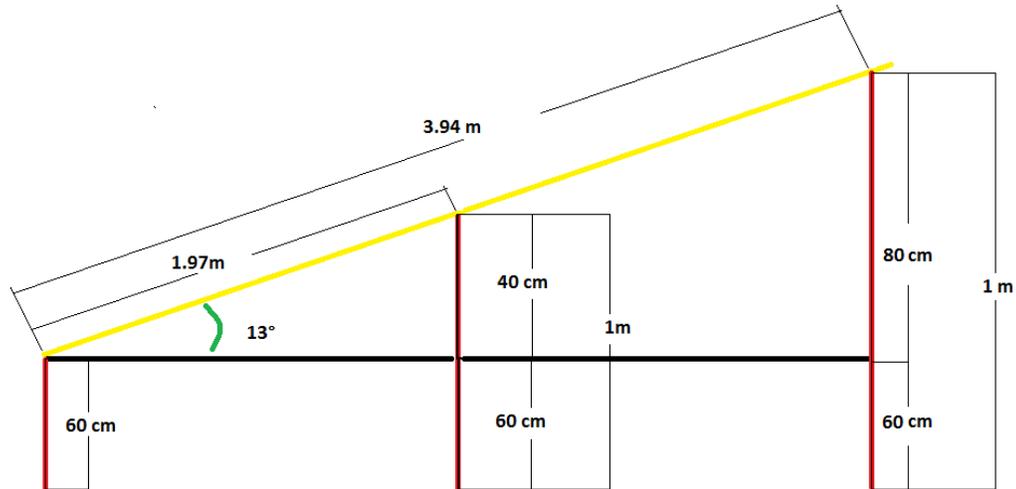


Ilustración 40: Medidas a implementar calculadas por Pitágoras.

Y como resultado se obtiene la altura de cada una de las tres que sostendrán de manera equilibrada la estructura, como se muestra en la ilustración 41, el plano de construcción de cada apoyo se establece en los anexos en los planos SSEH01, SSEH 02 Y SSEH 03 de izquierda a derecha respectivamente.

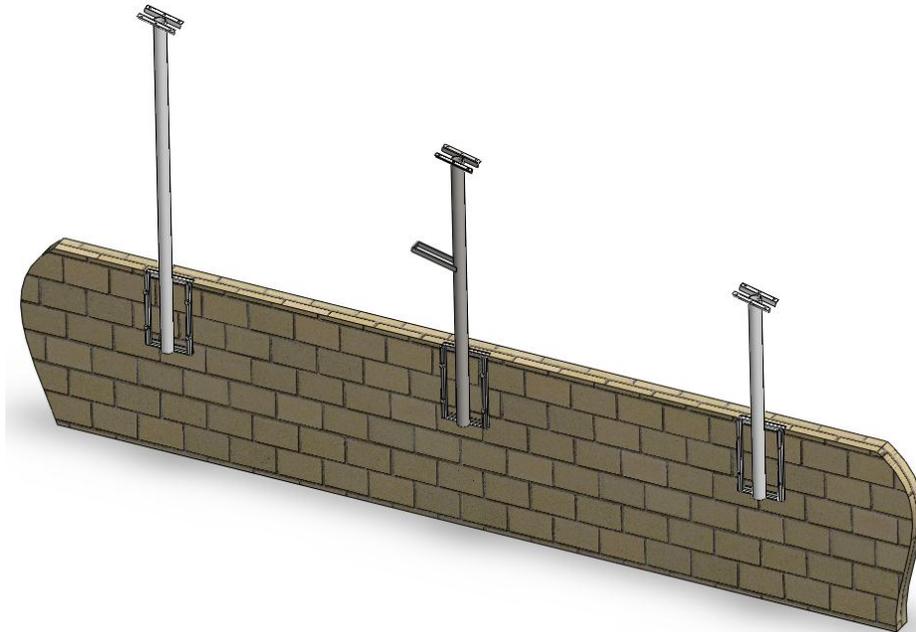


Ilustración 41: Posición de izquierda a derecha columna A, columna B y columna C.

3.3. SOPORTE DEL ACTUADOR LINEAL EN COLUMNA B

Se ha optado en colocar el soporte del actuador lineal lo más cercano posible del centro de toda la estructura, esto permitirá que la fuerza ejercida por el actuar al brazo de palanca del eje, haga pivotar de manera uniforme el marco que sostendrá los paneles, el diseño final del soporte se puede observar a detalle en el anexo SSEH02, a continuación se visualiza parte del diseño en la ilustración 41.

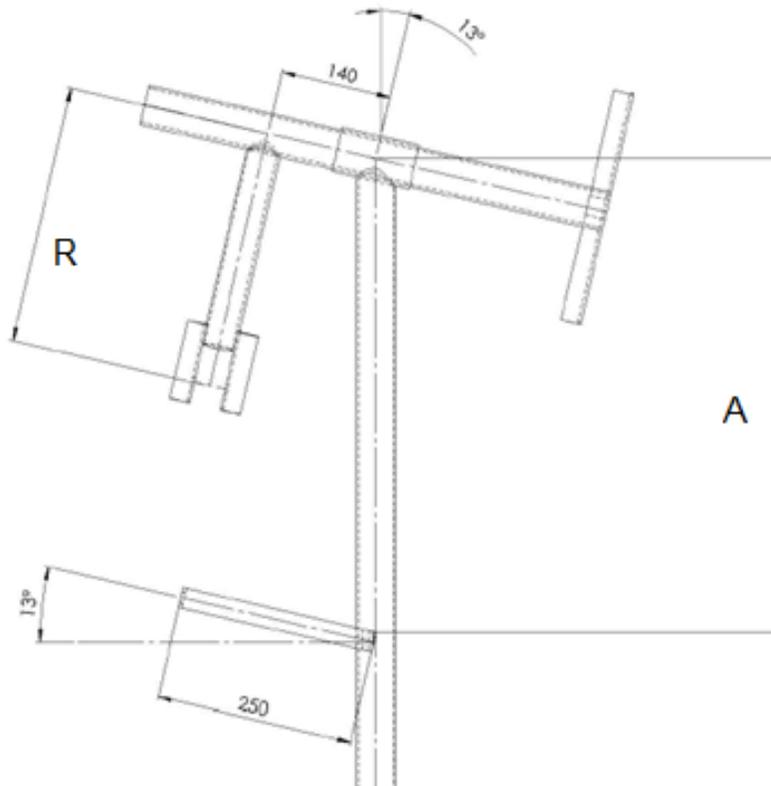


Ilustración 42: Tipo de soporte adecuado para el actuador lineal y brazo de palanca en eje.

Con el diseño del soporte para el actuador lineal y la ubicación que debe tener el brazo de palanca del sistema ya obtenido, se procede a las consideraciones del diseño para el eje, marco de soporte de los paneles solares y los collares donde pivotara toda la estructura.

3.4. FIJACIÓN DE LOS COLUMNAS.

Para fijar las columnas se hace uso de pernos, los cuales permiten un fácil montaje en el área de instalación, como se aprecia en la ilustración 42.



Ilustración 43: Fijación por pernos

Y se le agrega un ángulo de hierro como especifica en los anexos de los planos SSEH01, SSEH 02 Y SSEH 03, como apoyo para que descansa en el borde de la pared de esta forma se asegura que el sistema quede instalado de una forma fija.

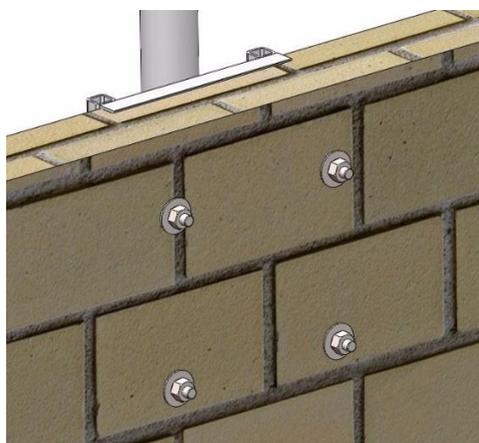


Ilustración 44: Apoyo y fijación con pernos de columnas.

3.5. DISEÑO DEL EJE

El eje posee un diseño pensado para simplificar el montaje de este y las demás partes de la estructura metálica, con su forma de espinas de pescado para montar sobre estas el marco soporte de los paneles solares que se fijara con pernos, los collares son piezas individuales pero que forma parte del eje y permiten acoplar el eje con las columnas usando pernos y toda la estructura se ensamblada por partes como se muestra en la ilustración 45, el diseño detallado y medidas se presentan en el plano SSEH04 en anexos.

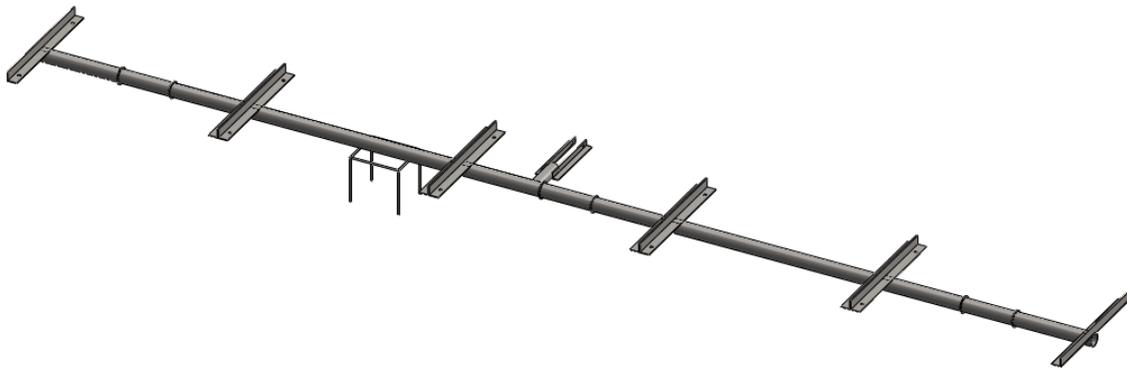


Ilustración 45: Diseño final del eje.

3.6. COLLARES

Los collares permiten que la estructura pivotee en su propio eje, tres collares que se instalarán distribuidos a lo largo del eje para soportar el peso total del eje y el marco soporte de los paneles solares. Y además permiten que la fuerza ejercida por el actuador lineal logre un movimiento uniforme del sistema, se acoplan con pernos para un montaje más práctico en el momento de instalar en su ubicación. Los planos de diseño de los collares se muestran en los anexos SSEH05.

3.7. DISEÑO DE MARCO SOPORTE DE LOS PÁNELES SOLARES.

El marco de soporte está formado por otros marcos individuales más pequeños de 1.58 x 0.83 metros para contener los paneles solares, elaborado de ángulo de 1 ½ de pulgada y espacios entre marco y marco con este diseño para montarse con pernos al eje durante la instalación en la ubicación elegida, las medidas se muestran en el plano SSEH06 en la sección de anexos, se colocaran cuatro paneles que se fijaran con pernos de manera segura al marco.

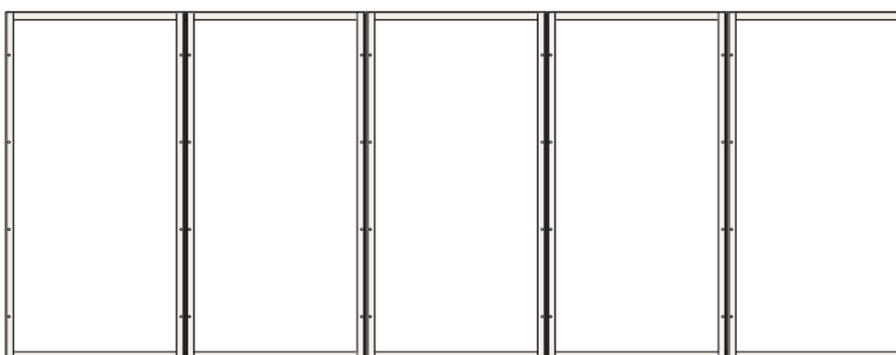


Ilustración 46: diseño de marco a implementar

3.8. SOPORTE DE SISTEMA DEL CONTROL AUTOMÁTICO

El sistema de control es el encargado de manejar el actuador lineal e indicar la posición del sol, se colocara bajo el eje y estará fijado con pernos largos los cuales evitaran que se muevan de lugar, es necesario que quede muy fijo y alineado ya que contiene el inclinómetro que determina la posición de los paneles.

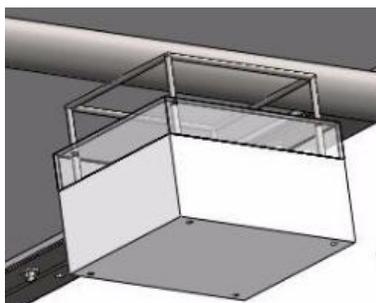


Ilustración 47: Soporte de sistema del control automático

3.9. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA MECÁNICA PARA EL SEGUIDOR SOLAR.

Con todos los elementos diseñados se procede con la fabricación del sistema, se inicia con la construcción del marco soporte de los páneles solares, se construyen con 4 ángulos de 1 ½ x 6 metros y se fijan con soldadura eléctrica, y su construcción se muestra en la ilustración 47.



Ilustración 48: Marco soporte de los páneles solares.

Luego se asegura el eje al marco, el cual permitirá el movimiento, se colocan los collares y soportes para el marco el eje, como se muestra en la ilustración 48, las piezas será empernadas para mayor facilidad de instalación y transporte



Ilustración 49: Eje pre ensamblado con el marco soporte de los páneles.

Con estos elementos fabricados solo falta la instalación en el techo del Edificio de Potencia, para esto se inicia colocando columnas al bordo donde se coloca, como se muestra en la ilustración 49 y se ensambla con el marco y el eje, al ser instalados da como resultado lo que se muestra en la ilustración 50.



Ilustración 50: Instalación de las columnas de la estructura

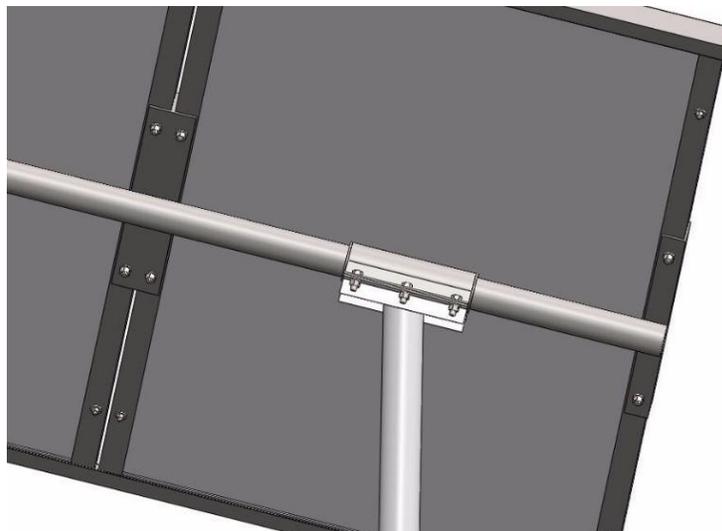


Ilustración 51: : Diseño utilizado para fijar eje y marco con los soportes



Ilustración 52: Estructura fijada al techo de Edificio de Potencia.

Con la partes metálica ensambladas y fijas en el techo del Edificio de Potencia, se da como culminado la estructura metálica y se comienza con la instalación del sistema control automático, el actuador lineal, la instalación de la conexión 120 voltios para el circuito de potencia, y el cable que conecta los paneles con el inversor continuación se muestra un diagrama de conexiones la cual será la base para la instalación física.

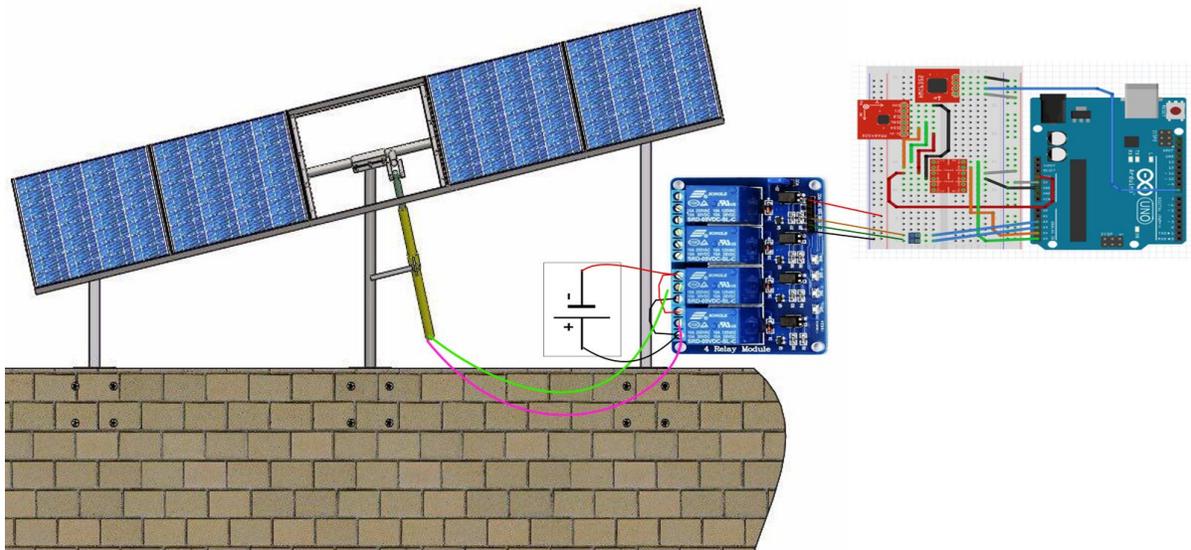


Ilustración 53: Diagrama de conexiones del sistema de control automático.

Para la conexión del control se colocará en una caja de intemperie, la cual permite el control se mantenga seguro y protegido de las condiciones climáticas, se instala en la parte baja del eje siendo cubierto por los paneles.



Ilustración 54: Sistema de control fijado en el eje.

Luego se instala la caja de intemperie que contendrá la fuente que energiza el actuador lineal, y la fuente de alimentación del sistema de control automático, que se fijará en el apoyo central para tener todas las conexiones en una adecuada posición.



Ilustración 55: Sistema de control automático y etapa de potencia.

3.10. CONEXIONES DE CABLE DE ENERGÍA DESDE LOS PÁNELES FOTOVOLTAICOS HACIA EL INVERSOR.

Para conocer el tipo de conexión que tiene el sistema se construye un esquema, el cual representa la instalación requerida para el funcionamiento.

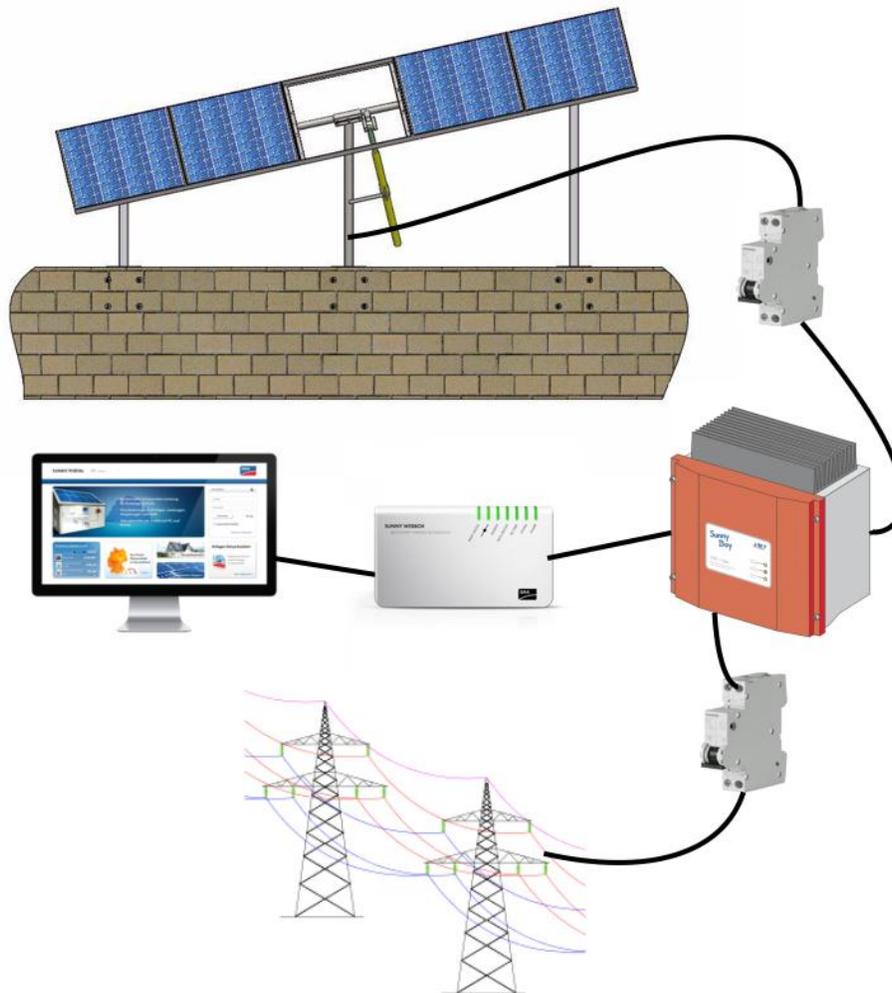


Ilustración 56: Diagrama de conexión general del sistema fotovoltaico con seguimiento solar.

Para la instalación del cable de energía eléctrica que generan los paneles se utiliza 60 metros que se conectan desde los paneles ubicados en el techo del Edificio de Potencia hacia el Laboratorio de Sistemas Fotovoltaicos, en la escuela de Ingeniería Eléctrica, por lo que se requirió una instalación subterránea entre los edificios.



Ilustración 57: instalación subterránea entre los edificios.

De esta manera se tiene acceso hasta la zona donde se encuentran los inversores SunnyBoy, y completar la instalación como se muestra en la ilustración 56 el diagrama de la instalación del sistema fotovoltaico con seguidor solar.

3.11. OPERACIÓN REAL DEL SEGUIDOR SOLAR

EL sistema construido tiene una trayectoria de acción de movimiento, la cual se ha establecido por criterios de diseño, el movimiento del sistema se comporta como se muestra en la ilustración 57:

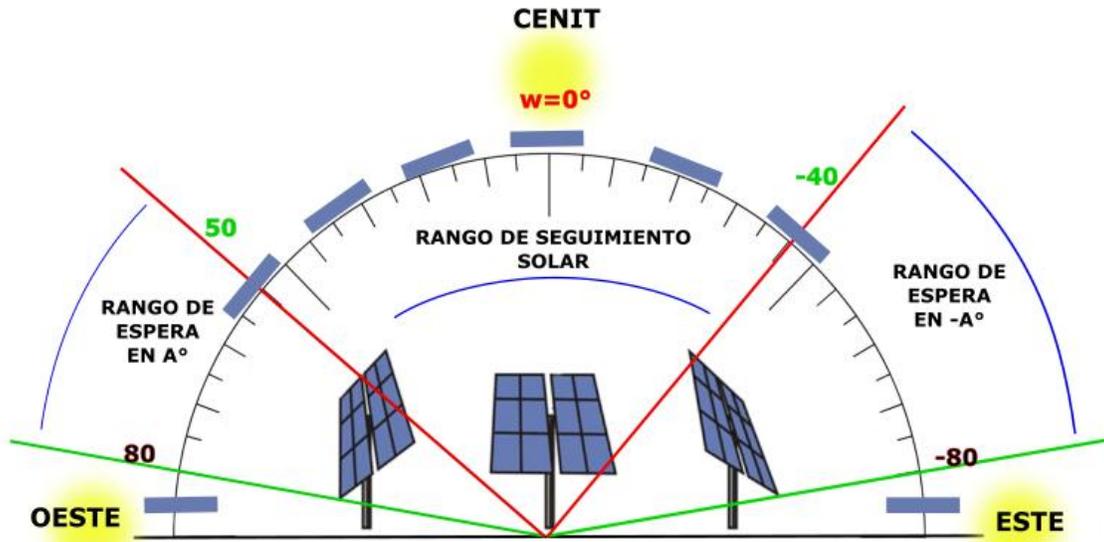


Ilustración 58: Operación real del seguidor solar.

Se conoce la posición del sol a lo largo del día, se debe comparar si él ω se encuentra dentro del rango de movimiento, que serán los que el seguidor solar tendrá, este rango se encuentra entre -40° y 50° , y el rango de movimiento del sol entre -80° y 80° , se eligen dos rangos de movimiento, el efectivo del seguidor y el de movimiento solar.

Dentro el rango de movimiento ideal se considera que los rayos solares son más aprovechables, y como se desea maximizar la generación a lo largo del día, los movimientos se determinan así:

- Cuando ω sea menor que -10° y mayor que 170° , el seguidor solar debe posicionarse perpendicular a $\omega=0^\circ$, y deberá estar en posición horizontal desde las 6:00 p.m. hasta las 6:00 a.m. aproximadamente.
- Si ω se encuentra entre -10° y -40° , las 6:45 a.m. y 8:45 a.m. respectivamente, el seguidor solar deberá posicionarse en -40° hasta que ω sea mayor o igual que -40° .
- Si ω se encuentra entre 50° y 80° , 4:00 p.m. y 5:15 p.m., el seguidor solar deberá tener la posición de 50° hasta que ω sea mayor que 80° .

- Si el rango de movimiento de ω se encuentra entre -40 y 50, 8:45 a.m. y 4:00 p.m. el seguidor solar se moverá en sincronía con el sol.

De esta forma se establece el movimiento del seguidor al transcurso del día, y el sistema queda programado.

3.12. OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Además de una correcta orientación (norte-sur) e inclinación óptima, durante el diseño e instalación del sistema fotovoltaico con seguimiento solar, se debe realizar un estudio de sombras en el área de instalación, esto es muy importante pues se conoce que una sombra sobre un panel fotovoltaico puede disminuir hasta 90% de la producción de electricidad. Así como, una pequeña sombra puede provocar puntos calientes en el panel, que pueden disminuir su tiempo de vida. Por eso se debe poner especial atención al proyectar las instalaciones solares y definir correctamente la ubicación de los paneles fotovoltaicos.

El efecto negativo de las sombras producidas por el polvo, los excrementos de los pájaros u hojas caídas de los árboles dependencia de las particularidades del entorno y del auto limpieza como de la limpieza sistemática y el mantenimiento de los paneles de la instalación.

La sombra como causa por los obstáculos colindantes sobre los paneles solares puede determinarte en un estudio previo de sombras.

La separación mínima entre seguidores solares con el propósito de evitar sombras mutuas entre paneles solares, al momento de instalar un campo fotovoltaico específicamente con un seguidor como el descrito a lo largo de este documento, es necesario para ello realizar un análisis individual en el eje Este-Oeste y para el eje Norte-Sur, con el fin de obtener la distancia mínima de separación entre columnas de seguidores solares, es decir la distancia mínima en el eje de Este-Oeste y la separación mínima entre filas de seguidores solares en el eje de Norte-

Sur como se muestra en el diagrama a continuación.

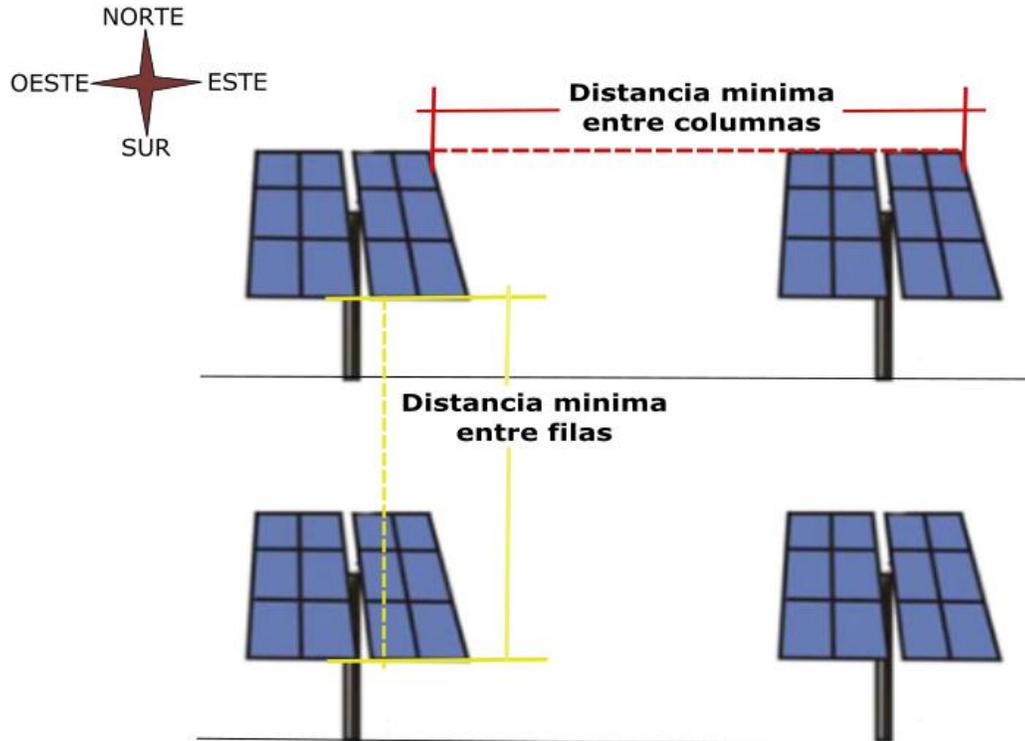


Ilustración 59: Diagrama de distancia mínima entre columnas y filas de seguidores solares.

ANÁLISIS ENTRE FILAS.

La separación mínima entre filas de seguidores solares, se puede establecer de tal forma que, al mediodía solar del día más desfavorable del año (altura solar mínima) cuando la sombra que proyecta la esquina más alta de una fila, es la máxima de todo el año, sobre la esquina inferior de la siguiente fila.

Como la generación de energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaica para la aplicación estudiada es utilizable durante todo el año, se analizara para el día más desfavorable corresponde al 21 de diciembre, en este día, la altura solar es mínima y la sombra más grande del año de un objeto, al mediodía solar con un ángulo ϕ min, de incidencia para los rayos solares en esta condición tiene el valor:

$$\Phi \text{ min} = (90^\circ - \text{Latitud del lugar}) - 23.45^\circ \quad \text{Ec. (13)}$$

En el caso del seguidor solar de eje inclinado que se estudia, el análisis para determinar la distancia mínima entre filas de seguidores se realiza para el eje de Norte-Sur ya esta es la orientación asignada para las filas, además como se menciona anteriormente al medio solar del 21 de diciembre el sol se encuentra sobre el sur en su ángulo más bajo, el diagrama para poder realizar este análisis de una manera bastante simple se muestra a continuación visto desde el costado este.

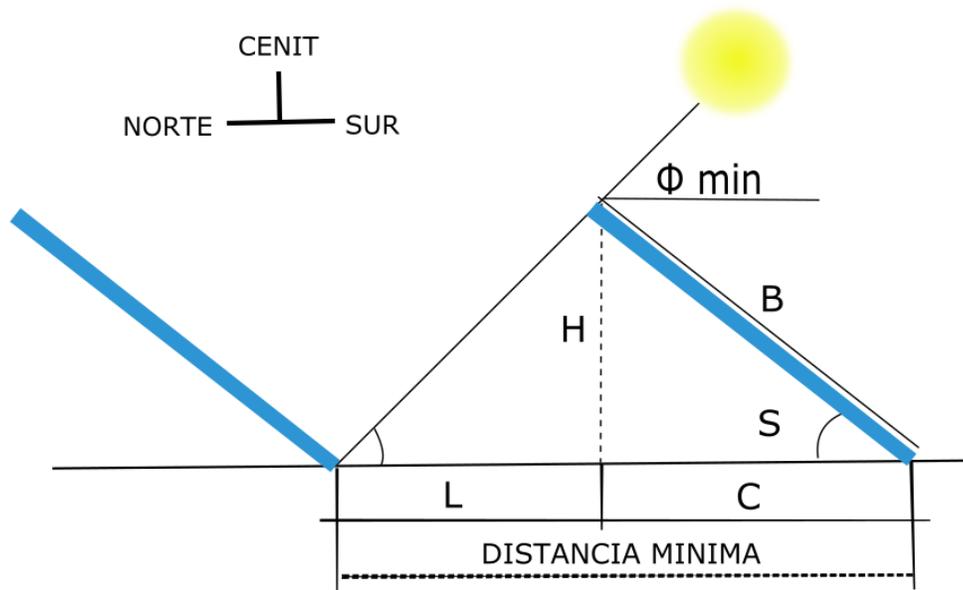


Ilustración 60: Diagrama de separación entre filas de seguidores solares.

Donde:

S = inclinación máxima del seguidor solar en el día.

B = largo del seguidor solar.

Φ_{min} = ángulo más bajo del sol en el año.

Para la distancia mínima de separación entre filas de seguidores solar para que la fila anterior no proyecte sombras en la posterior, se determina mediante la fórmula:

$$C = B * \cos(S) \quad \text{Ec. (14)}$$

$$H = B * \sen(S) \quad \text{Ec. (15)}$$

$$Dist_{min} = B * \cos(S) + \frac{B * \sen(S)}{\tan \phi_{min}} \quad \text{Ec. (16)}$$

$$L = Dist_{min} - C$$

Ec. (17)

En base al funcionamiento del seguidor solar se sabe que al mediodía solar durante todo el año, el seguidor se encuentra en posición horizontal, es decir, $\omega=0^\circ$, con una inclinación fija de 13° hacia el sur, $\Phi \text{ min} = (90^\circ - 13^\circ) - 23.45^\circ = 53.55^\circ$, como se observa en el diagrama.

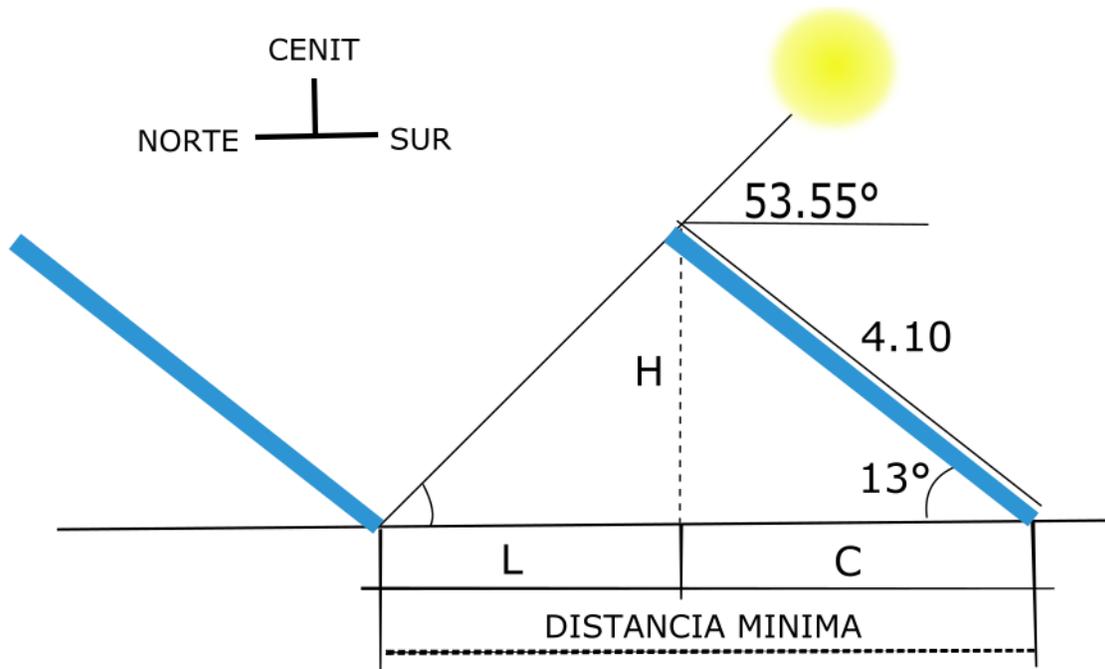


Ilustración 61: Diagrama de análisis de separación mínima entre filas seguidores solares.

. Donde:

S= inclinación hacia el sur = 13°

B= largo del seguidor solar = 4.10 metros

$\Phi \text{ min} = \text{ángulo más bajo del sol en el año} = (90^\circ - 13^\circ) - 23.45^\circ = 53.55^\circ$

$$C = 4.1 * \cos(13^\circ) = 3.99 \text{ metros}$$

Ec. (18)

$$H = 4.1 * \text{sen}(13^\circ) = 0.92 \text{ metros}$$

Ec. (19)

$$Dist_{min} = 4.1 * \cos(13^\circ) + \frac{4.1 * \text{sen}(13^\circ)}{\tan 53.55^\circ} = 4.257 \text{ metros}$$

Ec. (20)

$$L = 4.257 - 3.99 = 0.267 \text{ metros}$$

Ec. (21)

A continuación el diagrama de instalación de seguidores solar en filas con su distancia mínima de separación para evitar sombras mutuas durante todo el año.

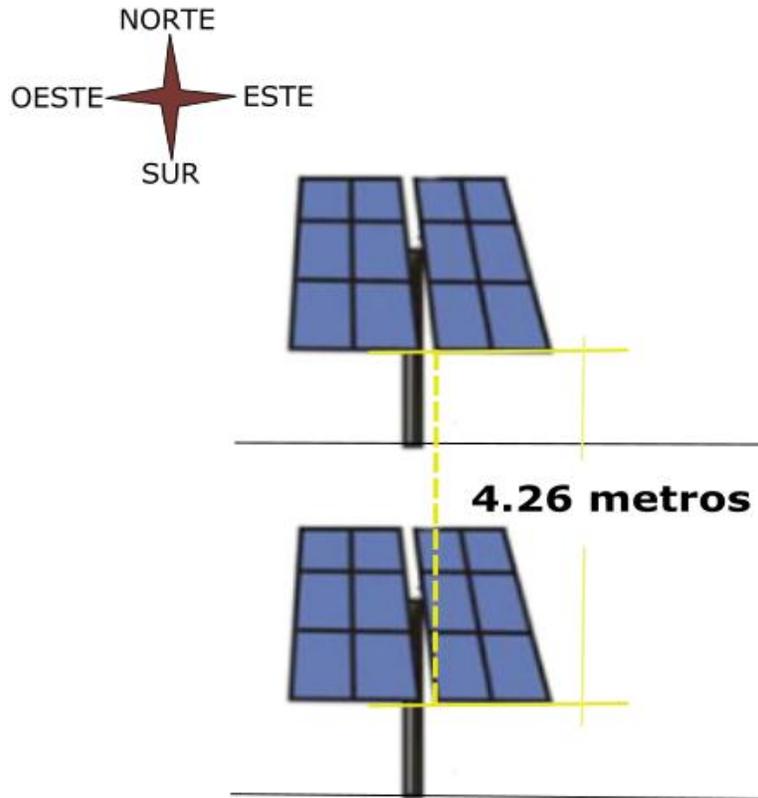


Ilustración 62: Distancia mínima de separación entre filas.

ANÁLISIS ENTRE COLUMNAS.

En el caso del seguidor solar de eje inclinado que se estudia, el análisis para determinar la distancia mínima entre columnas de seguidores, se puede calcular mediante un análisis sencillo tomando en cuenta los rangos de movimiento descritos en la sección 3.11, este análisis considera el movimiento diario del sol de Este a Oeste, acabe aclarar que para una mejor comprensión de este análisis todos los ángulos son medidos desde la horizontal.

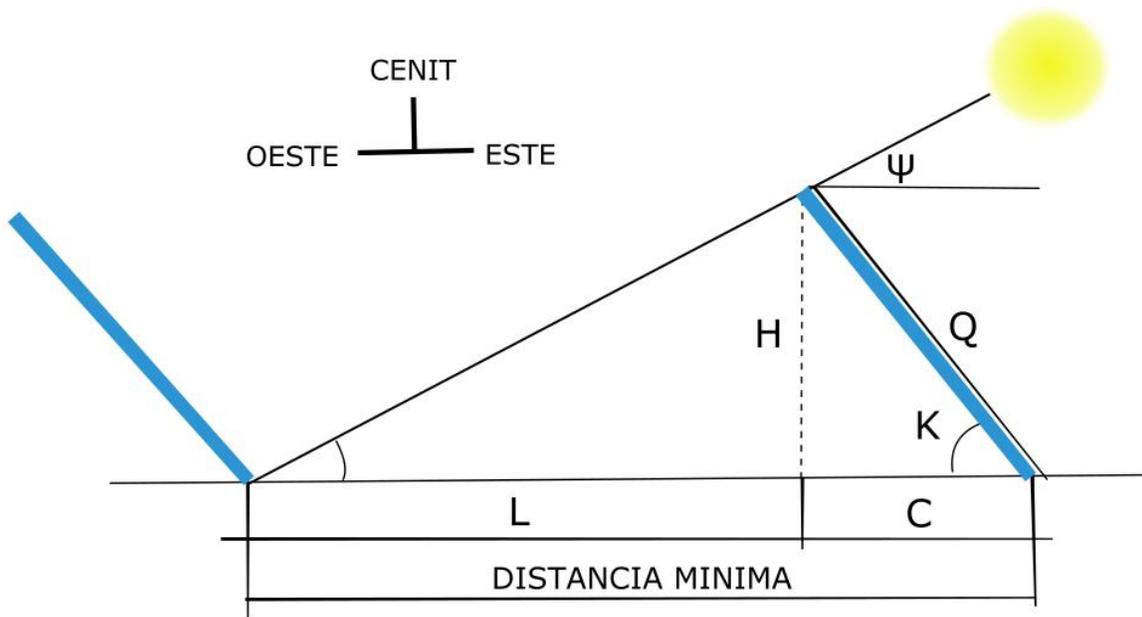


Ilustración 63: Diagrama de separación entre columnas de seguidores solares.

Donde:

K = inclinación del seguidor en espera

Q = ancho del seguidor solar

ψ = ángulo mínimo del sol

La distancia mínima entre columnas de seguidores solar para que la columna anterior no proyecte sombras en la posterior, se determina mediante la fórmula:

$$C = Q * \cos(K) \quad \text{Ec. (22)}$$

$$H = Q * \text{sen}(K) \quad \text{Ec. (23)}$$

$$Dist_{min} = Q * \cos(K) + \frac{Q * \text{sen}(K)}{\tan \psi} \quad \text{Ec. (24)}$$

$$L = Dist_{min} - C \quad \text{Ec. (25)}$$

Como se explicó el funcionamiento anteriormente, el seguidor solar está diseñado para esperar al sol en $\omega = -50^\circ$, es decir, en 40° desde la horizontal, a partir que el sol tiene un $\omega = -80^\circ$, que es igual a 10° comenzando en el horizonte, el diagrama del análisis necesario para el cálculo de la distancia de separación mínima se muestra en el ilustración 64.

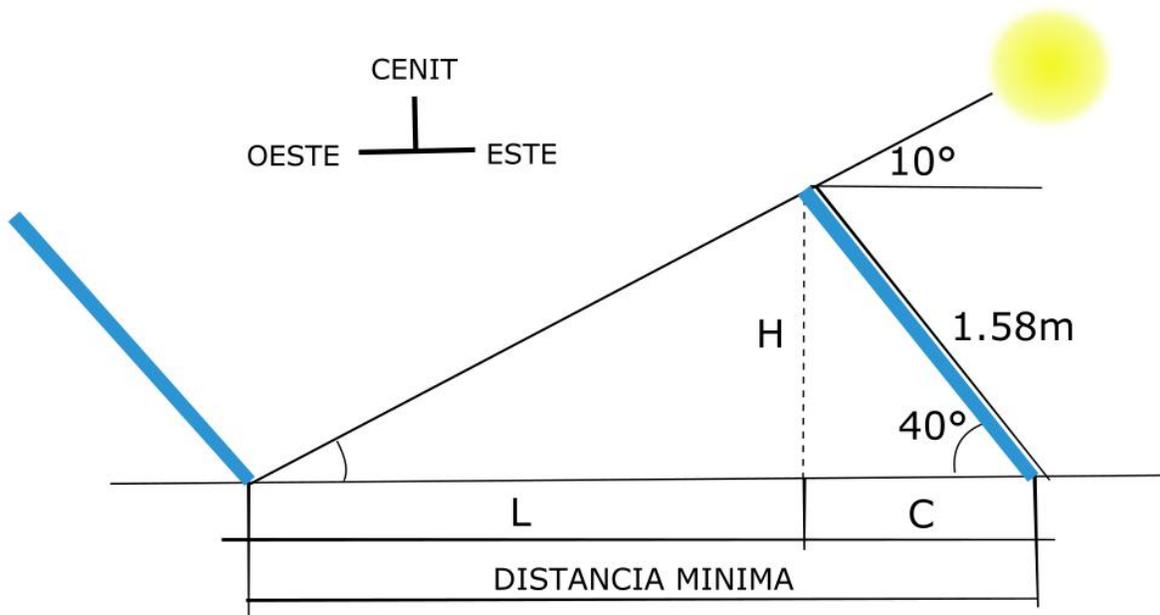


Ilustración 64: Diagrama para el cálculo de la separación mínima entre columnas de seguidores solares.

Donde:

K = inclinación del seguidor en espera = 40°

Q = ancho del seguidor solar = 1.58 metros

ψ = ángulo mínimo del sol = 10°

$$Dist_{min} = 1.58 * \cos(40) + \frac{1.58 * \sin(40^\circ)}{\tan(10^\circ)} \quad \text{Ec. (26)}$$

$$Dist_{min} = 6.99 \text{ metros} = 7 \text{ metros} \quad \text{Ec. (27)}$$

$$C = 1.58 * \cos(40^\circ) = 1.21m \quad \text{Ec. (28)}$$

$$L = 6.99 - 1.21 = 5.77m \quad \text{Ec. (29)}$$

El diagrama de instalación para seguidores solar en columnas con su distancia mínima de separación ($Dist_{min} = 7$ metros), para evitar sombras mutuas durante todo el año, se muestra a continuación.

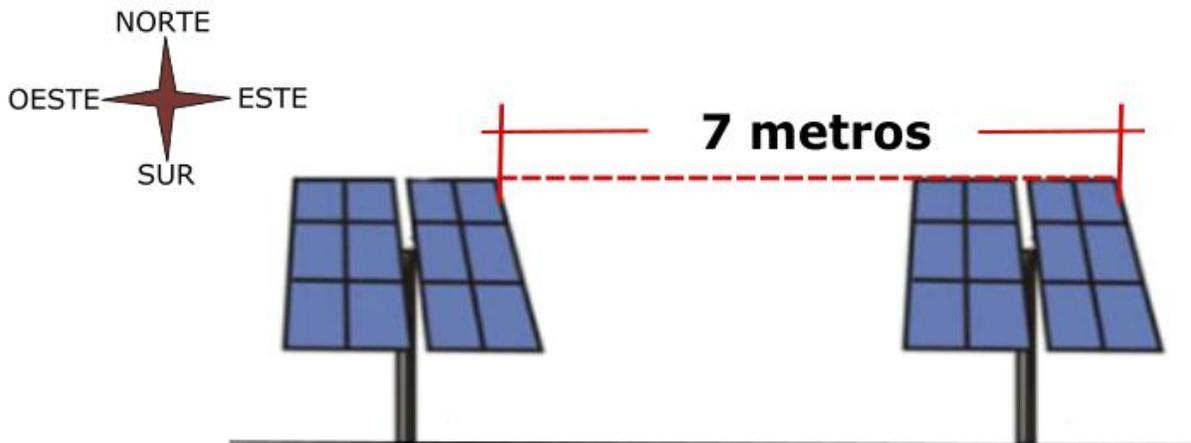


Ilustración 65: Distancia mínima de separación entre columnas.

Realizado el análisis y obtenida la distancia mínima, se procede a comprobar si existen sombras a lo largo del año en la fila de seguidores solares, a través de la carta solar cilíndrica.

A continuación se describe el procedimiento para la comprobación, utilizando la carta solar cilíndrica.

En la carta se refleja el azimut y elevación de un objeto en los días del año más significativos, es decir: equinoccios y solsticios. No obstante, de forma análoga se puede representar cualquier otro día del año. Lo más habitual es representar una

trayectoria por mes, frecuentando tomarse los días 21 de cada mes, y para días intermedios se pueden realizar interpolaciones.

Las cartas solares cilíndricas son comúnmente utilizadas para representar mapas de sombras. La principal ventaja es la posibilidad de representar el horizonte real en torno al observador, y estudiar directamente las obstrucciones solares.

Para facilitar el uso de las carta solar, es utilizó un software tipo CAD, en el cual se dibujaran las condiciones que se desea realizar, y poder identificar los puntos críticos que deben ser analizados.

ANÁLISIS DE PUNTO INFERIOR C.

Es el punto más bajo del seguidor solar que se desea colocar en paralelo, se analiza para el punto C como se muestra en la ilustración 66 con respecto a los puntos J y K.

Con ayuda de software se calcula la elevación y azimut del punto inferior y se consolidan en una tabla para generar las coordenadas en la carta solar.

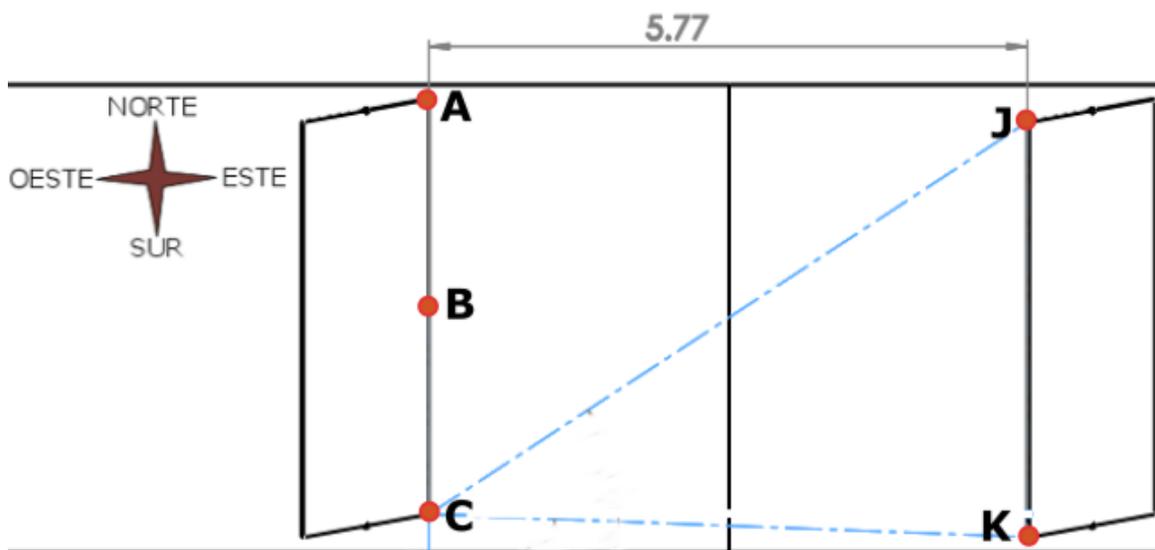


Ilustración 66: Punto crítico inferior C.

Para el punto crítico C obtenemos los valores que se muestran en la ilustración 67, donde se calcula la elevación.

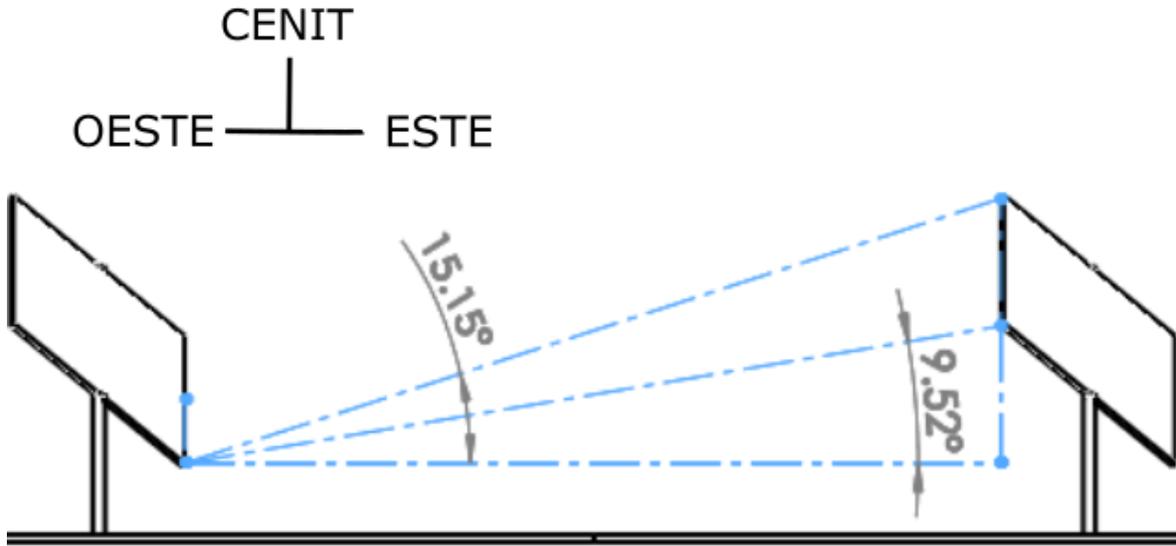


Ilustración 67: Cálculo de ángulo de elevación del punto inferior C.

Para el análisis del acimut se analiza desde la vista superior donde se calcula con respecto al sur en la ilustración 68, y se visualiza los dos valores, con respecto al punto J y respecto al punto K.

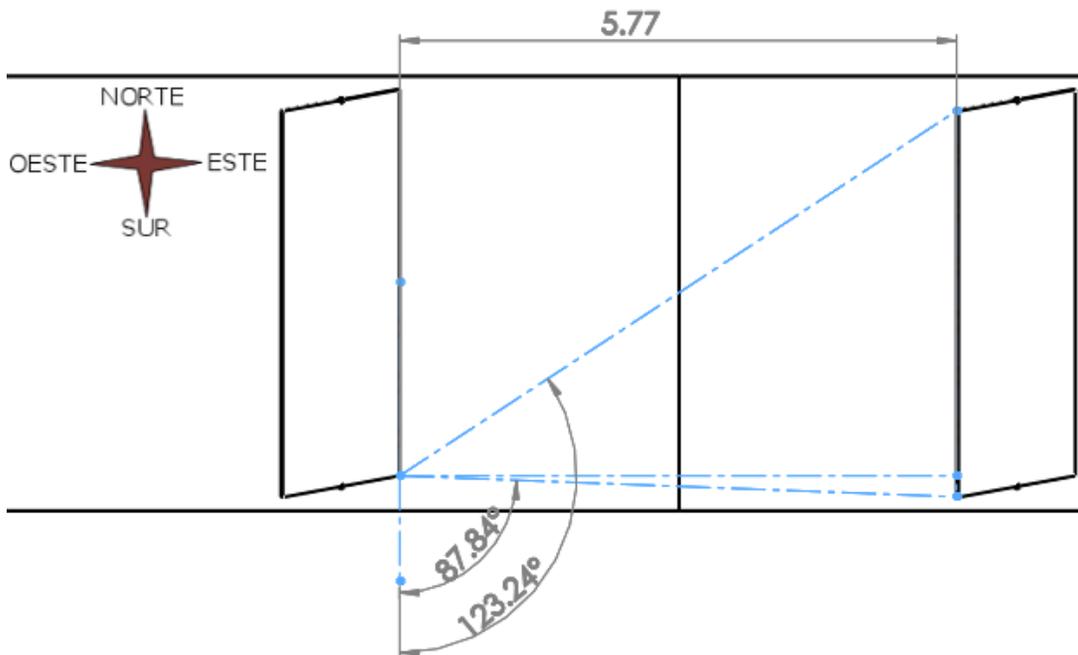


Ilustración 68: Ángulo acimut del punto inferior C.

Con los datos obtenidos se establece la tabla A para generar los puntos de ubicación en la carta solar.

Coordenadas del punto inferior C

Azimut	Elevación
-123.24°	0°
-123.24°	15.15°
-87.84°	9.52°
-87.84°	0°
123.24°	0°
123.24°	15.15°
87.84°	9.52°
87.84°	0°

Tabla 1: Datos de azimut y elevación para punto inferior C.

De la tabla A, tomamos los valores y se grafican en la carta para formar el diagrama de análisis como se muestra en la ilustración 69.

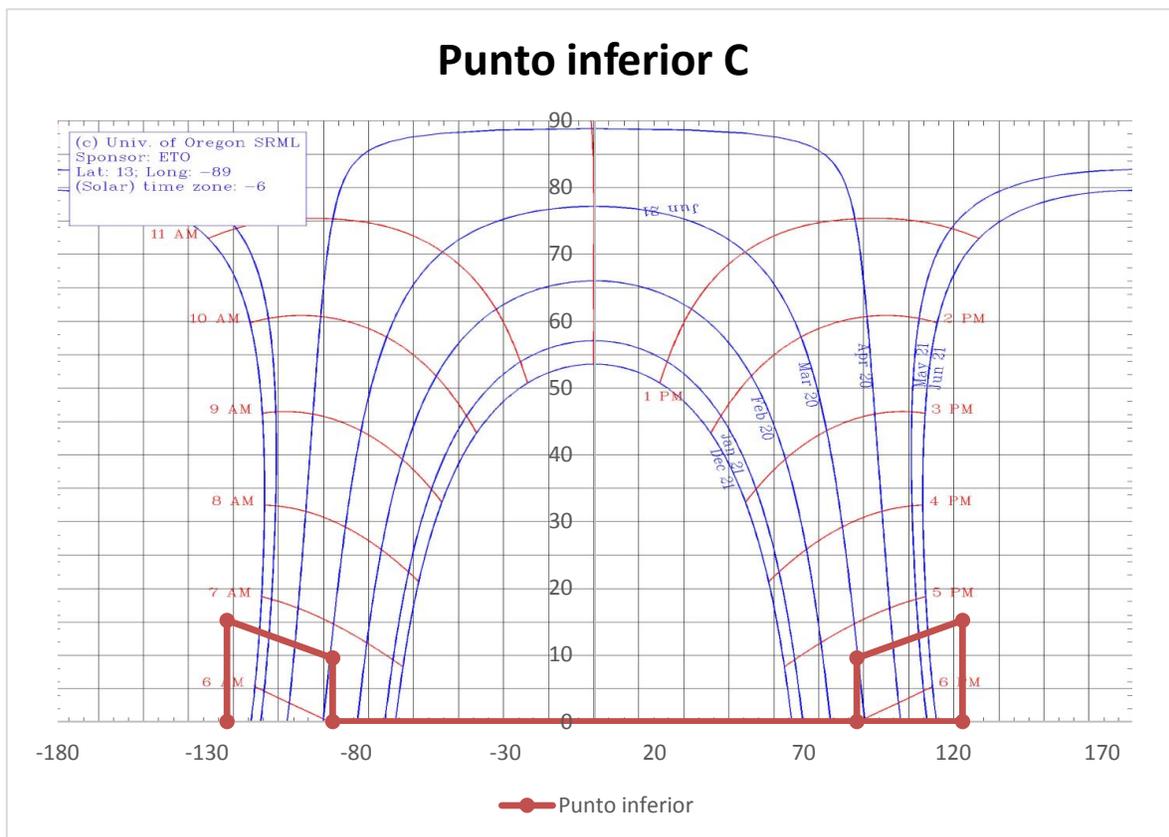


Ilustración 69: Representación del punto C en la carta solar.

ANÁLISIS DE PUNTO MEDIO B

Ahora se analiza el punto medio B con respecto a J y K, como se muestra en la ilustración 70, donde se visualiza la relación entre los puntos.

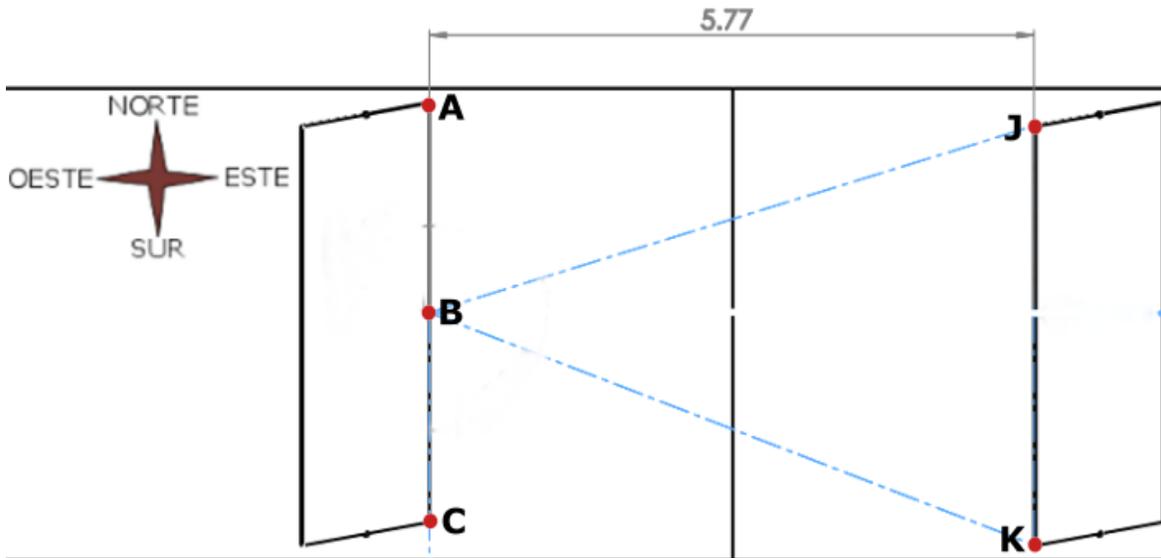


Ilustración 70: Punto crítico B con respecto a J y K

Para calcular las componentes, se hace un análisis a las dimensiones del sistema en la ilustración 71, donde se logra visualizar el ángulo de elevación con respecto al punto medio.

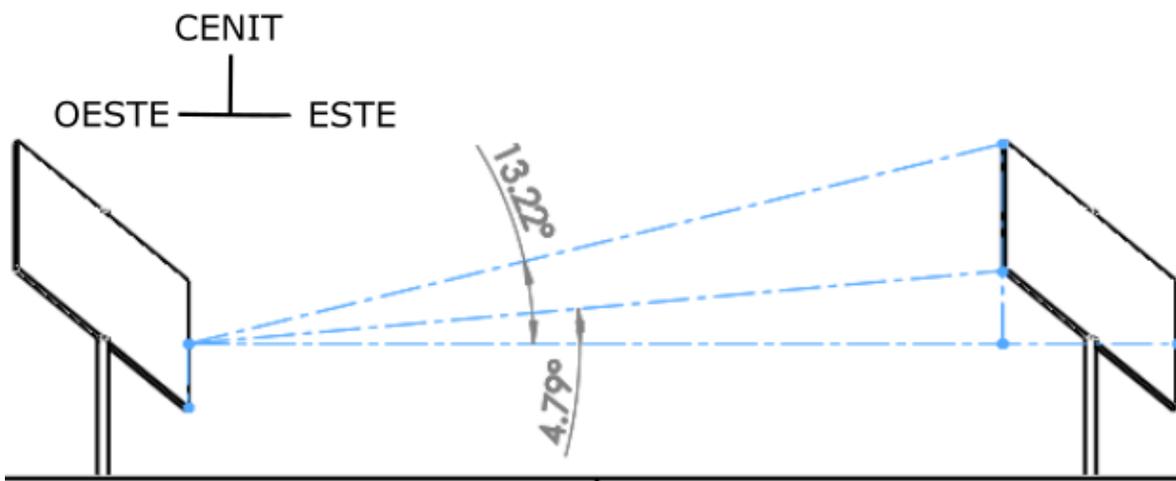


Ilustración 71: Elevación de los puntos J y K con respecto del punto B.

Se calcula para el azimut en la vista de planta, donde se obtienen los valores.

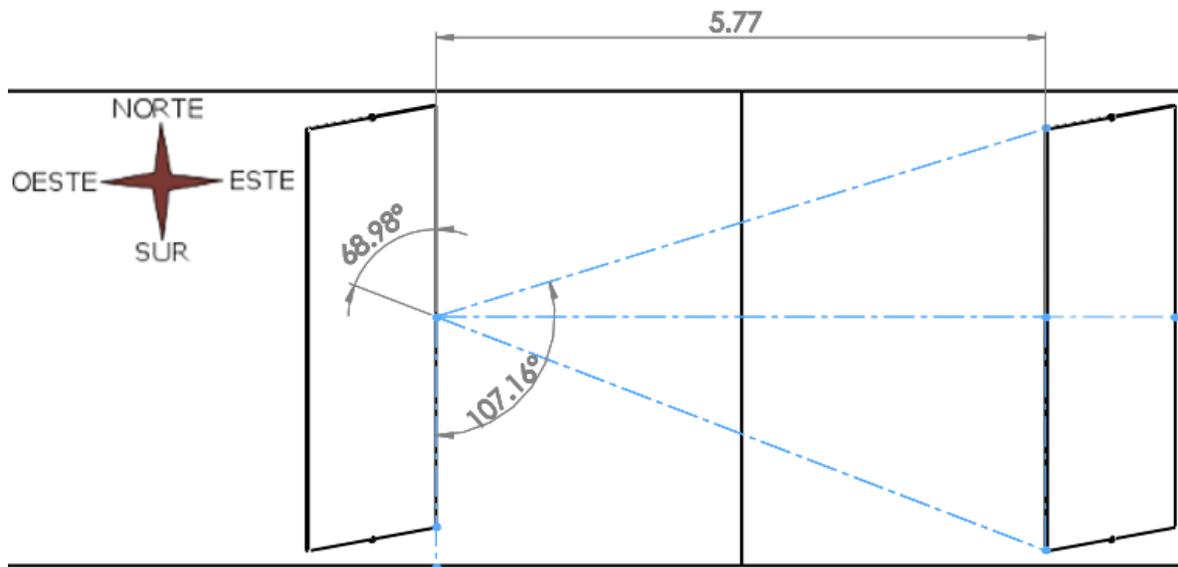


Ilustración 72: Azimut del punto B hacia los puntos J y K.

Con los datos generados se establece los datos para la tabla 2, los cuales se utilizan para los puntos en la carta solar cilíndrica.

Coordenadas del punto medio B

Azimut	Elevación
-107.16	0
-107.16	13.22
-68.98	4.77
-68.98	0
107.16	0
107.16	13.22
68.98	4.77
68.98	0

Tabla 2: Datos de azimut y elevación para punto inferior B.

Con los datos en tabla se genera los puntos en la carta cilíndrica se insertan en la carta solar cilíndrica como se muestra en la ilustración 73.

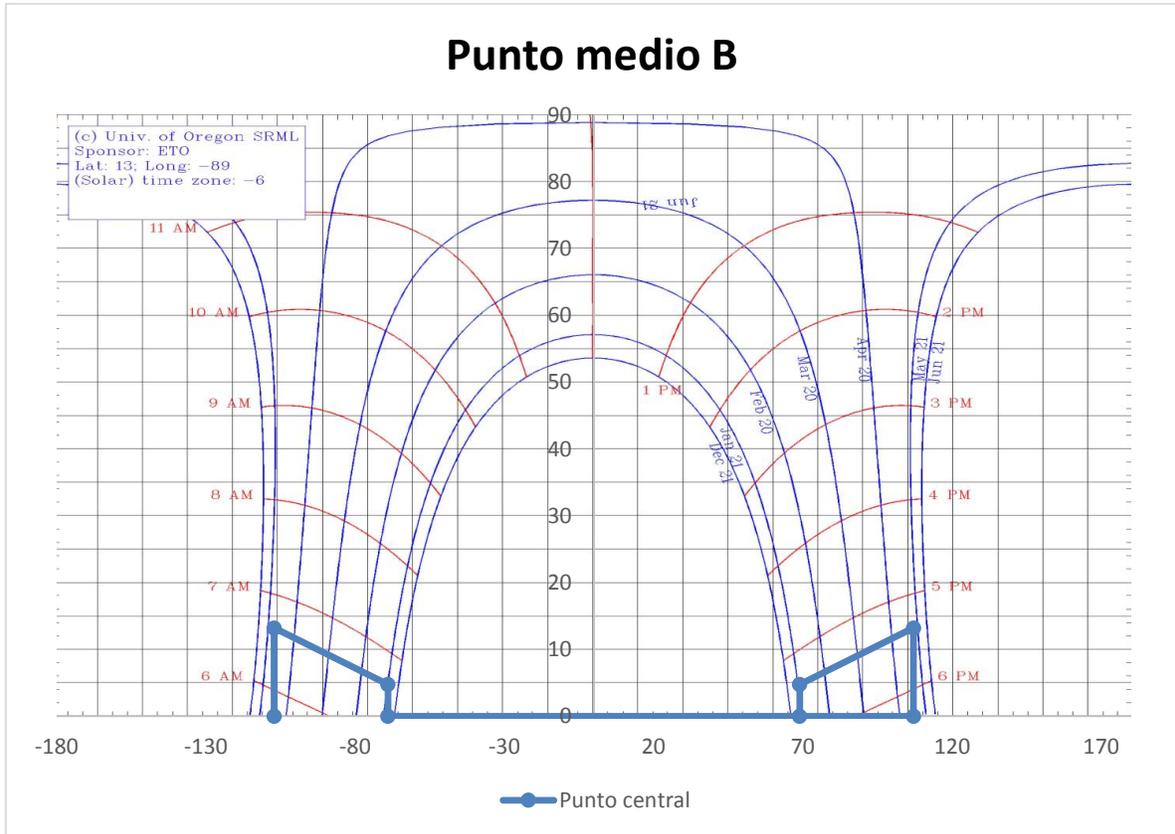


Ilustración 73: Representación del punto B en la carta solar.

ANÁLISIS DE PUNTO SUPERIOR A.

Para finalizar se analiza el punto superior A con respecto a J y K, como se muestra en la ilustración 74, donde se visualiza la relación entre los puntos.

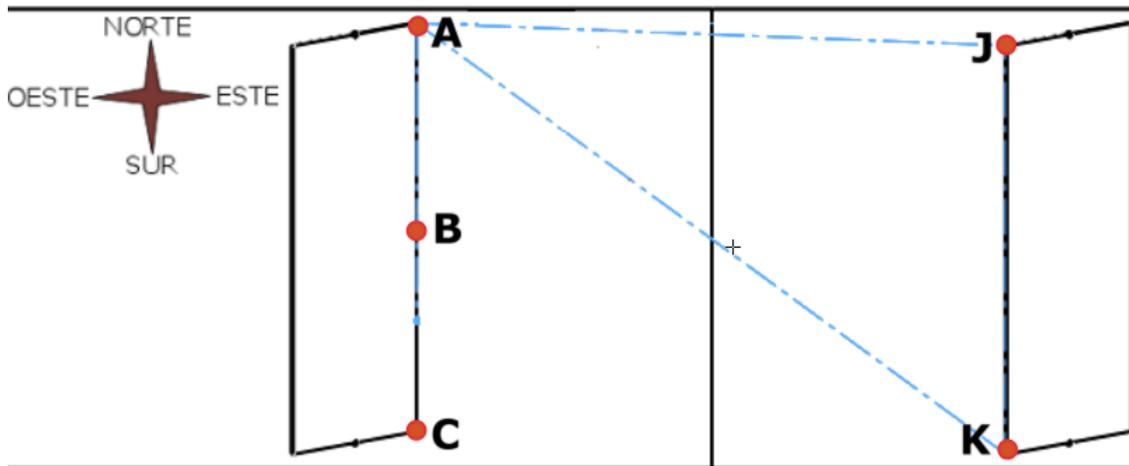


Ilustración 74: Punto crítico A con respecto a J y K

Se calcula el azimut para el punto superior A, con respecto al punto J y K, el cual muestra una proyección, y se calcula el azimut, ver ilustración 75.

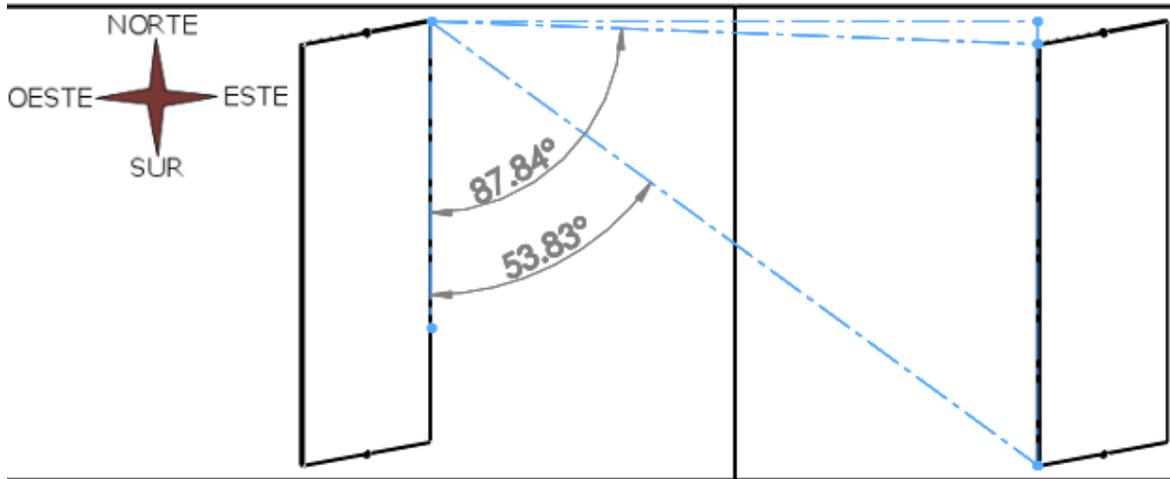


Ilustración 75: Azimut del punto A respecto al punto J y K.

Luego de sacar el azimut se toma de la vista lateral la elevación, como se muestra en la ilustración 76.

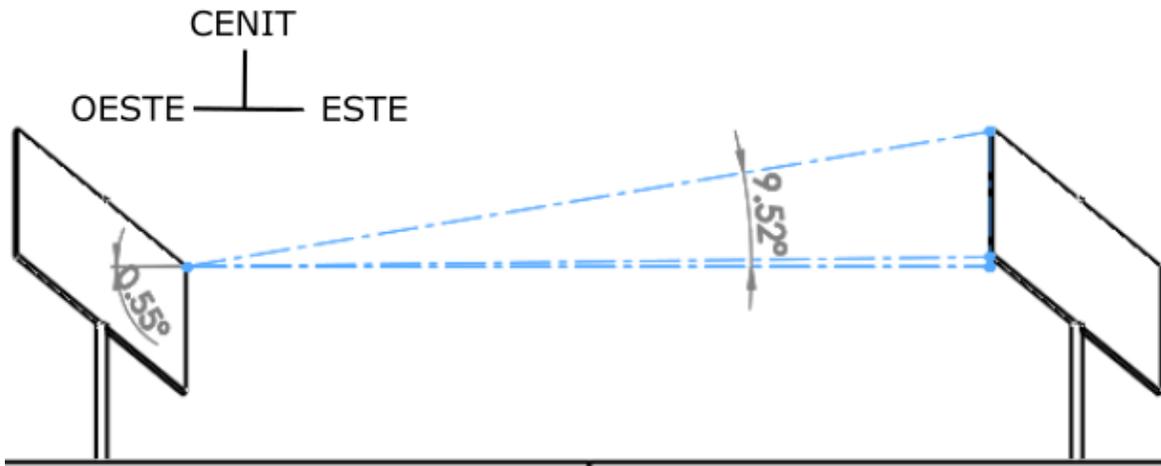


Ilustración 76: Elevación de punto A con respecto a los puntos J y K.

Con estos datos de azimut y elevación se elabora la tabla 3, la cual contiene las coordenadas necesarias del punto superior A.

Coordenadas del punto superior A

Azimut	Elevación
-87.84	0
-87.84	9.52
-53.83	0.55
-53.83	0
87.84	0
87.84	9.52
53.83	0.55
53.83	0

Tabla 3: Datos de azimut y elevación del punto superior A.

Se elabora el grafico sobre la carta solar cilíndrica y obtenemos el periodo de sombra en el punto superior A, como se muestra en la ilustración 77.

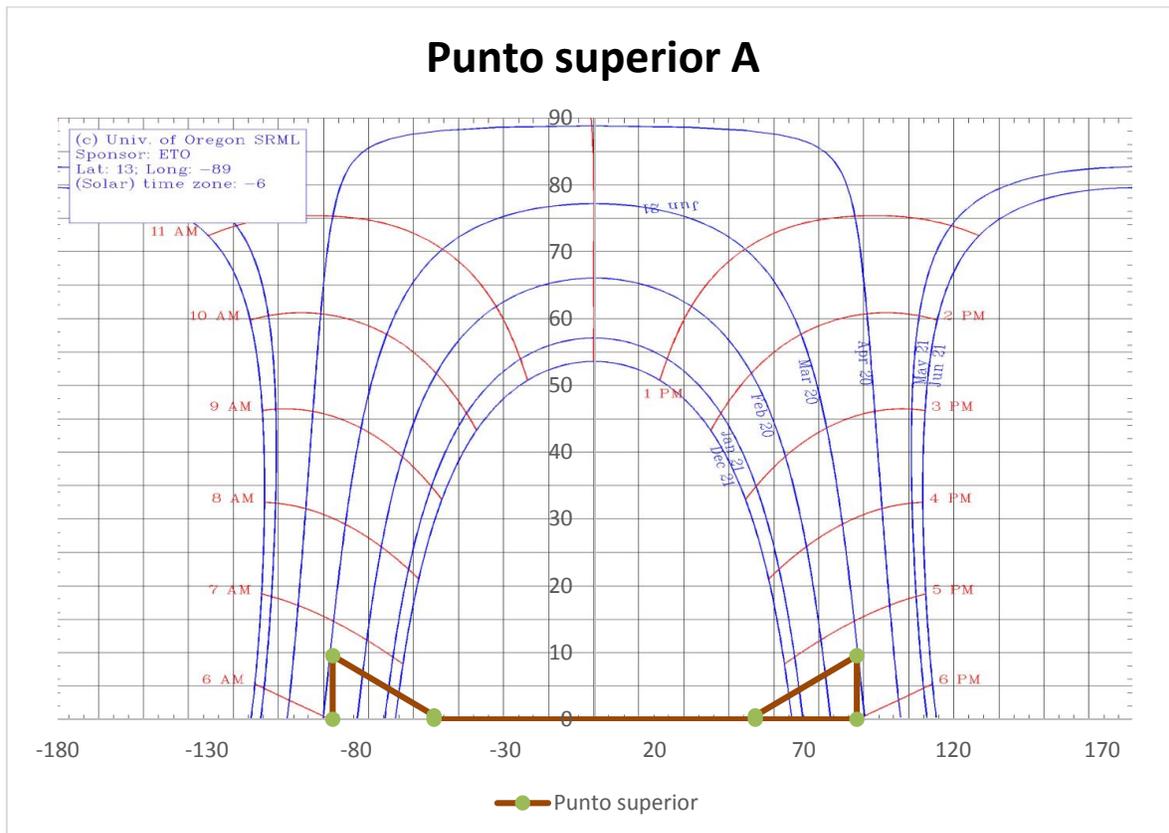


Ilustración 77: Representación del punto A en la carta solar.

Con todos puntos críticos analizados y datos obtenidos para cada uno de ellos, se genera un gráfica para los puntos críticos en la ilustración 78, se muestra la carta solar completa.

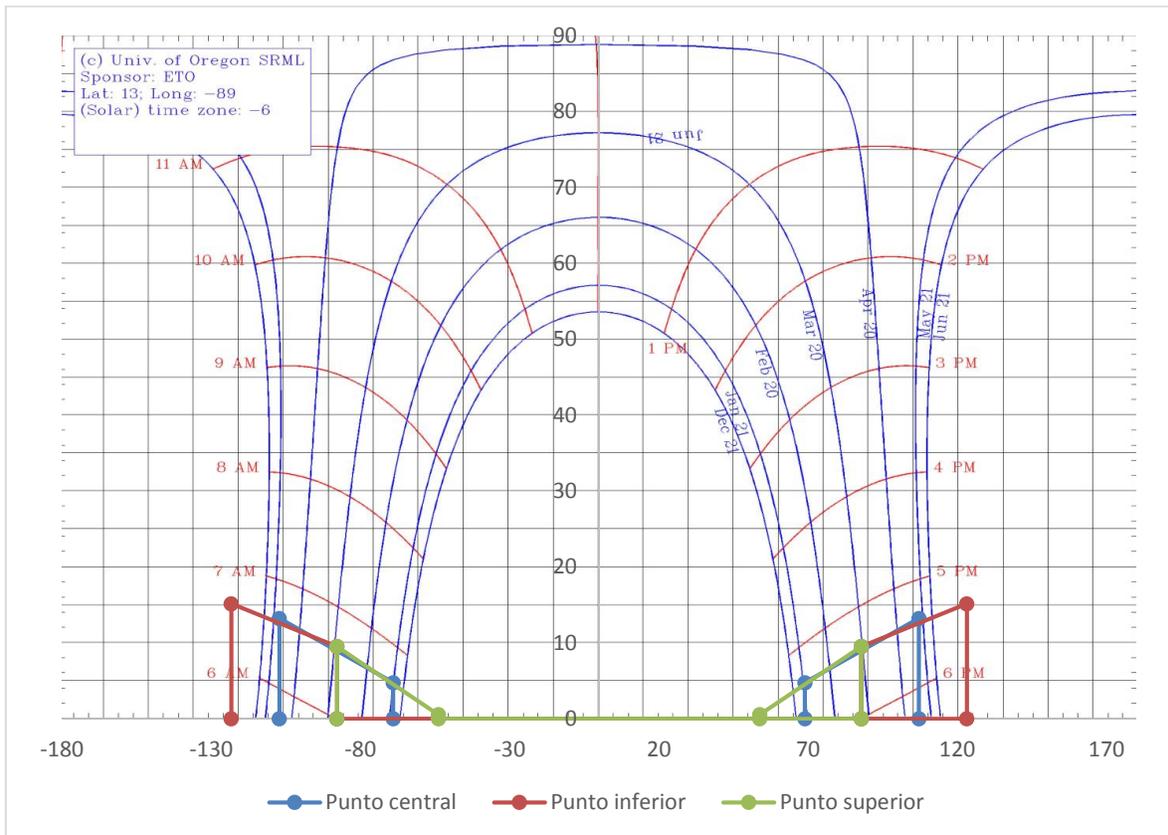


Ilustración 78: Representación de los puntos A, B y C, en la carta solar.

En la ilustración 78, se observa con claridad y comprobar que la distancia mínima calculada entre filas de seguidores solares es correcta, ya que la sombra que se producirá a los largo del año es insignificante ya que se produce en horas en las cuales los rayos del sol no son aprovechables, y el seguidor tiene posición horizontal en estas horas.

El análisis anterior es necesario, se debe realizar cuando se desee instalar filas de paneles fotovoltaicos fijos o con seguimiento solar, todo con el fin de evitar sombras en los sistemas fotovoltaicos.

SIMULACIÓN DE SOMBRAS MUTUAS.

Una vez calculada las distancias mínimas de separación entre filas y columnas de seguidores solar en la sección anterior, para validar los análisis y métodos usados en el cálculo de estas distancias, se realiza una simulación de sombras mutuas por software (véase Anexo 10), que es una herramienta que sirve para desarrollar instalaciones fotovoltaicas que la simulación de sombras, para esto se debe dibujar una distribución de seguidores solar, para esta evaluación de sombras mutuas se toma una distribución de 6 seguidores solares, 3 columnas de Este a Oeste y 2 filas de Norte a Sur, tal cual como se observar a continuación en la ilustración X.

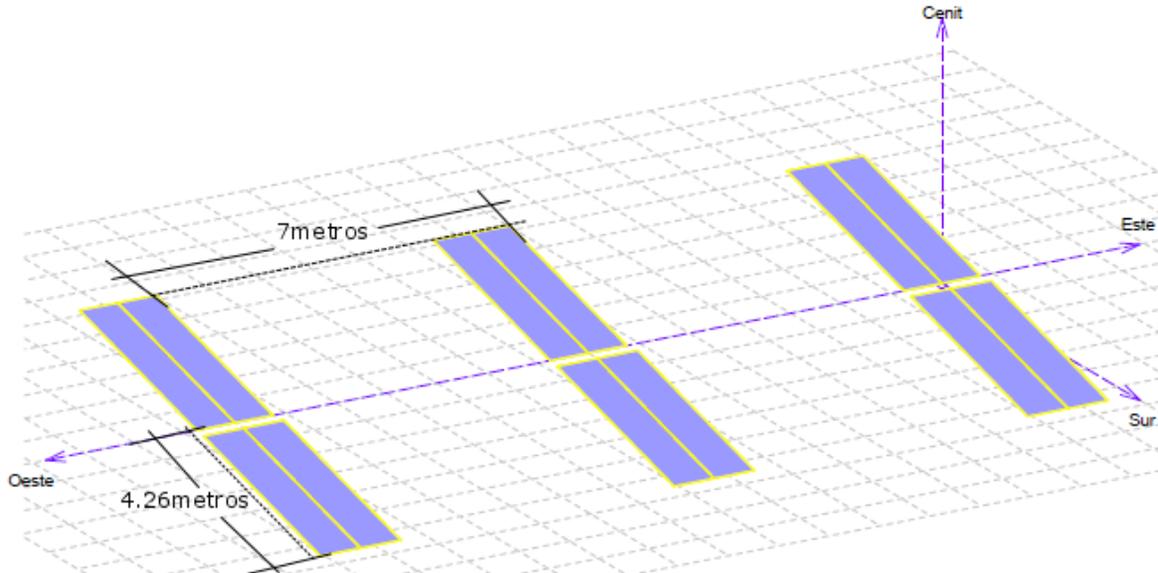


Ilustración 79: Distribución de seguidores a evaluar en un simulador.

Una vez se tiene la distribución, y la separación mínima calculada se realiza la simulación cuando el sol se encuentra en el este por las mañanas.

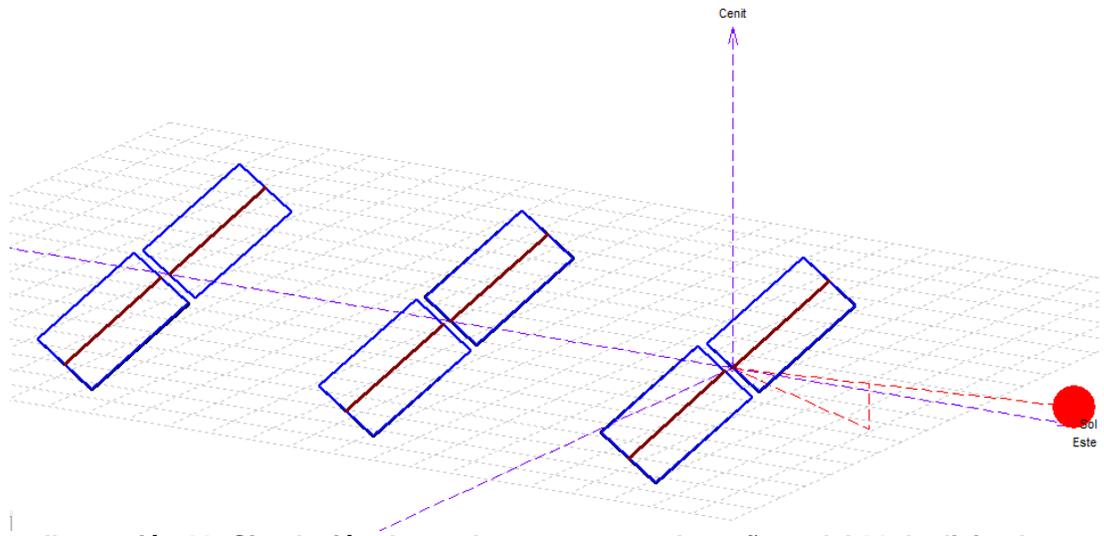


Ilustración 80: Simulación de sombras mutuas en la mañana del 21 de diciembre.

Como se puede observar en la ilustración anterior, no se reflejan sombras mutuas entre seguidores solares a las 6:45 am del 21 de diciembre, a esta hora el seguidor se encuentra en modo espera en $\omega = -40^\circ$, y el sol se encuentra en $\omega = -75^\circ$, lo que es un indicador directo que el análisis y métodos usados para el cálculo de la distancia mínima entre seguidores solares.

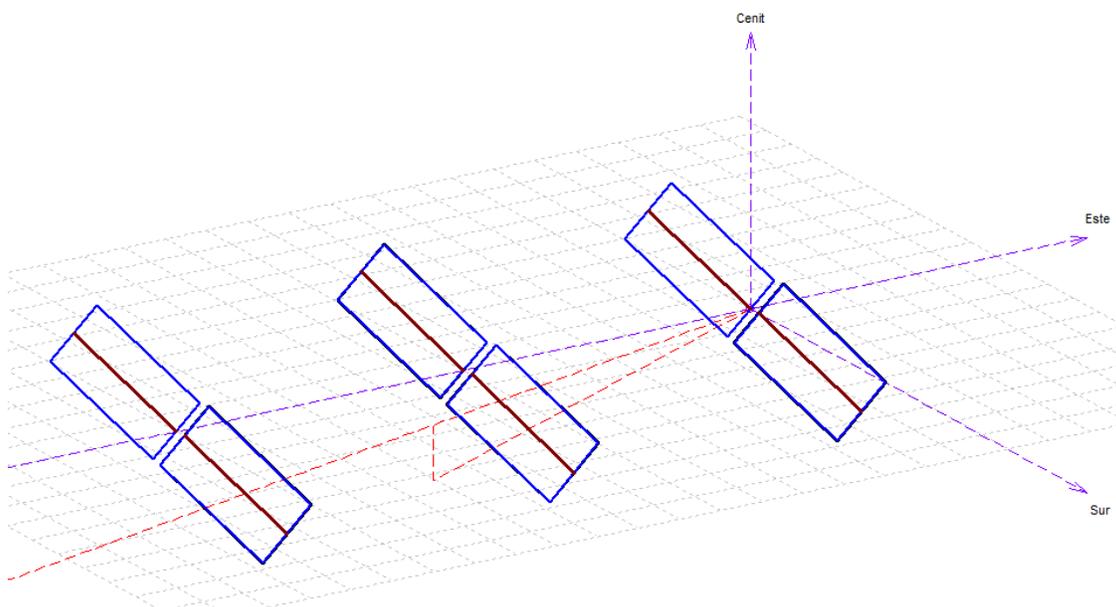


Ilustración 81: Simulación de sombras mutuas por la tarde del 21 de diciembre.

En la ilustración 81, se muestra la simulación de sombras mutuas para el 21 de diciembre a las 5:00 pm, no se reflejan sombras mutuas entre los seguidores a esta horas el sol tiene un $\omega = 80^\circ$, en este momento los seguidores solar se colocan automáticamente en posición de descanso $\omega = 0^\circ$.

Para finalizar la simulación de sombras mutuas se obtiene la carta solar cilíndrica de la distribución el campo solar presentada a continuación.

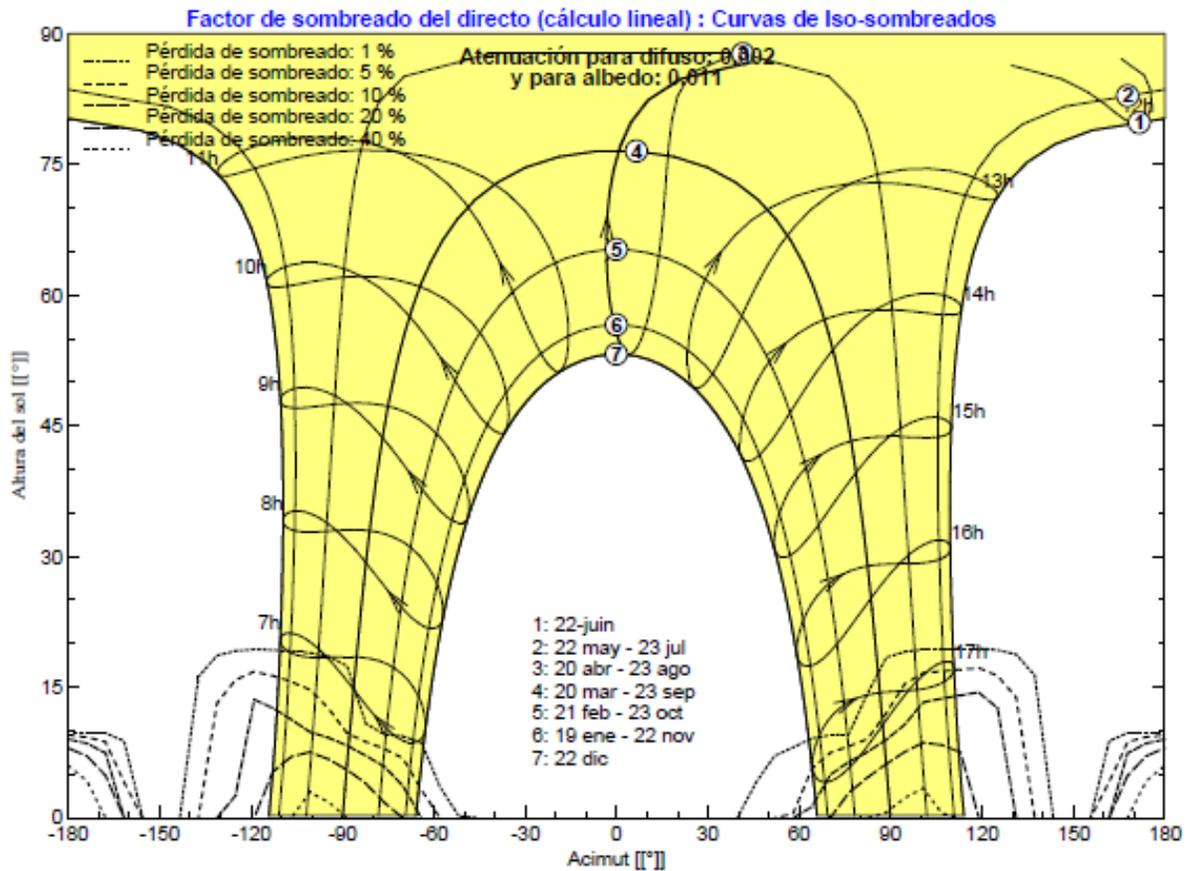


Ilustración 82: Carta solar cilíndrica, obtenida mediante software de simulación.

Es fácil observar la gran similitud con la Carta cilíndrica de la ilustración 78, lo que confirma que las distancias mínimas calculadas entre filas y columnas de seguidores solares son correctas.

RELACIÓN DE OCUPACIÓN DE TERRENO (ROT)

Los valores entre el 2% y el 4% se consideran aceptables en el factor de sombra anual, para ambos sistemas, sistema fijo y sistema con seguimiento. El factor de sombras toma un nivel de ocupación de terreno que es dependiente de modo de seguimiento del generador. Para el cálculo se utiliza un parámetro denominado GCR, por sus siglas en inglés Ground Coverage Ratio, que significa, Relación de Cubrimiento del Terreno, el cual consiste en la relación que existe entre el área del generador (AG), ecuación 30 y el área de terreno ocupado (ATO), que se calcularon en la distancia entre paneles, el resultado se muestra la ecuación 33.

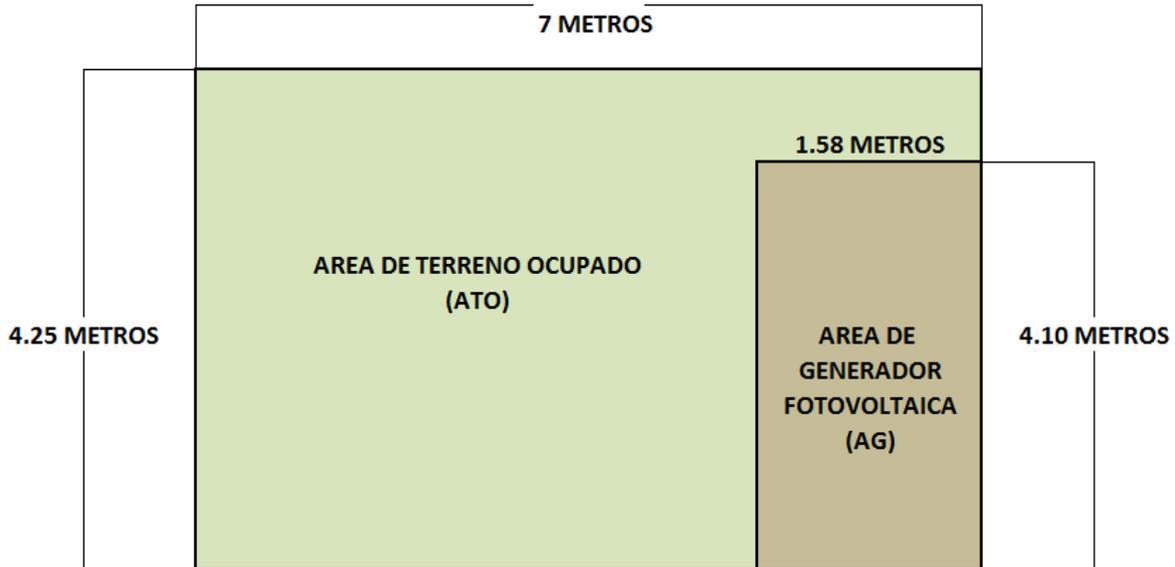


Ilustración 83: Áreas correspondientes al terreno y generador fotovoltaico.

Para el cálculo de área de generador (AG), se calcula de las medidas del sistema de seguimiento.

$$AG = ancho * largo \quad \text{Ec. (30)}$$

$$AG = 1.58 \text{ metros} * 4.10 \text{ metros} \quad \text{Ec. (31)}$$

$$AG = 6.478 \text{ metros}^2 \quad \text{Ec. (32)}$$

Y luego se calcula el área de terreno ocupado (ATO), que se calcularon anteriormente en las ecuaciones tales (poner las ecuaciones de donde salieron los datos).

$$ATO = \text{Distancia mínima de separación entre columnas} \\ * \text{Distancia mínima de separación entre filas} \quad \text{Ec. (33)}$$

$$ATO = 7 \text{ metros} * 4.25 \text{ metros} \quad \text{Ec. (34)}$$

$$ATO = 29.75 \text{ metros}^2 \quad \text{Ec. (35)}$$

Para el cálculo se utiliza un parámetro denominado GCR, Relación de Cubrimiento del Terreno, que es la relación entre área de generador entre el área de terreno ocupado.

$$GCR = \frac{AG}{ATO} \quad \text{Ec. (36)}$$

Dónde:

AG = área del generador

ATO = el área de terreno ocupado (ATO)

$$GCR = \frac{6.478}{29.75} = 0.2177 \quad \text{Ec. (37)}$$

Por tanto, siempre será $GCR < 1$, y para el cálculo de la relación del área del terreno con el área del generador fotovoltaico, es decir, Radio de Ocupación de Terreno (ROT), o Ground Requirement Ratio, GRR, que es el inverso de GCR, lo cual es la relación entre el área de terreno necesaria para ubicar un generador de un área determinada para obtener el factor de sombras requerido, ecuación 38

$$ROT = \frac{1}{GCR} = \frac{ATO}{AG} \quad \text{Ec. (38)}$$

$$ROT = \frac{29.75}{6.478} = 4.59 \quad \text{Ec. (39)}$$

A modo de regla sencilla, y teniendo en cuenta exclusivamente el sombreado mutuo, para obtener los valores de factor de sombras reseñados suele considerarse que un sistema estático requiere un ROT de 2, un sistema de seguimiento de eje horizontal Norte-Sur requiere un ROT de 4, y un sistema de seguimiento de doble eje necesita un ROT de 6. (LAMIGUEIRO, 2013)

Por lo que el valor llegado es una buena aproximación para un sistema de eje inclinado.

3.13. COMPRACION CON SEGUIDORES COMERCIALES.

Se realiza una comparación contra un seguidor solar comercial SP 120, grupo CLAVIJO, datos técnicos es encuentran en anexo.

A continuación se presenta tabla comparativa entre el seguidor implementado y el seguidor SP 120, grupo CLAVIJO.

Tipo de seguimiento	Mono axial eje Horizontal	Prototipo
<i>Captación del movimiento</i>	Inclinómetro	Inclinómetro y GPS
<i>Rango de giro</i>	De +45° a -45°	De +50 a -40
<i>Accionamiento de giro</i>	Electromecánico	Electromecánico
<i>Accionamiento de la transmisión</i>	Módulo de giro (corona – husillo)	Lineal
<i>Potencia del motor</i>	Motor 0.37 Kw	48 watts
<i>Tensión de entrada al cuadro de control</i>	230V (monofásica)	120V monofásico
<i>Trabajos en Campo y Ensamblado Piezas</i>	No necesita soldadura en campo, las piezas son ensambladas mediante tornillería.	Ensamblado por tornillería.
<i>Distancia mínima entre filas</i>	6 m (19,7 ft)	7 metros
<i>Carga portante</i>	módulos de 28 kg (61,73 lb)	4 módulos de 16 kg
<i>Altura sobre el suelo (parte inferior de módulos a 45°)</i>	0,5 m (1,64 ft). Variable en función de la profundidad de atornillado y la orografía del terreno.	0.6 variable con el terreno
<i>Fijación terreno</i>	Diversas opciones: Con tornillo de cimentación MECASCREW o compatibles. Micropilotes. Zapatas de hormigón in situ o prefabricadas	Fijación por pernos pasado a la pared.

Tabla 4: Comparación de características técnicas seguidor comercial y seguidor implementado.

Los sistemas de seguimiento solar tienen características muy similares, el rango de movimiento se encuentra en 90° efectivos, y el movimiento se realiza de forma electromecánica por medio de un actuador lineal, y la alimentación se realiza por 120v en comparación con el sistema comercial que requiere 230 V. Ambos sistemas cuenta con tornillería galvanizada para su instalación en el área de trabajo, la distancia calculada entre filas es de 7 m, lo que resulta un acercamiento a un sistema estandarizado por parte del seguidor implementado.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA GENERADA.

Una vez que se finalizó la implementación del seguidor solar, se procederá a realizar una comparación de la energía generada entre sistemas fotovoltaicos fijos que se encuentra instalados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, con una inclinación de 13° y orientación norte-sur, al igual que el seguidor solar implementado.

4.1. CAPACIDAD INSTALADA

Se coloca 4 paneles solares Sharp modelo nt-175uc1 de celdas tipo silicio mono cristalino, hoja de datos en el anexo 7, de una potencia de 175 watts cada uno, conectados en serie hacia el inversor SunnyBoy 700u en el laboratorio de sistemas fotovoltaico. La capacidad instalada es de 700 watts en el sistema de seguimiento solar.



Ilustración 84: Capacidad Instalada 4 Paneles 700 watts.

4.2. ADQUISICION DE DATOS DE LA ENERGÍA GENERADA.

Para la adquisición de datos, se hará uso de la herramienta Sunny Portal WebBox, que presenta opciones múltiples para el análisis, la generación diaria, hasta un historial de la actividad de los inversores.

A continuación se describen los pasos necesarios para acceder a este portal.

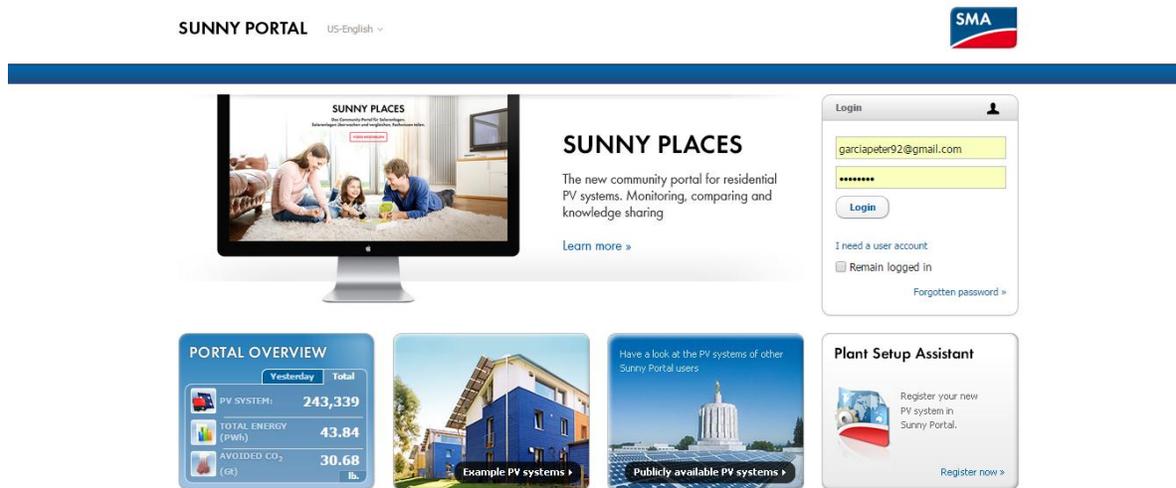


Ilustración 85: Sunny Portal WebBox

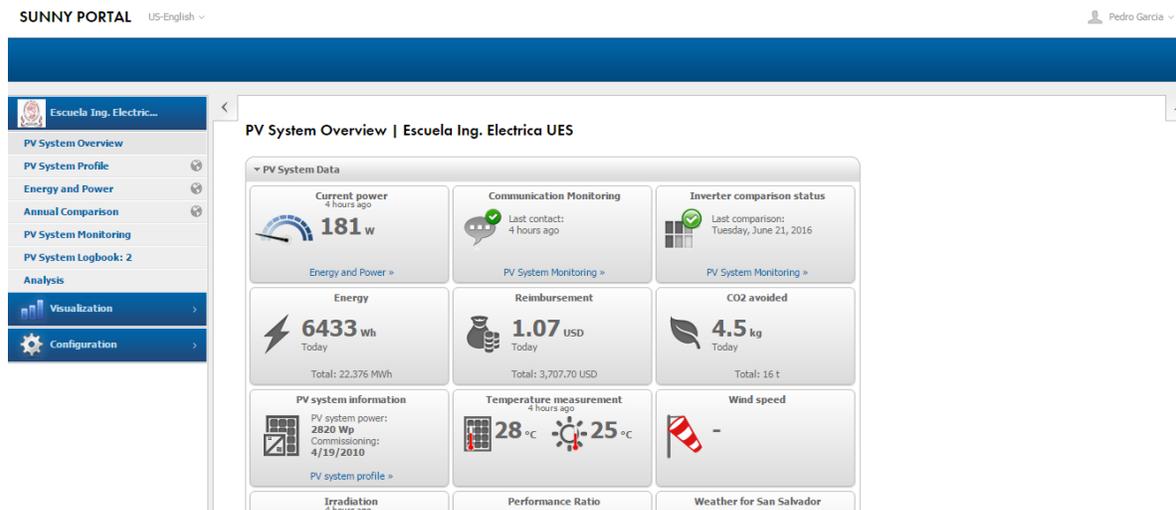


Ilustración 86: Inicio de portal web

Al acceder se muestra las opciones, para observar a la producción de los sistemas se debe dar click en la opción "Análisis" como se muestra en la ilustración 87.

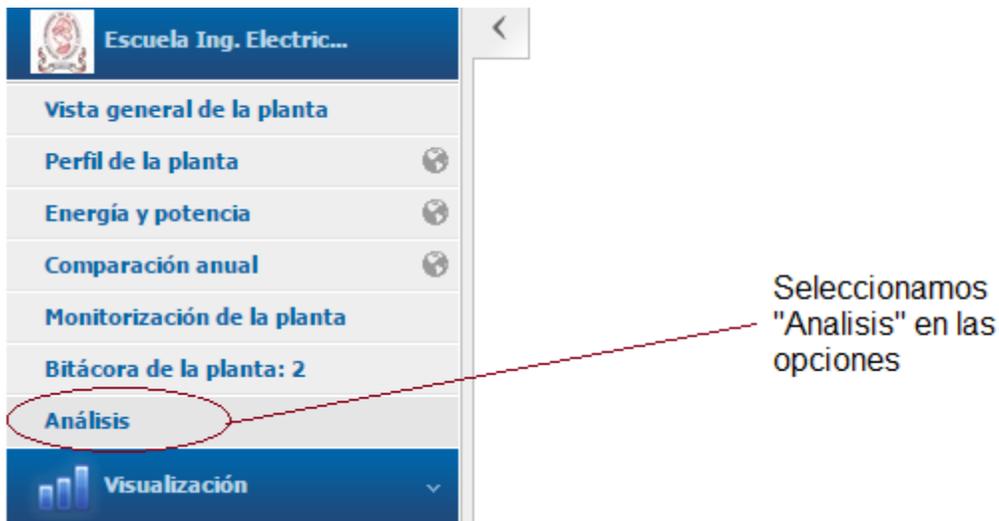


Ilustración 87: Opción Análisis de Sunny portal.

En la opción Análisis se observa la generación diaria del sistema completo, y presenta un historial de la generación diaria, así como elegir entre la muestra de datos semanal, mensual y anual.

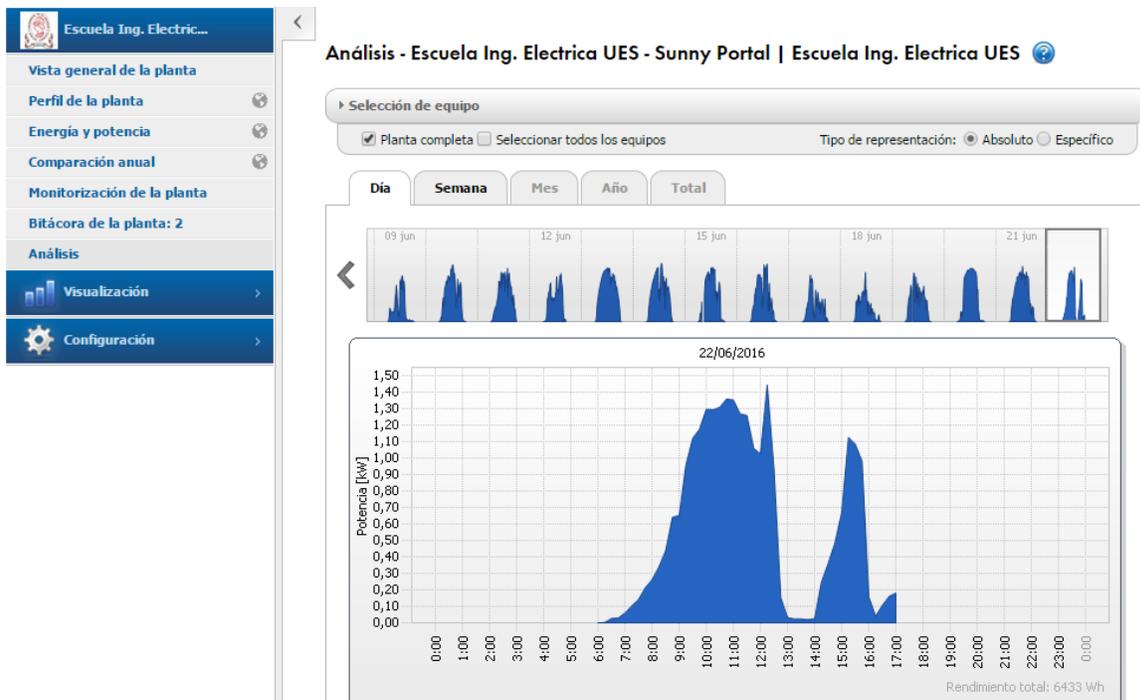


Ilustración 88: Opción Análisis seleccionada, grafica producción diaria de todo sistema.

Esta grafica presenta la producción total de los inversores, se puede mostrar la producción individual haciendo click en la opción “selección de equipo” en la parte superior del gráfico.

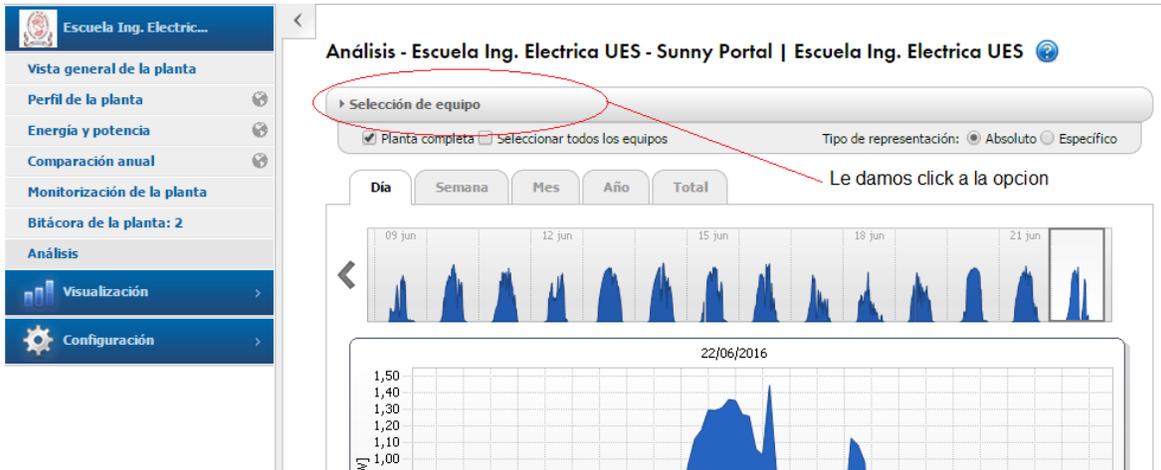


Ilustración 89: Opción Selección de equipo.

Luego se presentan los equipos instalados y se elegí el que se desea visualizar en este caso el Inversor C



Ilustración 90: Selección de inversor C.

De esta forma se visualiza el aporte y la producción del inversor C en el sistema fotovoltaico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

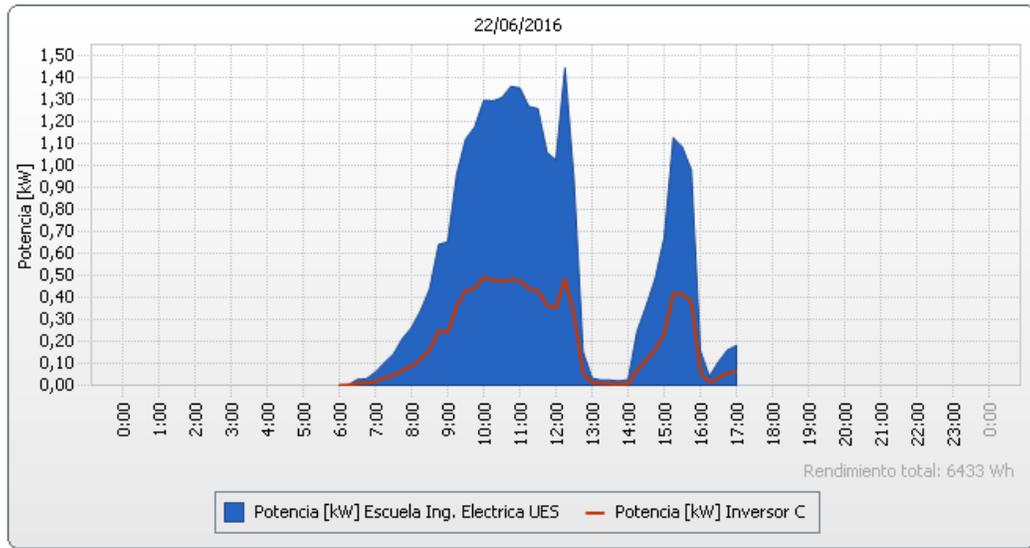


Ilustración 91: Producción el inverso C en un día.

Ahora para observar la producción individual de cada uno de los inversores se debe seleccionar la opción “seleccionar todos los equipos”

SUNNY PORTAL Español

Escuela Ing. Electric...

Vista general de la planta

Perfil de la planta

Energía y potencia

Comparación anual

Monitorización de la planta

Bitácora de la planta: 2

Análisis

Visualización

Análisis - Escuela Ing. Eléctrica UES - Sunny Portal | Escuela Ing. Eléctrica UES

Selección de equipo

Planta completa Seleccionar todos los equipos

Tipo de representación: Absoluto Específico

Día Semana Mes Año Total

click a esta opción

09 jun 12 jun 15 jun 18 jun 21 jun

Ilustración 92: Opción Seleccionar todos los equipos.

En la ilustración 93 se muestra la gráfica con la producción de todos los inversores.

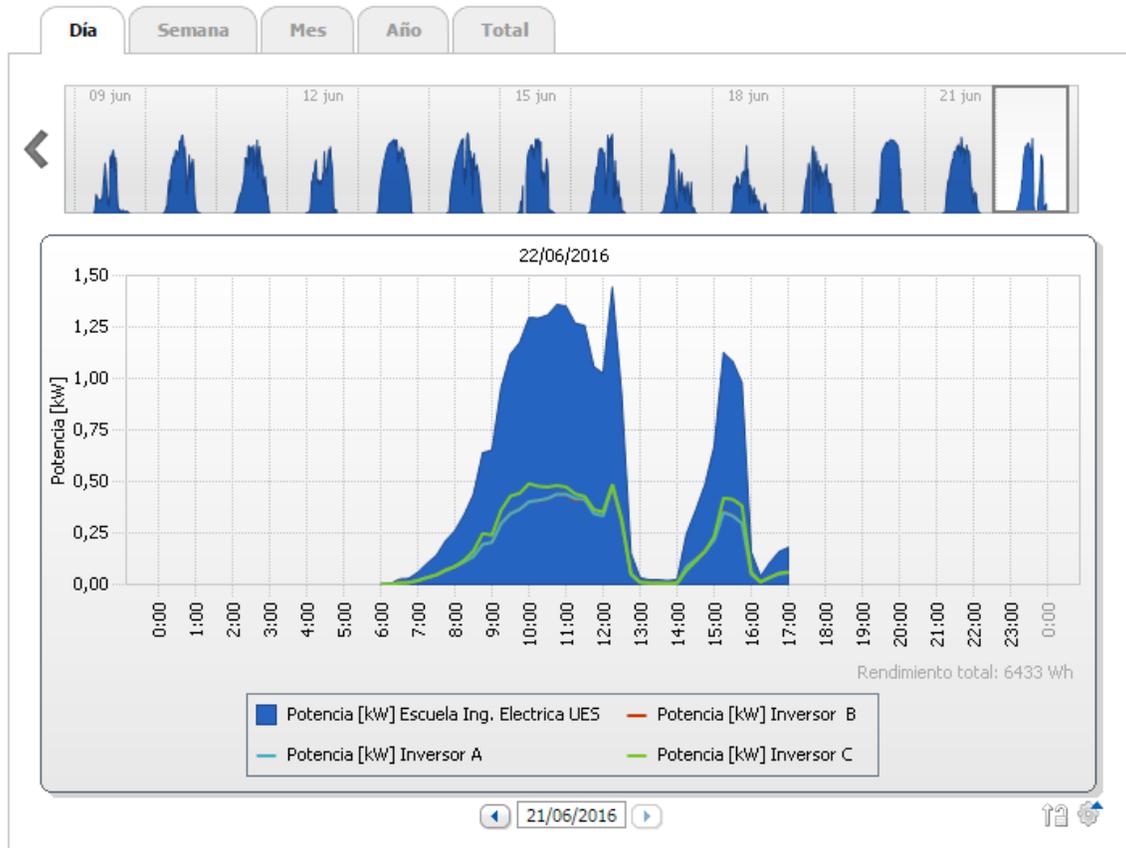


Ilustración 93: Producción individual de cada inversor.

Ahora simplemente falta obtener los datos de producción, para esto sencillamente se debe dirigir al símbolo que se encuentra en la parte inferior derecha como se muestra a continuación en la ilustración 94.

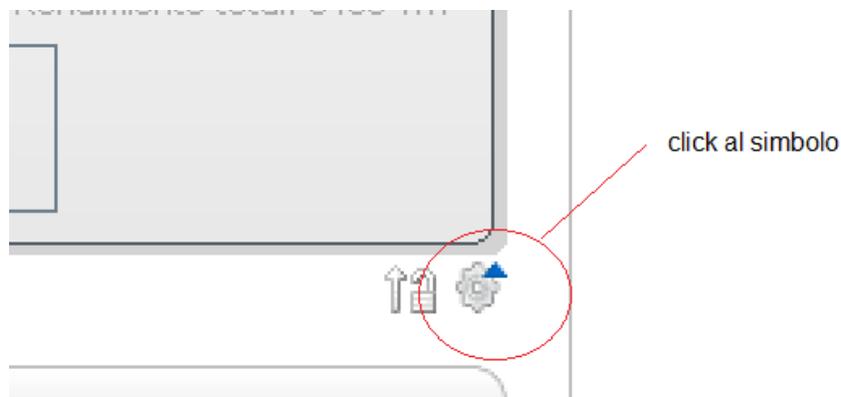


Ilustración 94: Símbolo Opción de descarga

Luego de hacer click se mostrara la opción de descarga de la gráfica mostrada



Ilustración 95: Opción de descarga.

Con lo que se descargara un archivo *.CSV, a partir del cual se procederá a realizar un análisis de producción.

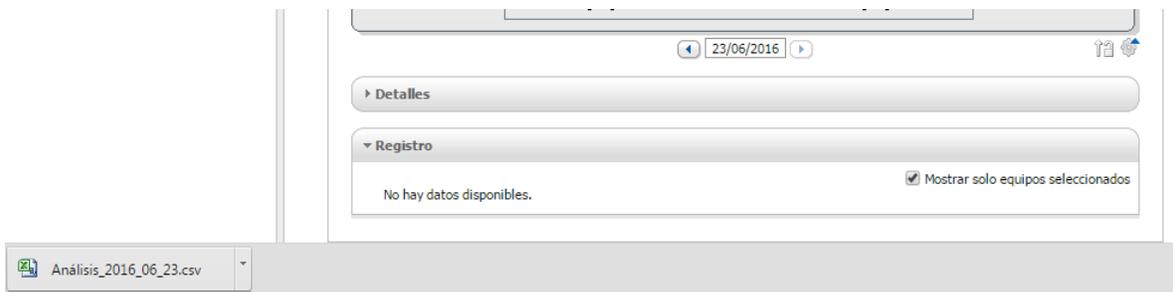


Ilustración 96: Descarga de archivo *.csv

4.3. COMPARACIÓN DE LA GENERACIÓN DIARIA PROMEDIO.

Para el análisis de generación se hace una comparación entre los sistemas fotovoltaicos instalados en la escuela de ingeniería eléctrica, que consta de dos sistemas fijos de 4 paneles solares cada uno conectados al inversor A y al inversor B, y el sistema con seguimiento solar instalado en el edificio de potencia conectado al inversor C, su orden de instalación es de izquierda a derecha, como se muestra en la ilustración 97 en el laboratorio de sistemas fotovoltaicos.



Ilustración 97: Sistemas a comparar.

Los sistemas fijos están ubicados en el techo de la escuela de ingeniería eléctrica ilustración 98.



Ilustración 98: Ubicación escuela ingeniería eléctrica.

Los sistemas fijos se encuentran en el techo de la escuela de ingeniería eléctrica, ilustración 79, área cercana al sistema móvil, de esta forma es posible una comparación precisa, y las condiciones climáticas a la cual están sometidas son prácticamente las mismas.



Ilustración 99: Sistema fijo en techo de la escuela de ingeniería eléctrica

La comparación entre la energía generada por un sistemas fijo y la generación del sistema conseguimiento solar, se realizara con los datos adquiridos a través del Sunny Portal el día más productivo entre la fecha del 12 al 18 de junio del 2016, a continuación se presenta la comparación durante un día bastante soleado.

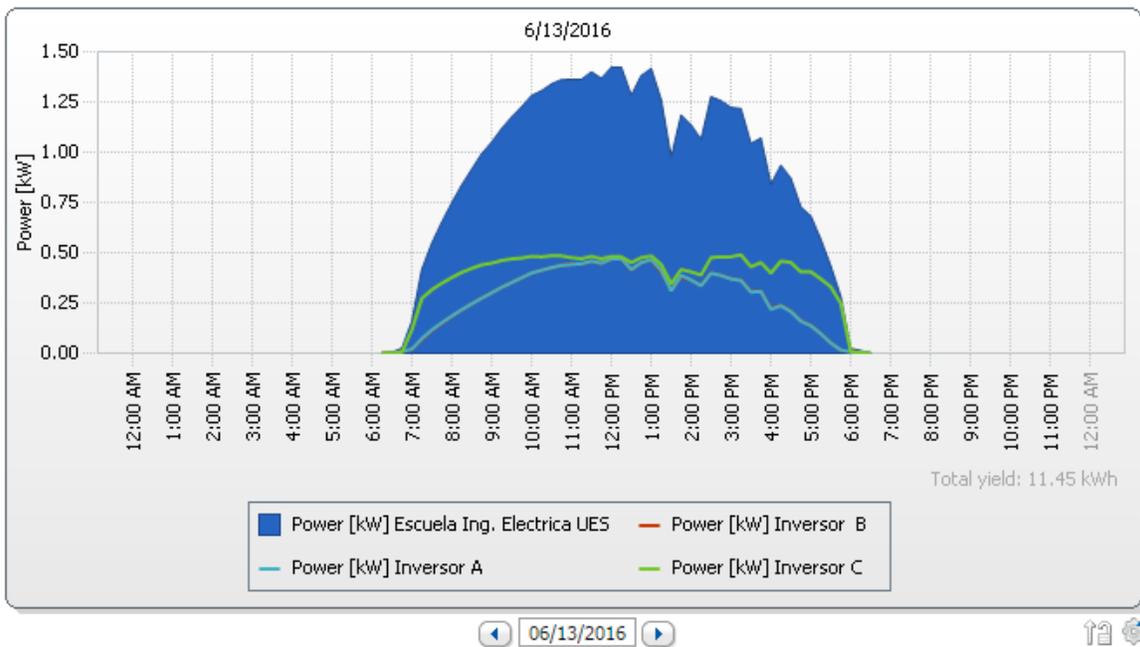


Ilustración 100: Grafica de mejor generación entre las fechas señaladas.

En un día de sol pleno la generación del seguidor solar en el inversor C, se observó un incremento con respecto a los inversores A y B, en base a los datos de la generación del Anexo 8, se observó que el promedio de generación más alto es el 13 de junio del 2016, véase tabla 1, se calcula el porcentaje de incremento diario de la generación promedio con la (Ec. 40), la cual muestra la generación extra en el inversor C con respecto al inversor B.

$$PI = \frac{TDVPIC - TDVPIB}{TDVPIB} * 100 \quad \text{Ec. (40)}$$

Donde:

TDVPIC = Total Diario Valor Promedio Inversor C

TDVPI B= Total Diario Valor Promedio Inversor B

PI = Porcentaje de Incremento de la generación.

Tomando los valores promedios de la tabla 5, se calcula el incremento

$$PI = \frac{373.68 - 270.24}{270.24} * 100 \quad \text{Ec. (41)}$$

De esta manera se obtiene el valor de PI

$$PI = 38.28\%$$

Ahora se calcula con respecto al inversor A, con lo cual se procede así:

$$PI = \frac{TDVPIC - TDVPIA}{TDVPIA} * 100 \quad \text{Ec. (42)}$$

Donde:

TDVPIC = Total Diario Valor Promedio Inversor C

TDVPI A= Total Diario Valor Promedio Inversor A

PI = Porcentaje de Incremento

Tomando los valores totales de la tabla se calcula el incremento

$$PI = \frac{373.68 - 270.26}{270.26} * 100 \quad \text{Ec. (43)}$$

De esta manera se obtiene el valor de PI

$$PI = 38.28\%$$

Se observa un crecimiento muy marcado en la generación del inversor C (conectado al sistema con seguimiento solar) en comparación a los inversores A y B (sistemas fijos), por lo que la generación de todo el sistema. Por lo que se muestra a continuación la generación más alta obtenida de todo el sistema entre la fecha que se tomó de muestreo la generación.

Lo que representa un incremento significativo en la generación con respecto a inversores conectados a paneles fijos, lo que indica que el sistema tiene un buen funcionamiento.

Equipos/Plantas	Potencia por Inversor Promedios [W] 13/06/2016	Energía Generada por Inversor Variación del contador [kWh] 13/06/2016	Eficiencia del Inversor Promedios [kWh/kWp] 13/06/2016
SB 700U 822	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Inversor A	270,26	3,39	4,84
Inversor B	270,24	3,39	4,84
Inversor C	373,68	4,68	6,69
	304,73 [Promedio]	3,82 [Promedio]	5,45 [Promedio]

[< Año](#) [< Mes](#) [< Día](#) 13/06/2016 [Día >](#) [Mes >](#) [Año >](#)

Tabla 5: Promedio de generación más alto, 13 de junio del 2016.

Una vez obtenido el incremento en la generación diaria, se representara está en términos económicos, a través del pliego tarifario vigente desde 1 enero de 2016. Para los efectos de los suministros con medición horaria, se definen los horarios tarifarios de la siguiente manera:

- a) Punta: de las 18:00 a 22:59 horas;
- b) Valle: de las 23:00 a 04:59 horas;
- c) Resto: de las 05:00 a 17:59 horas;

Generación inversor C

Potencia KW	0.374				
			punta	Valle	Resto
		\$/kWh	0.135069	0.131230	0.136257
		Horas	0	0	12
		(\$/kWh)*horas	0	0	1.635084
		\$			0.61099819
<i>Generación de los páneles en el lapso de 6:00 a.m. a 6:00 p.m.</i>					
<i>total diario \$</i>				0.611	
<i>total mes \$</i>				18.3299457	

Tabla 6: Generación promedio en términos económicos, Inversor C.

Generación inversor B

Potencia KW	0.27024				
			punta	Valle	Resto
		\$/kWh	0.135069	0.131230	0.136257
		Horas	0	0	12
		(\$/kWh)*horas	0	0	1.635084
		\$			0.4418651
<i>Generación de los páneles en el lapso de 6:00 a.m. a 6:00 p.m.</i>					
<i>total diario \$</i>				0.4418651	
<i>total mes \$</i>				13.255953	

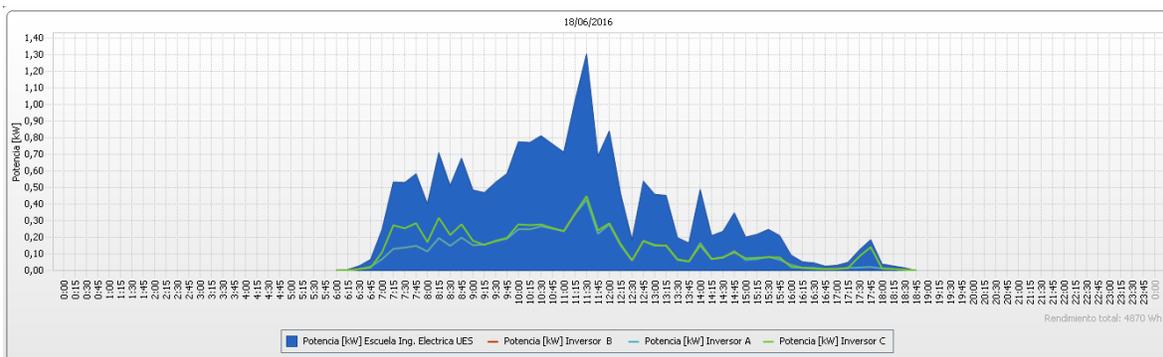
Tabla 7: Generación promedio en términos económicos, Inversor B.

Generación inversor A

Potencia KW	0.27026				
			punta	Valle	Resto
		\$/kWh	0.135069	0.131230	0.136257
		Horas	0	0	12
		(\$/kWh)*horas	0	0	1.635084
		\$			0.4418978
<i>Generación de los páneles en el lapso de 6:00 a.m. a 6:00 p.m.</i>					
<i>total diario \$</i>				0.4418978	
<i>total mes \$</i>				13.2569341	

Tabla 8: Generaci3n promedio en términos econ3micos, Inversor A.

Es importante tener el análisis de un día en el cual las condiciones climáticas son adversas para la generaci3n de energía fotovoltaico, para este cálculo se ha tomado como referencia el día de menor producci3n en el rango de evaluaci3n de la semana que se ha elegido, se muestra en la ilustraci3n 101, para los datos se toma el 18 de junio de 2016 el cual representa el índice de menor producci3n.



Ilustraci3n 101:  ndice de menor Producci3n

Se obtiene la tabla 5, de promedio del día 18 de junio y se toman los valores promedios de potencia de los inversores para el cálculo de la ilustraci3n 101.

Equipos/Plantas	Potencia por Inversor Promedios [W] 18/06/2016	Energía Generada por Inversor Variación del contador [kWh] 18/06/2016	Eficiencia del Inversor Promedios [kWh/kWp] 18/06/2016
SB 700U 822	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Inversor A	117,34	1,53	2,19
Inversor B	117,72	1,54	2,19
Inversor C	138,35	1,80	2,58
	124,47 [Promedio]	1,62 [Promedio]	2,32 [Promedio]

< Año < Mes < Día 18/06/2016 Día > Mes > Año >

Tabla 9: Datos promedios del 18 de junio

$$PI = \frac{TDVPIC - TDVPIB}{TDVPIB} * 100 \quad \text{Ec. (44)}$$

Donde:

TDVPIC = Total Diario Valor Promedio Inversor C

TDVPI B= Total Diario Valor Promedio Inversor B

PI = Porcentaje de Incremento de la generación.

Tomando los valores promedios de la tabla 1, se calcula el incremento

$$PI = \frac{138.35 - 117.72}{117.72} * 100 \quad \text{Ec. (45)}$$

De esta manera se obtiene el valor de PI

$$PI = 17.52\%$$

Ahora se calcula con respecto al inversor A, con lo cual se procede así:

$$PI = \frac{TDVPIC - TDVPIA}{TDVPIA} * 100 \quad \text{Ec. (46)}$$

Dónde:

TDVPIC = Total Diario Valor Promedio Inversor C

TDVPI A= Total Diario Valor Promedio Inversor A

PI = Porcentaje de Incremento

Tomando los valores totales de la tabla se calcula el incremento

$$PI = \frac{138.35 - 117.34}{117.34} * 100 \quad \text{Ec. (47)}$$

De esta manera se obtiene el valor de PI

$$PI = 17.9\%$$

Es notable que la producción del inversor C sobre los inversores A Y B es levemente superior por un lapso de tiempo en la mañana, sin embargo al transcurrir del día es evidente que la producción es baja de los tres sistemas, es similar por la ausencia de la radiación solar por motivos de lluvia, y solo cuenta con la radiación difusa que aporta la misma cantidad a los tres sistemas debido a la nubosidad.

Se observa que la producción del inversor C del día 13 de junio es de 373.68 W de potencia promedio, y en el día 18 de junio cae a un valor de potencia promedio de 138.35 W, que indica la producción del 37% de lo que se produce en un día a pleno sol.

En los paneles fijos del inversor A Y B, producen un valor promedio de potencia de 270.24 W para el 13 de junio, y una producción de 117.7 W para el 18 de junio, esto representa un 43.55% de lo que se produce en un día a pleno sol

Como la generación de un sistema fotovoltaico varía con el clima, se presentan la generación promedio de un tiempo determinado por lo que se presenta se calculó para una semana completa con lo cual se representa el comportamiento del sistema en base a la variante del clima, para esto se elige la semana del 12 al 18 de junio de 2016, lo cual se visualiza una variante más amplia, y muestra en la ilustración 102.

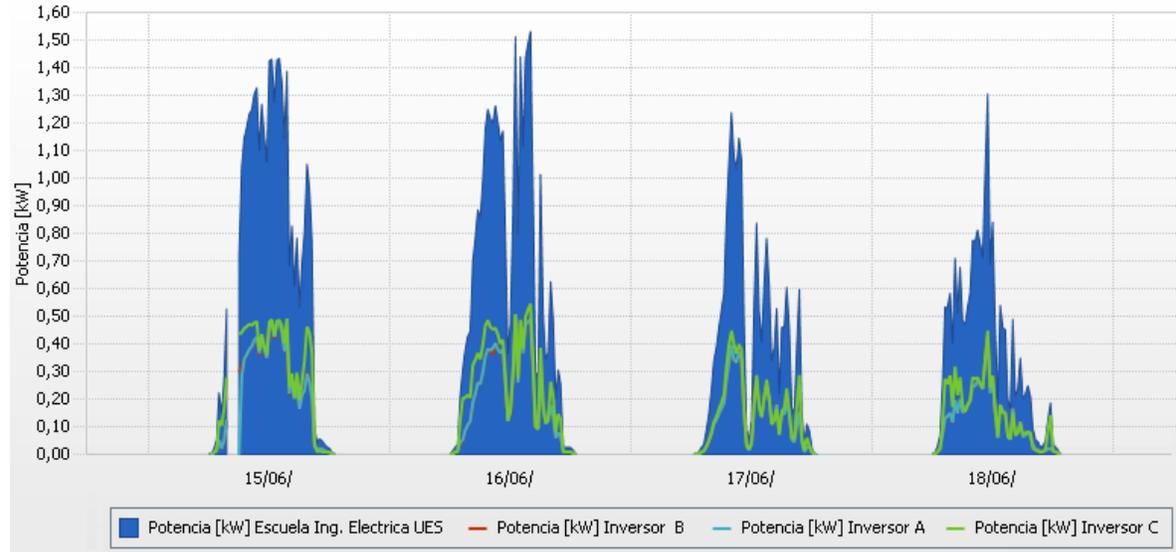
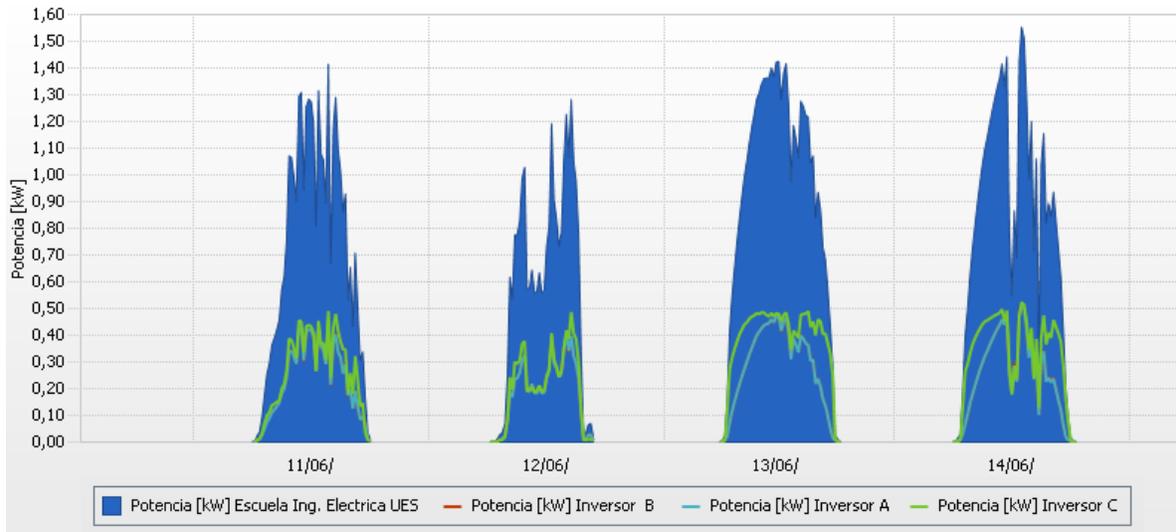


Ilustración 102: Graficas de generación de la semana muestreada.

Los cálculos se realizaron solo para las horas de generación de los sistemas fotovoltaicos estudiados, que comprenden de las 6:00 a.m. hasta las 6:30 p.m. datos completos en tabla de la generación semanal promediada.

Fecha	Potencia Inversor A	Potencia Inversor B	Potencia Inversor C
	Promedios [W]	Promedios [W]	Promedios [W]
12 junio 2016	184.45	185.19	203.21
13 junio 2016	270.26	270.24	373.68
14 junio 2016	235.8	236.58	323.46
15 junio 2016	221.15	227.85	280.24
16 junio 2016	202.65	202.43	247.55
17 junio 2016	131.47	135.17	150.51
18 junio 2016	117.34	117.72	138.35
Total	1363.12	1375.18	1717

Tabla 10: Valores totales de la generación promedio por cada inversor.

Cada inversor tiene un aporte en la generación que se detalla en el siguiente gráfico de pastel.



Ilustración 103: Aporte en la generación total por cada inversor.

En el gráfico de pastel personifica que el aporte del inversor C es mayor, que tiene un incremento en la generación del 7% más que los demás inversores a la semana muestreada, lo cual es una clara prueba que el sistema de seguimiento solar incrementa la generación.

Para los cálculos del incremento porcentual con respecto a los páneces fijos se utiliza el valor de generación promedio semanal del inversor C, y se comparara con la generación promedio semanal de cada uno de los inversores.

Primero se compara con respecto al inversor B.

Ahora se calcula con respecto al inversor B, con lo cual se procede así:

$$PI = \frac{TSVPIC - TSVPIB}{TSVPIB} * 100 \quad \text{Ec. (48)}$$

Donde:

TSVPIC = Total Semanal Valor Promedio Inversor C

SVPIB= Total Semanal Valor Promedio Inversor B

PI = Porcentaje de Incremento

En el grafico se compara la generación semanal de los dos inversores, lo cual se utiliza para calcular el porcentaje de incremento de generación

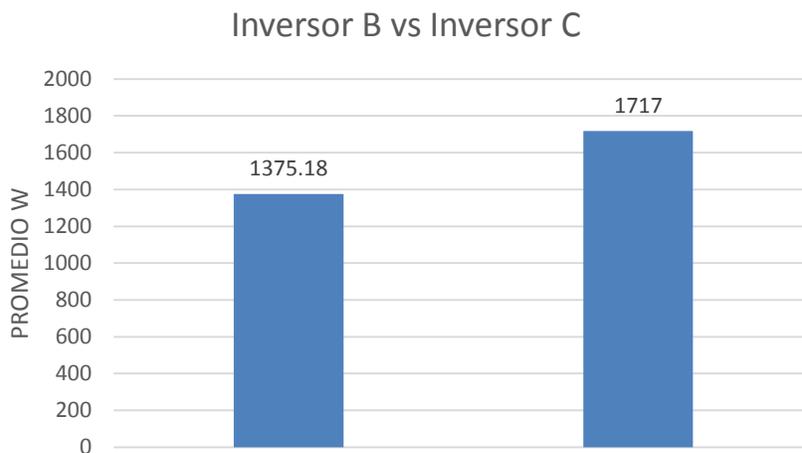


Ilustración 104: Comparación de la generación semanal entre los inversores B y C.

Tomando los valores totales de la tabla se calcula el incremento

$$PI = \frac{1717 - 1375.18}{1375.18} * 100 \quad \text{Ec. (49)}$$

De esta manera se obtiene el valor de PI con respecto al inversor B

$$PI = 24.9\%$$

Ahora se calcula con respecto al inversor A, con lo cual se procede de la siguiente manera:

$$PI = \frac{TSVPIC - TSVPIA}{TSVPIA} * 100 \quad \text{Ec. (50)}$$

Donde:

TSVPTC = Total Semanal Valor Promedio Inversor C

TSVPTA= Total Semanal Valor Promedio Inversor A

PI = Porcentaje de Incremento

A continuación en el gráfico se muestran la generación de los inversores A y C, para comparar la producción entre os sistemas.

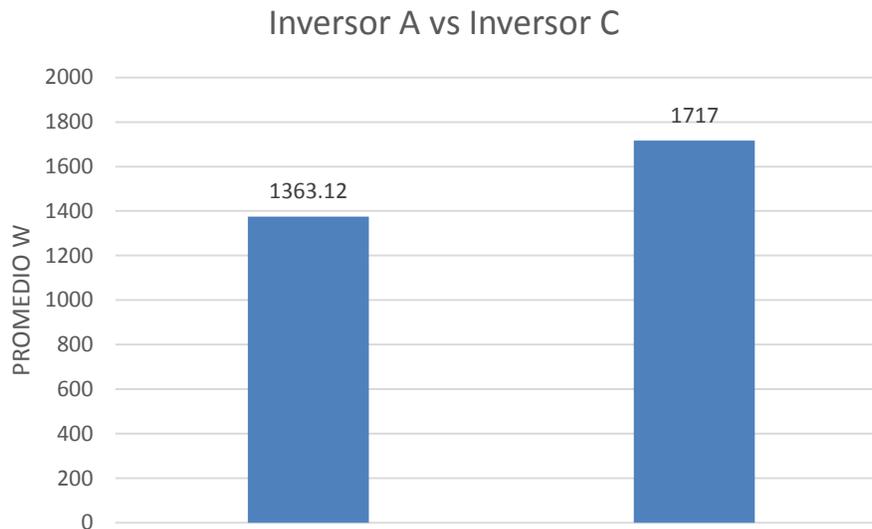


Ilustración 105: Generación Semanal de los inversores A y C

Tomando los valores totales de la tabla se calcula el incremento

$$PI = \frac{1717 - 1363.12}{1363.12} * 100 \quad \text{Ec. (51)}$$

De esta manera se obtiene el valor de PI con respecto al inversor A

$$PI = 25.961\%$$

De esta manera se logra apreciar que el seguidor solar se encuentra generando en promedio 25.96% más que los sistemas fijos, cabe mencionar que la semana evaluada tiene condiciones desfavorables como días nublados y de lluvia.

CONCLUSIONES GENERALES

- La idea de construir un seguidor solar de eje horizontal cambio por la implementación de un seguidor solar con eje inclinado, debido a que en la investigación realizada se concluyó que la inclinación optima y orientación ideal para la instalaciones de sistemas fotovoltaicos en El Salvador, es de 13° orientado hacia el sur, y al tomar en cuenta el sistema fotovoltaico fijo existente en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, tiene esta inclinación óptima de 13° orientado hacia el sur. Tomando en cuenta que la generación del sistema fijo ya instalado y la generación del sistema con seguimiento a implementar debían ser comparadas, se tomó la decisión de construir e implementar el seguidor de eje inclinado descrito en todo el documento.
- Con la implementación del seguidor solar se logra un incremento significativo en la generación de energía eléctrica, obteniendo un aumento del 38% en un día soleado con respecto a los sistemas fijos, sin embargo en un día nublado se registró un incremento del 18% esto se debe a que la radiación difusa es mayor que la radiación directa en días nublados, que es la que se busca aprovechar con el seguimiento solar.
- El software empleado en el sistema de control, resulto ser muy versátil, este permite configurar los rangos de movimiento del seguidor solar, y es utilizable en sistemas de seguimiento tanto de eje horizontal como en seguidores solares de eje inclinado con los mismos resultados, los cálculos a realizar en el algoritmo se desarrollan a partir de datos adquiridos de un GPS, (hora, fecha, latitud), esto hace que el seguimiento sea preciso, porque el sistema de control realiza el cálculo de ω (ángulo hora solar), constantemente a lo largo del día.
- De la implementación y estudio de la generación durante el tiempo muestreado se puede establecer el índice de producción final de energía

eléctrica para un sistema con seguimiento solar en eje inclinado en El Salvador, este índice para la capacidad instalada de 0.7kW_{pico} y con los datos de producción obtenido para el mejor día muestreado es de $Y_F \text{ DIARIO} = 6.69 \frac{\text{KWh}}{\text{KWp}} / \text{dia}$, para el peor día muestreado este índice es $Y_F \text{ DIARIO} = 2.58 \frac{\text{KWh}}{\text{KWp}} / \text{dia}$, estos índices de producción final diario son según datos obtenidos, debido al corto periodo de estudio, se debe realizar un estudio anual de la generación para obtener así un índice de producción final anual Y_F para un sistemas fotovoltaico con seguimiento solar de eje inclinado de El Salvador.

Resumen de los resultados, se muestran en la tabla:

	Sistema Fijo	Sistema Seguimiento	Observación
Producción diaria	270.24 W	373.68 W	Día soleado
Producción diaria	117.72 W	138.35 W	Día nublado
$Y_F \text{ DIARIO}$	$4.84 \frac{\text{KWh}}{\text{KWp}} / \text{dia}$	$6.69 \frac{\text{KWh}}{\text{KWp}} / \text{dia}$	Día soleado
$Y_F \text{ DIARIO}$	$2.58 \frac{\text{KWh}}{\text{KWp}} / \text{dia}$	$2.19 \frac{\text{KWh}}{\text{KWp}} / \text{dia}$	Día nublado

Se representa la producción de ambos sistemas, donde se estima un índice de producción diario para ambos días muestreados, día soleado y día nublado respectivamente, con el estudio e implementación del sistema se establecen estos parámetros.

- Se muestra el desarrollo de una carta solar cilíndrica, como propuesta para análisis de sombra, así como comprobar la distancia mínima entre filas calculada, determinación del número de horas sol, determinación de la trayectoria solar, ángulos de sombra vertical y horizontal.

- Con la realización del prototipo se observa que los sistemas de Seguimiento solar tienen características muy similares, el rango de movimiento se encuentra en 90° efectivos, que corresponde a las horas de sol donde el sol es más aprovechable. Y en comparación con los datos técnicos del seguidor comercial y del prototipo resulta un buen aproximado a un sistema estandarizado a bajo costo.
- Si desea instalar una planta fotovoltaica, con seguimiento solar se deberá considerar una distancia mínima entre seguidores solares para evitar pérdidas por sombreado mutuo. La elección entre sistemas con seguimiento se debe tener en cuenta, además de la mayor productividad, otros condicionantes como el coste del sistema, el mantenimiento asociado así como la ocupación del terreno.
- Con los datos obtenidos del estudio de sombras mutuas entre seguidores solares al instalarse en una planta de generación fotovoltaica, se establecieron distancias de separación mínima entre seguidores solares igual al implementado, obteniendo una distancia de separación mínima entre filas de Norte-Sur de 4.26 metros, y de 7 metros para la separación mínima entre columna de Este-Oeste, con las que se obtiene pérdidas en la generación, mostrados en el siguiente cuadro.

Ángulos de seguimiento	-40°	50°
% de pérdidas a 7 metros	0.014%	0.356%
Horas de pérdidas	6:00 AM A 6:45 AM	5:15 PM A 6:00 PM

REFERENCIAS

FARROÑAY, L. C. (2000). *RADIACIÓN SOLAR*. Madrid: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA.

LAMIGUEIRO, O. P. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica*.
<http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf>.

NOAA. (s.f.). *General Solar Position Calculations*.
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/solareqns.PDF>.

ANEXO 1:
ESTUDIO DE SOMBRAS.



Informe del Sitio

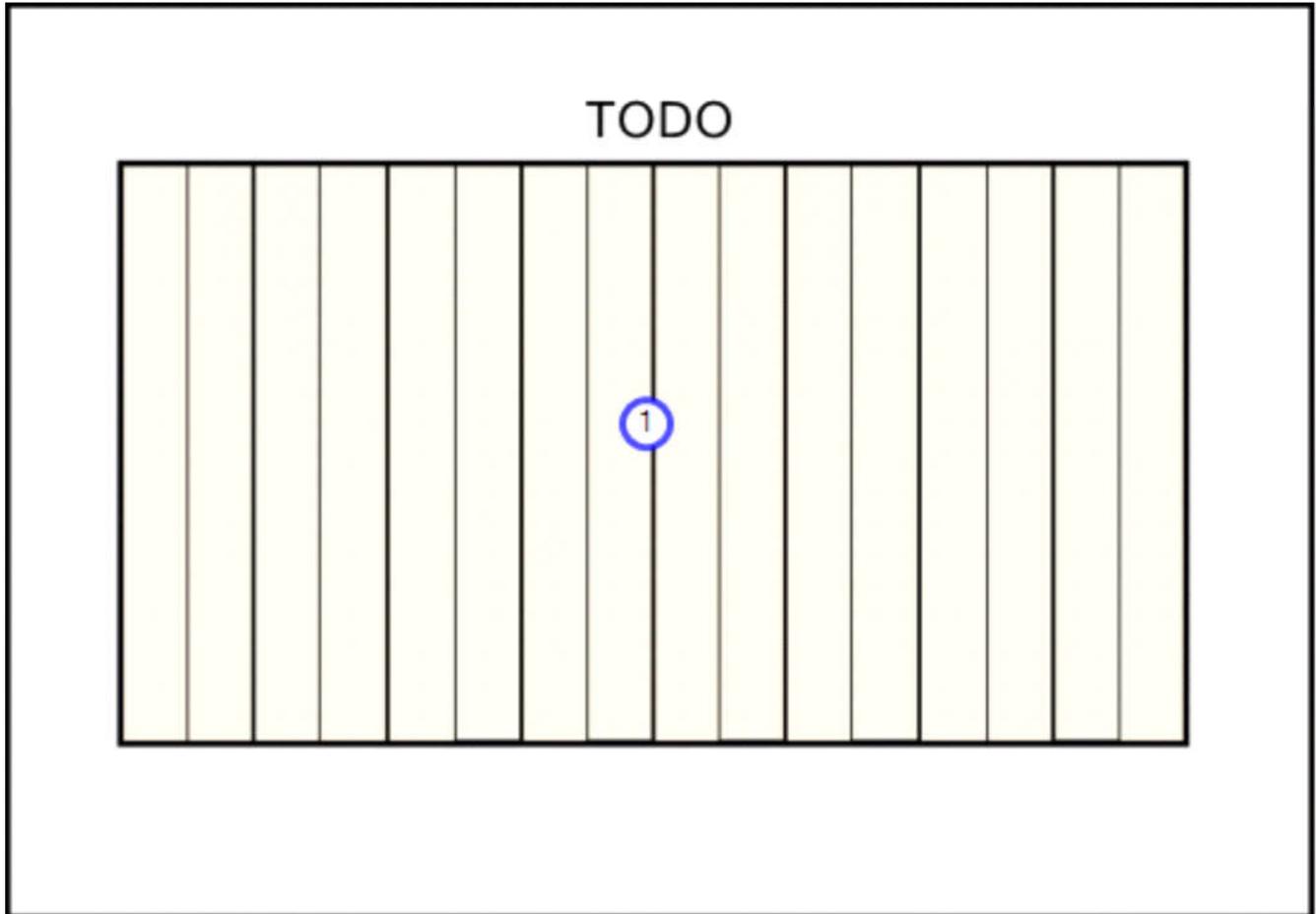
Nombre del Informe	Implementacion de un seguidor solar
Fecha del Informe	8/7/2016 12:54:20 p. m.
Declinación	-8d 23m
Ubicación	Lat/Long especificado
Lat/Long	13.72 / -89.2
Estación Climática	ILOPANGO/S.SALVADOR, Altitud: 2,037 Pies, (13.700 / -89.117)
Distancia del Sitio	6 Millas
Tipo de Informe	FV
Tipo de Formación	Angulo Fijo
Angulo de Inclinación	13.72 gr
Angulo Ideal de Inclinación	13.72 gr
Acimut	180.00 gr
Acimut Ideal	180.00 gr
Costo Eléctrico	0.1363 (\$/kWh)
Marca del Panel	Sharp
Modelo del Panel	NT-175UC1
Module Type	Standard
Número de Paneles	1
Clasificación del CC (por panel)	175.0 Vatios
Unshaded Percent	98.6 %
STC System Size	0.18 kW
DC System Size	0.17 kW
AC System Size	0.14 kW
Marca del Inversor	SMA America
Modelo del Inversor	SB700U
Número de Inversores	1
Inverter Efficiency	91.5 %
System Loss Percentage	14.0 %
Configuración del Plano	Personalizada
Conteo de los Puntos del plano	1

Notas: TESIS



Imagen del Diseño del Sistema

Tipo de Distribución Personalizada
Conteo de los Puntos del plano 1





Informe Resumido

Datos sobre Obstrucción Solar (Parte 1 de 2)

Mes	% sin Sombra Sitio ideal Acimut=180 Inclinación=13.72	Sombreado Actual Radiación Solar Acimut=180.0 Inclinación=13.72 kWh/m ² /dia	% sin Sombra Sitio Real Acimut=180.0 Inclinación=13.72	Sitio Real Efficiency % Acimut=180.0 Inclinación=13.72	Sitio ideal Efficiency % Acimut=180.0 Inclinación=13.72	Sombreado Actual Energía AC (kWh) Acimut=180.00 Inclinación=13.72	Actual sin Sombra Energía AC (kWh) Acimut=180.0 Inclinación=13.72
Enero	97.36 %	6.20	97.32 %	97.32 %	97.32 %	23.59	24.00
Febrero	98.23 %	6.49	98.17 %	98.17 %	98.17 %	23.91	24.00
Marzo	97.97 %	6.51	98.06 %	98.06 %	98.06 %	23.82	24.00
Abril	99.19 %	6.30	99.28 %	99.28 %	99.28 %	23.00	23.00
Mayo	99.94 %	5.27	99.79 %	99.79 %	99.79 %	22.00	22.00
Junio	99.92 %	4.72	99.69 %	99.69 %	99.69 %	16.00	16.00
Julio	99.92 %	5.31	99.75 %	99.75 %	99.75 %	22.00	22.00
Agosto	99.57 %	5.35	99.54 %	99.54 %	99.54 %	21.00	21.00
Septiembre	97.89 %	4.84	97.89 %	97.89 %	97.89 %	18.76	19.00
Octubre	98.80 %	4.93	98.28 %	98.28 %	98.28 %	19.00	19.00
Noviembre	98.32 %	5.69	98.34 %	98.34 %	98.34 %	21.00	21.00
Diciembre	98.12 %	5.75	98.03 %	98.03 %	98.03 %	22.64	23.00
Totales	98.77%	67.36	98.63%	98.63%	98.63%	256.71	258.00
	Sin pesar	Efecto: 98.63%	Sin pesar	Sin pesar	Sin pesar		
	Promedio Anual	Horas Sol: 5.61	Promedio Anual	Promedio Anual	Promedio Anual		

Notas: TESIS



Informe Resumido

Datos sobre Obstrucción Solar (Parte 2 de 2)

Mes	Ideal sin Sombra Energía AC (kWh) Acimut=180.0 Inclinación=13.72	FV Solar Ahorros de Costo 0.1363 (\$/kWh)
Enero	24.00	\$3.22
Febrero	24.00	\$3.26
Marzo	24.00	\$3.25
Abril	23.00	\$3.13
Mayo	22.00	\$3.00
Junio	16.00	\$2.18
Julio	22.00	\$3.00
Agosto	21.00	\$2.86
Septiembre	19.00	\$2.56
Octubre	19.00	\$2.59
Noviembre	21.00	\$2.86
Diciembre	23.00	\$3.09
Totales	258.00	\$34.99



Analisis del informe del Sitio Solar

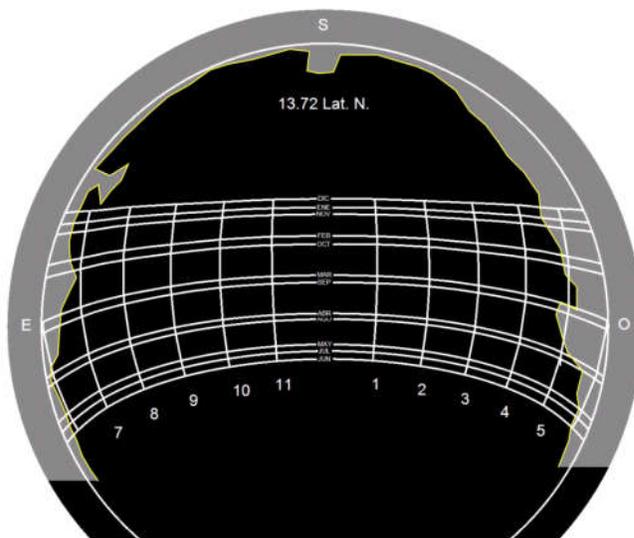
1

Archivo de Imagen seguidorsolar.jpg

Datos sobre Obstrucción Solar (Parte 1 de 2)

Mes	% sin Sombra Sitio ideal Acimut=180 Inclinación=13.72	Sombreado Actual Radiación Solar Acimut=180.0 Inclinación=13.72 kWh/m ² /día	% sin Sombra Sitio Real Acimut=180.0 Inclinación=13.72	Sitio Real Efficiency % Acimut=180.0 Inclinación=13.72	Sitio ideal Efficiency % Acimut=180.0 Inclinación=13.72	Sombreado Actual Energía AC (kWh) Acimut=180.00 Inclinación=13.72	Actual sin Sombra Energía AC (kWh) Acimut=180.0 Inclinación=13.72
Enero	97.36%	6.20	97.32%	97.32%	97.32%	23.59	24.00
Febrero	98.23%	6.49	98.17%	98.17%	98.17%	23.91	24.00
Marzo	97.97%	6.51	98.06%	98.06%	98.06%	23.82	24.00
Abril	99.19%	6.30	99.28%	99.28%	99.28%	23.00	23.00
Mayo	99.94%	5.27	99.79%	99.79%	99.79%	22.00	22.00
Junio	99.92%	4.72	99.69%	99.69%	99.69%	16.00	16.00
Julio	99.92%	5.31	99.75%	99.75%	99.75%	22.00	22.00
Agosto	99.57%	5.35	99.54%	99.54%	99.54%	21.00	21.00
Septiembre	97.89%	4.84	97.89%	97.89%	97.89%	18.76	19.00
Octubre	98.80%	4.93	98.28%	98.28%	98.28%	19.00	19.00
Noviembre	98.32%	5.69	98.34%	98.34%	98.34%	21.00	21.00
Diciembre	98.12%	5.75	98.03%	98.03%	98.03%	22.64	23.00
Totales	98.77%	67.36	98.63%	98.63%	98.63%	256.71	258.00
	Sin pesar Promedio Anual	Efecto: 98.63% Horas Sol: 5.61	Sin pesar Promedio Anual	Sin pesar Promedio Anual	Sin pesar Promedio Anual		

Notas: [Ninguna]





Analisis del informe del Sitio Solar

1

Archivo de Imagen seguidorsolar.jpg

Datos sobre Obstrucción Solar (Parte 2 de 2)

Mes	Ideal sin Sombra Energía AC (kWh) Acimut=180.0 Inclinación=13.72	FV Solar Ahorros de Costo 0.1363 (\$/kWh)
Enero	24.00	\$3.22
Febrero	24.00	\$3.26
Marzo	24.00	\$3.25
Abril	23.00	\$3.13
Mayo	22.00	\$3.00
Junio	16.00	\$2.18
Julio	22.00	\$3.00
Agosto	21.00	\$2.86
Septiembre	19.00	\$2.56
Octubre	19.00	\$2.59
Noviembre	21.00	\$2.86
Diciembre	23.00	\$3.09
Totales	258.00	\$34.99

**ANEXO 2:
CODIGO DEL
SOFTWARE
IMPLEMENTADO EN
EL SISTEMA DE
CONTROL.**

```

//Librerías por defecto
#include <AltSoftSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
//Librería Extra
#include <SFE_MMA8452Q.h>
//Objetos de clase asociados al GPS
TinyGPS gps;
AltSoftSerial serieSoftware;
//Objeto Asociado con el Acelerometro
MMA8452Q Acelerometro;
//Configuración de la zona horaria local
const signed char zonaHoraria = -6.00;
//Variables con la posición local tomada del GPS
float lat, lon;
//Variables con la fecha y hora obtenidas del GPS
byte fecha_d, fecha_m, fecha_a;
byte hora_h, hora_m, hora_s; //hora_h es la hora UTC
byte hora_local;
//Variables con la posición solar calculada
float anguloSolarCenit;
float anguloSolarAzimut;
float anguloDeseadoPanel;
float AnguloX = 0;
float AnguloSolar = 0;
1nt Motores[2] = {A2, A3}; //Pin 2 subida y pin 3 bajada
float DefaseError = 1.5; //Grados de desfase permitida por el sistema
float GradosMovimiento[2] = {53, 140};
float GradosTrabajo[2] = {10, 170};

const int totalDiasMes[12] {
  0, //Enero
  31, //Febrero
  31 + 28, // Marzo
  31 + 28 + 31, //Abril
  31 + 28 + 31 + 30, //Mayo
  31 + 28 + 31 + 30 + 31, //Junio
  31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30, //Julio
  31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31, //Agosto
  31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31, //Septiembre
  31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30, //Octubre
  31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30 + 31, //Noviembre
  31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30 + 31 + 30, //Diciembre
};
void setup()
{
  //Se inicializa la terminal serie a 115200 baudios
  Serial.begin(9600);

```

```

//Se inicializa el puerto serie del gps a 9600 baudios
serieSoftware.begin(9600);
//Inicializar el acelerómetro
Acelerometro.init();

pinMode(Motores[0], OUTPUT);
pinMode(Motores[1], OUTPUT);
digitalWrite(Motores[0], 0);
digitalWrite(Motores[1], 0);

Serial.println("Esperando datos del GPS...");
}
void loop()
{
  bool nuevoDato = false;
  char cadena[64];

  //Los datos del GPS se procesan durante un segundo completo,
  //antes de reportar los valores que regresa
  for (unsigned long tInicio = millis(); millis() - tInicio < 1000;)
  {
    //Se verifica si hay datos disponibles en el puerto serie
    //del GPS
    while (serieSoftware.available())
    {
      //Si los hay, se leen y se pasan a la clase de GPS
      char c = serieSoftware.read();
      if (gps.encode(c))
        //Si se completo una sentencia, se marca la bandera
        nuevoDato = true;
    }
  }

  if (Acelerometro.available()) {
    Acelerometro.read();
    CalcularAnguloAcele();
  }

  //A continuacion se verifica si hay datos nuevos del GPS
  if (nuevoDato) {
    leerPosicion();
    Serial.print("LAT=");
    Serial.print(lat * 180.0 / PI, 6);
    Serial.print(" LON=");
    Serial.print(lon * 180.0 / PI, 6);
    Serial.print("\n");
  }
}

```

```

leerFechaHora();
sprintf(cadena, " Fecha: %i/%i/%i", fecha_d, fecha_m, fecha_a);
Serial.print(cadena);
sprintf(cadena, " Hora: %i:%02i:%02i", hora_local, hora_m, hora_s);
Serial.println(cadena);

calcularPosicionSol();

Serial.print(" Angulo Panel Solar : ");
Serial.println(AnguloX);

//GradosDeTrabajo
if (AnguloSolar > GradosTrabajo[1] + DefaseError) {
  AnguloSolar = 90;
}
else if ( AnguloSolar < GradosTrabajo[0] - DefaseError) {
  AnguloSolar = 90;
}
else if (AnguloSolar > GradosMovimiento[1] + DefaseError) {
  AnguloSolar = GradosMovimiento[1];
}
else if ( AnguloSolar < GradosMovimiento[0] - DefaseError) {
  AnguloSolar = GradosMovimiento[0];
}

if ( AnguloSolar > AnguloX + DefaseError) {
  digitalWrite(Motores[0], 1);
  digitalWrite(Motores[1], 0);
  Serial.println(" Subiendo piston");
}
else if ( AnguloSolar < AnguloX - DefaseError) {
  digitalWrite(Motores[0], 0);
  digitalWrite(Motores[1], 1);
  Serial.println(" Bajando piston");
}
else {
  digitalWrite(Motores[0], 0);
  digitalWrite(Motores[1], 0);
  Serial.println(" Detenido piston");
}

Serial.print("\n ");
}
}
// AL MOMENTO DE ALINEAR EL ACELEROMETRO.
// El eje X la flecha esta hacia el este donde sale el sol ->

```

```

// El eje Y la flecha esta hacia el norte <-

void CalcularAnguloAcele() {
    AnguloX = ((atan(Acelerometro.cz / Acelerometro.cx
        )) * (180 / PI)) ;
    if (AnguloX < 0) {
        AnguloX = 180 + AnguloX;
    }
}

void leerPosicion() {
    gps.f_get_position(&lat, &lon);
    lat = lat * PI / 180.0;
    lon = lon * PI / 180.0;
}

void leerFechaHora() {
    unsigned long fecha, hora;
    gps.get_datetime(&fecha, &hora);

    fecha_d = (fecha / 10000) % 100;
    fecha_m = (fecha / 100) % 100;
    fecha_a = fecha % 100;
    hora_h = (hora / 1000000) % 100;
    hora_m = (hora / 10000) % 100;
    hora_s = (hora / 100) % 100;

    // hora_h = 17 + 6;
    // hora_m = 40;
    // hora_s = 0;
    // fecha_d = 20;
    // fecha_m = 3;
    // fecha_a = 16;
    //Equinoccio de primavera: 20/21 de Marzo
    //Solsticio de verano: 21/22 de Junio
    //Equinoccio de otoño: 22/23 de Septiembre;
    //Solsticio de invierno: 21/22 de Diciembre

    hora_local = (hora_h + zonaHoraria + 24) % 24;
}

void calcularPosicionSol() {
    float gamma;
    float declinacionSolar;
    float ecTiempo;
    float difTiempo;
    float horaSolarVerdadera;
}

```

```

float anguloHoraSolar;

//Se calcula el factor gamma que indica la fraccion del año
//en radianes
gamma = calcularGamma();

//A continuacion se calcula el angulo de declinacion solar
//en radianes
declinacionSolar = 0.006918
    - 0.399912 * cos(gamma)
    + 0.070257 * sin(gamma)
    - 0.006758 * cos(2.0 * gamma)
    + 0.000907 * sin (2.0 * gamma)
    - 0.002697 * cos(3.0 * gamma)
    + 0.00148 * sin (3.0 * gamma);

//Luego se calcula la ecuacion de tiempo que mide la
//diferencia entre la hora solar y la hora del reloj local
//en minutos
ecTiempo = 229.18 * (0.000075
    + 0.001868 * cos(gamma)
    - 0.032077 * sin(gamma)
    - 0.014615 * cos(2.0 * gamma)
    - 0.040849 * sin(2.0 * gamma));

//Se calcula la diferencia de tiempo, que agrega a la
//ecuacion de tiempo la diferencia de minutos entre el
//meridiano de greenwich y la longitud local, asi como la
//diferencia de horas de esta zona horaria. Todo en unidades
//de minutos.
difTiempo = ecTiempo - 4.0 * (lon * 180.0 / PI)
    + 60.0 * zonaHoraria;

//Se obtiene la hora solar verdadera, la cua toma la hora
//local y la ajusta con la diferencia de tiempo. Unidades
//de minutos.
horaSolarVerdadera = float(hora_local) * 60.0 + float(hora_m)
    + float(hora_s) / 60.0 + difTiempo;

//A continuacion se obtiene el angulo de la hora solar a
//partir de la hora solar verdadera. Unidades de radianes.
anguloHoraSolar = ((horaSolarVerdadera / 4.0) - 180)
    * PI / 180;

//Se inicia el calculo de la posicion solar calculando el
//angulo cenital en radianes
anguloSolarCenit = acos(sin(lat) * sin(declinacionSolar)

```

```

        + cos(lat) * cos(declinacionSolar)
        * cos(anguloHoraSolar));

// Serial.print("Gamma: ");
// Serial.println(gamma);
// Serial.print("Declinacion: ");
// Serial.println(declinacionSolar * 180.0 / PI);
// Serial.print("Ecuacion Tiempo: ");
// Serial.println(ecTiempo);
// Serial.print("Diferencia de tiempo: ");
// Serial.println(difTiempo);
// Serial.print("Hora solar verdadera: ");
// Serial.println(horaSolarVerdadera);
AnguloSolar = (anguloHoraSolar * 180 / PI) + 90;
Serial.print(" Angulo Hora Solar: ");
Serial.println(AnguloSolar);
}

float calcularGamma() {
    bool bisiesto;
    int totalDiasAño;
    int diaDelAño;

    //Los años bisiestos son aquellos que son multiples de 4,
    //pero que no son multiples de 100 (con excepcion de los que
    //son multiplo de 400, los cuales si son bisiestos pero no
    //se toman en cuenta porque el GPS solo tiene una vida util
    //de 100 años a partir de 1980 hasta 2079).
    if (fecha_a % 4 == 0 && fecha_a % 100 != 0)
        bisiesto = true;
    else
        bisiesto = false;

    //Si el año es bisiesto tiene 366 dias, caso contrario solo
    //tiene 365
    if (bisiesto)
        totalDiasAño = 366;
    else
        totalDiasAño = 365;

    //El dia del año se computa a partir de los dias acumulados
    //por los meses anteriores al actual mas la fecha de este mes
    diaDelAño = totalDiasMes[fecha_m - 1] + fecha_d;

    //Si el año es bisiesto, se suma un dia a partir de marzo,
    //pues con febrero se acumulo un día adicional
    if (bisiesto && fecha_m >= 3)

```

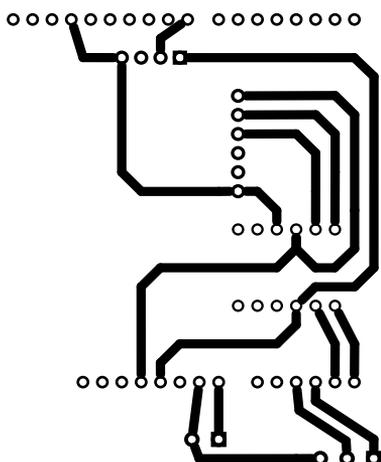
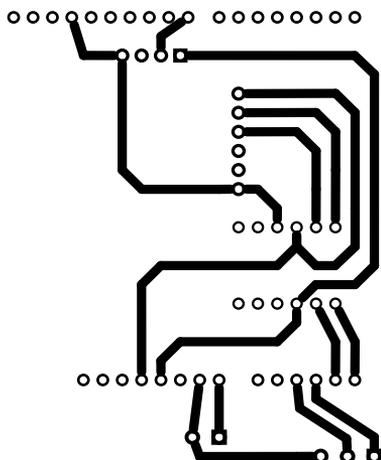
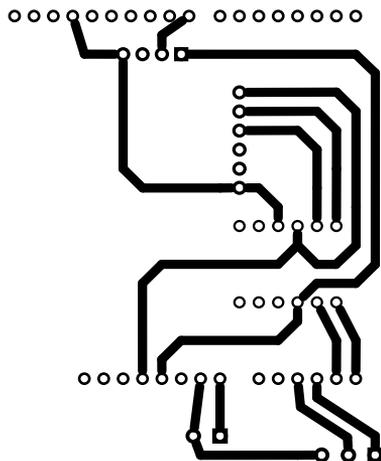
```
    diaDelAno++;

if (bisiesto); //Serial.println(F("Este Anho es Bisiesto"));

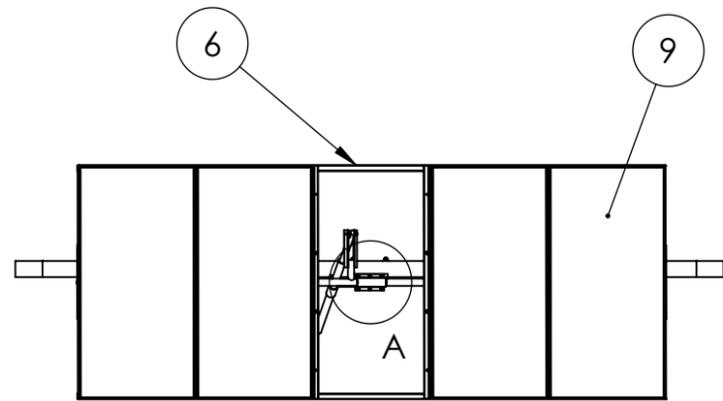
else ; //Serial.println(F("Este Anho NO es Bisiesto"));
//Serial.print(F("Total de días en este año: "));
//Serial.println(totalDiasAno);
// Serial.print(F(" Dia del anho: "));
// Serial.println(diaDelAno);

//Finalmente se retorna el factor gamma
return 2.0 * PI / float(totalDiasAno) *
    (float(diaDelAno) - 1.0 +
    (float(hora_h) - 12.0) / 24.0);
}
```

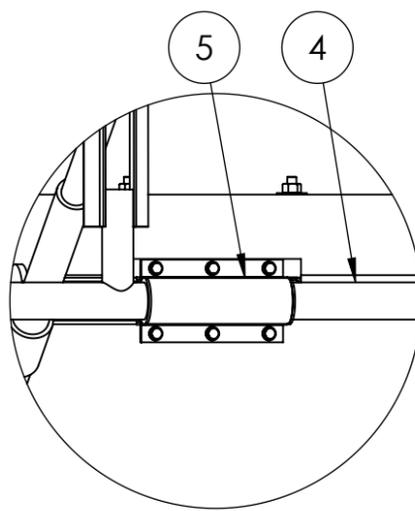
ANEXO 3:
DISEÑO DEL CIRCUITO
IMPRESO EN
FRITZING



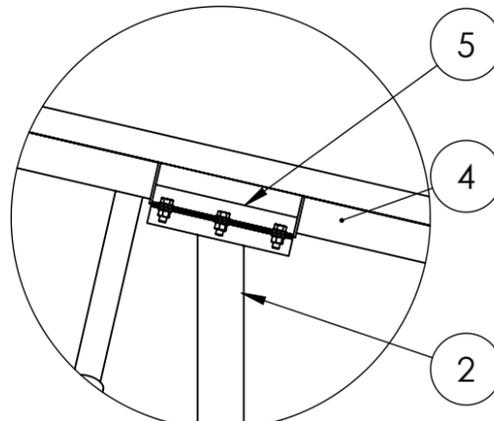
**ANEXO 4:
PLANOS DE DISEÑO
DEL SEGUIDOR
SOLAR.**



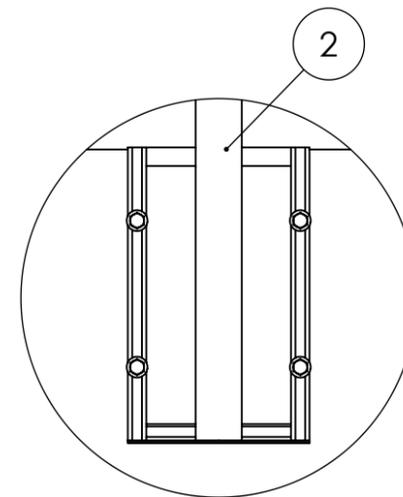
VISTA SUPERIOR



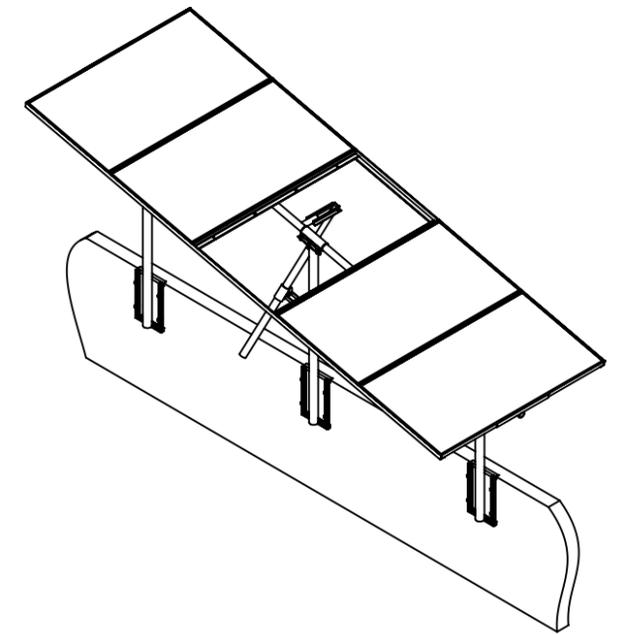
DETALLE A
ESCALA 1 : 10



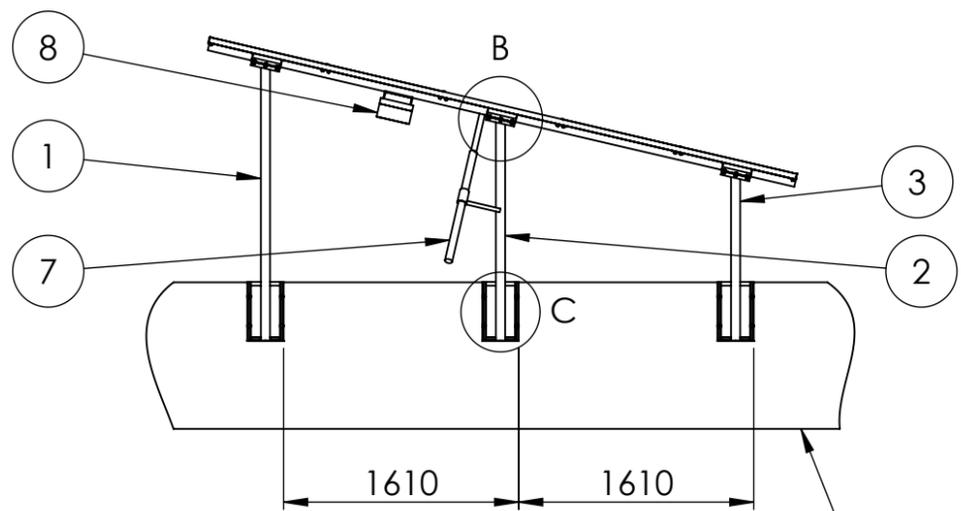
DETALLE B
ESCALA 1 : 10



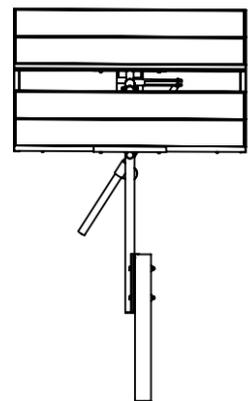
DETALLE C
ESCALA 1 : 10



ISOMÉTRICO



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL
DERECHA

ID	CODIGO	DESCRIPCION	CANTI DAD	MATERIAL
1	SSEH01	Columna A (1.873 metros)	1	AISI 1020
2	SSEH02	Columna B (1.503 metros)	1	AISI 1020
3	SSEH03	Columna C (1.127 metros)	1	AISI 1020
4	SSEH04	Eje	1	AISI 1020
5	SSEH05	Collar	3	AISI 1020
6	SSEH06	Marco de soporte de los paneles fotovoltaicos	1	AISI 1020
7	SSEH07	Actuador lineal	1	
8	SSEH08	Caja de control	1	
9	SSEH09	Módulo Fotovoltaico SHARP NT-175UC1	4	

ESCALA	Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.	
1:50	DISEÑO: Br. Pedro David García Reyes, Br. Rafael Antonio Peñate Santos	FECHA
	REVISÓ: Msc. Jorge Alberto Zetino Chicas	9/11/2015
UNIDADES: mm	TRABAJO DE GRADUACIÓN IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR EN EJE HORIZONTAL, CONTROLADO CON HARDWARE Y SOFTWARE DE LIBRE DISTRIBUCIÓN.	
Cuando no se especifique	NOMBRE	MATERIAL
	Seguidor solar de eje horizontal	
		CANTIDAD: 1

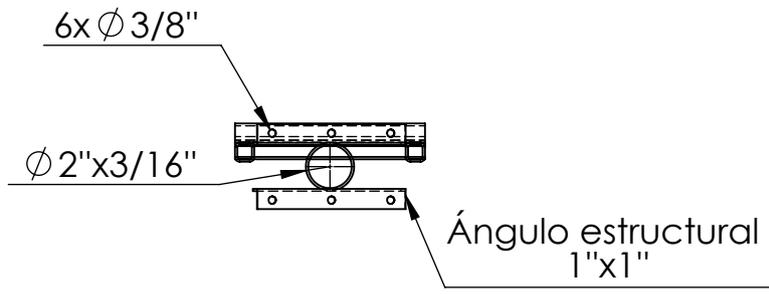


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA
 Autopista Norte y Final 25 Avenida Norte,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

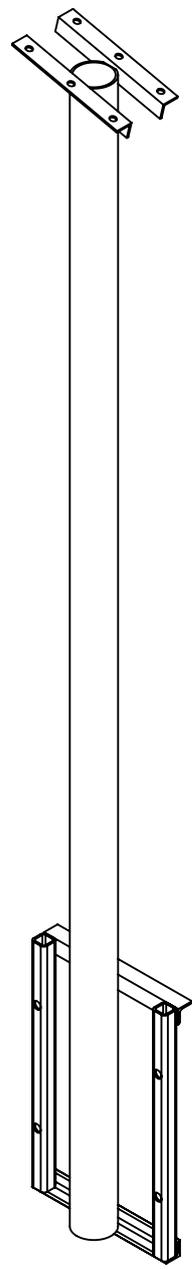
HOJA 1 / 1

CODIGO
SSEH00

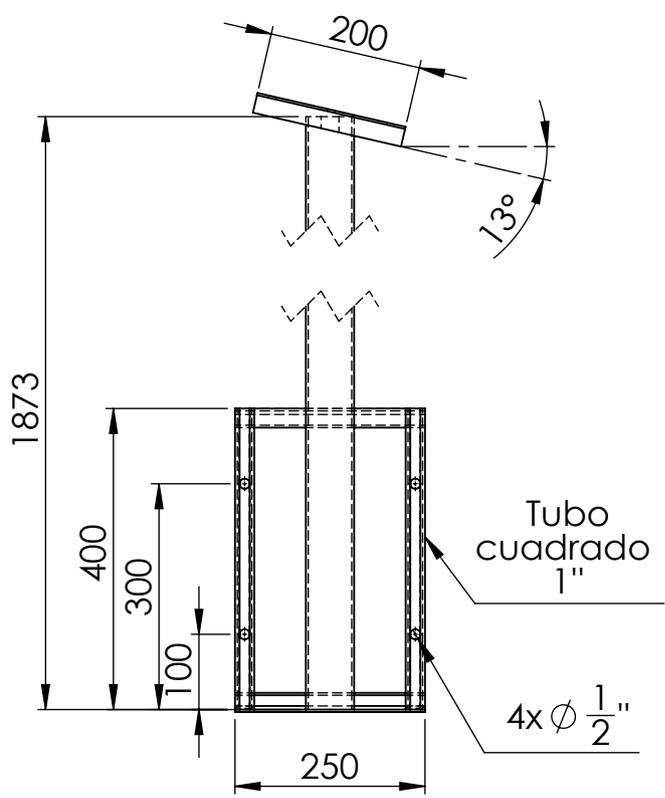
A3



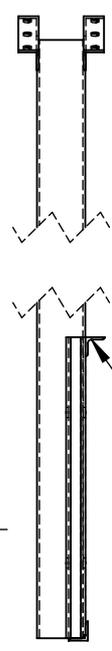
VISTA SUPERIOR



ISOMÉTRICO

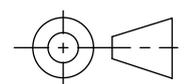


VISTA FRONTAL

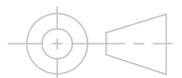
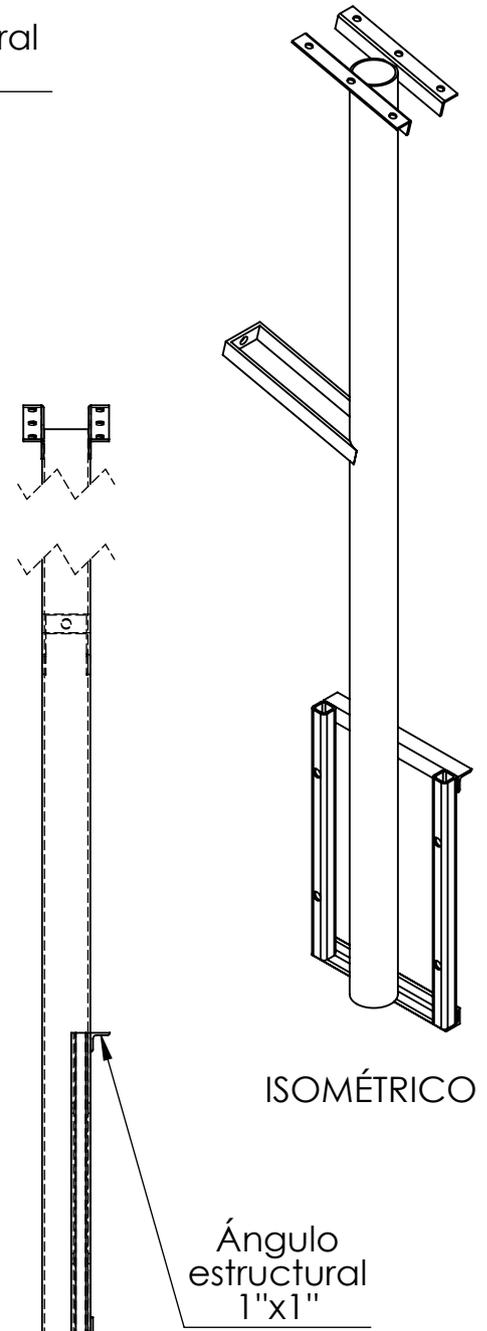
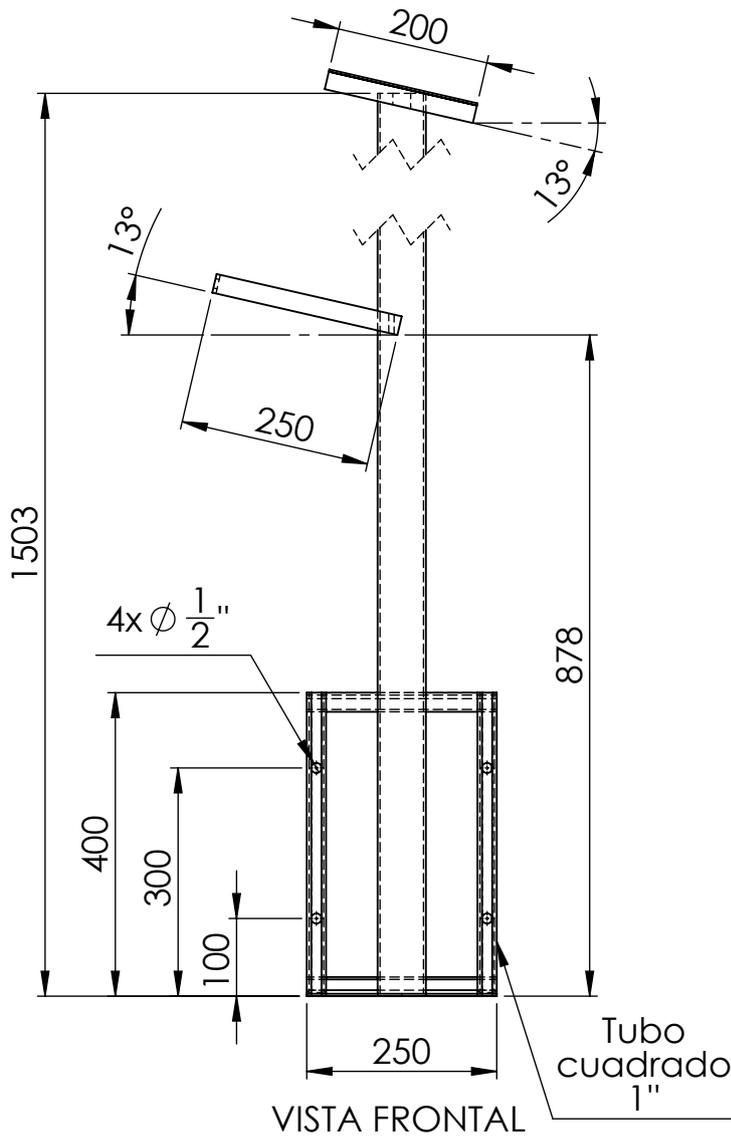
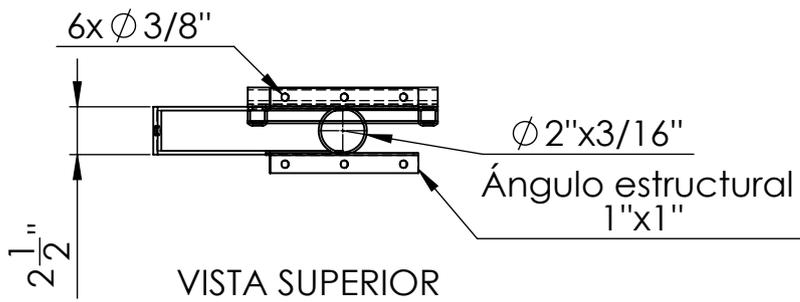


VISTA LATERAL DERECHA

Ángulo estructural 1"x1"



ESCALA	Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA	HOJA 1 / 1
1:10	DISEÑO: Br. Pedro David García Reyes, Br. Rafael Antonio Peñate Santos REVISÓ: Msc. Jorge Alberto Zetino Chicas	FECHA 9/11/2015		Autopista Norte y Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador	CODIGO SSEH01
Cuando no se especifique UNIDADES: mm	NOMBRE Columna A (1.873 metros)	MATERIAL AISI 1020	CANTIDAD: 1		A4



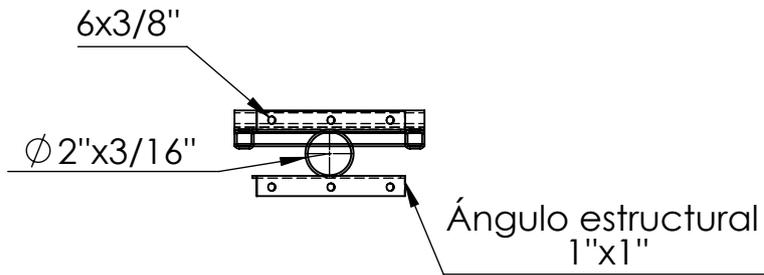
ESCALA	Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.	
1:10	DISEÑO: Br. Pedro David García Reyes, Br. Rafael Antonio Peñate Santos	FECHA 9/11/2015
	REVISÓ: Msc. Jorge Alberto Zetino Chicas	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR EN EJE HORIZONTAL CONTROLADO CON HARDWARE Y SOFTWARE DE LIBRE DISTRIBUCIÓN.	
Cuando no se especifique UNIDADES: mm	NOMBRE Columna B (1.503 metros)	MATERIAL AISI 1020
		CANTIDAD: 1



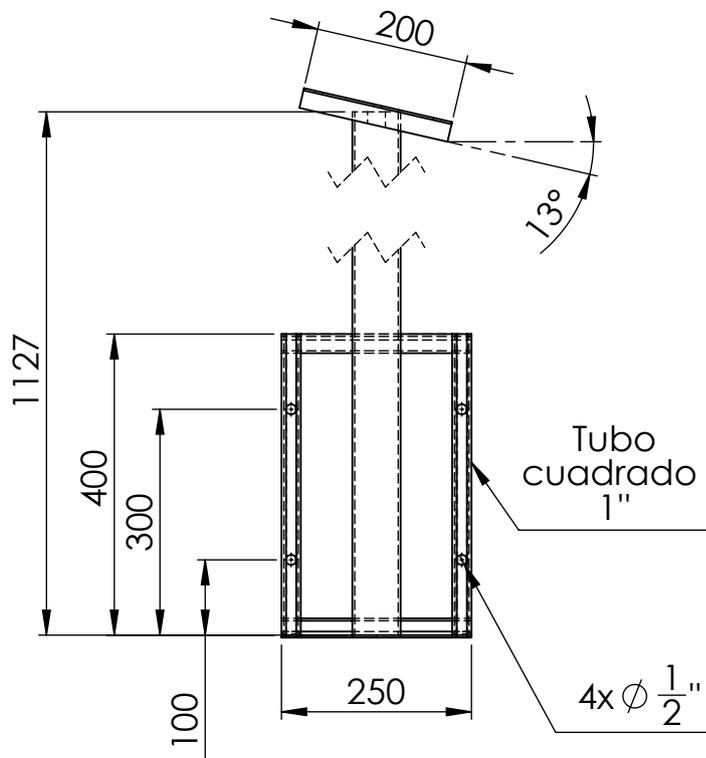
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA
Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

Autopista Norte y Final 25 Avenida Norte,
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

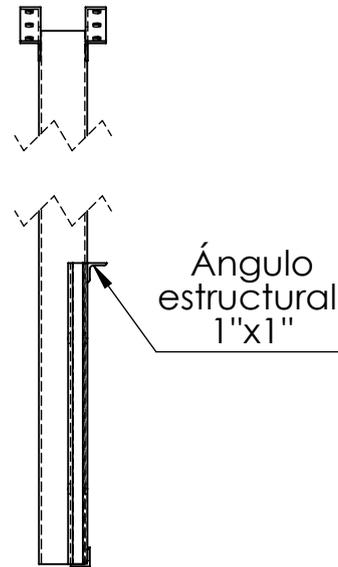
HOJA 1 / 1
CODIGO
SSEH02
A4



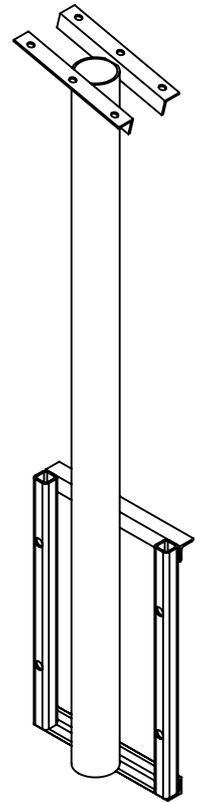
VISTA SUPERIOR



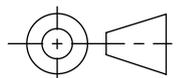
VISTA FRONTAL



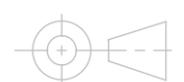
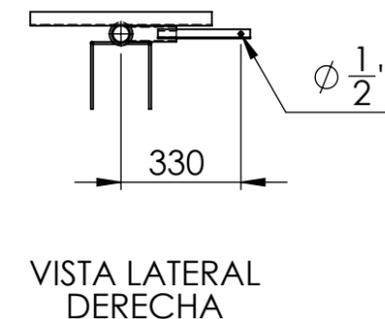
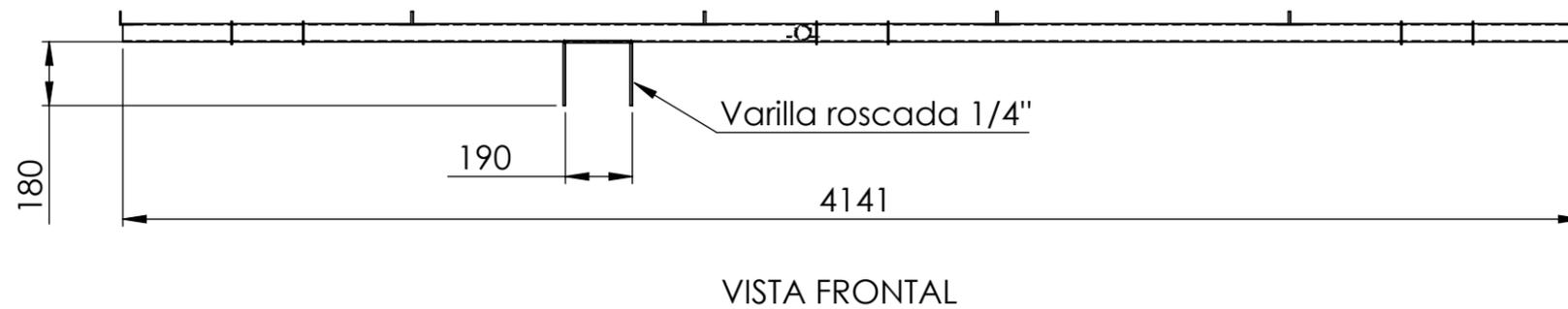
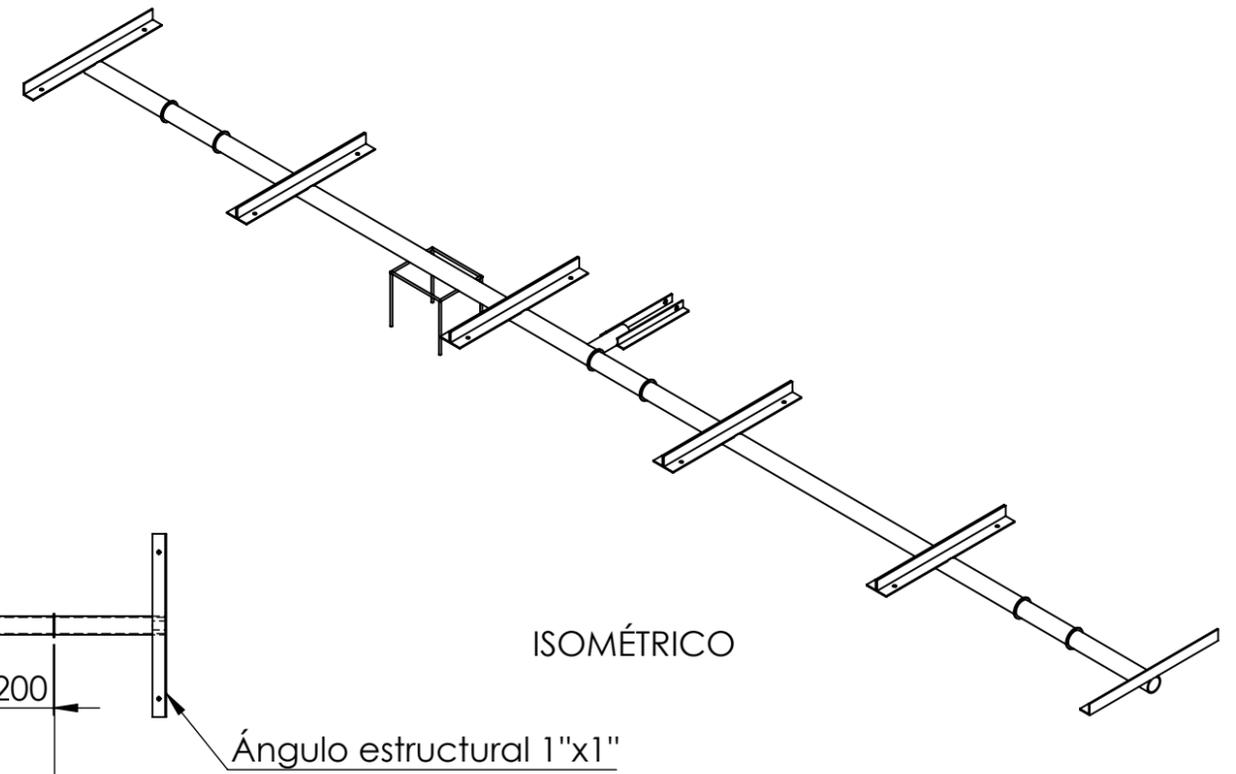
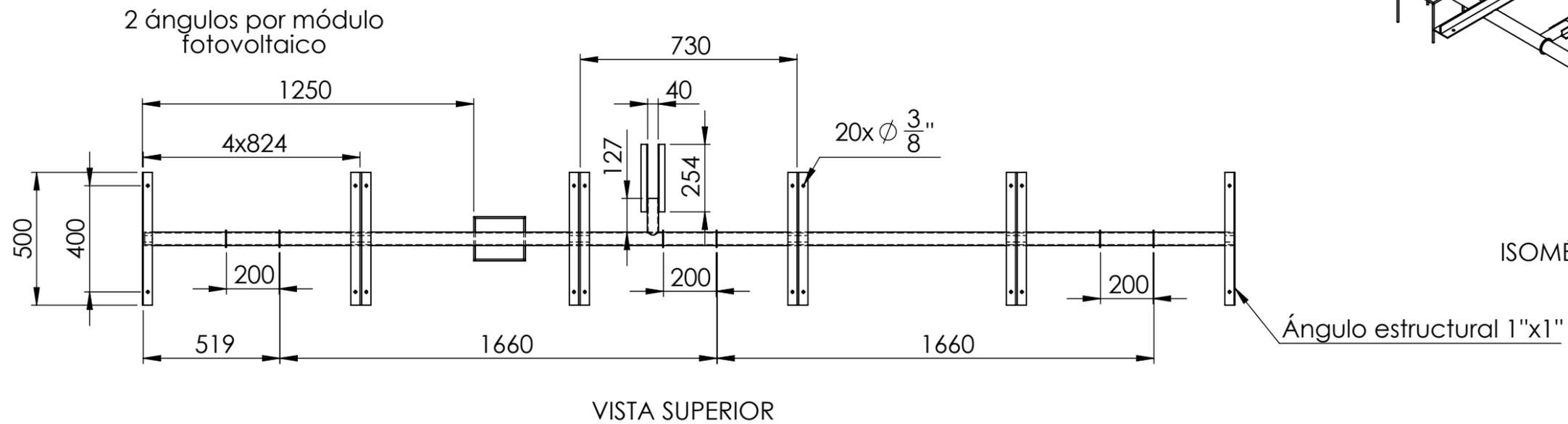
VISTA LATERAL DERECHA



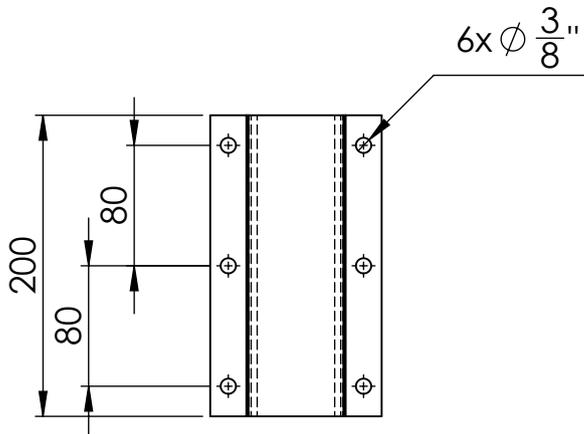
ISOMÉTRICO



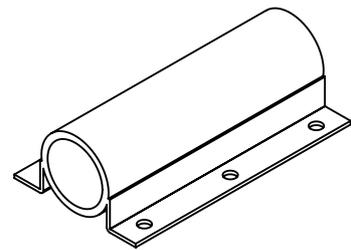
ESCALA	Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA	HOJA 1 / 1
1:10	DISEÑO: Br. Pedro David García Reyes, Br. Rafael Antonio Peñate Santos REVISÓ: Msc. Jorge Alberto Zetino Chicas	FECHA 9/11/2015		Autopista Norte y Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador	CODIGO SSEH03
Cuando no se especifique UNIDADES: mm	NOMBRE Columna C (1.127 metros)	MATERIAL AISI 1020	CANTIDAD: 1		A4



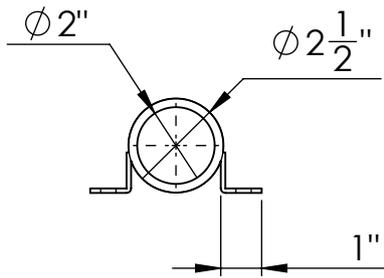
ESCALA	Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.			HOJA 1 / 1
1:20	DISEÑO: Br. Pedro David García Reyes, Br. Rafael Antonio Peñate Santos	FECHA		CODIGO
UNIDADES: mm	REVISÓ: Msc. Jorge Alberto Zetino Chicas	9/11/2015	SSEH04	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR EN EJE HORIZONTAL, CONTROLADO CON HARDWARE Y SOFTWARE DE LIBRE DISTRIBUCIÓN.		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Autopista Norte y Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador	A3
	NOMBRE	MATERIAL		
	Eje	AISI 1020		
		CANTIDAD: 1		



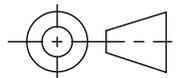
VISTA SUPERIOR



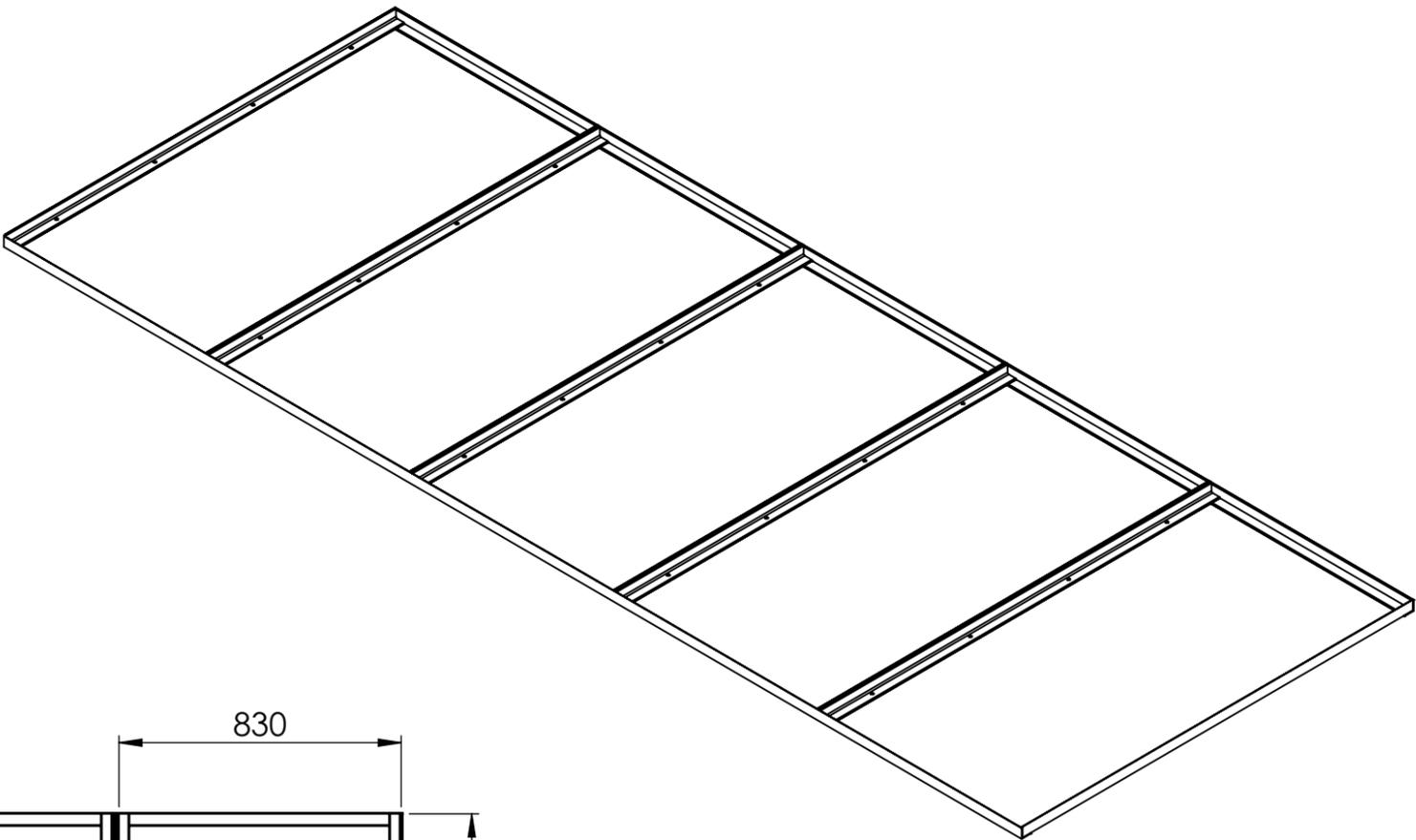
ISOMÉTRICO



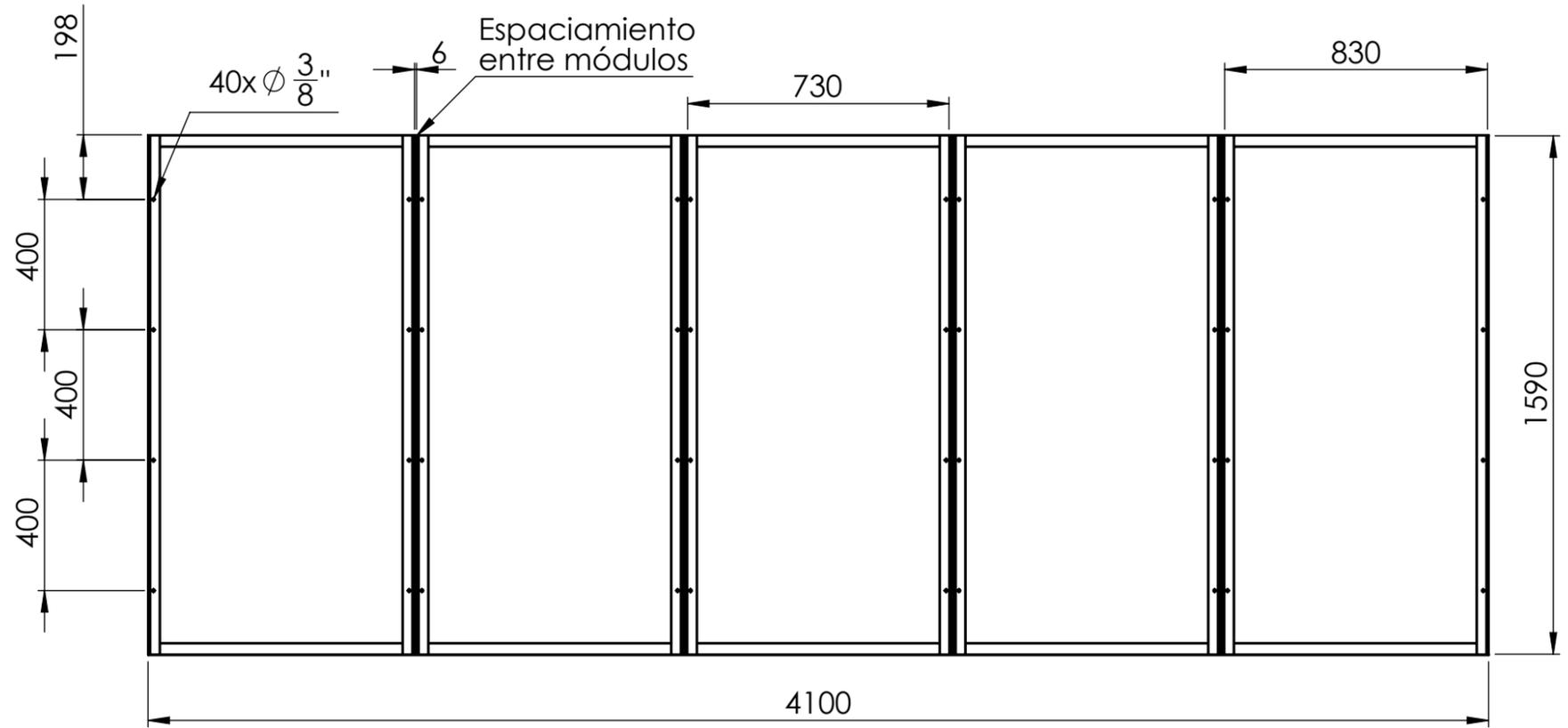
VISTA FRONTAL



ESCALA	<u>Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.</u>			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA	HOJA 1 / 1
1:5	DISEÑO: Br. Pedro David García Reyes, Br. Rafael Antonio Peñate Santos REVISÓ: Msc. Jorge Alberto Zetino Chicas	FECHA 9/11/2015		Autopista Norte y Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador	CODIGO SSEH05
	Cuando no se especifique UNIDADES: mm	NOMBRE Collar	MATERIAL AISI 1020 CANTIDAD: 1		A4

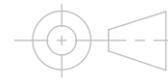


ISOMÉTRICO



VISTA SUPERIOR

ESCALA	Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.	
1:20	DISEÑO: Br. Pedro David García Reyes, Br. Rafael Antonio Peñate Santos	FECHA: 9/11/2015
	REVISÓ: Msc. Jorge Alberto Zetino Chicas	
UNIDADES: mm	TRABAJO DE GRADUACIÓN IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR EN EJE HORIZONTAL, CONTROLADO CON HARDWARE Y SOFTWARE DE LIBRE DISTRIBUCIÓN.	
CUANDO NO SE ESPECIFIQUE	NOMBRE	MATERIAL
	Marco de soporte de los paneles fotovoltaicos	AISI 1020
		CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA
 Autopista Norte y Final 25 Avenida Norte,
 Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

ANEXO 5:
COSTO DE MATERIALES
Y CONSTRUCCIÓN

En la tabla A se muestra los precios de cada uno de los tornillos con sus complementos que se utilizaron en el sistema de seguimiento solar,

Cantidad	Descripción	Precio	
100	Arandelas 5/16"	\$3.62	
65	Pernos hexagonales Galvanizados 5/16"	\$5.29	
65	Arandelas de presión Galvanizados 5/16	\$1.18	
65	Tuerca Hexagonales Galvanizados 5/16"	\$1.76	
18	Tornillos C/Plana Galvanizados 5/16"	\$2.93	
18	Arandelas de presión Galvanizados 5/16	\$0.33	
5	Tornillos C/Plana Galvanizados 5/16"	\$0.81	
5	Arandelas de presión Galvanizados 5/16	\$0.09	
12	Perno Hexagonales 3/8x7"	\$4.88	
12	Arandela Plana 3/8x2"	\$2.71	Subtotal
24	Arandela Plana 3/8x1.1/4"	\$2.17	
12	Arandela Presión 3/8	\$0.27	\$26.04

TABLA A

Compra de elementos para la instalación TABLA B

Cantidad	Descripción	Precio	
65	Mts. Cable CSJ VULCAM 3-12	\$96.50	
15	Poliducto y accesorios	\$13.54	
1	Brocha 2" Polyester	\$0.50	
1	Botella de Thinner Sin Envase	\$1.35	
1	Protector de Plástico Redondo 2"	\$0.10	
1	Anticorrosivo Gris Mate ¼	\$4.25	
1	Hierro Angulo 3/16 x 1.1/4"	\$12.95	
1	Caño Negro 1.1/4" sin rosca	\$20.00	
2	Cortes de Hierro VIDRI	\$1.00	
1	Botella de Thinner Sin Envase	\$1.35	
1	Libra de WYPPE DE TELA	\$0.95	
1	CAJA de conexiones para intemperie	\$11.35	
2	Perno Hexagonal Rosca 7/16"	\$1.10	
2	Tuercas Hexagonal 7/16"	\$0.30	
8	Arandelas Plana de Hierro 7/16"	\$0.48	
2	Arandelas de Presión 7/16"	\$0.04	
1	Broca de Titanio 7/16"	\$6.25	
1	Brocha 2" Polyester	\$0.50	
1	Brocha 2" Polyester	\$0.50	
1	Perno Hexagonal Rosca 7/16"	\$0.60	
1	CAJA de conexiones para intemperie	\$11.35	
1	Brocha 1.1/2" Polyester	\$0.45	

3	Manguito plástico con tuerca 1/2"	\$2.10	SubTotal
6	Protector de Plástico Cuadrado 1"	\$0.42	\$187.93

TABLA B

El precio de los elementos que se utilizaron para la realización de la placa impresa y accesorios a soldarse se detallan en la TABLA C.

Cantidad	Descripción	Precio	
1	PINES HEADER	\$0.50	
6	1X3 PINES HEADER	\$2.70	
1	TERMINAL 1X3P/HS	\$0.90	
1	1X8 PINES HEADER	\$1.00	
1	1 - Pines macho hembra (header Sockey)	\$2.35	
1	TERMINAL	\$0.50	
1	1X6 PINES HEADER SOCKET	\$0.45	
1	CONECTOR	\$0.25	
1	ACIDO PCB	\$2.99	Subtotal
2	CONECTORES	\$0.50	
1	TOO - DB1.0	\$0.40	\$12.54

TABLA C

Los elementos que se utilizan en el sistema de control del seguidor se detallan en la TABLA D

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO	
1	Convertidor de Nivel de Voltaje	\$4.00	
1	Acelerómetro 12756	\$11.95	
1	GPS	\$29.95	
1	ARDUINO REDBOARD	\$25.00	
1	Convertidor de Nivel de Voltaje	\$4.00	
1	Acelerómetro 12756	\$11.95	
1	GPS	\$29.95	
1	REDBOARD	\$25.00	Subtotal
1	CABLE USB	\$4.95	
1	Tira de pin macho	\$3.00	\$149.75

TABLA D

Compras varias que se realizaron en diferentes locaciones, precios en TABLA E.

Cantidad	Descripción	Precio	
3	terminales verdes c/tornillo _Casa Rivas	\$0.93	
1	Placa para soldar (TESTER COBRE)_ Casa Rivas	\$1.53	
2	Relay 13-RH005C _Casa Rivas	\$1.50	
1	20 pines (PIN HEADER 2.54mm)	\$0.50	
1	Grasa en tarro heavy duty	\$3.38	
1	Placa cobrisol	\$1.00	Subtotal
1	Acido para quemar PCB y pines	\$3.89	
5	Angulo Hierro 1.5" FERRETERIA LEMUS	\$38.00	\$50.73

TABLA E

PRECIOS DE MANO DE OBRA Y TRANSPORTE TABLA F.

Descripción	Precio	
Hechura de Collares + Lima Medio CAÑO	\$24.00	
Mano de Obra Estructura	\$80.00	
Transporte 5 Angulo de Hierro	\$6.00	
Transporte a UES 1era VEZ	\$4.00	
Transporte a Taller	\$4.00	Subtotal
Transporte a UES 2da VEZ	\$4.00	
Mano de Obra Remiendo Estructura	\$10.00	\$132.00

TABLA F

RESUMEN: El total representa la cantidad invertida del prototipo de la estructura, sin incluir el actuador lineal y los paneles solares.

TOTAL GENERAL

MATERIALES	
TABLA A	\$26.04
TABLA B	\$187.93
TABLA C	\$12.54
TABLA D	\$149.75
TABLA E	\$50.73
MANO DE OBRA Y TRANSPORTE TABLA F	\$132.00
<u>TOTAL</u>	<u>\$558.99</u>

La construcción del prototipo tiene un precio de \$560.00 dolares.

ANEXO 6:
MANUAL DE
MANTENIMIENTO

MANTEMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CON SEGUIDOR SOLAR.

En la investigación del mantenimiento y su alcance, de forma de poder establecer si lo que se requiere es un mantenimiento PREVENTIVO O CORRECTIVO, se establece un plan o programa de mantenimiento que pueda ser aplicable rutinariamente a lo largo del año. Todo programa de mantenimiento debe contar con un plan por el tiempo que se determine, qué y cómo debe ser mantenido, estableciendo una frecuencia y unas prioridades de las acciones a tomar para llevar a cabo un mantenimiento adecuado.

En cada una de los casos analizados a continuación, se establecerá la frecuencia con que se deberán ejecutar los trabajos de mantenimiento y la forma de llevarlos a cabo. El mantenimiento PREVENTIVO es aquel que se puede establecer rutinariamente, para evitar daños o averías que se puedan producir. El mantenimiento CORRECTIVO, se lleva a cabo cuando ya es inútil seguir reparando parcialmente y se hace necesaria su sustitución. Esto se hace a causa del desgaste del material o las piezas utilizadas, como también por un diseño deficiente o por una instalación defectuosa.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PÁNELES SOLARES FOTOVOLTAICOS.

Por su propia configuración, los paneles fotovoltaicos requieren muy poco mantenimiento, al mismo tiempo el control de calidad de los fabricantes es general y rara vez presenta problemas. Dos aspectos a tener en cuenta primordialmente son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos, y por el otro, mantener limpia la parte expuesta a los rayos solares de los módulos fotovoltaicos. Las pérdidas producidas por la suciedad pueden llegar a ser de un 5%, y se pueden evitar con una limpieza periódica adecuada. El mantenimiento consiste en:

LIMPIEZA PERIÓDICA DEL PANEL

La suciedad que pueda acumular el panel puede reducir su rendimiento, las capas de polvo que reducen la intensidad del sol no son peligrosas y la reducción de potencia no suele ser significativa. Las labores de limpieza de los paneles se realizarán mensualmente o bien después de una lluvia. La limpieza se realizará con agua (sin agentes abrasivos ni instrumentos metálicos). Preferiblemente se hará fuera de las horas centrales del día, para evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel (sobre todo en verano).

El proceso de limpieza depende lógicamente del proceso de ensuciado, en el caso de los depósitos procedentes de las aves conviene evitarlos poniendo pequeñas antenas elásticas que impidan que se posen.



CONTROL DE LAS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL PANEL (ANUALMENTE)

Se revisará el estado de las conexiones, entre otros:

Ausencia de sulfatación de contactos.

Ausencia de oxidaciones en los circuitos y soldadura de las células, normalmente debido a la entrada de humedad.

Comprobación de estado y adherencia de los cables a los terminales de los paneles.

Comprobación de la estanqueidad de la caja de terminales o del estado de los capuchones de seguridad. Si procede, se sustituirán las piezas en mal estado y/o se limpiarán los terminales.

ESTRUCTURA SOPORTE DE LOS PÁNELES

La estructura soporte de los paneles fotovoltaicos está fabricada íntegramente con ángulo y tubo metálico, y tornillería galvanizada, por lo que se requiere mantenimiento anticorrosivo. El mantenimiento de las mismas se realizará cada seis meses y consistirá anualmente en:

Comprobación de posibles degradaciones (deformaciones, grietas, etc.).

Comprobación del estado de fijación de la estructura. Se controlará que la tornillería se encuentra correctamente apretada, controlando el par de apriete si es necesario. Si algún elemento de fijación presenta síntomas de defectos, se sustituirá por otro nuevo.



Comprobación de las conexiones. Consiste básicamente en cerciorarse de que todos los empalmes se encuentran correctamente sellados, reparándolas en caso necesario.

CAJAS A INTEMPERIE

Las cajas Sunny String Monitor (SSM) suministradas son resistentes a la intemperie (emplazadas a la sombra).



Se recomienda realizar las siguientes operaciones de mantenimiento: Anualmente:

Comprobar el correcto anclaje de la caja a la estructura soporte correspondiente, asegurándose de que la tornillería está correctamente apretada (comprobando el par de apriete si es necesario), sustituyendo algún elemento de fijación si se encuentra en mal estado.

Comprobar que la carcasa de la caja se encuentra en correcto estado y no presenta síntomas de deterioro debido a agentes externos. Sustituirla en caso necesario.

Comprobar si la tapa está bien asentada. Asegurarse al cerrar la tapa que los cierres estén bien bloqueados, ejerciendo una ligera presión.

Comprobar si se ha acumulado agua de condensación en el equipo. Si es así, absorber el agua que haya, comprobar la causa de la infiltración de agua y subsanar el defecto.

Controlar la firmeza del apriete de todas las conexiones del cableado eléctrico y, si fuera necesario, apretarlas. Comprobar si el aislamiento o los bornes presentan descoloración o alteraciones de otro tipo. Cambiar las conexiones deterioradas o los elementos de contacto oxidados.

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR.

En este apartado se centrará en los elementos que complementan al sistema de control formado por las cajas de campo SSM y los inversores, ambos comentados.



Estos elementos, aunque no son fundamentales para el correcto funcionamiento de la instalación solar, son muy importantes para el control de la misma así como detección de averías. El mantenimiento es muy sencillo y consiste mensualmente en:

Supervisión visual de los distintos equipos a través del PC, es decir, controlar los parámetros de producción (tensión, intensidad, potencia, etc.) registro de alarmas, etc.

Comprobación del sistema de aviso de alarmas. Para ello se enviará un mensaje de prueba al dispositivo móvil o correo electrónico configurado.

Anualmente:

Revisión de las conexiones de los distintos elementos, tarjetas, sensores, Router, PC, etc.

Comprobación de todos los sensores, cerciorándose de que se encuentran en buen estado y no presentan síntomas de deterioro o roturas. En caso necesario, sustituir estos.

LÍNEA ELÉCTRICA

De una buena conservación de la misma dependerá el correcto funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica y de las protecciones de la misma.

La parte más delicada de la línea eléctrica corresponde a la línea de CC sobre cubierta, por estar sometida a las inclemencias atmosféricas y agentes externos.

El mantenimiento de la línea eléctrica consiste en:

Cada 6 meses:

Comprobación del estado de la cubierta y aislamiento de los cables, así como las protecciones mecánicas de los mismos. Si presenta algún síntoma de deterioro, sustituir el tramo completo.

Cada 2 años:

Comprobación del estado de los bornes de abroche de la línea general de alimentación en la conexión de los paneles, mediante inspección visual.

Abrir las tapaderas de la caja de potencia y comprobar el estado de empalmes y conexiones (sulfatación de contactos, óxido, etc.) sustituir las terminaciones en caso de síntomas de deterioro de las mismas.

Cada 5 años:

Comprobación del aislamiento entre fases y entre cada fase y neutro. Se tendrán en cuenta todas las precauciones relacionadas en trabajos con riesgo eléctrico, debiendo desconectar los correspondientes interruptores-seccionadores de la línea a mantener.

Se tendrá especial cuidado con la línea de MT. En cualquier caso estos trabajos de mantenimiento serán realizados por un profesional competente y cualificado.

PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Este plan de mantenimiento se aplicará únicamente cuando por circunstancias sobrevenidas, debidas a averías en la instalación, sea necesario subsanar el defecto de la misma.

Garantizar la visita a la instalación en los plazos establecidos y cada vez que el usuario lo requiera debido a cualquier incidencia en la misma. Dicha visita a la instalación tras llamada del usuario se atenderá en el plazo máximo de 24h.

Analizar y realizar un presupuesto adecuado de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto y normal funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica.

Subsanar correctamente cualquier incidencia en un tiempo máximo de 48 horas, excepto cuando se trate de causas de fuerza mayor debidamente justificadas (por ejemplo acopio de materiales).

INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO DE PARTES MOVILES.

Se recomienda realizar un mantenimiento una vez cada tres meses

El mantenimiento consiste en:

Lubricar collares para el fácil movimiento de pivote y evitar desgaste entre piezas móviles



Lubricar actuador lineal de la estructura

Comprobar la fijeza de los tornillos de los paneles y si estuvieran sueltos apretarlos.



Comprobar el agarre de los tornillos del eje y marco, y si estuvieran sueltos fijarlos igualmente.



En el caso de que las condiciones de uso de la estructura sean severas, se recomienda realizar el mantenimiento cada 3 meses.

La exposición continua a un ambiente húmedo o agresivo puede dañar elementos como herrajes, bisagras, etc., afectando a sus propiedades o funcionamiento.

**ANEXO 7:
DATOS DE
GENERACIÓN
OBTENIDA ENTRE EL
12 Y EL 18 DE JUNIO
DE 2016**

Los datos que se presentan en la tabla son los kW a lo largo del día producidos por los tres sistemas, tomados cada 15 minutos durante una semana

Fecha	Total de la Generación	Generación del inversor B	Generación del Inversor A	Generación del inversor C
11/06/ 6:00 AM	0	0	0	
11/06/ 6:15 AM	0	0	0	0
11/06/ 6:30 AM	0.03	0.01	0.01	0.01
11/06/ 6:45 AM	0.04	0.01	0.01	0.01
11/06/ 7:00 AM	0.09	0.03	0.03	0.03
11/06/ 7:15 AM	0.18	0.06	0.05	0.07
11/06/ 7:30 AM	0.26	0.08	0.08	0.1
11/06/ 7:45 AM	0.3	0.09	0.09	0.11
11/06/ 8:00 AM	0.36	0.11	0.11	0.14
11/06/ 8:15 AM	0.39	0.12	0.12	0.14
11/06/ 8:30 AM	0.42	0.14	0.13	0.15
11/06/ 8:45 AM	0.46	0.15	0.15	0.16
11/06/ 9:00 AM	0.57	0.18	0.18	0.2
11/06/ 9:15 AM	0.62	0.2	0.2	0.22
11/06/ 9:30 AM	0.76	0.24	0.24	0.27
11/06/ 9:45 AM	1.07	0.34	0.34	0.39
11/06/ 10:00 AM	1.07	0.34	0.34	0.38
11/06/ 10:15 AM	0.99	0.32	0.32	0.35
11/06/ 10:30 AM	0.9	0.29	0.29	0.31
11/06/ 10:45 AM	1.3	0.42	0.42	0.46
11/06/ 11:00 AM	1.31	0.43	0.43	0.45
11/06/ 11:15 AM	0.94	0.3	0.31	0.34
11/06/ 11:30 AM	1.26	0.41	0.41	0.43
11/06/ 11:45 AM	1.29	0.42	0.42	0.44
11/06/ 12:00 PM	1.28	0.42	0.42	0.43
11/06/ 12:15 PM	1.19	0.39	0.39	0.41
11/06/ 12:30 PM	0.81	0.27	0.27	0.27
11/06/ 12:45 PM	1.32	0.43	0.43	0.45
11/06/ 1:00 PM	1.08	0.36	0.36	0.36
11/06/ 1:15 PM	1.06	0.34	0.34	0.37
11/06/ 1:30 PM	0.9	0.29	0.29	0.31
11/06/ 1:45 PM	1.42	0.46	0.46	0.49
11/06/ 2:00 PM	0.67	0.21	0.22	0.24

11/06/ 2:15 PM	1.17	0.37	0.37	0.43
11/06/ 2:30 PM	1.29	0.41	0.4	0.48
11/06/ 2:45 PM	1.1	0.34	0.34	0.42
11/06/ 3:00 PM	1.01	0.32	0.32	0.38
11/06/ 3:15 PM	0.87	0.26	0.26	0.35
11/06/ 3:30 PM	0.93	0.29	0.29	0.35
11/06/ 3:45 PM	0.53	0.17	0.18	0.18
11/06/ 4:00 PM	0.66	0.2	0.2	0.26
11/06/ 4:15 PM	0.43	0.13	0.13	0.18
11/06/ 4:30 PM	0.71	0.19	0.19	0.32
11/06/ 4:45 PM	0.5	0.13	0.13	0.23
11/06/ 5:00 PM	0.31	0.08	0.09	0.14
11/06/ 5:15 PM	0.34	0.1	0.1	0.15
11/06/ 5:30 PM	0.18	0.07	0.07	0.04
11/06/ 5:45 PM	0.04	0.01	0.02	0.01
11/06/ 6:00 PM	0.01	0	0	0
11/06/ 6:15 PM	0	0	0	0
11/06/ 6:30 PM	0	0	0	0
12/06/ 6:00 AM	0	0	0	0
12/06/ 6:15 AM	0	0	0	0
12/06/ 6:30 AM	0	0	0	0
12/06/ 6:45 AM	0	0	0	0
12/06/ 7:00 AM	0.02	0.01	0	0
12/06/ 7:15 AM	0.03	0.01	0.01	0.01
12/06/ 7:30 AM	0.04	0.01	0.01	0.01
12/06/ 7:45 AM	0.07	0.03	0.02	0.02
12/06/ 8:00 AM	0.25	0.08	0.08	0.08
12/06/ 8:15 AM	0.62	0.19	0.19	0.24
12/06/ 8:30 AM	0.54	0.17	0.17	0.2
12/06/ 8:45 AM	0.78	0.24	0.24	0.3
12/06/ 9:00 AM	0.78	0.24	0.24	0.29
12/06/ 9:15 AM	0.83	0.26	0.26	0.31
12/06/ 9:30 AM	0.99	0.31	0.31	0.37
12/06/ 9:45 AM	1.03	0.33	0.32	0.38
12/06/ 10:00 AM	0.58	0.19	0.19	0.19
12/06/ 10:15 AM	0.58	0.19	0.19	0.2
12/06/ 10:30 AM	0.65	0.22	0.22	0.21
12/06/ 10:45 AM	0.56	0.19	0.19	0.19
12/06/ 11:00 AM	0.56	0.19	0.18	0.19

12/06/ 11:15 AM	0.64	0.21	0.21	0.21
12/06/ 11:30 AM	0.56	0.19	0.18	0.19
12/06/ 11:45 AM	0.57	0.19	0.19	0.19
12/06/ 12:00 PM	0.73	0.24	0.24	0.25
12/06/ 12:15 PM	0.81	0.27	0.27	0.27
12/06/ 12:30 PM	1.19	0.39	0.39	0.41
12/06/ 12:45 PM	0.91	0.3	0.3	0.31
12/06/ 1:00 PM	0.84	0.28	0.28	0.28
12/06/ 1:15 PM	0.73	0.25	0.24	0.25
12/06/ 1:30 PM	0.78	0.26	0.26	0.27
12/06/ 1:45 PM	1.05	0.35	0.35	0.35
12/06/ 2:00 PM	1.23	0.4	0.4	0.42
12/06/ 2:15 PM	1.07	0.34	0.34	0.39
12/06/ 2:30 PM	1.28	0.4	0.4	0.49
12/06/ 2:45 PM	1.05	0.32	0.32	0.41
12/06/ 3:00 PM	0.98	0.3	0.29	0.39
12/06/ 3:15 PM	0.78	0.24	0.24	0.3
12/06/ 3:30 PM	0.35	0.11	0.11	0.13
12/06/ 3:45 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
12/06/ 4:00 PM	0.04	0.01	0.01	0.01
12/06/ 4:15 PM	0.07	0.03	0.03	0.01
12/06/ 4:30 PM	0.07	0.03	0.03	0.01
12/06/ 4:45 PM	0.02	0.01	0.01	0.01
12/06/ 5:00 PM	0	0	0	0
12/06/ 5:15 PM	0	0	0	0
12/06/ 5:30 PM	0	0	0	0
12/06/ 5:45 PM	0	0	0	0
12/06/ 6:00 PM	0	0	0	0
12/06/ 6:15 PM	0	0	0	0
12/06/ 6:30 PM	0	0	0	0
13/06/ 6:15 AM	0	0	0	0
13/06/ 6:30 AM	0.01	0	0	0
13/06/ 6:45 AM	0.03	0.01	0.01	0.01
13/06/ 7:00 AM	0.16	0.02	0.02	0.12
13/06/ 7:15 AM	0.42	0.07	0.07	0.27
13/06/ 7:30 AM	0.55	0.11	0.12	0.32
13/06/ 7:45 AM	0.65	0.15	0.15	0.35
13/06/ 8:00 AM	0.75	0.18	0.19	0.38
13/06/ 8:15 AM	0.84	0.22	0.22	0.4

13/06/ 8:30 AM	0.92	0.25	0.25	0.42
13/06/ 8:45 AM	0.99	0.28	0.28	0.44
13/06/ 9:00 AM	1.05	0.3	0.3	0.45
13/06/ 9:15 AM	1.12	0.33	0.33	0.46
13/06/ 9:30 AM	1.18	0.35	0.35	0.47
13/06/ 9:45 AM	1.23	0.38	0.38	0.47
13/06/ 10:00 AM	1.28	0.4	0.4	0.48
13/06/ 10:15 AM	1.31	0.41	0.41	0.48
13/06/ 10:30 AM	1.34	0.43	0.43	0.49
13/06/ 10:45 AM	1.36	0.44	0.44	0.49
13/06/ 11:00 AM	1.36	0.44	0.44	0.48
13/06/ 11:15 AM	1.36	0.44	0.45	0.47
13/06/ 11:30 AM	1.4	0.46	0.46	0.48
13/06/ 11:45 AM	1.37	0.45	0.45	0.47
13/06/ 12:00 PM	1.42	0.47	0.47	0.48
13/06/ 12:15 PM	1.43	0.47	0.47	0.48
13/06/ 12:30 PM	1.28	0.41	0.42	0.45
13/06/ 12:45 PM	1.38	0.45	0.45	0.48
13/06/ 1:00 PM	1.42	0.47	0.47	0.49
13/06/ 1:15 PM	1.26	0.41	0.41	0.44
13/06/ 1:30 PM	0.98	0.32	0.31	0.35
13/06/ 1:45 PM	1.19	0.38	0.39	0.42
13/06/ 2:00 PM	1.14	0.37	0.37	0.41
13/06/ 2:15 PM	1.07	0.34	0.34	0.39
13/06/ 2:30 PM	1.28	0.4	0.4	0.48
13/06/ 2:45 PM	1.26	0.39	0.39	0.48
13/06/ 3:00 PM	1.22	0.37	0.37	0.48
13/06/ 3:15 PM	1.22	0.36	0.36	0.49
13/06/ 3:30 PM	1.04	0.31	0.31	0.43
13/06/ 3:45 PM	1.07	0.31	0.31	0.45
13/06/ 4:00 PM	0.84	0.22	0.22	0.4
13/06/ 4:15 PM	0.94	0.24	0.24	0.46
13/06/ 4:30 PM	0.87	0.21	0.21	0.45
13/06/ 4:45 PM	0.73	0.16	0.16	0.41
13/06/ 5:00 PM	0.68	0.14	0.14	0.41
13/06/ 5:15 PM	0.57	0.1	0.1	0.37
13/06/ 5:30 PM	0.44	0.05	0.05	0.33
13/06/ 5:45 PM	0.28	0.02	0.02	0.25
13/06/ 6:00 PM	0.03	0.01	0.01	0.01

13/06/ 6:15 PM	0.01	0.01	0	0
13/06/ 6:30 PM	0	0	0	0
14/06/ 6:00 AM	0	0	0	0
14/06/ 6:15 AM	0	0	0	0
14/06/ 6:30 AM	0.02	0.01	0.01	0
14/06/ 6:45 AM	0.03	0.01	0.01	0.01
14/06/ 7:00 AM	0.19	0.03	0.03	0.13
14/06/ 7:15 AM	0.4	0.06	0.07	0.27
14/06/ 7:30 AM	0.5	0.1	0.1	0.29
14/06/ 7:45 AM	0.63	0.15	0.15	0.33
14/06/ 8:00 AM	0.73	0.18	0.18	0.37
14/06/ 8:15 AM	0.81	0.21	0.21	0.39
14/06/ 8:30 AM	0.89	0.24	0.24	0.41
14/06/ 8:45 AM	0.97	0.27	0.27	0.43
14/06/ 9:00 AM	1.04	0.3	0.3	0.44
14/06/ 9:15 AM	1.1	0.32	0.32	0.45
14/06/ 9:30 AM	1.14	0.34	0.34	0.46
14/06/ 9:45 AM	1.19	0.36	0.36	0.46
14/06/ 10:00 AM	1.24	0.39	0.38	0.47
14/06/ 10:15 AM	1.28	0.4	0.41	0.47
14/06/ 10:30 AM	1.33	0.42	0.42	0.48
14/06/ 10:45 AM	1.36	0.44	0.44	0.48
14/06/ 11:00 AM	1.42	0.46	0.46	0.5
14/06/ 11:15 AM	1.33	0.44	0.44	0.45
14/06/ 11:30 AM	1.44	0.47	0.48	0.49
14/06/ 11:45 AM	0.78	0.25	0.25	0.28
14/06/ 12:00 PM	0.55	0.19	0.18	0.18
14/06/ 12:15 PM	0.87	0.3	0.29	0.28
14/06/ 12:30 PM	0.69	0.23	0.23	0.24
14/06/ 12:45 PM	1.43	0.49	0.47	0.47
14/06/ 1:00 PM	1.55	0.52	0.51	0.52
14/06/ 1:15 PM	1.51	0.5	0.5	0.51
14/06/ 1:30 PM	1.29	0.42	0.42	0.45
14/06/ 1:45 PM	0.99	0.32	0.32	0.35
14/06/ 2:00 PM	1.2	0.39	0.39	0.43
14/06/ 2:15 PM	0.72	0.24	0.24	0.24
14/06/ 2:30 PM	1.06	0.34	0.34	0.39
14/06/ 2:45 PM	0.34	0.1	0.1	0.13
14/06/ 3:00 PM	1.04	0.32	0.32	0.4

14/06/ 3:15 PM	1.16	0.34	0.34	0.48
14/06/ 3:30 PM	0.82	0.23	0.23	0.37
14/06/ 3:45 PM	0.89	0.24	0.24	0.41
14/06/ 4:00 PM	0.85	0.23	0.23	0.39
14/06/ 4:15 PM	0.94	0.24	0.24	0.46
14/06/ 4:30 PM	0.83	0.2	0.2	0.43
14/06/ 4:45 PM	0.72	0.16	0.16	0.41
14/06/ 5:00 PM	0.62	0.12	0.12	0.38
14/06/ 5:15 PM	0.41	0.06	0.06	0.29
14/06/ 5:30 PM	0.2	0.02	0.02	0.16
14/06/ 5:45 PM	0.09	0.01	0.01	0.07
14/06/ 6:00 PM	0.02	0.01	0.01	0
14/06/ 6:15 PM	0.01	0	0	0
14/06/ 6:30 PM	0	0	0	0
15/06/ 6:00 AM	0	0	0	0
15/06/ 6:15 AM	0	0	0	0
15/06/ 6:30 AM	0.02	0.01	0.01	0.01
15/06/ 6:45 AM	0.05	0.02	0.02	0.01
15/06/ 7:00 AM	0.22	0.05	0.05	0.12
15/06/ 7:15 AM	0.15	0.02	0.02	0.1
15/06/ 7:30 AM	0.27	0.05	0.05	0.17
15/06/ 7:45 AM	0.53	0.12	0.13	0.28
15/06/ 8:00 AM	0	0	0	0
15/06/ 8:15 AM	0	0	0	0
15/06/ 8:30 AM	0	0	0	0
15/06/ 8:45 AM	0	0	0	0
15/06/ 9:00 AM	0.74	0.3	0	0.44
15/06/ 9:15 AM	1.04	0.32	0.28	0.44
15/06/ 9:30 AM	1.15	0.34	0.35	0.46
15/06/ 9:45 AM	1.19	0.36	0.36	0.46
15/06/ 10:00 AM	1.23	0.38	0.38	0.47
15/06/ 10:15 AM	1.25	0.39	0.39	0.47
15/06/ 10:30 AM	1.31	0.41	0.41	0.48
15/06/ 10:45 AM	1.33	0.42	0.42	0.48
15/06/ 11:00 AM	1.1	0.36	0.37	0.38
15/06/ 11:15 AM	1.27	0.42	0.42	0.44
15/06/ 11:30 AM	1.15	0.38	0.38	0.39
15/06/ 11:45 AM	1.06	0.35	0.35	0.36
15/06/ 12:00 PM	1.43	0.47	0.47	0.48

15/06/ 12:15 PM	1.43	0.47	0.47	0.49
15/06/ 12:30 PM	1.28	0.42	0.43	0.43
15/06/ 12:45 PM	1.43	0.47	0.47	0.48
15/06/ 1:00 PM	1.43	0.47	0.47	0.49
15/06/ 1:15 PM	1.35	0.44	0.44	0.47
15/06/ 1:30 PM	1.14	0.37	0.37	0.4
15/06/ 1:45 PM	1.39	0.45	0.45	0.49
15/06/ 2:00 PM	0.68	0.22	0.22	0.25
15/06/ 2:15 PM	0.83	0.27	0.27	0.29
15/06/ 2:30 PM	0.61	0.2	0.2	0.21
15/06/ 2:45 PM	0.78	0.24	0.24	0.3
15/06/ 3:00 PM	0.53	0.17	0.17	0.2
15/06/ 3:15 PM	0.69	0.22	0.21	0.26
15/06/ 3:30 PM	0.81	0.23	0.23	0.34
15/06/ 3:45 PM	1.05	0.3	0.29	0.46
15/06/ 4:00 PM	0.96	0.26	0.26	0.44
15/06/ 4:15 PM	0.77	0.2	0.2	0.36
15/06/ 4:30 PM	0.1	0.03	0.03	0.04
15/06/ 4:45 PM	0.05	0.02	0.02	0.01
15/06/ 5:00 PM	0.06	0.02	0.02	0.01
15/06/ 5:15 PM	0.05	0.02	0.02	0.01
15/06/ 5:30 PM	0.04	0.01	0.01	0.01
15/06/ 5:45 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
15/06/ 6:00 PM	0.02	0.01	0.01	0.01
15/06/ 6:15 PM	0.01	0	0	0
15/06/ 6:30 PM	0	0	0	0
16/06/ 6:00 AM	0	0	0	0
16/06/ 6:15 AM	0.01	0.01	0.01	0
16/06/ 6:30 AM	0.03	0.01	0.01	0.01
16/06/ 6:45 AM	0.04	0.01	0.01	0.01
16/06/ 7:00 AM	0.21	0.04	0.04	0.13
16/06/ 7:15 AM	0.31	0.05	0.05	0.2
16/06/ 7:30 AM	0.38	0.09	0.09	0.21
16/06/ 7:45 AM	0.43	0.11	0.11	0.22
16/06/ 8:00 AM	0.45	0.12	0.12	0.21
16/06/ 8:15 AM	0.7	0.19	0.19	0.32
16/06/ 8:30 AM	0.78	0.22	0.22	0.34
16/06/ 8:45 AM	0.89	0.26	0.26	0.37
16/06/ 9:00 AM	0.86	0.26	0.26	0.35

16/06/ 9:15 AM	0.99	0.3	0.3	0.4
16/06/ 9:30 AM	1.18	0.36	0.36	0.47
16/06/ 9:45 AM	1.25	0.38	0.38	0.49
16/06/ 10:00 AM	1.22	0.38	0.38	0.46
16/06/ 10:15 AM	1.2	0.36	0.38	0.45
16/06/ 10:30 AM	1.26	0.4	0.4	0.46
16/06/ 10:45 AM	1.2	0.39	0.38	0.43
16/06/ 11:00 AM	1.14	0.37	0.37	0.4
16/06/ 11:15 AM	1.17	0.38	0.38	0.42
16/06/ 11:30 AM	0.79	0.25	0.25	0.29
16/06/ 11:45 AM	0.37	0.12	0.12	0.12
16/06/ 12:00 PM	0.47	0.16	0.16	0.16
16/06/ 12:15 PM	0.88	0.29	0.29	0.29
16/06/ 12:30 PM	1.51	0.5	0.5	0.51
16/06/ 12:45 PM	0.8	0.26	0.26	0.27
16/06/ 1:00 PM	1.44	0.48	0.48	0.49
16/06/ 1:15 PM	1.12	0.37	0.37	0.38
16/06/ 1:30 PM	1.44	0.47	0.47	0.5
16/06/ 1:45 PM	1.49	0.48	0.48	0.53
16/06/ 2:00 PM	1.53	0.49	0.49	0.55
16/06/ 2:15 PM	0.94	0.3	0.3	0.33
16/06/ 2:30 PM	0.3	0.1	0.1	0.1
16/06/ 2:45 PM	0.28	0.1	0.09	0.09
16/06/ 3:00 PM	1.01	0.32	0.31	0.39
16/06/ 3:15 PM	0.51	0.16	0.16	0.19
16/06/ 3:30 PM	0.35	0.12	0.12	0.11
16/06/ 3:45 PM	0.37	0.12	0.12	0.13
16/06/ 4:00 PM	0.63	0.18	0.18	0.26
16/06/ 4:15 PM	0.49	0.14	0.14	0.21
16/06/ 4:30 PM	0.2	0.06	0.06	0.08
16/06/ 4:45 PM	0.31	0.08	0.08	0.15
16/06/ 5:00 PM	0.26	0.07	0.06	0.13
16/06/ 5:15 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
16/06/ 5:30 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
16/06/ 5:45 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
16/06/ 6:00 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
16/06/ 6:15 PM	0.02	0.01	0.01	0
16/06/ 6:30 PM	0	0	0	0
17/06/ 6:00 AM	0	0	0	0

17/06/ 6:15 AM	0	0	0	0
17/06/ 6:30 AM	0	0	0	0
17/06/ 6:45 AM	0.01	0.01	0	0
17/06/ 7:00 AM	0.03	0.01	0.01	0.01
17/06/ 7:15 AM	0.04	0.01	0.01	0.01
17/06/ 7:30 AM	0.09	0.03	0.03	0.03
17/06/ 7:45 AM	0.15	0.05	0.05	0.05
17/06/ 8:00 AM	0.23	0.08	0.08	0.08
17/06/ 8:15 AM	0.34	0.11	0.11	0.12
17/06/ 8:30 AM	0.39	0.13	0.13	0.14
17/06/ 8:45 AM	0.46	0.15	0.15	0.16
17/06/ 9:00 AM	0.52	0.17	0.17	0.19
17/06/ 9:15 AM	0.58	0.19	0.18	0.21
17/06/ 9:30 AM	0.86	0.27	0.27	0.32
17/06/ 9:45 AM	1.06	0.33	0.33	0.4
17/06/ 10:00 AM	1.24	0.39	0.4	0.45
17/06/ 10:15 AM	1.08	0.34	0.34	0.4
17/06/ 10:30 AM	1.03	0.34	0.33	0.37
17/06/ 10:45 AM	1.15	0.38	0.37	0.4
17/06/ 11:00 AM	1.07	0.34	0.35	0.38
17/06/ 11:15 AM	0.48	0.16	0.16	0.17
17/06/ 11:30 AM	0.09	0.03	0.03	0.03
17/06/ 11:45 AM	0.05	0.02	0.02	0.02
17/06/ 12:00 PM	0.12	0.04	0.04	0.04
17/06/ 12:15 PM	0.55	0.18	0.18	0.18
17/06/ 12:30 PM	0.84	0.28	0.27	0.29
17/06/ 12:45 PM	0.52	0.17	0.17	0.18
17/06/ 1:00 PM	0.41	0.14	0.14	0.14
17/06/ 1:15 PM	0.62	0.21	0.21	0.2
17/06/ 1:30 PM	0.78	0.26	0.25	0.27
17/06/ 1:45 PM	0.61	0.21	0.2	0.2
17/06/ 2:00 PM	0.34	0.12	0.12	0.11
17/06/ 2:15 PM	0.39	0.13	0.13	0.12
17/06/ 2:30 PM	0.53	0.18	0.18	0.16
17/06/ 2:45 PM	0.22	0.08	0.07	0.07
17/06/ 3:00 PM	0.46	0.15	0.15	0.16
17/06/ 3:15 PM	0.46	0.15	0.15	0.17
17/06/ 3:30 PM	0.61	0.18	0.18	0.24
17/06/ 3:45 PM	0.46	0.15	0.15	0.15

17/06/ 4:00 PM	0.17	0.06	0.06	0.06
17/06/ 4:15 PM	0.15	0.05	0.04	0.06
17/06/ 4:30 PM	0.39	0.11	0.1	0.18
17/06/ 4:45 PM	0.6	0.16	0.15	0.29
17/06/ 5:00 PM	0.16	0.05	0.05	0.07
17/06/ 5:15 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
17/06/ 5:30 PM	0.11	0.03	0.03	0.06
17/06/ 5:45 PM	0.09	0.03	0.03	0.03
17/06/ 6:00 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
17/06/ 6:15 PM	0	0	0	0
17/06/ 6:30 PM	0	0	0	0
18/06/ 6:00 AM	0	0	0	0
18/06/ 6:15 AM	0.01	0	0	0
18/06/ 6:30 AM	0.03	0.01	0.01	0.01
18/06/ 6:45 AM	0.07	0.03	0.02	0.02
18/06/ 7:00 AM	0.25	0.07	0.07	0.11
18/06/ 7:15 AM	0.53	0.13	0.13	0.27
18/06/ 7:30 AM	0.53	0.14	0.14	0.26
18/06/ 7:45 AM	0.58	0.15	0.15	0.29
18/06/ 8:00 AM	0.4	0.11	0.12	0.17
18/06/ 8:15 AM	0.71	0.2	0.2	0.32
18/06/ 8:30 AM	0.51	0.15	0.15	0.21
18/06/ 8:45 AM	0.68	0.2	0.2	0.28
18/06/ 9:00 AM	0.49	0.15	0.15	0.18
18/06/ 9:15 AM	0.47	0.16	0.16	0.15
18/06/ 9:30 AM	0.53	0.18	0.18	0.18
18/06/ 9:45 AM	0.59	0.19	0.19	0.2
18/06/ 10:00 AM	0.78	0.25	0.25	0.28
18/06/ 10:15 AM	0.77	0.25	0.25	0.27
18/06/ 10:30 AM	0.81	0.27	0.27	0.28
18/06/ 10:45 AM	0.76	0.25	0.25	0.26
18/06/ 11:00 AM	0.71	0.24	0.24	0.24
18/06/ 11:15 AM	1.03	0.34	0.34	0.35
18/06/ 11:30 AM	1.31	0.43	0.43	0.45
18/06/ 11:45 AM	0.69	0.23	0.22	0.24
18/06/ 12:00 PM	0.84	0.28	0.28	0.29
18/06/ 12:15 PM	0.46	0.15	0.15	0.16
18/06/ 12:30 PM	0.19	0.06	0.06	0.06
18/06/ 12:45 PM	0.54	0.18	0.18	0.18

18/06/ 1:00 PM	0.46	0.15	0.16	0.15
18/06/ 1:15 PM	0.45	0.15	0.15	0.15
18/06/ 1:30 PM	0.2	0.07	0.06	0.07
18/06/ 1:45 PM	0.17	0.06	0.06	0.06
18/06/ 2:00 PM	0.49	0.17	0.17	0.15
18/06/ 2:15 PM	0.21	0.07	0.07	0.07
18/06/ 2:30 PM	0.24	0.08	0.08	0.08
18/06/ 2:45 PM	0.35	0.12	0.12	0.11
18/06/ 3:00 PM	0.2	0.06	0.06	0.07
18/06/ 3:15 PM	0.22	0.07	0.07	0.08
18/06/ 3:30 PM	0.25	0.08	0.08	0.08
18/06/ 3:45 PM	0.21	0.07	0.07	0.08
18/06/ 4:00 PM	0.09	0.04	0.04	0.02
18/06/ 4:15 PM	0.05	0.02	0.02	0.02
18/06/ 4:30 PM	0.05	0.02	0.02	0.01
18/06/ 4:45 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
18/06/ 5:00 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
18/06/ 5:15 PM	0.05	0.02	0.02	0.02
18/06/ 5:30 PM	0.13	0.02	0.02	0.09
18/06/ 5:45 PM	0.19	0.02	0.02	0.14
18/06/ 6:00 PM	0.04	0.01	0.01	0.01
18/06/ 6:15 PM	0.03	0.01	0.01	0.01
18/06/ 6:30 PM	0.02	0.01	0.01	0.01
	252.83	78.37	77.88	96.5

ANEXO 8:
HOJA DE DATOS DE
MÓDULOS
FOTOVOLTAICOS
SHARP

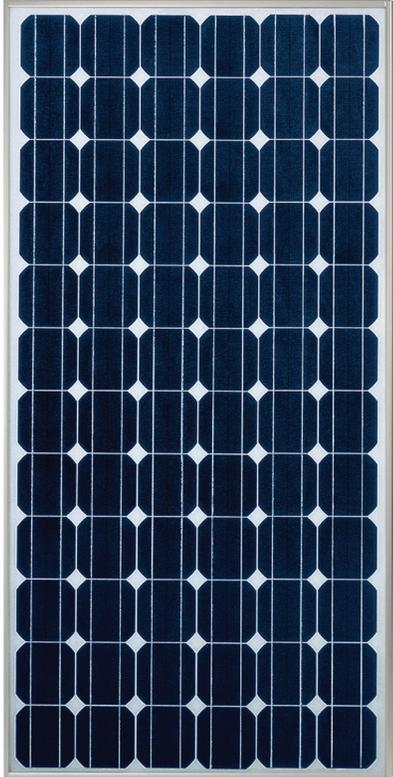


solar electricity

175 WATT

MULTI-PURPOSE MODULE

NEC 2008 Compliant



NT-175UC1

MULTI-PURPOSE 175 WATT MODULE FROM THE WORLD'S TRUSTED SOURCE FOR SOLAR.

Using breakthrough technology, made possible by nearly 50 years of proprietary research and development, Sharp's NT-175UC1 solar module incorporates an advanced surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency. Common applications include commercial and residential grid-tied roof systems as well as ground mounted arrays. Designed to withstand rigorous operating conditions, this module offers high power output per square foot of solar array.

Multi-purpose module ideal for ground mounted solar systems and the preferred solution for landowners.

ENGINEERING EXCELLENCE

High module efficiency for an outstanding balance of size and weight to power and performance.

DURABLE

Tempered glass, EVA lamination and weatherproof backskin provide long-life and enhanced cell performance.

RELIABLE

25-year limited warranty on power output.

HIGH PERFORMANCE

This module uses an advanced surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency.



Sharp multi-purpose modules offer industry-leading performance for a variety of applications.



Improved Frame Technology

SHARP: THE NAME TO TRUST

When you choose Sharp, you get more than well-engineered products. You also get Sharp's proven reliability, outstanding customer service and the assurance of our 25-year limited warranty on power output. A global leader in solar electricity, Sharp powers more homes and businesses than any other solar manufacturer worldwide.

BECOME POWERFUL

175 WATT

NT-175UC1

NEC 2008 Compliant

Module output cables now 12 AWG with locking connectors

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Power (Pmax)*	175 W
Tolerance of Pmax	+10%/-5%
Type of Cell	Monocrystalline silicon
Cell Configuration	72 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	44.4 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	35.4 V
Short Circuit Current (Isc)	5.40 A
Maximum Power Current (Ipm)	4.95 A
Module Efficiency (%)	13.45%
Maximum System (DC) Voltage	600 V
Series Fuse Rating	10 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.36%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053%/°C

*Measured at (STC) Standard Test Conditions: 25°C, 1 kW/m² insolation, AM 1.5

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Dimensions (A x B x C below)	32.5" x 62.0" x 1.8"/826 x 1575 x 46 mm
Cable Length (G)	43.3"/1100 mm
Output Interconnect Cable**	12 AWG with MC4 Locking Connector
Weight	35.3 lbs / 16.0 kg
Max Load	50 psf (2400 Pascals)

**A safety lock clip (Multi Contact part number PV-SSH4) may be required in readily accessible locations per NEC 2008 690.33 (C)

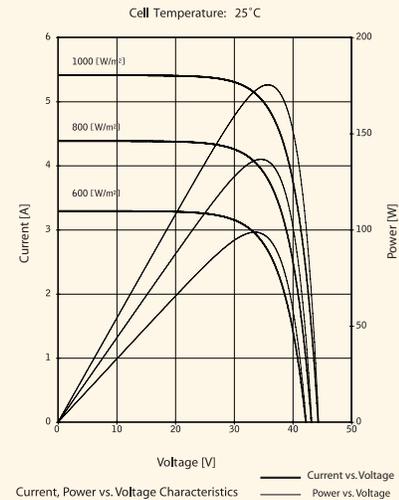
QUALIFICATIONS

UL Listed	UL 1703	
Fire Rating	Class C	

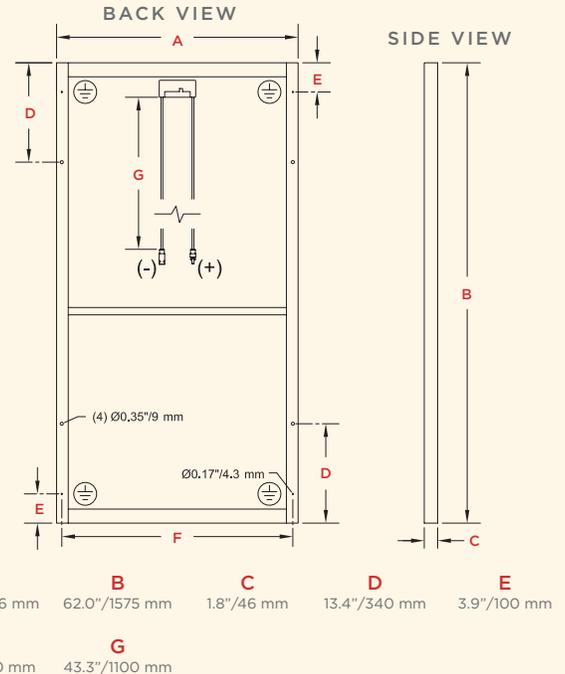
WARRANTY

25-year limited warranty on power output
Contact Sharp for complete warranty information

IV CURVES



DIMENSIONS



Contact Sharp for tolerance specifications

Design and specifications are subject to change without notice. Sharp is a registered trademark of Sharp Corporation. All other trademarks are property of their respective owners. Contact Sharp to obtain the latest product manuals before using any Sharp device. Cover photo: Solar installation by Pacific Power Management, Auburn CA.

SHARP®

SHARP ELECTRONICS CORPORATION
5901 Bolsa Avenue, Huntington Beach, CA 92647
1-800-SOLAR-06 • Email: sharpsolar@sharpusa.com
www.sharpusa.com/solar

ANEXO 9:
HOJA DE DATOS
TECNICOS SEGUIDOR
SOLAR COMERCIAL

SEGUIDOR SOLAR 1 EJE HORIZONTAL - modelo SP120 - hasta 80 m²

LOS SEGUIDORES SOLARES DE GRUPO CLAVIJO

- Diseñados y analizados por elementos finitos con las cargas y coeficientes especificados según código de cada país.



CARACTERÍSTICAS INNOVADORAS Y DIFERENCIADORAS

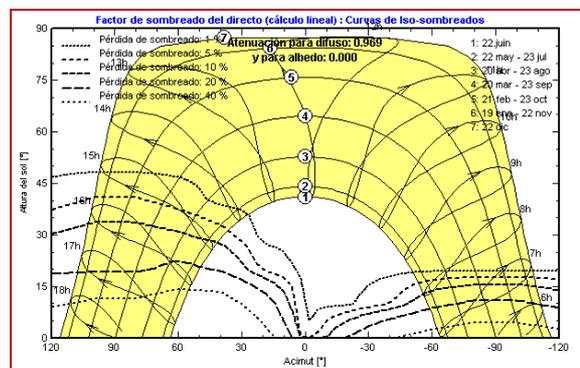
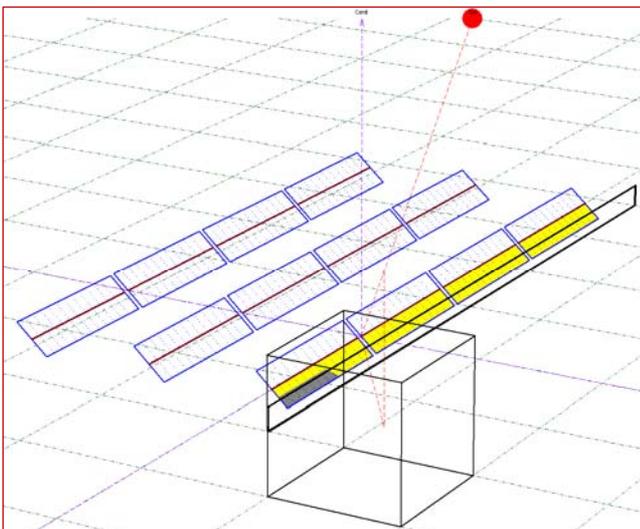
- Robustez
- Adaptabilidad al terreno
- Flexibilidad en la colocación de los módulos fotovoltaicos (máximo aprovechamiento superficie disponible)
- Grandes facilidades en los montajes: montajes rápidos y sencillos, soldaduras no necesarias
- Funciones básicas integrados en el armario eléctrico: Botón seta para parada de emergencia, movimiento para labores de inspección y mantenimiento, movimientos básicos (cenital)
- Conexión anemómetro directa. Opción inclusión visualizador y botón de test para uso de anemómetro para varios conjuntos (economiza las instalaciones y facilita las tareas de revisión)
- Rodamiento patentado por Grupo Clavijo; elemento que no requiere mantenimiento

CONFIGURACIÓN DE LOS SEGUIDORES

Se puede modificar de forma global si la instalación se encuentra monitorizada, o pueden manipularse individualmente mediante los botones del armario eléctrico, o mediante un terminal portátil que permite la configuración del seguidor en modo automático o manual. Además permite otras opciones como visualización y reseteado de alarmas, o cambio de parámetros de configuración (hora, localización seguidor, criterio de descanso, ángulo mínimo solar de trabajo, ángulos máximos en movimiento cenital,...).

SERVICIOS ADICIONALES

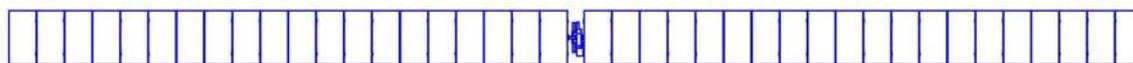
- Estudio de sombras
- Implantación de seguidores en las parcelas
- Estudio de curvas de nivel en planos topográficos
- Montaje de anemómetros y registradores de datos, comunicaciones y monitorización del huerto
- Utilización de anemómetros, visualizadores digitales de la velocidad del viento, veletas o registrador de datos para el almacenamiento de la información
- Puesta en marcha
- Mantenimiento preventivo.



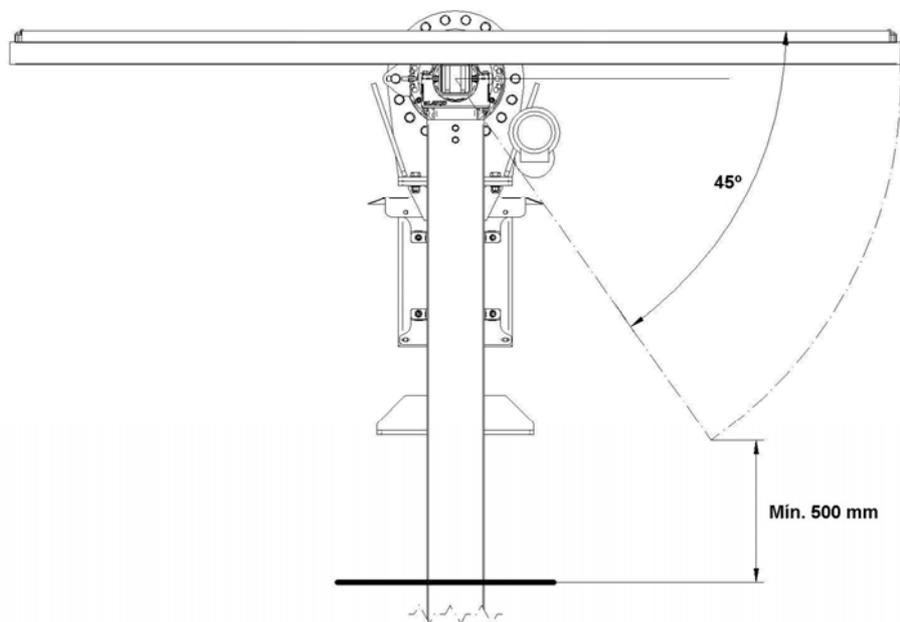
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



Seguidor 2FH



Seguidor 1FV



La potencia y cantidad final de los módulos instalados dependerá de las necesidades del inversor y del modelo del módulo elegido.

Ejes de seguimiento	1 eje: Horizontal	
Configuración parrilla 1 fila	hasta 45 metros (configuración módulos según proyecto, en posición horizontal o vertical)	
Superficie parrilla 1 fila	hasta 80 m ²	
Velocidad viento máxima	Según código de cada país	
Terreno	Desniveles del terreno admisibles hasta 6%, (entre 4% y 6%, son necesarios refuerzos exteriores en los postes)	
Material estructura	<ul style="list-style-type: none"> - Perfiles: Acero Galvanizado en caliente (según norma UNE EN ISO1461; UNE EN ISO 14173) - Rodamientos: no se requiere mantenimiento, buena adaptabilidad al terreno, (elemento patentado por Grupo Clavijo) 	
Cimentación	<p>para los postes, y para la base del motor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hincados (especificaciones según informe geotécnico) - Micro-pilotados (especificaciones según informe geotécnico) - Sobre Tornillos anclado al suelo - Zapata superficial 	
Cenital	Campo giro	Máximo: - 45°/+ 45° (total 90 grados de recorrido)
	Tipo accionamiento	Módulo de giro (corona – husillo)
	Control movimiento	Inclinómetro (sensor analógico)
	Seguridad 1	Señal anemómetro – Posición seguridad (horizontal). Posibilidad control ángulos de giro según diferentes lecturas de viento (sólo con monitorización Clavijo)
	Seguridad 2	Control y seguimiento de movimiento mediante autómata
Motor	Características	0,37 Kw / 1.500 rpm / 50 Hz
	Consumo	0,3 Kw (diario)
Armario eléctrico	Tensión alimentación	230 Vac – 50Hz monofásico (opcional otras tensiones)
	Características eléctricas	Metálico, IP65, conexión de todos los elementos mediante bornas en interior de armario. Incluye PLC, automático de protección general y relé térmico protección motor.
	Seguimiento	Programa seguimiento mediante cálculo astronómico en el PLC. Incluye movimientos de protección contra viento.
	Operación y mantenimiento	Incluye seta de emergencia anti fraude, pulsador multi-función de rearme, posición de mantenimiento y movimientos básico (cenital) y gestión alarmas
Anemómetro (opcional)	Conectividad (opcional)	<ul style="list-style-type: none"> - Terminal táctil para configuración y movimientos manuales - Puerto serie para terminal de configuración accesible mediante conector industrial exterior - Puerto RS422 - Puerto Ethernet opcional - Acceso mediante modem GSM/GRPS y envío de mensajes SMS
		<ul style="list-style-type: none"> - Anemómetro de poliamida (conexión directa) - Anemómetro de poliamida + visor digital velocidad viento (opcional) + interruptor de test (opción para utilizar 1 solo anemómetro para varios grupos de seguidores) <p>Registrador datos con visualización en pantalla digital y a tiempo real</p>
Garantía	10 años para la estructura metálica	
Certificaciones	 <p>CERTIFICACION AWS: AWS D1.1/D1.1M:2010 CERTIFICACION UNE EN: UNE-EN-287/UNE-EN-9606</p>	