



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
ELÉCTRICO**

TEMA:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMÁTICO DE SEGUIMIENTO SOLAR PARA UN
GENERADOR TERMO SOLAR”**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero
en Mantenimiento Eléctrico**

AUTOR: GERSON BOLÍVAR CAMACÁS PÉREZ

DIRECTOR: ING. MAURICIO VÁSQUEZ

IBARRA-ECUADOR

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Camacás Pérez Gerson Bolívar, declaro que el proyecto aquí descrito es original y de mi autoría, desarrollado sin violar los derechos de terceros autores para lo cual certifico la titularidad a este proyecto tomando en cuenta mi responsabilidad sobre el contenido de la misma y las referencias bibliográficas ya presentadas, en caso de reclamos por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de Noviembre del 2016

Firma:

Nombres: Camacás Pérez Gerson Bolívar

Cédula: 100332960-2




CERTIFICACIÓN

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

En calidad de Director del Trabajo de Grado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SEGUIMIENTO SOLAR PARA UN GENERADOR TERMO SOLAR”**, presentado por el señor Gerson Bolívar Camacás Pérez, para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital maximiza la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la institución.

Por medio del presente documento hago constar mi voluntad de autorizar al proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:


Ing. Mauricio Vásquez

DATOS DEL CONTACTO		DIRECTOR
CEBULA DE IDENTIDAD:	100512960-2	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Camacás Pérez Gerson Bolívar	
DIRECCIÓN:	Barra, Páramo 1-187 y Bolívar	
E-MAIL:	gerson_camacas@outlook.com	
TELÉFONO MÓVIL:	0987345925	

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SEGUIMIENTO SOLAR PARA UN GENERADOR TERMO SOLAR
AUTOR:	Camacás Pérez Gerson Bolívar
FECHA:	15 de Noviembre del 2016
PROGRAMA:	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
DIRECTOR:	Ing. Mauricio Vásquez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100332960-2
APELLIDOS Y NOMBRES:	Camacás Pérez Gerson Bolívar
DIRECCIÓN:	Ibarra, Panamá 1-187 y Bolivia
E-MAIL:	gerson_electricalwork@outlook.com
TELÉFONO MÓVIL:	0982645935

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SEGUIMIENTO SOLAR PARA UN GENERADOR TERMO SOLAR”
AUTOR:	Camacás Pérez Gerson Bolívar
FECHA:	15 de Noviembre del 2016
PROGRAMA:	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Mantenimiento Eléctrico
DIRECTOR:	Ing. Mauricio Vásquez

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Gerson Bolívar Camacás Pérez, con cédula de identidad 100332960-2, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la Ley de educación Superior, Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

Yo, Gerson Bolívar Camacás Pérez, manifiesto que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar los derechos de autor a terceros, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales. A través de la presente declaración cedo el derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 15 de Noviembre del 2016

EL AUTOR:

Firma:



Nombre: **Camacás Pérez Gerson Bolívar**

Cédula: 100332960-2

ACEPTACIÓN:

Firma:



Nombre: **Ing. Betty Chávez**

Cargo: **JEFE BIBLIOTECA**




UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Gerson Bolívar Camacás Pérez, con cédula de identidad N^o.100332960-2, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SEGUIMIENTO SOLAR PARA UN GENERADOR TERMO SOLAR" que ha sido desarrollado para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico en la Universidad Técnica del Norte, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma: 
Nombres: Camacás Pérez Gerson Bolívar
Cédula: 100332960-2

Camacás Pérez Gerson Bolívar

Ibarra, a los 15 días del mes de Noviembre del 2016

DEDICATORIA

A Dios por darme la bendición de tener unos padres ejemplares quienes me han brindado su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida, cada meta cumplida es gracias a ellos quienes me han enseñado a ser responsable, honesto y humilde, valores que me han servido para culminar una meta más en mi vida profesional.

A mi hermana por ser un apoyo y una amiga en todo momento.

No es grande el que nunca falla, si no el que nunca se da por vencido, nuevamente gracias queridos padres por enseñarme que el camino hacia el éxito se lo logra con esfuerzo y humildad.

Camacás Pérez Gerson Bolívar

AGRADECIMIENTO

La gratitud debería ser un acto constante de cada hora, de cada día, de toda la vida, por ello quiero expresar mi agradecimiento:

A mi querida Universidad Técnica del Norte, por acogerme durante estos años en mi estudios profesionales y por abrir sus puertas al conocimiento y permitir generar ciencia e investigación, sin olvidar a todas las personas que me han brindado su apoyo y han contribuido con su rigor profesional para la realización de esta tesis.

Al Ing. Mauricio Vásquez por ser un excelente director y humilde persona, por su acertada asesoría para la presente tesis de grado.

A mis maestros por haber contribuido a mi formación académica durante todos estos años gracias Ing. Ramiro Flores, Ing. Hernán Pérez, Ing. Pablo Méndez.

A mis amigos, y familiares que con su apoyo moral, alentaron al desarrollo de este trabajo.

Camacás Pérez Gerson Bolívar

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	iv
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPITULO I.....	1
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Delimitación	3
1.4.1 Temporal.....	3
1.4.2 Espacial.....	3
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo general	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	4

1.6 Justificación	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 El sol como un recurso natural	5
2.2 Energías renovables	5
2.3 Energía solar	6
2.3.1 Energía solar térmica	8
2.3.2 Energía solar fotovoltaica	8
2.3.3 Energía solar termoeléctrica	8
2.4 Radiación solar	8
2.4.1 Tipos de radiación solar.....	8
2.4.1.1 Radiación directa	9
2.4.1.2 Radiación difusa	9
2.4.1.3 Radiación reflejada	9
2.4.1.4 Radiación global	9
2.4.2 Radiación solar en Ecuador	10
2.5 Sistemas termo solares de concentración	11
2.5.1 Sistemas de disco parabólico y motor Stirling	11
2.5.1.1 Concentrador	13
2.5.1.2 Receptor.....	14
2.5.1.3 Sistema de generación	14
2.5.1.4 Estructura soporte y mecanismos	15
2.5.1.5 El motor Stirling	15
2.6 El movimiento solar.....	16
2.6.1 Introducción.....	16
2.6.2 Movimiento del planeta tierra con referencia al sol	17
2.6.3 Orientación e inclinación.....	19
2.7 Seguidores solares.	23
2.8 Tipos de seguidores	23

2.8.1 Según el dispositivo el cual realiza el movimiento	23
2.8.2 Según los grados de libertad	24
2.8.2.1 Seguidores de un solo eje	24
2.8.2.2 Seguidores de dos ejes.....	26
2.8.3 Según el algoritmo de seguimiento	27
2.8.3.1 Seguidores por punto luminoso	27
2.8.3.2 Seguidores con programación astronómica.....	27
2.9 Tipo de seguidor seleccionado.	28
2.10 Ecuaciones de posicionamiento astronómico	30
2.11 Sensores.....	33
2.11.1 Sensores de posición angular.....	33
2.11.1.1 Analógicos	34
2.11.1.1.1 Potenciómetros.....	34
2.11.1.1.2 Resolvers.....	34
2.11.1.1.3 Acelerómetro.....	35
2.12 Tipo de sensor de posición seleccionado.....	37
2.13 Actuadores	37
2.13.1 Historia	37
2.13.2 Los elementos que conforman un actuador son los siguientes:.....	38
2.13.3 Tipos de actuadores	38
2.13.3.1 Actuadores hidráulicos	38
2.13.3.2 Actuadores neumáticos.....	39
2.13.3.3 Los actuadores lineales electromecánicos	39
2.13.3.4 Actuadores eléctricos.....	40
2.13.3.4.1 Motores de corriente continua CC	40
2.13.3.4.2 Motor de corriente alterna CA	42
2.14 Tipo de actuador seleccionado.	43
2.15 Arduino.....	44
2.15.1 Tipos de Arduino	45
2.15.1.1 Arduino UNO	46
2.15.1.2 Arduino pro.....	47

2.15.1.3 Arduino pro mini	48
2.15.1.4 Arduino mega	48
2.15.1.5 Arduino ethernet	49
2.16 Tipo de Arduino seleccionado.....	51
2.17 LabVIEW.....	51
2.17.1 Programación gráfica de LabVIEW	52
2.17.2 Entorno de LabVIEW	53
CAPITULO III	56
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.1. Tipo de investigación	56
3.1.1 Investigación bibliográfica y documental.....	56
3.1.2 Investigación tecnológica	56
3.1.3 Investigación aplicada o práctica.....	57
3.2. Métodos.....	57
3.2.1 Método inductivo deductivo	57
3.2.2 Método analítico sintético.....	57
CAPITULO IV	58
PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	58
4.1 Tema.....	58
4.2. Justificación.....	58
4.3 Objetivos.....	59
4.3.1 Objetivo general	59
4.3.2. Objetivos específicos.....	59
4.4 Desarrollo de la propuesta	59
4.4.1 Diseño y construcción del sistema mecánico del seguidor.....	59
4.4.1.1 Base para el motor	61
4.4.1.2 Generador termo solar	63
4.4.1.3 Motor	64
4.4.1.4 Poleas.....	69

4.4.1.5 Relación de velocidades de las poleas	70
4.4.1.6 Cables tensores	71
4.4.1.7 Acople para el sensor de posición	72
4.4.1.8 Movimiento del disco parabólico	72
4.4.1.9 Ensayos del mecanismo.....	73
4.4.2 Cálculo del ángulo de seguimiento del generador termo solar.....	73
4.4.2.1 Conceptos previos.....	73
4.4.2.2 Aplicación de las ecuaciones y resultados.....	74
4.4.3 Diseño electrónico del seguidor solar de un grado de libertad.....	77
4.4.3.1 Introducción.....	77
4.4.3.2 Circuito electrónico	78
4.4.3.3 Descripción de los componentes electrónicos	80
4.4.3.3.1 Acelerómetro.....	80
4.4.3.3.2 Reloj en tiempo real (RTC).....	81
4.4.3.3.3 Arduino pro mini.....	82
4.4.3.3.4 Relés.....	84
4.4.3.3.5 Xbee	85
4.4.4 Circuito eléctrico	86
4.4.4.1 Diagrama de conexión eléctrica	86
4.4.4.2 Variador	87
4.4.4.3 Configuración de datos.....	90
4.4.4.4 Cableado del sistema y protecciones de tablero de control	92
4.4.5 Programación.....	93
4.4.5.1 Declaración de variables setup ().....	93
4.4.5.2 Función loop ()	95
4.4.5.3 Void recepción ().....	95
4.4.5.4. Void ángulo ().....	97
4.4.5.5 Void imprime.....	98
4.4.5.6 Void inicio	100
4.4.5.7 Cálculo día del año	101
4.4.5.8 Void SerialEvent ().....	102
4.4.5.9 Float llamar ().....	103
4.4.5.10 Cálculo del ángulo azimut	104
4.4.5.11 Cálculo declinación	104

4.4.5.12 Cálculo ángulo diario.....	105
4.4.5.13 Cálculo ecuación del tiempo.....	106
4.4.5.14 Cálculo hora solar	107
4.4.5.15 Cálculo ángulo horario	107
4.4.5.16 Cálculo ángulo de elevación.....	108
4.4.6 Interfaz gráfica de usuario LabVIEW	109
4.4.6.1 Puerto de comunicación.....	110
4.4.6.2 Selector modo prueba y automático	111
4.4.6.3 Parámetros	111
4.4.6.4 Cargar datos y stop	112
4.4.6.5 Visor de hora y fecha.....	112
4.4.6.6 Visor de posición angular	113
4.4.7 Programación en LabVIEW	114
4.4.7.1 Puerto de comunicación serial.....	114
4.4.7.2 Timeout.....	115
4.4.7.3 Cargar datos.....	117
4.4.7.4 Selección de modo.....	118
Capítulo V.....	119
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
5.1 Conclusiones.....	119
5.2 Recomendaciones	120
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de radiación solar	9
Figura 2: Intensidad de la radiación solar en el Ecuador y los polos	10
Figura 3: Esquema de un disco parabólico	12
Figura 4: Tipos de colectores solares	13
Figura 5: Receptor de tubos reflujos y motor Stirling.....	14
Figura 6: Motor Stirling tipo alfa	16
Figura 7: Movimiento de rotación del planeta tierra	17
Figura 8: Movimiento de traslación del planeta tierra.....	18
Figura 9: Variación en la declinación por efecto del movimiento de traslación	18
Figura 10: Ángulo azimut.....	19
Figura 11: Ángulo de inclinación o elevación.....	20
Figura 12: Ángulo de incidencia	20
Figura 13: Ángulo de declinación	21
Figura 14: Latitud de un punto P.....	21
Figura 15: Posición del sol	22
Figura 16: Ejemplo de un solo eje rastreador	24
Figura 17: Seguidor solar de eje horizontal.....	25
Figura 18: Seguidor solar de eje vertical	25
Figura 19: Ejemplo de un solo eje inclinado	26
Figura 20: Ejemplo de un seguidor acimut-altitud	27
Figura 21: Ejemplo de un seguidor de un solo eje de tipo activo.....	29
Figura 22: Potenciómetro angular	34
Figura 23: Resolver	35
Figura 24: Acelerómetro analógico	35
Figura 25: Esquema de los ejes de un acelerómetro.....	36
Figura 26: Ángulo de inclinación de un acelerómetro	37
Figura 27: Actuador lineal electromecánico.....	39
Figura 28: Motor CD	41
Figura 29: Motor de corriente alterna CA	42
Figura 30: Tipos de placas Arduino	46
Figura 31: Arduino UNO.....	47
Figura 32: Arduino pro	47

Figura 33: Arduino pro mini.....	48
Figura 34: Arduino mega.....	49
Figura 35: Arduino ethernet	49
Figura 36: Programación gráfica de LabVIEW.....	53
Figura 37: Panel frontal y panel de código LabVIEW	54
Figura 38: Esquema simplificado del seguidor solar diseñado (sin escala)	60
Figura 39: Base de motor vista lateral.....	61
Figura 40: Base de motor vista desde arriba.....	62
Figura 41: Base de motor vista 3D	62
Figura 42: Construcción base de motor.....	63
Figura 43: Generador termo solar de disco parabólico y motor stirling.....	63
Figura 44: Esquema de medición de fuerza.....	65
Figura 45: Placa de características del motor	65
Figura 46: Motor de CA con caja reductora	68
Figura 47: Relación de velocidades de las poleas	69
Figura 48: Poleas utilizadas en el mecanismo	70
Figura 49: Acople y carcasa de protección para el acelerómetro.....	71
Figura 50: Ubicación del lugar usando google maps	73
Figura 51: Esquema básico del seguidor solar	77
Figura 52: Placa electrónica	79
Figura 53: RTC DS1307.....	81
Figura 54: Arduino pro mini.....	83
Figura 55: Relé automático de 5VDC 2 A	84
Figura 56: Xbee Pro chip antena- S1	85
Figura 57: Diagrama de conexión eléctrica.....	87
Figura 58: Variador de frecuencia Siemens Sinamics V20.....	88
Figura 59: Macro de conexión Cn007: Pulsadores externos con control analógico	91
Figura 60: Tiempos de funcionamiento del variador.....	92
Figura 61: Cableado tablero de control	92
Figura 62: Diagrama de flujo void setup ()	94
Figura 63: Diagrama de flujo void loop ().....	95
Figura 64: Diagrama de flujo void recepción ()	96
Figura 65: Diagrama de flujo void ángulo ().....	97
Figura 66: Diagrama de flujo void imprime ()	98

Figura 67: Diagrama de flujo void inicio ().....	100
Figura 68: Diagrama de flujo, cálculo día del año	101
Figura 69: Diagrama de flujo void SerialEvent ()	102
Figura 70: Diagrama de flujo float llamar ()	103
Figura 71: Diagrama de flujo, cálculo del ángulo azimut	104
Figura 72: Diagrama de flujo, cálculo declinación.....	105
Figura 73: Diagrama de flujo, cálculo ángulo diario.....	106
Figura 74: Diagrama de flujo, cálculo ecuación del tiempo.....	106
Figura 75: Diagrama de flujo, cálculo hora solar	107
Figura 76: Diagrama de flujo, cálculo ángulo horario.....	108
Figura 77: Diagrama de flujo, cálculo ángulo de elevación	108
Figura 78: Interfaz gráfica de usuario.....	110
Figura 79: Puerto de comunicación serial	110
Figura 80: Selector modo (prueba/automático)	111
Figura 81: Parámetros de usuario	111
Figura 82: Cargar datos y stop.....	112
Figura 83: Visor de hora y fecha actual.....	113
Figura 84: Visor gráfico de la posición del sistema	113
Figura 85: Configuración del puerto serial.....	114
Figura 86: Recepción de datos.....	115
Figura 87: Organización de datos	116
Figura 88: Decodificación de datos del sensor de posición angular.....	116
Figura 89: Cargar datos	118
Figura 90: Selección de modo	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de energías renovables y no renovables	6
Tabla 2: Ventajas y desventajas de la energía solar	7
Tabla 3: Norma general del ángulo de inclinación.....	22
Tabla 4: Ventajas y desventajas según el algoritmo de seguimiento	28
Tabla 5: Ventajas de Arduino.....	45
Tabla 6: Comparación de características de los tipos de placas Arduino.....	50
Tabla 7: Ventajas de usar LabVIEW	52
Tabla 8: Componentes principales del diseño mecánico.....	60
Tabla 9: Características generales del generador termo solar	64
Tabla 10: Características caja reductora de velocidad.....	67
Tabla 11: Características de las poleas utilizadas.....	69
Tabla 12: Características de los cables tensores utilizados	71
Tabla 13: Coordenadas de ubicación del generador termo solar.....	74
Tabla 14: Resultados del cálculo de la ecuación del tiempo, hora solar, ángulo diario y declinación.....	75
Tabla 15: Resultados del cálculo del ángulo horario y altura solar.....	76
Tabla 16: Resultados del cálculo del ángulo azimutal	77
Tabla 17: Componentes de la placa electrónica	79
Tabla 18: Características del acelerómetro GY61	80
Tabla 19: Características del RTC DS1307.....	82
Tabla 20: Características del Arduino mini pro.....	83
Tabla 21: Características del relé TDS-0502L	84
Tabla 22: Características Xbee pro chip antena-S1	86
Tabla 23: Características Variador de frecuencia Siemens Sinamics V20.....	89
Tabla 24: Ajuste de datos del motor.....	90
Tabla 25: Lista de macros de conexión	91

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo declinación solar.....	30
Ecuación 2: Cálculo ángulo diario.....	30
Ecuación 3: Cálculo ángulo horario	31
Ecuación 4: Cálculo hora solar	31
Ecuación 5: Cálculo longitud corregida	32
Ecuación 6: Cálculo ecuación del tiempo.....	32
Ecuación 7: Cálculo altura solar	32
Ecuación 8: Cálculo azimut solar	33

RESUMEN

El presente proyecto de investigación consiste en el diseño e implementación de un sistema automático de seguimiento solar, para un generador termo solar de la Universidad Técnica del Norte ubicado en las instalaciones de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico. El primer capítulo contiene los antecedentes de como el ser humano con el paso de los años, ha ido buscando nuevas formas de generar energía de una manera más limpia y amigable con el ambiente explotando recursos inagotables como lo es la radiación solar, actualmente se ha buscado mejorar los sistemas de captación solar principalmente en su estructura, implementando sistemas que los guíen de manera automática hacia los rayos solares para aprovechar de mejor manera la energía y utilizarla para generar energía térmica, fotovoltaica y consecuentemente energía eléctrica. En el segundo capítulo se plantea los fundamentos teóricos en todo lo que se refiere a los tipos de sistemas de seguimiento solar existentes, sistemas por sus grados de libertad, sistemas por su algoritmo de seguimiento, y por el mecanismo de movilidad, también se incluyen fundamentos sobre sensores de posición, tipos de actuadores mecánicos, aplicaciones etc. Además se plantea como controlador principal de automatización a Arduino, una plataforma de código abierto menos robusta y más accesible en cuanto a precio pero con características que la hacen idónea para este tipo de aplicaciones de automatización y el uso de LabVIEW como interfaz gráfica para visualización de parámetros de cualquier aplicación que uno desarrolle. El tercer capítulo consta de los tipos y métodos necesarios para realizar la investigación de este proyecto, que nos ayuda a centrarnos a fondo en el desarrollo del proceso investigativo; posterior a lo antes mencionado en el capítulo cuatro se procede a realizar la propuesta tecnológica tomando en cuenta el fundamento teórico y los diferentes tipos de investigación, para realizar el diseño y la construcción de un sistema automático de seguimiento solar donde los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, realicen el estudio en todo lo referente a los sistemas de generación a partir de energías renovables así como los sistemas de mejoramiento que se pueden implementar para brindar un mayor aprovechamiento de la energía; en este capítulo se detalla a fondo los materiales necesarios para el diseño y la construcción del sistema, y se describe el proceso de programación del controlador Arduino con los sensores y actuadores utilizados; finalmente en el capítulo cinco están las conclusiones y recomendaciones que se basan en los objetivos cumplidos.

ABSTRACT

This research project is the design and implementation of an automatic solar tracking system for a solar thermal generator Technical University North located on the premises of Engineering in Electrical Maintenance. The first chapter contains the history of how humans over the years has been looking for new ways to generate energy more clean and friendly manner ambiente exploiting inexhaustible resources such as the solar radiation and currently has sought to improve systems improving its structure and implementing systems that automatically guided to sunlight to make better use of energy and use it to generate thermal, photovoltaic and consequently electricity. In the second chapter presents the theoretical foundations are all that refers to the types of systems existing systems by its degrees of freedom, systems for its tracking algorithm, and the mechanism mobility solar tracking foundations on position sensors, actuators mechanical types, applications etc. are also included In addition it arises as the main controller automation Arduino platform less robust and more accessible open source on price but with features that make it ideal for this type of automation applications and using LabVIEW and graphical interface for parameter display any application you develop. The third chapter consists of the types and methods necessary for the research project, which helps us to focus fully on the development of the research process; after the above in chapter four proceed to make the technological proposal taking the theoretical foundation and the different types of research for the design and construction of an automatic solar tracking system of where students race Electrical Maintenance engineering conducted the study at all about generating systems from renewable energies and improvement systems that can be implemented to provide a better use of energy; in this chapter is detailed background necessary for the design and system construction materials and programming process described Arduino controller with sensors and actuators; finally used in chapter five are the conclusions and recommendations are based on objectives met.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

El sol es una fuente de energía inagotable, el uso de su calor ha inspirado las mentes más brillantes a lo largo de la historia; cómo aprovechar esta energía y la construcción de dispositivos captadores se convirtieron en temas de continuo desarrollo y evolución. La prestigiosa revista mexicana comenta que las vírgenes vestales romanas, sacerdotisas encargadas de mantener vivo el fuego que ardía en el Templo de Vesta, situado en el Foro romano, encendían el fuego con espejos cóncavos que reflejaba la luz solar. En la antigua Grecia, durante la batalla de Siracusa en el siglo III A.C., Arquímedes utilizó unos espejos hexagonales hechos de bronce para reflejar los rayos solares concentrándolos en la flota romana con el objetivo de destruirla (Solar, 2014).

Siglos más tarde, Leonardo da Vinci también pensó en el uso del sol. Su idea era construir un concentrador de 6 kilómetros de diámetro a base de espejos cóncavos para la producción de vapor y calor industrial (Solar, 2014). En 1867 el científico suizo Horace de Saussure desarrolló el primer colector solar. Más recientemente, hace un poco más de 100 años, el científico francés Auguste Mouchout usó calor de un colector solar para producir vapor y mover un motor. Fue así como la gran producción científica y los avances de la tecnología llevaron a la industrialización del uso de la energía solar, desde la construcción de casas con la orientación adecuada para captar la luz, hasta las modernas celdas fotovoltaicas delgadas, el ser humano aprovecha la radiación solar para cubrir sus necesidades de energía (Energiasolar.mx, 2016). Los sistemas más novedosos para mejorar la captación de calor poseen seguidores solares con lo que se aumenta el rendimiento de los colectores.

En la actualidad se conocen distintos tipos de seguidores solares que tienen como un mismo propósito mejorar el aprovechamiento de la energía solar. Algunos estudios de forma general, dicen que el seguimiento azimutal recoge de un 10% a un 20% más que las estructuras fijas y puede llegar hasta el 25% en algunos casos. Entre los diferentes tipos de

seguidores a dos ejes existen variaciones de entre el 30% y el 45% de incremento de producción en comparación con instalaciones fijas. En la Escuela de Educación Técnica de la Universidad Técnica del Norte, principal centro universitario de la zona uno del Ecuador, se ha promovido la indagación y el uso de energías renovables. Un ejemplo específico se evidencia en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico (CIMANELE), donde existe un sistema descentralizado de generación termo solar de disco parabólico y motor Stirling que permanece en posición fija y durante cierto transcurso de tiempo utiliza la radiación solar a su máximo esplendor para generar 12 V en corriente continua y alimentar un aplicativo que utiliza un lámpara UV para purificar agua de un recipiente. Es aquí, donde se centrará el presente trabajo de grado que trata de fortalecer el sistema de captación de luz solar mediante la implementación de un sistema automático de seguimiento solar.

1.2 Planteamiento del problema

En los últimos tiempos se ha comenzado a dar una mayor importancia a las fuentes no convencionales de energía, siendo éstas obtenidas mediante la utilización de recursos renovables, generalmente provenientes de la naturaleza, para poder transformarlas en energía eléctrica. Por tal motivo varias profesiones han experimentado cambios acelerados en sus prácticas, contenidos y presencia social como la ingeniería. Según (RUIZ Larraguivel, 2000) menciona que la importancia social de la ingeniería, radica en su estrecha relación con el logro del bienestar social y en la actualidad, frente al crecimiento de la industrialización y el avance tecnológico.

El desarrollo de las energías renovables requiere de profesionales con formación suficiente, que se puedan integrar en un mercado laboral cuya demanda de personal especializado será cada vez mayor. El desafío que se presenta al realizar el presente trabajo de grado permitiría obtener conocimiento prácticos y de carácter profesional para los estudiantes de la CIMANELE.

Para el ingeniero en mantenimiento eléctrico es importante fortalecer el conocimiento con respecto a fuentes de energía eléctrica no convencionales. Debe conocer temas de actualidad como instalaciones eléctricas en sistemas de energía eólica, geotermia solar

térmica y solar fotovoltaica, entre otras, que permitan a los estudiantes familiarizarse con las tecnologías limpias.

La evolución de la industria ecuatoriana, la estrecha vinculación de la energía eléctrica y las energías renovables urge a que los estudiantes se relacionen de manera temprana con equipos que operan industrialmente, para permitir habituarse con la programación, configuración y mantenimiento de las nuevas tecnologías limpias, con el propósito de desarrollar sus habilidades y aseguren un desempeño confiable en su vida laboral.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo diseñar e implementar un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar?

1.4 Delimitación

1.4.1 Temporal

Este proyecto se llevó a cabo desde el mes de julio del 2015 hasta el mes julio del 2016.

1.4.2 Espacial

Este proyecto fue implementado en las instalaciones de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, lugar donde se encuentra instalado el generador termo solar de disco parabólico y motor stirling.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Investigar los tipos de seguidores solares que existen y sus características.
2. Diseñar e implementar un sistema de seguimiento solar para el generador termo solar, de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.
3. Implementar un sistema de control electrónico que permita realizar el seguimiento solar de manera automática.
4. Diseñar e implementar una interfaz gráfica en Labview que permita visualizar la posición del generador en cada momento del día.

1.6 Justificación

Es importante realizar la investigación a fin de obtener mejores resultados al momento de alcanzar conocimiento respecto a las energías renovables y su aplicación en la generación de electricidad.

El desarrollo de este proyecto dará continuidad inmediata a la investigación en el aprovechamiento en energía solar térmica y permitirá a la CIMANELE tener un sistema de generación termo solar completo que sea la base de futuras investigaciones: El sistemas en su conjunto será un aporte para mejorar el material pedagógico y equipo de investigación, tomando en cuenta que la tecnología de control implementarse permitirá nuevas y diversas formas de almacenamiento de información y a la manipulación de la misma, por parte del profesorado y el alumnado, mediante el uso de herramientas tecnológicas.

El presente proyecto, junto a otros proyectos de similar alcance, intenta aportar a una evolución en el sistema educativo dentro de la institución. La investigación será de tipo tecnológica ya que para los sistemas de control la tecnología de hoy día es muy amplia en especial en sistemas automáticos de seguimiento solar.

Además la investigación se basará en todos los aspectos que se requiere para un diseño de un sistema automatico de seguimiento solar y en el estudio de sistemas de generación de energías limpias.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 El sol como un recurso natural

El sol irradia energía en forma de energía electromagnética y la cantidad de radiación electromagnética que llega a la tierra del sol se la conoce como radiación solar.

El término "irradiancia" se utiliza para definir la cantidad de energía solar recibida por unidad de área en un tiempo dado. A medida que la energía electromagnética solar pasa a través de la atmósfera de la tierra, los niveles de energía solar es alrededor de 1000 W / m^2 cuando se alcanza la superficie de la tierra (Duffie, J and Beckman, W, 2006).

La radiación directa se encuentra generalmente en las más altas energías de luz electromagnéticas, como en el espectro azul y ultravioleta. Para los sistemas térmicos de concentración solar, la radiación directa es de mayor importancia, ya que esta energía de radiación puede ser recogida ópticamente por medio de un concentrador solar. La radiación solar se puede medir usando un dispositivo llamado solarímetro o un piranómetro. Este dispositivo mide los niveles totales de radiación electromagnética de diferentes ángulos de incidencia por medio de la determinación de los niveles de fotón de luz.

El piranómetro se puede configurar para medir específicamente la componente directa de la radiación solar en cuyo caso se conoce como un pirheliómetro (Duffie, J and Beckman, W, 2006).

2.2 Energías renovables

Las energías renovables son las que se obtienen de fuentes naturales y son inagotables a escala humana. Además tienen la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas (Méndez Muñiz, 2011).

Pero al paso de los años debido al constante desarrollo poblacional y al crecimiento industrial el uso de energías convencionales tales como el petróleo, gas y carbón se está agotando, lo cual nos lleva al uso de energías alternativas limpias para el ambiente y provenientes de fuentes naturales virtualmente inagotables como los son: el sol, viento, residuos etc. pues estas se renuevan constantemente.

Tabla 1

Tipos de energías renovables y no renovables

Energías renovables	Energías no renovables
<ul style="list-style-type: none"> • Solar • Hidráulica • Eólica • Biomasa • Mareomotriz • Energía de las olas • Geotérmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Carbón • Petróleo • Gas natural

Fuente: El Autor, 2015

2.3 Energía solar

Es una energía renovable proveniente del sol la cual se obtiene de forma directa en forma de radiación, se necesita de sistemas de captación y de almacenamiento para aprovechar la radiación del sol de diferentes formas.

Tabla 2

Ventajas y desventajas de la energía solar

Energía solar	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">• Tiene un escaso impacto ambiental.• No produce residuos perjudiciales para nuestro medio ambiente.• Es distribuida por todo el mundo.• No tiene más costes una vez instalada que su mantenimiento.• No hay dependencia de las compañías suministradoras.• Tiene una elevada calidad energética.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">• Llega a la tierra de manera dispersa y semialeatoria (depende de algunos factores no previsibles como el estado atmosférico y la contaminación).• Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos. Los depósitos de agua caliente deben protegerse contra bacterias.• Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles, generadores termo solares en el caso de grandes instalaciones.• Se genera un impacto visual negativo si no se protege la integración de los módulos solares en el entorno.

Fuente: El Autor, 2015

La energía solar es un tipo de energía de las conocidas como energía verde y las distintas tecnologías solares existentes son:

2.3.1 Energía solar térmica

Esta clase de energía es la que se obtiene mediante algún tipo de elemento para poder concentrar en un receptor, la energía solar que proporciona el sol la cual se transforma en energía térmica, por ejemplo para aplicaciones de climatización de viviendas, refrigeración y para producir el calentamiento del agua.

2.3.2 Energía solar fotovoltaica

Se produce electricidad por medio de paneles fotovoltaicos utilizando la radiación solar como principal recurso.

2.3.3 Energía solar termoeléctrica

Se produce electricidad por medio de un ciclo termodinámico calentando un fluido con la radiación solar.

2.4 Radiación solar

Se refiere a todas las ondas electromagnéticas que son generadas por el sol, gracias a la capa de ozono sólo llegan a la superficie terrestre longitudes de onda comprendidas entre los 290 nm y los 5000 nm, deteniendo las radiaciones peligrosas para el planeta y los seres vivos, la unidad de medida es el vatio/metro cuadrado (W/m^2) (Honeyman, 2002).

2.4.1 Tipos de radiación solar

Estos tipos de radiación solar están determinados por la forma en como los rayos solares inciden en la superficie de la Tierra.

2.4.1.1 Radiación directa

Es la que proviene directamente del sol, hasta la superficie terrestre sin que su dirección se desvíe en la atmosfera.

2.4.1.2 Radiación difusa

Es aquella que posee cambios en su dirección después de interactuar con la atmósfera este es causado por reflexiones y absorciones producidas por el choque contra diferentes moléculas, partículas u objetos que se interponen a la incidencia de esta radiación.

2.4.1.3 Radiación reflejada

Esta se produce cuando los rayos solares se reflejan sobre la superficie terrestre y depende del coeficiente de reflexión de la superficie.

2.4.1.4 Radiación global

La radiación global es la suma de las dos radiaciones, la directa y la difusa.

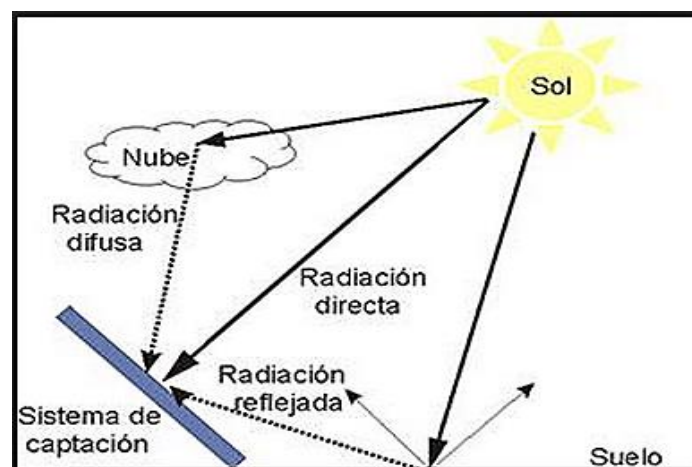


Figura 1, Tipos de radiación solar

Fuente:<http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-Aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>

2.4.2 Radiación solar en Ecuador

Nuestro país se encuentra ubicado sobre la línea Ecuatorial, es decir que se encuentra en ambos hemisferios y por ello es un país con una alta incidencia de radiación solar.

La luz solar a medida que llega a los polos va disminuyendo en su intensidad; por el contrario ésta impacta con más fuerza sobre la línea ecuatorial, nuestra posición geográfica hace que la luz solar pase por menos atmósfera, y aquí la radiación cae perpendicularmente, esto no ocurre en otros lugares del planeta en donde el ángulo de incidencia de la luz solar varía de acuerdo a las diferentes estaciones del año. (EXA, 2008).

En el Ecuador dependemos de las condiciones climáticas locales y de que tan lejos o cerca estemos del sol, esto nos convierte en un país privilegiado en cuanto a recurso solar, aunque por causa del deterioro de la capa de ozono somos más vulnerables a la radiación solar.

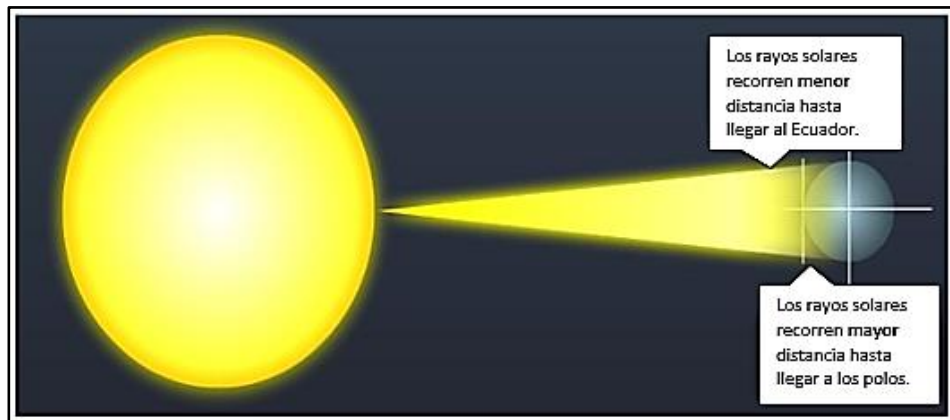


Figura 2, Intensidad de la radiación solar en el Ecuador y los polos.

Fuente: (EXA, 2008)

2.5 Sistemas termo solares de concentración

Se los considera como sistemas termo solares de concentración, aquellos sistemas que transforman la radiación solar en otro tipo de energía para su utilización o almacenamiento.

El tipo de tecnología que los sistemas de concentración solar utilizan van desde: sistemas de receptor central o torre, los colectores cilindro parabólicos y los sistemas de disco parabólico o también denominados (disco-motor).

Estos sistemas de concentración para proporcionar energía eléctrica a partir de la radiación solar, deben estar equipados de sistemas como: colector, receptor, conversor de potencia, además pueden incluir un sistema de almacenamiento térmico y de combustible fósil (Chandi Paguay & Ruano Vega, 2015).

2.5.1 Sistemas de disco parabólico y motor Stirling

Los sistemas de disco parabólico es uno de los sistemas de generación termo solar que concentran mayores temperaturas, convirtiéndolos en sistemas eficientes que al poseer un motor stirling y un generador acoplado a este, permiten la transformación de la energía térmica en mecánica y posteriormente en eléctrica.

En países como EEUU y países europeos se ha impulsado el desarrollo de esta tecnología obteniendo sistemas con potencias de 1 a 25 kW.

Se los considera como sistemas con alta eficiencia de conversión de radiación solar en energía eléctrica, cuyo rendimiento oscila entre un 30 % y un 20 %, y por ello esta tecnología apuesta a convertirse en una fuente de energía renovable de menor costo en relación a otras ya existentes.

Los sistemas de disco parabólico se encuentran en fase de alto desarrollo. Se caracterizan por su alto rendimiento, modularidad y autonomía, el sistema no requiere de fluidos que estén circulando en la planta solar térmica lo cual los hace sistemas más

simples y menos robustos, la potencia de concentración puede ser mucho mayor, lo que es directamente proporcional a la temperatura en el receptor y más eficiente el rendimiento del ciclo térmico (Chandi Paguay & Ruano Vega, 2015).

Santiago García Garrido (2012) declara:

Los receptores para sistemas disco/Stirling son de tipo cavidad, con una pequeña apertura y su correspondiente sistema de aislamiento. La unidad generadora está formada por un conjunto de espejos para reflejar y concentrar la radiación proveniente de los rayos del sol en un receptor, con el fin de alcanzar las temperaturas necesarias para convertir eficientemente el calor en trabajo. La radiación solar concentrada es absorbida por el receptor y transferida a un motor. (Pp.31-32)

Estos sistemas se han desarrollado continuamente y en la actualidad son unidades autónomas, que incluyen un motor Stirling y un sistema de generación con inversores en un solo encapsulado, presenta muchas ventajas frente al resto de tecnologías que utilizan la radiación solar, esto se debe a su simplicidad y modularidad como sistema en general.

El no tener fluidos circulantes, la sencillez técnica, la posibilidad de automatizar y el alto nivel de rendimiento que transforma más del 25% de la radiación solar incidente en energía eléctrica, convierte a los sistemas de disco parabólico y motor Stirling es una alternativa eficiente y amigable para el ambiente en un futuro donde las energías renovables van tomando mayor prioridad.

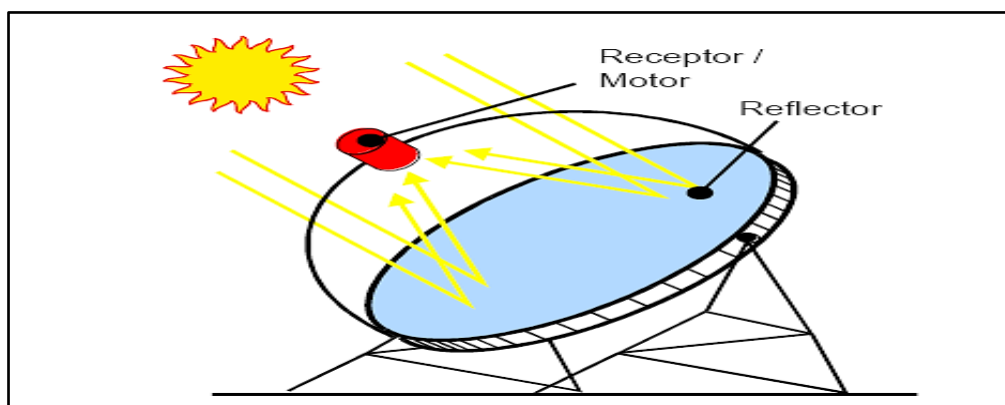


Figura 3, Esquema de un disco parabólico

Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

Los elementos básicos un sistema de disco parabólico y motor Stirling son:

- Concentrador
- Receptor
- Sistema de generación
- Estructura soporte y mecanismos
- Motor Stirling

2.5.1.1 Concentrador

El concentrador permite la captación de los rayos solares que inciden sobre él, posee una superficie reflectante con forma de un paraboloide de revolución. Las dimensiones del concentrador dependen de la potencia nominal, la cantidad de energía que se quiere generar y las condiciones de radiación directa en la zona donde el sistema será implementado.

Este dispositivo debe poseer una superficie que refleje los rayos solares, para mejores resultados dichas superficies deberían ser de espejos de vidrio y plata aunque también se puede utilizar películas reflectantes que posean un alto índice de reflectividad como es el caso del acero y el aluminio.



Figura 4, Tipos de colectores solares

Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>)

2.5.1.2 Receptor

El receptor dentro del sistema permite la conexión térmica entre el concentrador y el motor Stirling. Este dispositivo cumple con dos tareas, absorber la radiación solar y transferir esta energía solar absorbida al motor Stirling en forma de energía térmica sin demasiadas pérdidas.

En este tipo de sistemas disco-motor comúnmente se utilizan receptores de cavidad, se denominan así pues la radiación que se concentra ingresa por una cavidad ubicada en el foco del disco parabólico y posteriormente esta energía se convertirá en energía térmica. Para disminuir las pérdidas reflejadas y poder homogenizar el flujo radiante que incide sobre el receptor este debe ser sumamente eficiente. Para sistemas de disco parabólico se implementan dos tipos de receptores aquellos que son de tubos directamente iluminados y los receptores de reflujo.

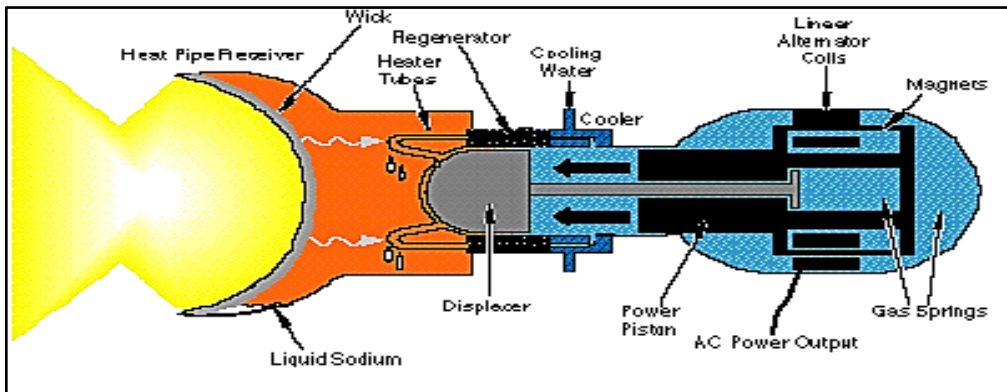


Figura 5, Receptor de tubos reflujo y motor Stirling

Fuente: http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_10/1-8.gif

2.5.1.3 Sistema de generación

Para la generación de energía eléctrica los sistemas disco-motor se constituyen de un ciclo termodinámico de potencia o también denominado máquina térmica, y el generador el cual transforma la energía mecánica en electricidad.

Las potencias que brindan generadores oscilan entre 5 y 25 kW, con rendimientos entre 30% y 40%, sistemas reales poseen inversores que transforman la corriente continua en corriente alterna, haciendo posible inyectar la energía generada a la red eléctrica (Chandi Paguay & Ruano Vega, 2015).

2.5.1.4 Estructura soporte y mecanismos

Los sistemas de disco parabólico y otros sistemas de concentración solar poseen estructuras y mecanismos necesarios para su orientación hacia los rayos solares estos pueden ser de dos ejes o de un eje dependiendo de la región y la incidencia de los rayos del sol en dicha zona.

El seguimiento puede ser acimutal-elevación, en donde el movimiento se realiza sobre los ejes vertical y horizontal o puede ser simplemente acimutal o solo elevación trabajando en un solo eje.

2.5.1.5 El motor Stirling

El ciclo termodinámico que brindan este tipo de motores es el más eficiente para la transformación de energía calórica en mecánica y posteriormente la energía mecánica en eléctrica.

Es un motor de combustión externa este motor produce bajas vibraciones y al no existir combustión interna los componentes no se degradan y la vida útil del motor es alta.

La mayoría de los motores Stirling tienen un pistón, que transmite energía mecánica a un cigüeñal y a un desplazador, esto permite el desplazamiento cíclico de un fluido de trabajo, entre una zona fría y una caliente; también pueden tener dos pistones en donde uno de los dos funciona como desplazador. Según su construcción y la disposición de los pistones los motores Stirling se clasifican en:

- Motores alfa: Constan de dos pistones los cuales forman una uve mutuamente.
- Motores beta: El pistón y el desplazador se encuentran en el mismo cilindro.
- Motores gamma: El desplazador y el pistón se sitúan en dos cilindros diferentes.

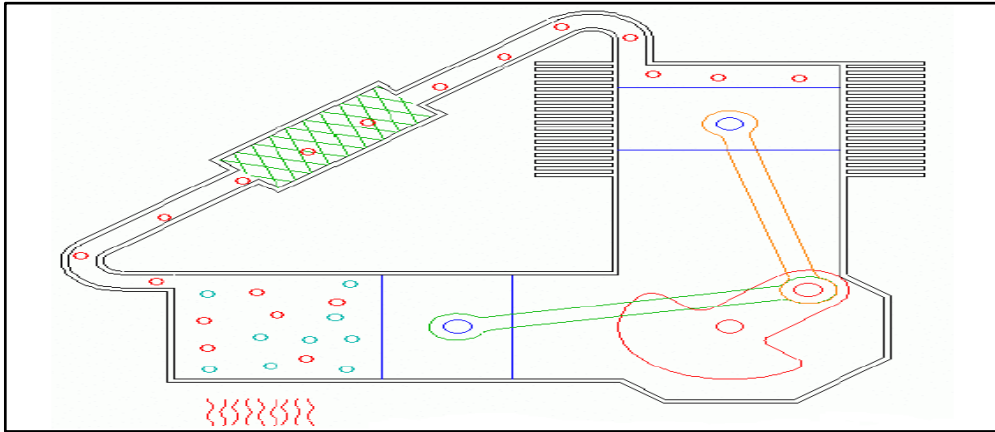


Figura 6, Motor Stirling tipo alfa

Fuente: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%EDtulo+1.pdf>

2.6 El movimiento solar

2.6.1 Introducción

La forma como los rayos solares inciden sobre el plano de una superficie captadora difiere de la perpendicularidad a lo largo del día y por lo cual se ve reducida la eficiencia de dichas superficies captadoras solares, esta situación se la puede solucionar con la utilización de un seguidor solar que oriente la superficie captadora de forma permanente hacia el sol.

“El uso de seguidores solares ha reportado ganancias superiores al 20% en estudios de campo” (Lorenzo, 2003).

Los seguidores solares siguen la trayectoria aparente del sol provocada por los movimientos de la Tierra respecto al sol.

2.6.2 Movimiento del planeta tierra con referencia al sol

“La Tierra realiza dos movimientos que inciden en la posición relativa de un punto en su superficie con respecto al Sol” (Dutch, 2004), lo que más afecta esta posición es el movimiento de rotación, el movimiento de rotación es aquel que la tierra gira sobre su propio eje con una duración de 24 horas 0 minutos y 57.33 segundos, que se ha simplificado a 24 horas, con la respectiva compensación del año bisiesto. De esta manera se da lugar al día y la noche ya que durante la rotación la mitad del planeta está iluminado y la otra mitad en obscuridad.

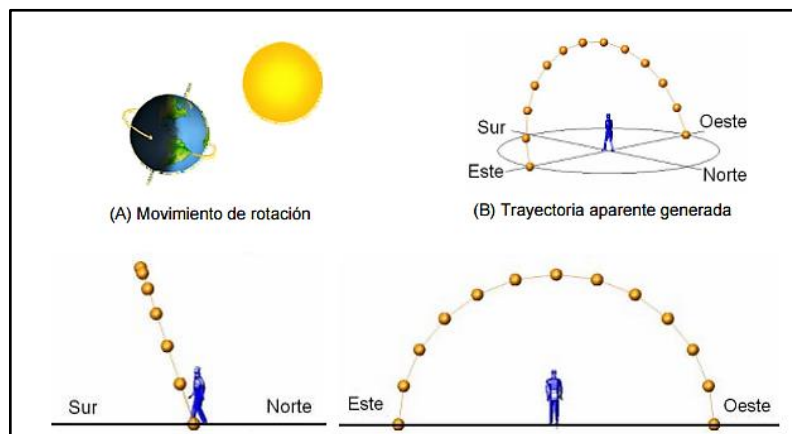


Figura 7, Movimiento de rotación del planeta tierra.

Fuente: <http://astrojem.com/teorias/tierratraslacion.html>

El periodo de tiempo de la noche y el día depende de la ubicación geográfica del punto considerado, solamente en la línea ecuatorial los días y las noches duran 12 horas en todo el año, el movimiento de rotación, genera que el sol trace una trayectoria circular en el espacio en el transcurso que el día.

El otro movimiento que hace el planeta es el de traslación, movimiento que la tierra hace alrededor del sol, este movimiento tarda en ejecutarse 365.2422 días, que para efectos prácticos se considera de 365 y cada cuatro años (año bisiesto) se considera de 366 días. En el intervalo de tiempo que se realiza este movimiento la tierra presenta una trayectoria elíptica alrededor del sol. Esta trayectoria elíptica del planeta alrededor del sol posee un ángulo con respecto a la horizontal del Ecuador solar de 23.45° .

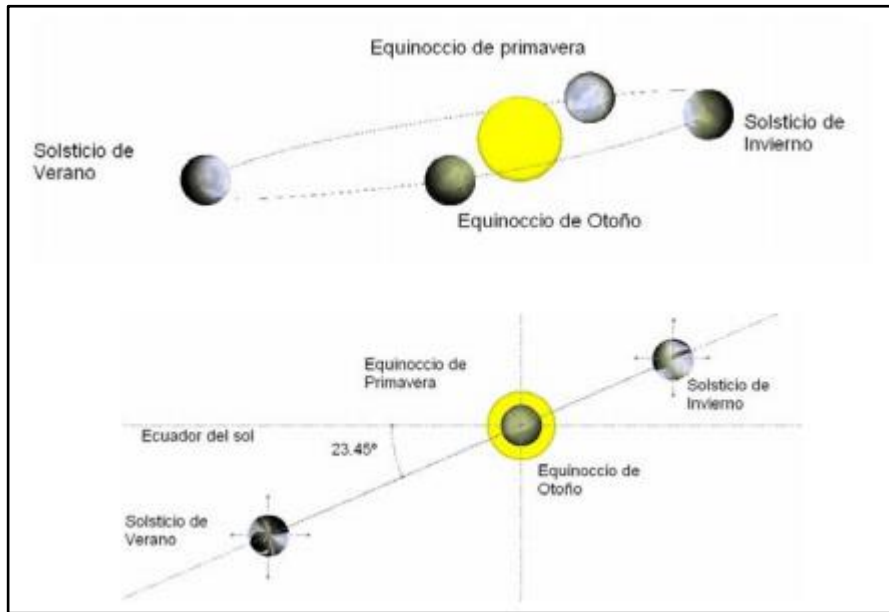


Figura 8, Movimiento de traslación del planeta tierra.

Fuente: <http://astrojem.com/teorias/tierratraslacion.html>

Este movimiento de traslación de la Tierra causa que la trayectoria aparente del sol, generada por el movimiento de rotación, muestre una variación durante el año como se muestra en la Fig. 8, esta trayectoria aparente del sol a lo largo del día varía en su declinación respecto del observador, esta variación de la declinación incide en la duración de la noche y del día. El sol en su trayectoria pasa siempre por un punto central orientado hacia el sur a las 12 horas del día Solar.

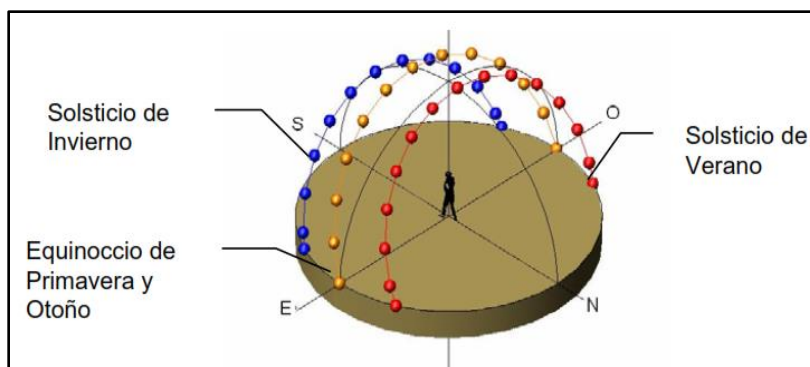


Figura 9, Variación en la declinación por efecto del movimiento de traslación

Fuente: <http://astrojem.com/teorias/tierratraslacion.html>

2.6.3 Orientación e inclinación

Para que un captador solar sea de cualquier tipo reciba la mayor cantidad posible de energía se deberá orientar perpendicularmente hacia el sol, pero si nosotros observamos desde la tierra, el sol no está estático pues este varía de acuerdo al horario por tal motivo sería necesario implementar un sistema de seguimiento solar para una mayor aprovechamiento de dicha energía.

Para la instalación de estos captadores solares se debe considerar los siguientes criterios de orientación.

Azimut (α): este es el ángulo horizontal el cual se forma por la posición del sol y la dirección del verdadero sur.

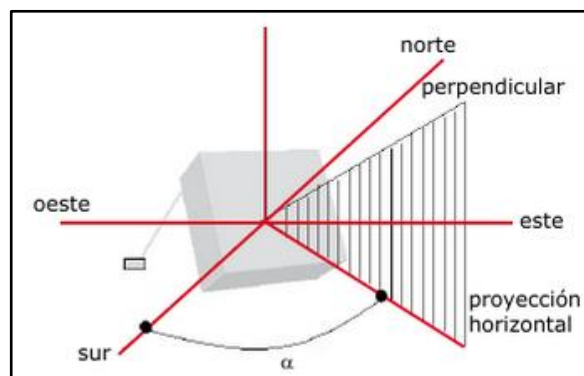


Figura 10, Ángulo azimut

Fuente: (Tobajas, 2012)

Inclinación o elevación (β): este ángulo está formado por la superficie del módulo y el plano horizontal.

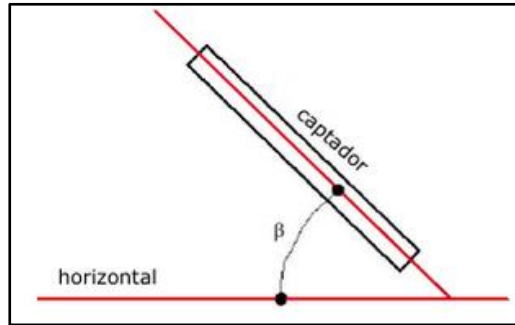


Figura 11, Ángulo de inclinación o elevación

Fuente: (Tobajas, 2012)

Incidencia (φ): Este ángulo es aquel que forman la radiación directa sobre la superficie captadora, es decir, la línea, Sol-captador y la perpendicular al captador.

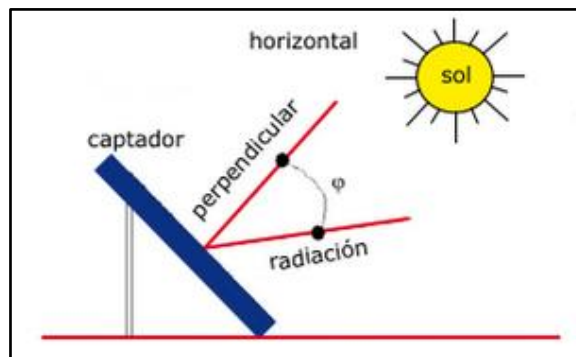


Figura 12, Ángulo de incidencia

Fuente: (Tobajas, 2012)

Declinación (δ): este ángulo es aquel que forma el plano ecuador de la tierra con los rayos incidentes del Sol. Este ángulo varía con el día.

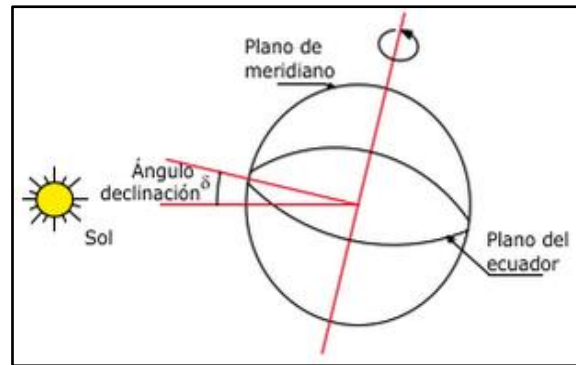


Figura 13, Ángulo de declinación

Fuente: (Tobajas, 2012)

Latitud (ϕ): “Es el ángulo que forma la vertical del punto geográfico que se considere de la superficie terrestre o emplazamiento y el plano del ecuador, el dato de la latitud es básico para poder conocer la posición solar” (Tobajas, 2012, pág. 38), si queremos determinarla es mejor conocer las tablas de radiación solar.

Los rayos solares inciden con menor cantidad de radiación a medida que aumenta la latitud del sitio, es de conocimiento que en el ecuador la latitud es igual a 0° y que por otro lado un punto en el trópico de cáncer es igual a $23,45^\circ$, mientras en el trópico de capricornio es $-23,45^\circ$ y a su vez en el polo norte la latitud es de 90° , por el contrario en el polo sur la latitud es de -90° .

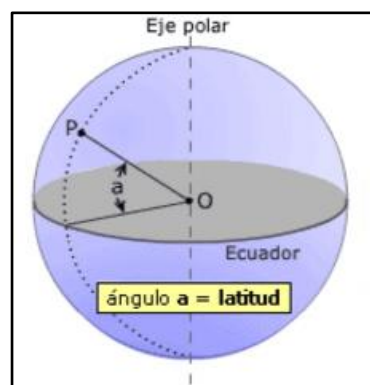


Figura 14, Latitud de un punto P

Fuente: (Tobajas, 2012)

2.7 Seguidores solares.

Los seguidores solares son dispositivos utilizados para orientar los paneles fotovoltaicos, reflectores, concentradores solares, lentes de tal manera que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre su superficie para un mejor aprovechamiento de la radiación solar puesto que la posición de sol en el cielo cambia con las estaciones y el tiempo de día, los seguidores se utilizan para alinear la sistema de recogida para maximizar la producción de energía.

Varios factores deben ser considerados la hora de determinar el uso de seguidores. Algunos de estos incluyen: la tecnología solar que se utiliza, la cantidad de radiación solar directa, tarifas de alimentación en la región donde el sistema se despliega, y el costo de instalar y mantener de los seguidores.

2.8 Tipos de seguidores

Existen varios tipos de seguidores solares, así como las aplicaciones de los mismos, y las necesidades que obligan a elegir uno u otro tipo.

2.8.1 Según el dispositivo el cual realiza el movimiento

De acuerdo a esta característica existen dos tipos básicos de seguidores:

- **Seguidor activo:** El cual utiliza motores eléctricos, brazos electromecánicos con engranajes o tornillos sin fin, que son controlados mediante un circuito electrónico. Este tipo de seguidor debe estar energizado sea por una fuente externa al sistema de generación termo solar o por el mismo generador, convirtiendo al seguidor en “autónomo”.

- **Seguidor pasivo:** Este tipo de seguidor utiliza un gas comprimido de bajo punto de ebullición, el cual es conducido hacia un lado o hacia otro, según sea calentado por la luz solar incrementando la presión en el gas, provocando que el seguidor se mueva en respuesta a ese desbalance. Pero es considerado un tipo de seguimiento impreciso.

2.8.2 Según los grados de libertad

De acuerdo a los grados de libertad de los seguidores se clasifican en:

2.8.2.1 Seguidores de un solo eje

Aquellos que poseen un grado de libertad, su movimiento es en un solo eje de rotación. Los seguidores solares pueden ser ya sea de un eje horizontal o de un eje vertical. El tipo horizontal se utiliza en las regiones tropicales donde el sol se pone muy alta al mediodía, pero los días son cortos.

El tipo vertical se utiliza en altas latitudes donde el sol no llega muy alto, pero los días de verano pueden ser muy largos. En aplicaciones de energía solar concentrada, se utilizan rastreadores de ejes individuales con diseños de espejos parabólicos y fresnel lineales.



Figura 16, Ejemplo de un solo eje rastreador.

Fuente:http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/oe-m-wp009_-en-p.pdf

Entre los tipos de seguidores a un grado de libertad tenemos:

- **Un solo eje horizontal:** Tienen el eje horizontal respecto al suelo, el cual está orientado Norte-Sur, y a lo largo del día el disco reflector parabólico girará sobre este eje, siguiendo el movimiento aparente del Sol. Esta clase de seguidor es óptimo en latitudes próximas al ecuador.

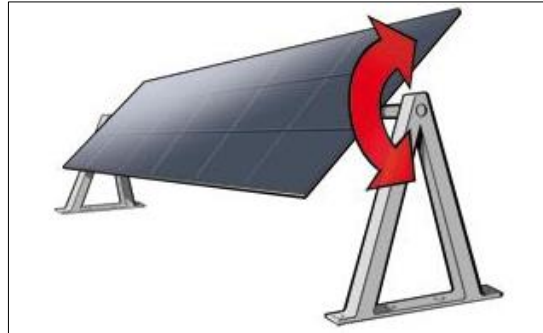


Figura 17, Seguidor solar de eje horizontal.

Fuente: <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>

- **Un solo eje vertical:** El eje está vertical respecto al suelo, para latitudes lejanas al ecuador se recomienda este tipo de seguidor. El disco reflector parabólico suele estar orientado con un ángulo respecto al eje de rotación, y cuando gira forman un cono alrededor del eje.

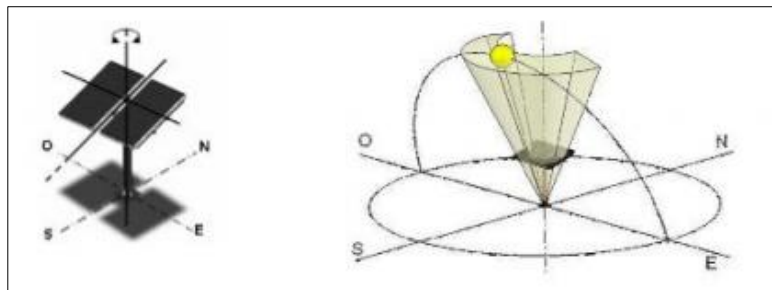


Figura 18, Seguidor solar de eje vertical

Fuente: (Adán, 2007)

- **Un solo eje inclinado:** Son aquellos seguidores de un solo eje que no es ni vertical ni horizontal, es un seguidor de eje inclinado. El disco reflector está inclinado

con la misma inclinación del eje, y cuando gira forma un cilindro alrededor de este eje.

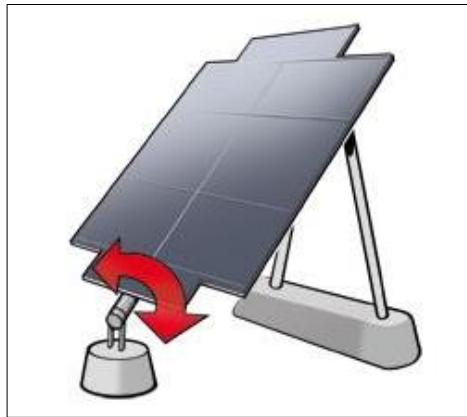


Figura 19, Ejemplo de un solo eje inclinado

Fuente: <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>

2.8.2.2 Seguidores de dos ejes.

Permiten un movimiento en dos grados de libertad o dos ejes de rotación. Estos ejes están perpendiculares el uno del otro. El eje primario es el que está fijo respecto a La Tierra, y el otro eje, el cual está referenciado al eje primario se denomina eje secundario.

- **Seguidor de Acimut-Altitud.** Seguidor el cual tiene su eje primario vertical con referencia al suelo. El eje secundario es perpendicular al primario. El seguidor de dos ejes es el más implementado por que su estructura no es muy compleja además que no requiere estar a gran altura por sobre el suelo, el seguidor ubica al disco reflector frente al Sol girando alrededor de su eje vertical ángulo conocido como Acimut, y elevando la inclinación del disco a la altitud en la que se encuentre el Sol.



Figura 20, Ejemplo de un seguidor acimut-altitud

Fuente:http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/oe-m-wp009_-en-p.pdf

2.8.3 Según el algoritmo de seguimiento

2.8.3.1 Seguidores por punto luminoso

Para este tipo de seguimiento se utilizan sensores sensibles a la luminosidad como es el caso de fotorresistencias, la señal obtenida por estos sensores permite posicionar mediante actuadores como por ejemplo motores, la superficie captadora hacia los rayos del sol.

2.8.3.2 Seguidores con programación astronómica

Mediante el uso de ecuaciones de posicionamiento astronómico se puede predecir la posición aparente del sol a cada hora del día, siendo este un sistema totalmente independiente de las condiciones climáticas debido a que no posee sensores por punto luminoso.

Tabla 4

Ventajas y desventajas según el algoritmo de seguimiento

Según el algoritmo de seguimiento	Ventajas	Desventajas
Por punto luminoso	- Fácil implementación del algoritmo de seguimiento.	- Poca fiabilidad. - En condiciones climáticas no favorables presenta errores de posicionamiento. - Mantenimiento constante de los sensores.
Con programación astronómica	- Mayor fiabilidad. - Independiente de las condiciones climáticas. - Mantenimiento menos riguroso.	- Implementación un poco más complicada.

Fuente: (Tobajas, 2012)

2.9 Tipo de seguidor seleccionado.

De los tipos de seguidores los cuales se hicieron referencia anteriormente el seguidor elegido a implementarse debe ser primeramente de tipo activo pues para el movimiento de giro en el eje se utilizara un motor controlado mediante un circuito electrónico, puesto que de esta manera se podrá aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera sobre el control de motores AC y DC.

Además el seguidor solar será de un solo grado de libertad de eje horizontal debido a que el Ecuador es un país privilegiado por la incidencia perpendicular de los rayos del sol, haciendo innecesario implementar un seguimiento a dos grados de libertad, por ello

se realizará el seguimiento, en el movimiento del sol de mayor cobertura que es de este a oeste.

En base a lo planteado anteriormente se elegirá como algoritmo de seguimiento el de tipo astronómico el cual a pesar de tener mayor dificultad en su implementación, nos da una mayor fiabilidad en cuanto al seguimiento del sol brindando una autonomía en cuanto a su funcionamiento evitando la posibilidad de errores como es el caso del seguidor por punto luminoso.

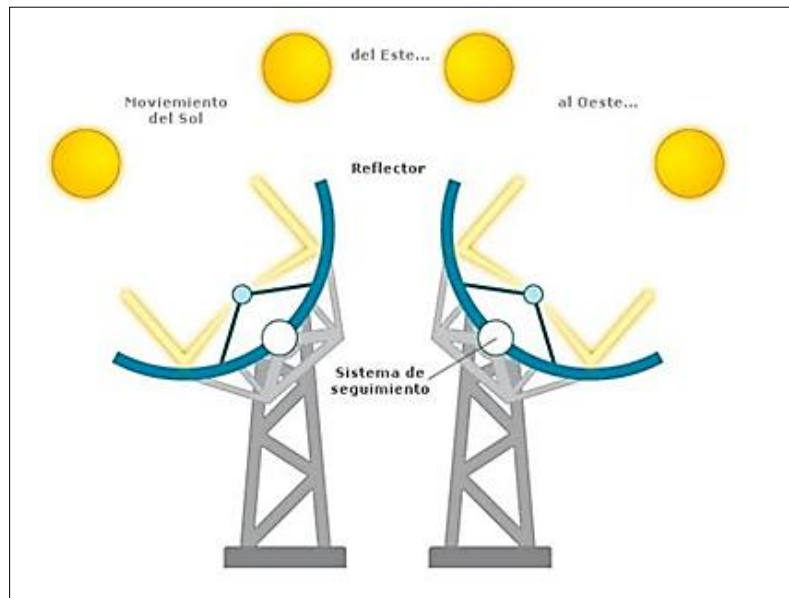


Figura 21, Ejemplo de un seguidor de un solo eje

Fuente: <http://www.google.com/patents/US20120266938>

2.10 Ecuaciones de posicionamiento astronómico

1.- Introducción

Un observador puede describir el movimiento aparente del sol en base al cálculo de determinados ángulos que se observan a continuación.

2.- Declinación

La declinación solar δ es el ángulo formado por el Sol con el plano ecuatorial de la Tierra, la expresión, debida a Spencer (Spencer, 1971) para el cálculo de la declinación es la más precisa y recomendada.

La declinación está en radianes y Γ es el ángulo diario, la ecuación 1 según su creador tiene un error máximo de (0.03°) .

$$\delta = 0.006918 - 0.399912\cos(\Gamma) + 0.070257\sin(\Gamma) - 0.006758\cos(2\Gamma) + 0.000907\sin(2\Gamma) - 0.002697\cos(3\Gamma) + 0.00148\sin(3\Gamma)$$

Ecuación 1: Cálculo declinación solar

3.- Ángulo diario

Es el ángulo de desviación de acuerdo al día del año (n) se calcula mediante la ecuación 2, considerando que el día del año se cuenta a partir del 1 de Enero siendo este el número de día 1 y el 31 de diciembre el número de día 365, excepto si es año bisiesto el último día sería 366 y de igual manera en la ecuación 2 se reemplaza el valor 365 por 366.

$$\Gamma = \frac{2\pi(n - 1)}{365}$$

Ecuación 2: Cálculo ángulo diario

4.- Angulo horario

El ángulo horario (ω) indica el desplazamiento angular aparente del sol, de este a oeste, en un promedio de 15 grados/hora, debido a la rotación de la Tierra sobre su eje, este promedio corresponde a 360 grados/24 horas (o $\pi/12$ ' 0.2618 rad/h). Por convención, el ángulo horario (ω) es positivo en la tarde y negativo en la mañana, en el mediodía se lo considera nulo, esta expresado en radianes, para calcularlo se utiliza la ecuación 3 en donde (hs) es la hora solar.

$$\omega = (15(\text{hs} - 12)) \frac{\pi}{180}$$

Ecuación 3: Cálculo ángulo horario

5.- Hora solar

La hora solar o tiempo solar aparente está definida por la rotación de la Tierra sobre su eje y en su órbita elíptica en torno al Sol, básicamente la hora solar es el tiempo medido por un reloj de Sol, formado por una varilla sobre un plano horizontal y en base a la sombra que la varilla genera se calcula dicho tiempo. (Abal & Durañona, 2013)

Para el cálculo de la hora solar se utiliza la ecuación 4 descrita a continuación, en donde (H) es la hora civil o la hora que podemos observar en nuestro reloj, (et) es la ecuación del tiempo y (L) la longitud del lugar con ciertas correcciones, y esta expresada en horas, por lo tanto el resultado de la hora solar es en horas.

$$\text{hs} = H + \text{et} + L$$

Ecuación 4: Cálculo hora solar

Para el cálculo correcto de la hora solar la longitud necesita ser corregida en base al huso horario en el que se encuentra el país, los husos horarios ubicados al oeste de Greenwich corresponden a longitudes negativas y los ubicados al este en positivas, Ecuador este ubicado en el huso horario UTC-5 y le corresponde una longitud de -75° , la

longitud (L) corregida se calcula mediante la ecuación 5 en donde (gr) son los grados de la longitud del lugar y (ml) los minutos, la expresión nos da el resultado en horas.

$$L = - \left[\text{gr} + \frac{\text{ml}}{60} - 75 \right] / 15$$

Ecuación 5: Cálculo longitud corregida

6.- Ecuación del tiempo

La ecuación del tiempo es la diferencia entre la hora que es marcada por un reloj solar y la marcada por un reloj mecánico, esta ecuación es necesaria puesto que el movimiento aparente del sol no es uniforme y la duración del día solar no es constante a lo largo del año.

Es primordial usar una expresión con buena precisión y que mejor la planteada por (Spencer, 1971) la cual es descrita a continuación en la ecuación 6 y cuyo resultado esta expresado en minutos.

$$et = 229.18 \text{ min} \times [0.000075 + 0.001868 \cos(\Gamma) - 0.032077 \sin(\Gamma) - 0.014615 \cos(2\Gamma) - 0.04089 \sin(2\Gamma)]$$

Ecuación 6: Cálculo ecuación del tiempo

7.- Altura solar

Es la altura o elevación que tiene el sol sobre el horizonte y esta medida en grados, este valor lo podemos calcular mediante la siguiente expresión dada en la ecuación 7.

$$e = \text{arc sin}[\cos(L)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(L)\sin(\delta)]$$

Ecuación 7: Cálculo altura solar

8.- Azimut solar

El azimut es aquel que describe el desplazamiento angular de la proyección de la línea Tierra-Sol sobre el plano horizontal de un observador, este ángulo se relaciona con el ángulo horario, la declinación y la altura solar, para poder calcularlo se utiliza la ecuación 8.

$$az = \arcsin \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(e)}$$

Ecuación 8: Cálculo azimut solar

2.11 Sensores

Un sensor es un transductor es decir convierte un tipo de energía en otra, estos miden cierto tipo de energía, en pocas palabras es un indicador o detector, la energía que es detectada es convertida en impulsos eléctricos captados por máquinas de control (Bishop, 2002).

2.11.1 Sensores de posición angular

Su función es detectar la posición de un determinado objeto en el espacio, estos sensores pueden ser analógicos o digitales.

- **Analógicos:** potenciómetros, resolvers, acelerómetros.
- **Digitales:** encoders.

2.11.1.1 Analógicos

2.11.1.1.1 Potenciómetros

El potenciómetro angular es de tipo absoluto y con salida analógica, su diseño consta de una resistencia de hilo bobinado y compartido a lo largo de un soporte en forma de arco. Este dispositivo electromecánico posee una resistencia fija en la que se desplaza un cursor, el movimiento del cursor produce cambios en la resistencia lo cual se puede utilizar para medir posiciones angular de piezas que estén acopladas al cursor del potenciómetro.



Figura 22, Potenciómetro angular

Fuente: <http://img.directindustry.es>

2.11.1.1.2 Resolvers

Estos sensores analógicos son transformadores rotativos diseñados de tal manera que su coeficiente de acoplamiento entre el rotor y el estator varía según sea la posición angular del eje. Posee una bobina solidaria al eje excitada por una portadora, a su alrededor están situadas dos bobinas fijas. (Tapia Ayala & Manzano Yupa, 2013, pág. 56)

Una tensión excita a la bobina móvil la cual gira un ángulo θ que induce en las bobinas fijas las tensiones.

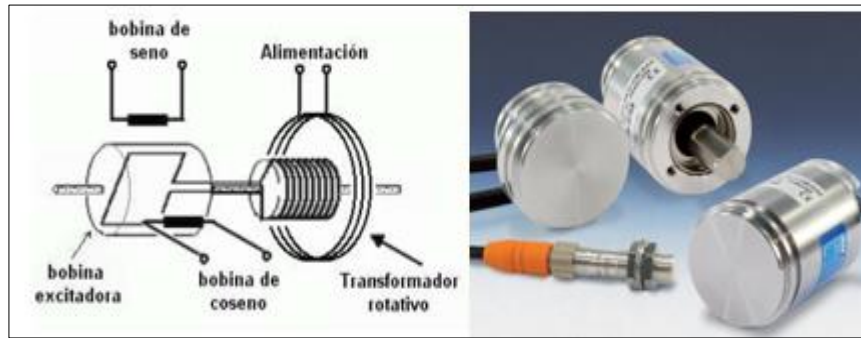


Figura 23, Resolver

Fuente: <http://www.sensores-de-medida.es>

2.11.1.1.3 Acelerómetro

Son dispositivos electromecánicos que sirven para medir la aceleración, ya sea estática o dinámica, las fuerzas de aceleración estáticas incluyen a la gravedad y las dinámicas pueden incluir movimientos y vibraciones; estos dispositivos pueden medir la aceleración en uno, dos o tres ejes según sea la necesidad de su aplicación (5Hertz, 2014).

La comunicación del acelerómetro puede ser por medio de un convertidor de tipo digital, analógico o por pwm (interfaz de conexión modulada por ancho de pulso).

El acelerómetro mide el cambio de velocidad, pero cuando este se encuentra estático la única aceleración que detecta es la gravedad que tira hacia abajo de este y Utilizando esta aceleración (gravedad) se puede calcular el ángulo de inclinación del sensor con respecto al eje vectorial de la gravedad (5Hertz, 2014).

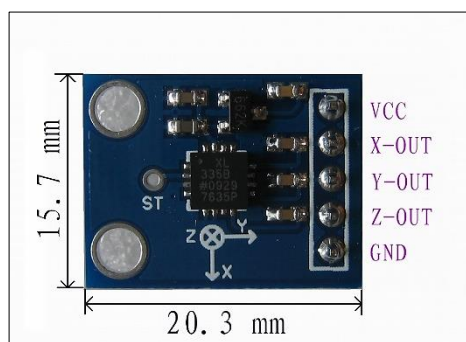


Figura 24, Acelerómetro analógico

Fuente: <http://www.sensores-de-medida.es>

El acelerómetro mide los cambios en la velocidad pero cuando este se encuentra en posición estática detecta una única aceleración (la gravedad) la cual apunta hacia abajo, si se utiliza la gravedad se puede calcular el ángulo de inclinación en el que se encuentra el sensor con respecto al ángulo vectorial de la gravedad.

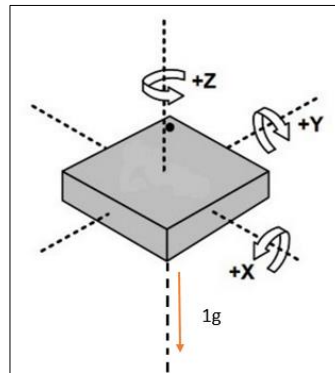


Figura 25, Esquema de los ejes de un acelerómetro

Fuente: El Autor, 2015

En la figura 25 se observa al acelerómetro en reposo y la gravedad es la única fuerza que actúa sobre el eje z por lo que:

$$X= 0$$

$$Y= 0$$

$$Z= 1 \text{ g}$$

Si se inclina el acelerómetro la gravedad genera componentes vectoriales en el eje x, y, z y estas componentes vectoriales son las que se utiliza para determinar el ángulo de inclinación en el que se encuentra el sensor con respecto a la fuerza de gravedad.

Si se asume que el sensor está en un plano x - z y se inclina un ángulo θ la forma de calcular este ángulo de inclinación se observa en la Fig. 26.

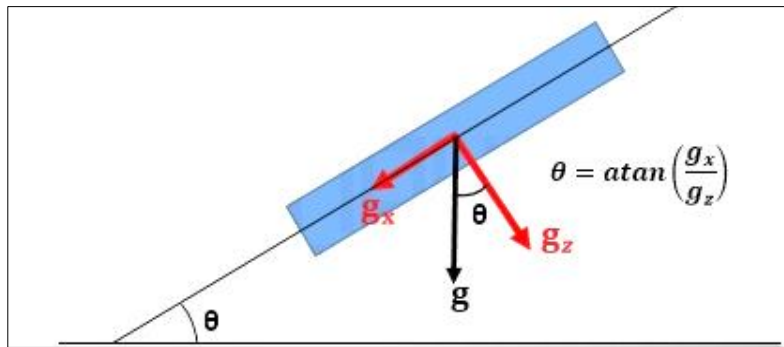


Figura 26, Angulo de inclinación de un acelerómetro

Fuente: El Autor, 2015

2.12 Tipo de sensor de posición seleccionado

En base a las necesidades del sistema de seguimiento por sus características, fácil implementación, programación, precio económico, bajo consumo y disponibilidad en el mercado, el acelerómetro analógico es el sensor indicado el cual se acopla perfectamente a arduino y permitirá determinar la inclinación del disco parabólico del generador termo solar.

2.13 Actuadores

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

2.13.1 Historia

Existe un actuador manual que es el más común de todos y este es el ser humano. Cuando una persona mueve un dispositivo para generar su funcionamiento. Con el pasar del tiempo, se buscó automatizar la actuación de dispositivos, y así distintos dispositivos hicieron su aparición para mejorar la generación de movimiento.

2.13.2 Los elementos que conforman un actuador son los siguientes:

- Sistema de accionamiento: es el encargado de producir el movimiento
- Sistema de transmisión: es el encargado de transmitir el movimiento del actuador a otros elementos.
- Sistema reductor: encargado de adecuar el torque y la velocidad del actuador a los valores requeridos.
- Sistema de control: encargado de enviar las órdenes al actuador para que se mueva de cierta manera.

2.13.3 Tipos de actuadores

De acuerdo a sus mecanismos de funcionamiento y aplicación y uso los actuadores se clasifican en:

- Hidráulicos
- Neumáticos
- Electromecánicos
- Eléctricos

2.13.3.1 Actuadores hidráulicos

Su energía proviene de un fluido a presión, el cual generalmente es alguna clase de aceite mineral, la principal ventaja de los actuadores hidráulicos es su relación potencia/peso. Estos actuadores se clasifican de acuerdo con la forma de operación, es decir funcionan en base a fluidos a presión. Existen tres grandes grupos:

- cilindro hidráulico
- motor hidráulico
- motor hidráulico de oscilación

2.13.3.2 Actuadores neumáticos

Transforman la energía acumulada en el aire comprimido en trabajo mecánico de movimiento circular o movimiento rectilíneo. Los actuadores neumáticos se clasifican en dos grandes grupos: cilindros neumáticos y motores neumáticos.

Hay básicamente dos tipos de actuadores neumáticos:

- Lineales
- Rotatorios

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico.

2.13.3.3 Los actuadores lineales electromecánicos

Son una combinación con motores eléctricos, cuyo efecto es el desplazamiento del vástago de un cilindro, con total control.



Figura 27, Actuador lineal electromecánico

Fuente: <http://www.electrical4u.com/light-dependent-resistor-ldr-working-principle-of-ldr/>

Existen algunos tipos de cilindros

- cilindros de simple efecto
- cilindros de doble efecto
- cilindros de doble vástago

2.13.3.4 Actuadores eléctricos

Transforman la energía eléctrica en energía mecánica rotacional. Podemos encontrar tres grandes grupos de actuadores eléctricos: motores de corriente continua, motores de corriente alterna y motores de paso a paso.

Este tipo de actuador presenta gran control sencillez y precisión, por tanto son los más utilizados en los robots industriales actuales.

Existen tres tipos:

- Motores de corriente continua CC
- Motores de corriente alterna CA
- Motores paso a paso

2.13.3.4.1 Motores de corriente continua CC

Son los más usados en la actualidad debido a su facilidad de control. En este caso, se utiliza en el propio motor un sensor de posición (encoder) para poder realizar su control.

Las velocidades de rotación que se consiguen con estos motores son del orden de 1000 a 3000 rpm con un comportamiento muy lineal y bajas constantes de tiempo. Las potencias que pueden manejar de w hasta kW.

Las desventajas del motor de corriente continua son el obligado mantenimiento de las escobillas, además de que no es posible mantener el par con el rotor parado más de unos segundos, debido a los calentamientos que se producen en el colector.



Figura 28, Motor CC

Fuente: <http://www.electrical4u.com/light-dependent-resistor-ldr-working-principle-of-ldr/>

Características:

- Desde potencias fraccionarias hasta el millar de kW.
- En tareas de regulación de velocidad o par.
- Regula desde cero rpm a velocidad nominal con muy buena precisión.
- Regulación de par.
- Con par a cero rpm.

Aplicaciones:

- Aplicaciones de regulación de velocidad en general
 - Máquinas de envase y embalaje
 - Cintas transportadoras
 - Ventilación
- Aplicaciones que requieren precisión
 - Posicionamiento

- Regulación de par y par a cero rpm
 - Enrolladoras
 - Elevación
- Regulación de motores de potencias grandes
 - Laminadoras
 - Extrusoras

2.13.3.4.2 Motor de corriente alterna CA

Los motores de corriente alterna son aquellos motores eléctricos que funcionan con este tipo de alimentación eléctrica. Un motor es una máquina motriz, que convierte una forma determinada de energía en energía mecánica de rotación o par. Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos.

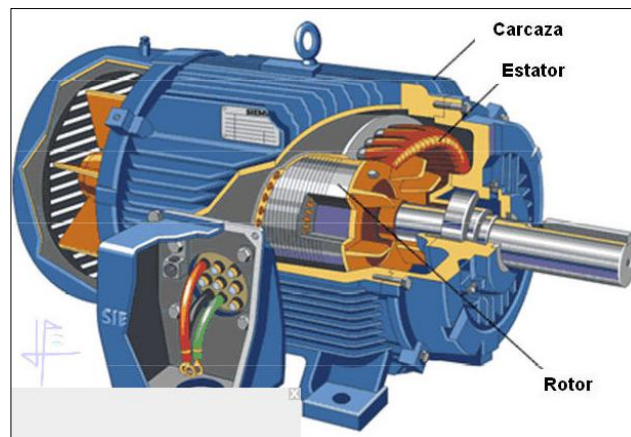


Figura 29, Motor de corriente alterna CA

Fuente: <http://endrino.pntic.mec.es/jhem0027/maquinaasincrona/partes.jpg>

Los motores de corriente alterna se clasifican en dos tipos de motor.

- Motor sincrónico
- Motor asincrónico o de inducción

1. Motor sincrónico

La característica principal de este motor es que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de CA, si la fuente es de 60Hz, y el motor es de dos polos, gira a 3600 RPM; si es de cuatro polos gira a 1800 RPM, etc. Este motor se lo utiliza cuando se quiere que gire a una velocidad constante la cual es dada por la fuente de alimentación pero si la carga es excesiva, este se detiene (Costas, 2005).

Sus aplicaciones son mínimas y casi siempre están en relacionadas con sistemas de regulación y control mas no con la transmisión de potencias elevadas sin embargo es muy utilizado para la generación de energía eléctrica (Costas, 2005).

2. Motor asincrónico o de inducción

Estos motores tienen la peculiaridad de que no precisan de un campo magnético alimentado con corriente continua como en los casos del motor de corriente directa o del motor sincrónico. Una fuente de corriente alterna (trifásica o monofásica) alimenta a un estator. La corriente en las bobinas del estator induce corriente alterna en el circuito eléctrico del rotor (de manera algo similar a un transformador) y el rotor es obligado a girar. De acuerdo a la forma de construcción del rotor, los motores asincrónicos se clasifican en:

- Motor Asincrónico de Rotor Bobinado
- Motor Asincrónico tipo Jaula de Ardilla

2.14 Tipo de actuador seleccionado.

Como actuador se selecciona uno de tipo eléctrico pues entre sus principales ventajas esta su bajo consumo, par de giro elevado, silencioso y con bajas vibraciones, fácil manipulación tanto en arranque como en paro y precio más económico en comparación a otros actuadores.

Adicionalmente el actuador seleccionado es un motor de inducción trifásico principalmente porque es un motor que se ha estudiado a lo largo de la carrera universitaria, se conoce sus características y formas de control, requiere de un bajo mantenimiento y mediante un variador de frecuencia su control es mucho más sencillo.

2.15 Arduino

Es una plataforma de hardware de código abierto que conecta el mundo físico con el virtual o el mundo analógico con el digital, controlando diversos componentes tales como: alarmas, sistemas de luces, motores, sistemas de comunicación y una gran variedad de sensores (Proyecto Arduino, 2008).

Esta plataforma se basa en una sencilla placa que posee entradas y salidas de tipo analógico y digital, su entorno de desarrollo está basado en un lenguaje de programación llamado processing.

Actualmente existe una gran variedad de plataformas y otro tipos de microcontroladores cuyo entorno posee herramientas que complican a la hora de programar en especial para personas que desarrollan proyectos cuyo conocimiento en programación no es tan avanzado.

Arduino simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores y a su vez ofrece ciertas ventajas en comparación a otras plataformas.

Tabla 5*Ventajas de Arduino*

Ventaja	Descripción
Barato	En comparación a otras plataformas son más económicas y accesibles.
Multiplataforma	Disponible para sistemas operativos como: Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.
Entorno de programación simple y claro	Es sencillo y práctico para los usuarios tanto principiantes como avanzados
Código abierto y software extensible	Está publicado como herramientas de código abierto y disponible para su extensión por programadores experimentados, el lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++.
Código abierto y hardware extensible	Está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo.

Fuente: <http://arduino.cl/que-es-arduino>

2.15.1 Tipos de Arduino

Existe una gran variedad de placas de Arduino dependiendo de las necesidades de su aplicación, van desde placas para iniciar como principiante en el uso de Arduino hasta placas más avanzadas con características especiales como más memoria de almacenamiento, más entradas y salidas, módulos de comunicación Bluetooth y WiFi o por cable Ethernet.

Las placas de Arduino que son más comunes en cuanto a su uso en proyectos de investigación tecnológica e implementación son las que se ven en la Fig. 30.

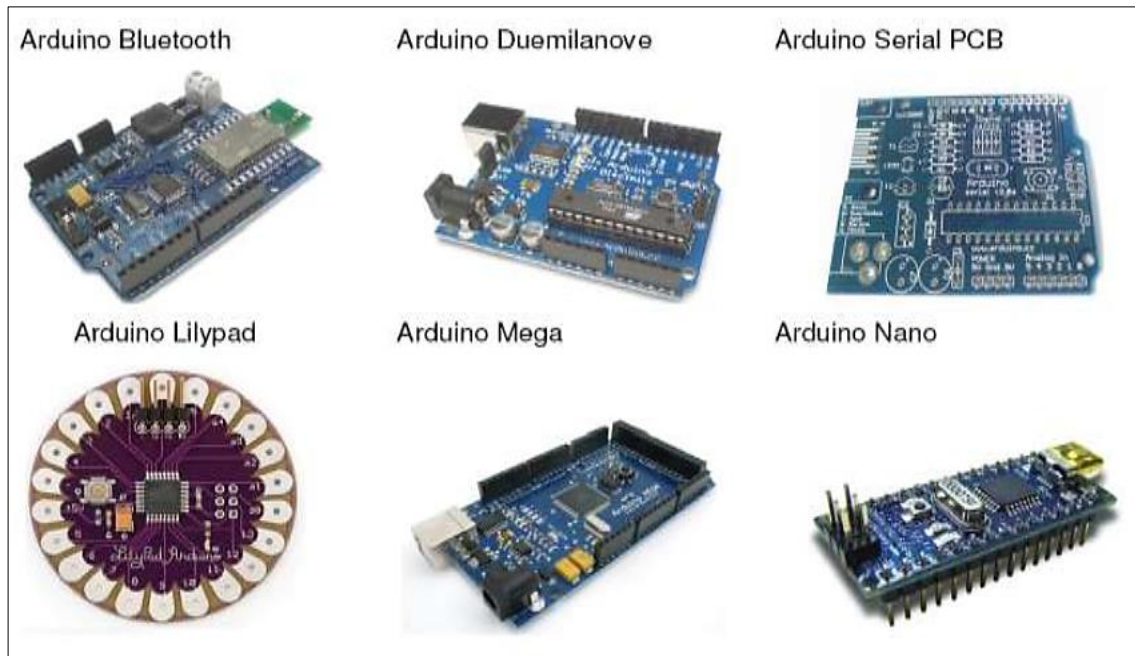


Figura 30, Tipos de placas Arduino

Fuente: <http://www.tecnoinfe.com/2014/09/arduino.html>

2.15.1.1 Arduino UNO

Es la placa estándar y la más conocida es excelente para iniciarse en el uso de Arduino posee 14 entradas/salidas digitales 6 de ellas se pueden utilizar como salidas PWM, además cuenta con 6 entradas analógicas, velocidad de reloj de 16MHz, conexión USB, jack de alimentación y un pulsador de reset, esta placa es compatible con la mayoría de los shields existentes.

Puede alimentar la placa con un cable USB conectado al ordenador o con una batería o fuente de corriente continua que este en los rangos de alimentación de la placa.

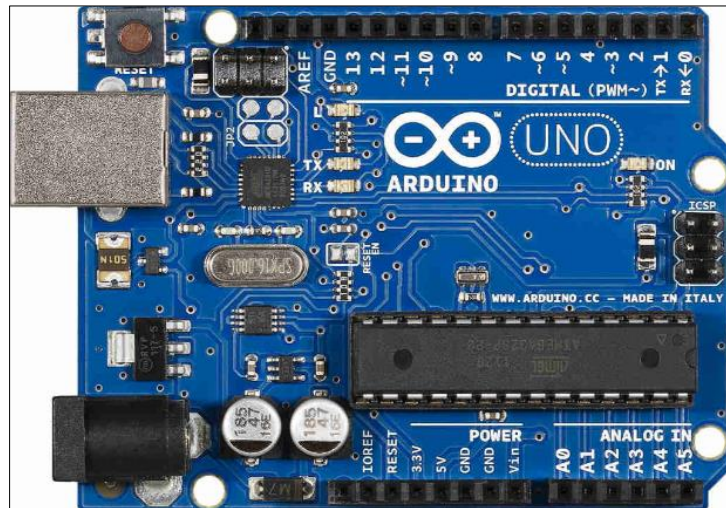


Figura 31, Arduino UNO

Fuente: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

2.15.1.2 Arduino pro

Es una placa robusta y con un mejor acabado final véase figura 33, viene tanto en 3.3V/8MHz y 5V/16MHz, la cantidad de pines y periféricos que posee son iguales a los que tiene el Arduino UNO, pues está basado en el mismo micro controlador (ATmega328) pero carece de convertidor Serial-USB por lo que necesita de un cable FTDI para programarse, siendo una opción más barata que el Arduino UNO.



Figura 32, Arduino pro

Fuente: <http://5hertz.com/tutoriales/wpcontent/uploads/2014/03/qac1.2.jpg>

2.15.1.3 Arduino pro mini

Esta es una versión miniatura del arduino pro, su diseño ha sido pensado para aplicaciones donde se requiere ahorrar espacio o no se disponga de él, además poseen un menor coste en relación a otras placas de Arduino.

Para programarse requiere de un cable FTDI y si se le sueldan pines puede adaptarse ya sea a un protoboard o a una placa, incluye un micro controlador ATmega168. Tiene 14 E/S digitales (6 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador interno, botón de RESET y agujeros para el montaje de tiras de pines.

La distribución de los pines es compatible con la Arduino Mini. Existen dos versiones de la Mini Pro, una que funciona a 3.3v y 8Mhz y otra de 5v y 16MHz (López, 2016).

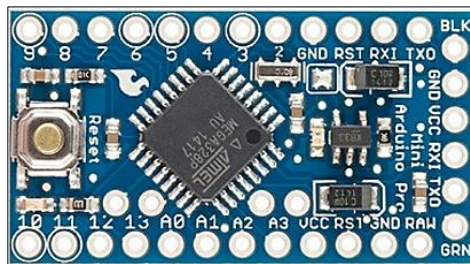


Figura 33, Arduino pro mini

Fuente: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoProMini_Front_3v3.jpg

2.15.1.4 Arduino mega

Es la placa más robusta y potente de arduino es compatible con los shields de Duemilanove, Diecimila y Uno.

Basada en ATmega1280 esta tarjeta cuenta con una cantidad mayor de I/O que el arduino Uno (54 vs 14 del Uno), además de tener 14 salidas PWM, 4 puertos UART, I2C y 16 entradas analógicas, su memoria es de gran capacidad ideal para códigos muy extensos que requieren de una gran cantidad de variables (5Hertz, 2014).



Figura 34, Arduino mega

Fuente: <http://5hertz.com/tutoriales/wp-content/uploads/2014/03/qac1.6.jpg>

2.15.1.5 Arduino ethernet

Está basada en el micro controlador ATmega328 igual que arduino uno, su principal característica es la de poder conectarse a una red a través de su puerto ethernet, además cuenta con un slot para tarjetas uSD lo que nos da la posibilidad de guardar una gran cantidad de información y utilizarla cuando uno lo necesite, aunque se haya reseteado la tarjeta. (5Hertz, 2014)

Para poder utilizar la comunicación ethernet se usan los pines del 10 al 13 y no se deben usar para otros propósitos, la cantidad de pines digitales se reduce a un total de 9 y las salidas PWM son 4.



Figura 35, Arduino ethernet

Fuente: <http://5hertz.com/tutoriales/wp-content/uploads/2014/03/qac1.9.jpg>

A continuación en la tabla 6 se puede observar una comparación de las características de algunos tipos de placas arduino incluyendo los mencionados con anterioridad.

Tabla 6

Comparación de características de los tipos de placas arduino

	Voltaje De Operación	Voltaje De Alimentación	Flash [KB]	SRA M [KB]	I/O digitales /PWM	Pines Analógicos (I/O)	UART	Compatibilidad Con Shields	Notas
Uno	5v	7-12v	32	2	14/6	6/0	1	Excelente	
Pro	5v	5-12v	32	2	14/6	6/0	1	Excelente	Requiere FTDI para programar
Pro Mini	5v	3.35-12v	32	2	14/6	6/0	1	N/A	
Leonardo	5v	7-12v	32	2.5	20/7	12/0	1	Decente (diferencias de pines)	USB nativo
Mega	5v	7-12v	256	8	54/15	16/0	4	Buena (Algunas diferencias de pines)	
Mega ADK	5v	7-12v	256	8	54/15	16/0	4	Buena (Algunas diferencias de pines)	Funciona con ADK (Android)
Due	3.3v	7-12v	512	96	54/12	12/2	4	Mala (Diferencias de pines y voltaje)	El procesador más rápido
Ethernet	5v	7-12v	32	2	14/4	6/0	-	Muy buena (pocos conflictos con pines)	Requiere FTDI para programar
Lilypad	3.3v	2.7-5.5v	32	2	9/4	4/0	-	N/A	País para coserse
Esplora	5v	5v	32	2.5	N/A	N/A	-	N/A	Integración nativa con sensores

Fuente: <http://5hertz.com/tutoriales/?p=571>

2.16 Tipo de Arduino seleccionado.

Si bien es cierto las características de las placas arduino en su mayoría son similares, estas varían principalmente en la cantidad de entradas/salidas analógicas y digitales, disponibilidad de memoria y otras funciones especiales.

Como objetivo se busca un sistema que no sea robusto; pero que brinde las características necesarias para ser el controlador principal del sistema por ello como controlador se eligió, el arduino pro mini el cual dispone de las entradas y salidas analógicas necesarias, así como un tamaño de memoria suficiente para el desarrollo del programa principal. Además que su tamaño es relativamente pequeño en comparación a otras placas y su precio es mucho más económico.

2.17 LabVIEW

Actualmente es un software muy utilizado a nivel mundial cuya programación es de tipo gráfico es decir usa lenguaje G y su aplicación va desde adquisición, control, análisis, presentación y guardado de datos, comunicación serial y todo tipo de control de instrumentación.

Labview es compatible con sistemas que utilizan lenguaje C o BASIC y puede trabajar sin ningún problema con plataformas como Arduino.

Es un software muy versátil y con algunas ventajas a la hora de utilizarlo, dichas ventajas las podemos observar en la tabla 7.

Tabla 7

Ventajas de usar LabVIEW

1	Consta de un compilador gráfico que se ejecuta a la máxima velocidad posible.
2	Incorpora aplicaciones y diseños escritos en otros lenguajes.
3	El software tiene un sistema donde se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
4	Su uso ayuda a los usuarios a crear soluciones completas y complejas en sus proyectos.
5	Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
6	Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
7	Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.

Fuente: (Tapia Ayala & Manzano Yupa, 2013)

2.17.1 Programación gráfica de LabVIEW

Cuando creamos un programa con LabVIEW creamos algo que se conoce como VI (instrumento virtual) y esta VI se las puede usar en otras aplicaciones como una sub función dentro de un programa general.

Los VI se caracteriza por tener un símbolo que está relacionado con la función que cumplen, tienen interfaz con el usuario, tener entradas con el color de identificación de dato, una o varias salidas que pueden ser reutilizadas (Tapia Ayala & Manzano Yupa, 2013).

LabVIEW gracias a su lenguaje gráfico permite ver el flujo de datos y contenido de un código que se haya generado.

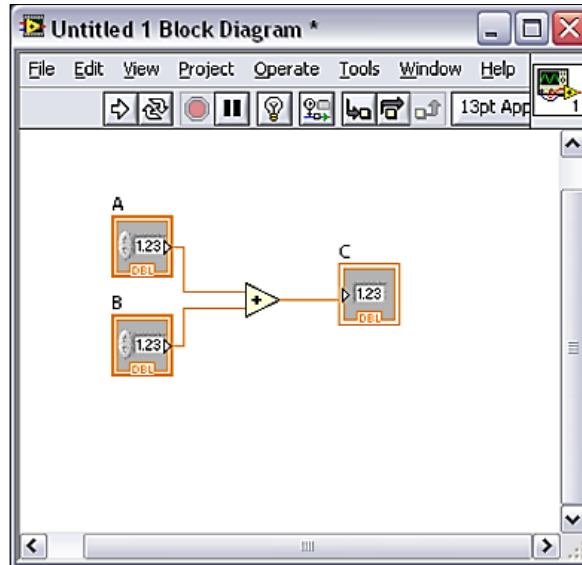


Figura 36, Programación gráfica de LabVIEW

Fuente: El Autor, 2015

2.17.2 Entorno de LabVIEW

Labview dentro de su entorno consta de dos partes, un panel frontal y un panel de código.

En el panel frontal es donde el usuario diseña su programa insertando las variables, indicadores y controladores de manera gráfica que poco a poco irán armando la interfaz.

En el panel de código se ven representados todos y cada uno de los componentes insertados anteriormente en el panel frontal, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un código que los identifica dentro del programa, además los controles pueden ser de tipo booleano, strings, numérico, arrays y los indicadores tablas graficas todo de forma que sea visual al usuario.

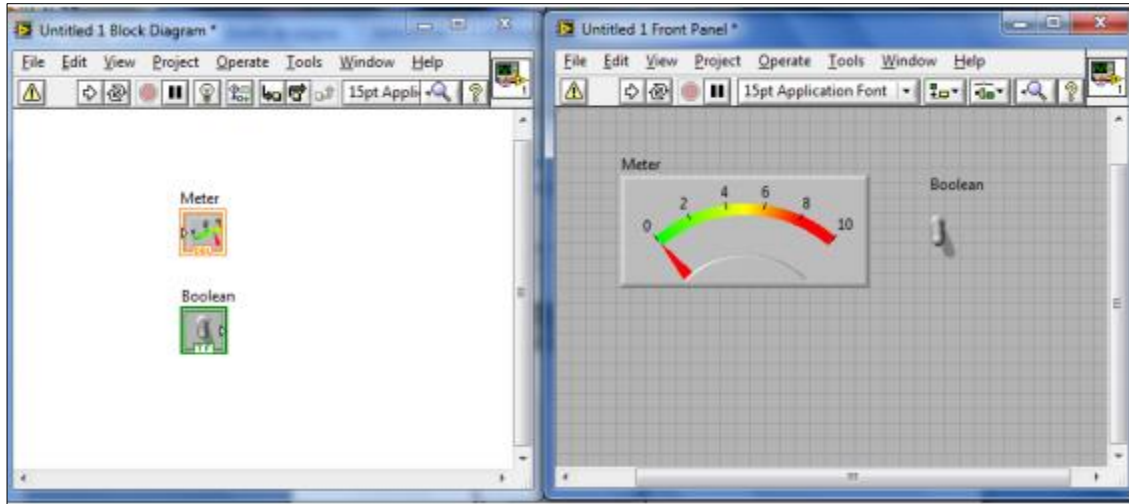


Figura 37, Panel frontal y panel de código LabVIEW

Fuente: El Autor, 2015

Glosario de términos

Arduino: es una plataforma de hardware de código abierto que conecta el mundo físico con el virtual o el mundo analógico con el digital

Colector solar: superficie sobre la cual inciden los rayos del sol.

Comunicación serial: en telecomunicaciones e informática, es el proceso de envío de datos de un bit a la vez, de forma secuencial, sobre un canal de comunicación o un bus.

Energías renovables: energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ejemplo: eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa, etc.

Irradiancia: cantidad de energía solar recibida por unidad de área en un tiempo dado.

Motor Stirling: un motor Stirling es un motor térmico operando por compresión y expansión cíclica de aire u otro gas, el llamado fluido de trabajo, a diferentes niveles de temperatura que convierten energía calorífica a energía mecánica.

PWM: modulación por ancho de pulso de una señal o fuente de energía.

Radiación solar: es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol

Reflectancia: capacidad de un cuerpo de reflejar la luz

Seguidor solar: es un dispositivo mecánico capaz de orientar una superficie captadora de forma que permanezca aproximadamente perpendicular a los rayos solares, siguiendo al sol desde el este en la alborada hasta el oeste en la puesta

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

En el presente proyecto se investigó las particularidades de los diferentes tipos de sistemas de seguimiento solar y los dispositivos electrónicos que permitirán su control automático los cuales serán utilizados en la implementación para el generador termo solar, cabe desatacar que la investigación se generalizó de acuerdo al propósito a alcanzar.

Es importante mencionar que toda la investigación se generaliza de acuerdo a los objetivos que se plantean en el trabajo de investigación, es por esto que se utilizó la investigación bibliográfica o documental, la investigación tecnológica, la investigación aplicada o práctica.

3.1.1 Investigación bibliográfica y documental

Este tipo de investigación bibliográfica y documental mediante la realización de diversas consultas en libros, revistas, manuales catálogos, folletos y páginas de internet; los cuales ayudaron a tener una idea más clara y precisa sobre el diseño y la implementación de un sistema de seguimiento solar automático a un sistema ya sea de generación fotovoltaica como de generación termo solar.

3.1.2 Investigación tecnológica

Este método se apoya en la tecnología que se tiene al alcance, la cual permitirá realizar demostraciones pertinentes en el sistema automático de seguimiento solar y utilizar métodos específicos apoyados en teorías comprobadas. Con este método se determinará las características de los diversos componentes que existen en el mercado y a su vez de los dispositivos electrónicos a implementarse en todo el sistema.

3.1.3 Investigación aplicada o práctica

Se caracteriza por la aplicación de los conocimientos que se han adquirido, este tipo de investigación se utilizará para realizar pruebas de funcionamiento de todo el sistema automático de seguimiento solar y de cada uno de sus elementos que lo compone mediante desarrollo de pruebas de funcionamiento y operación.

3.2. Métodos

3.2.1 Método inductivo deductivo

El método mencionado va de lo general a lo particular y algo que tenemos que tomar muy en cuenta es que este método se basa en datos teóricos y reales. Este método contribuye con verdades y hechos previamente comprobados, como un inicio general para especificar los aspectos, supuestos, destrezas y mecanismos particulares que constituyen esta investigación.

3.2.2 Método analítico sintético

El método analítico sintético consiste en la separación de un todo en sus partes, para observar su naturaleza u origen; este método permite investigar de una forma individual cada uno de los elementos que conforman el sistema automático de seguimiento solar.

CAPITULO IV

PROPUESTA TECNOLÓGICA

4.1 Tema

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SEGUIMIENTO SOLAR PARA UN GENERADOR TERMO SOLAR.

4.2. Justificación

Es importante realizar la investigación a fin de obtener mejores resultados al momento de alcanzar conocimiento respecto a las energías renovables y su aplicación en la generación de electricidad.

El desarrollo de este proyecto dará continuidad inmediata a la investigación en el aprovechamiento en energía solar térmica y permitirá a la CIMANELE tener un sistema de generación termo solar completo que sea la base de futuras investigaciones: El sistemas en su conjunto, será un aporte para mejorar el material pedagógico y equipo de investigación con respecto a los sistemas de generación que utilizan energías renovables y a su vez los sistemas de automatización que se pueden implementar para mejorar su rendimiento, tomando en cuenta que la tecnología de control a implementarse permitirá nuevas y diversas formas de almacenamiento de información y a la manipulación de la misma, por parte del profesorado y el alumnado, mediante el uso de herramientas tecnológicas, el presente proyecto, junto a otros proyectos de similar alcance, intenta aportar a una evolución en el sistema educativo dentro de la institución.

Además la investigación se basará en todos los aspectos que se requiere para un diseño de sistema de control y además en el estudio de sistemas de generación de energías limpias.

4.3 Objetivos

4.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar.

4.3.2. Objetivos específicos

1. Diseñar un sistema de seguimiento solar en un eje azimutal para el generador termo solar, de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.
2. Diseñar e implementar un sistema mecánico sencillo que permita ejecutar el seguimiento solar en un grado de libertad.
3. Implementar un sistema de control electrónico utilizando Arduino para realizar el seguimiento solar de manera automática.
4. Visualizar mediante una interfaz gráfica diseñada en LabVIEW la posición de seguimiento solar del disco parabólico a lo largo del día.

4.4 Desarrollo de la propuesta

4.4.1 Diseño y construcción del sistema mecánico del seguidor

Se ha realizado el diseño mecánico de movilidad del seguidor solar utilizando poleas y cables tensores, en conjunto con un motor trifásico de inducción para inclinar el disco parabólico según el ángulo azimutal, moviéndose de Este-Oeste.

En la Fig. 38 se representa mediante un esquema simplificado el diseño mecánico, donde los componentes principales están señalados, el esquema se realizó utilizando el software SketchUp.

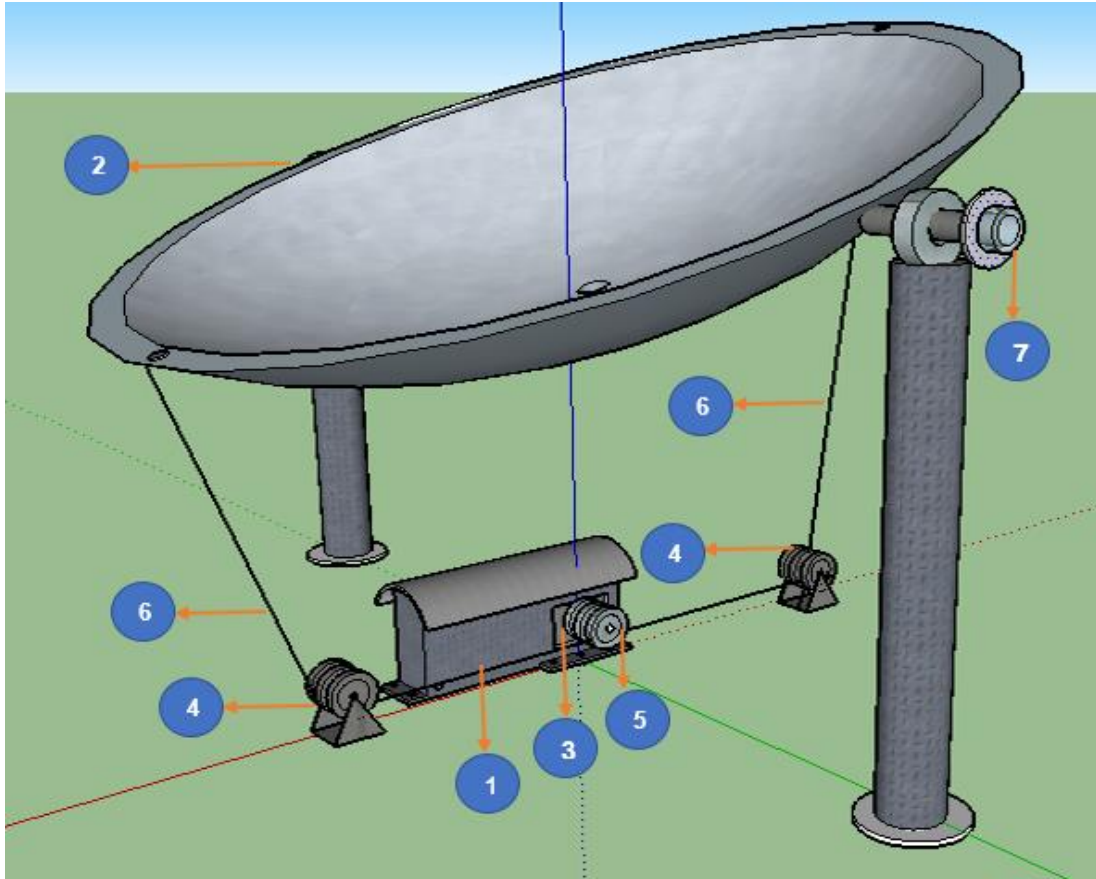


Figura 38, Esquema simplificado del seguidor solar diseñado (sin escala)

Fuente: El Autor, 2016

Tabla 8

Componentes Principales del diseño mecánico

1	Base para el motor
2	Generador Termo Solar
3	Motor AC con caja reductora
4	Poleas
5	Polea para eje del motor
6	Cable tensor
7	Acople para el sensor de posición

Fuente: El Autor, 2016

4.4.1.1 Base para el motor

Este soporte metálico se ha diseñado con la finalidad de situar el motor AC con su respectiva caja reductora, de tal manera que quede posicionado correctamente para su funcionamiento, además la base sirve como apoyo para evitar el contacto con el suelo, consta de perforaciones necesarias para posicionar de manera fija, proporcionando de esta manera seguridad y estabilidad al sistema en general.

La Fig. 39 muestra el diseño de la base para el motor realizada en SolidWorks con sus respectivas dimensiones en mm, la base consta de un techo, elemento necesario debido a que el disco parabólico para evitar la acumulación de agua posee perforaciones previamente echas por donde esta fluye como sistema de desague hasta el suelo, por ello como prevención se ha implementado el techo en la base, para evitar que el agua produzca cortocircuitos en la bornera del motor así como daños en su estructura.

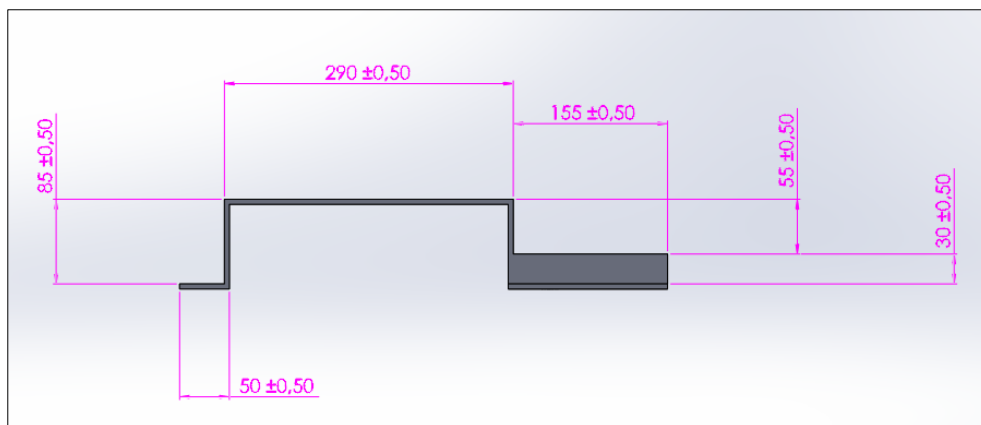


Figura 39, Base de motor vista lateral

Fuente: El Autor, 2016

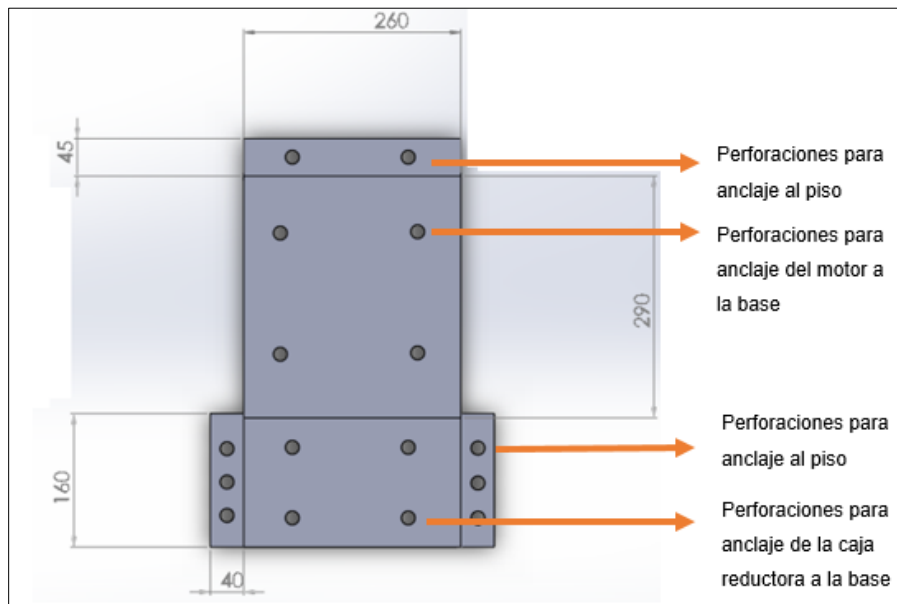


Figura 40, Base de motor vista desde arriba

Fuente: El Autor, 2016

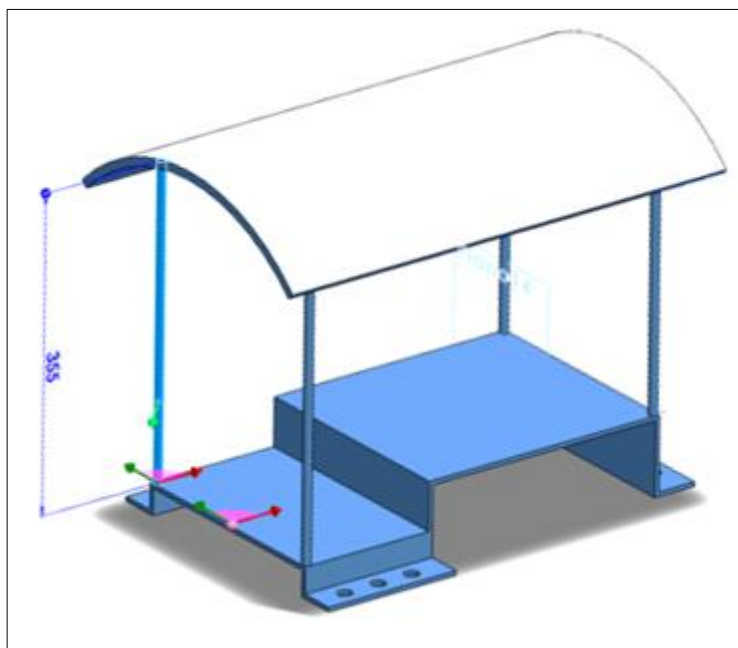


Figura 41, Base de motor vista 3D

Fuente: El Autor, 2016



Figura 42, Construcción base de motor

Fuente: El Autor, 2016

4.4.1.2 Generador termo solar



Figura 43, Generador termo solar de disco parabólico y motor stirling

Fuente: El Autor, 2016

Tabla 9*Características generales del generador termo solar*

Características Físicas	
Diámetro del disco parabólico	4m
Altura de las columnas de soporte	2 m 28 cm
Movilidad proporcionada por el eje rotatorio del disco parabólico	60° de ambos lados
Características de Funcionamiento	
Voltaje entregado por el motor stirling en vacío	12 V
Irradiancia de operación	1.162 W/m ²
Temperatura de operación	347 °C

Fuente: El Autor, 2016

4.4.1.3 Motor

Previamente antes de dimensionar el motor se analizó implementar un sistema en donde la fuerza aplicada, sea en los extremos del disco parabólico para así obtener la movilidad deseada, por tal motivo para determinar la cantidad de fuerza necesaria se utilizó un instrumento de medida llamado dinamómetro, el cual es una herramienta que a partir de los cambios en la elasticidad de un muelle con una determinada calibración, permite el cálculo del peso de un cuerpo o la medición de una fuerza.

La medida obtenida en kgf es de 10.5 kg en cada uno de los extremos del disco parabólico, transformando a Newton para determinar la fuerza necesaria que deberá aplicarse nos queda lo siguiente.

Conocemos la masa = 10.5 kg, la aceleración es $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

La fuerza que se necesita para mover al disco parabólico en sus extremos es igual a la masa por la aceleración.

$F = \text{masa} \times \text{gravedad}$

$$F = 10.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 102.9 \text{ N}$$

$$N = [\text{kgm/s}^2]$$

La fuerza fue medida inclinando al máximo el disco parabólico pero se considera un desplazamiento máximo de un metro en cada lado por ello el torque sería.

$$T = F \times d$$

$F = \text{fuerza aplicada [N]}$

$$T = 102.9 \text{ N} \times 1 \text{ m}$$

$d = \text{distancia de desplazamiento [m]}$

$$T = 102.9 \text{ Nm}$$

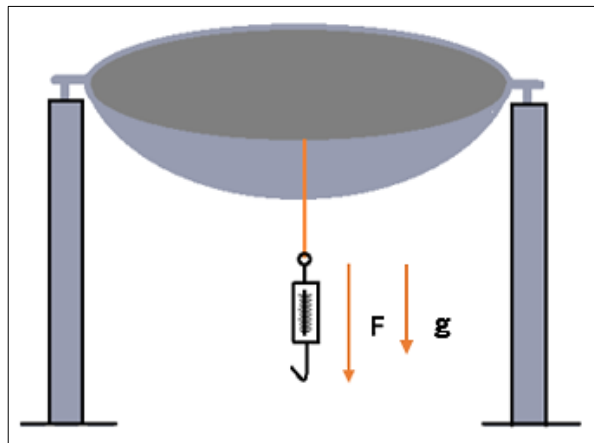


Figura 44, Esquema de medición de fuerza

Fuente: El Autor, 2016

Se dispone de un motor CA trifásico de inducción con una potencia de 1 HP = 746 W a 1660 rpm, el resto de sus características se observan en la placa del motor Fig. 45.

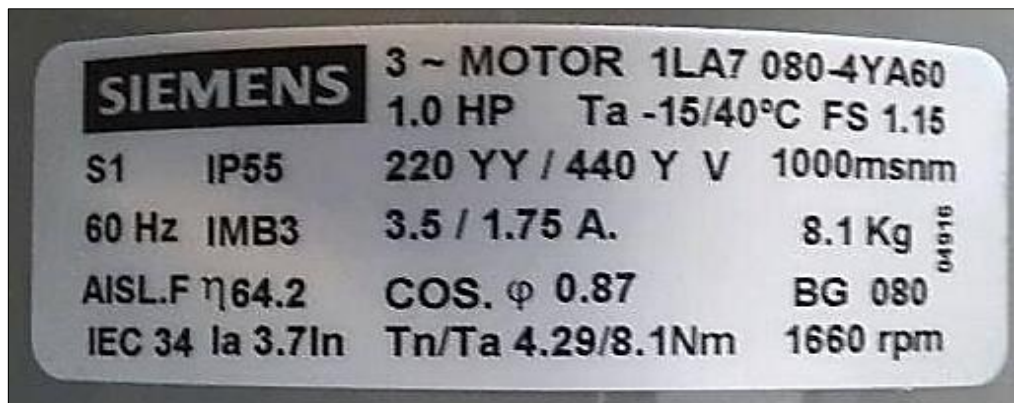


Figura 45, Placa de características del motor

Fuente: El Autor, 2016

Para que el sistema funcione de manera adecuada se necesita que su movimiento sea lento, es decir que las rpm sean más bajas que el valor nominal del motor, por ello se vio la necesidad de implementar una caja reductora de engranajes.

La finalidad de la caja reductora es disminuir las rpm y así obtener un movimiento más suave y a su vez aumentar el torque del motor, ya que el que posee originalmente no es suficiente para mover al disco parabólico.

Por disponibilidad del mercado y costos se adaptó la siguiente caja reductora, la cual fue dimensionada por el proveedor acorde a las características del motor de CA y a las necesidades del torque que se requiere para el funcionamiento del sistema mecánico, las características de la caja reductora se observan en la tabla 10.

Tabla 10*Características caja reductora de velocidad*

Revoluciones	1800 rpm
Potencia	1 HP
Velocidad requerida	60 rpm
Velocidad real	1660 rpm
Frame del Motor	80
Torque máximo	166 Nm
i utilizado	25
i calculado	27, 666
Velocidad calculada Ns1	66,4 rpm
Torque calculado	107,293 Nm
Factor de Servicio (Fs)	1,5471

Fuente: Proveedor del producto

El torque calculado para la caja reductora se realizó de la siguiente manera:

$$V_c = \frac{V}{i}$$

Donde:

V_c = velocidad calculada

V = velocidad real del motor

i = coeficiente de reducción

Se tiene el dato de la velocidad real del motor, la cual se encuentra en la placa de características, se la divide para el coeficiente de reducción de la caja reductora dando como resultado:

$$V_c = \frac{1660 \text{ rpm}}{25}$$

$$V_c = 66.4 \text{ rpm}$$

Una vez obtenida la velocidad calculada o velocidad de reducción, se calcula el torque que se obtendrá al trabajar con esta velocidad de reducción, aplicando la siguiente fórmula.

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Donde:

T = torque [Nm]

P = potencia del motor [watts]

ω = velocidad del motor [rad/s]

Primero para poder aplicar esta fórmula es necesario transformar la potencia del motor de [hp] a [W] y la velocidad de reducción de revoluciones por minuto [rpm] a [rad/s].

$$P = 1 \text{ HP} \times \frac{746 \text{ W}}{\text{HP}}$$

$$P = 746 \text{ W}$$

$$\omega = 66.4 \text{ rpm} \times \frac{2\pi}{60}$$

$$\omega = 6.95 \text{ rad/s}$$

Una vez realizado la transformación se calcula el torque proporcionado por la caja reductora dando como resultado lo siguiente:

$$T = \frac{746 \text{ W}}{6.95 \text{ rad/s}}$$

$$T = 107.29 \text{ Nm}$$

Al utilizar la caja reductora se reducen las rpm y se obtiene un aumento considerable en el torque, el cual es suficiente para mover el disco parabólico usando como punto de apoyo sus extremos.



Figura 46, Motor de CA con caja reductora

Fuente: El Autor, 2016

4.4.1.4 Poleas

Las poleas se implementaron al sistema después de las primeras pruebas realizadas únicamente con el motor y su eje de rotación, para distribuir la carga del peso del generador termo solar se colocó dos poleas para motor de dos canales debidamente adaptadas para ser empotradas en el piso, gracias a las poleas se logra jalar el disco parabólico con una importante componente paralela al movimiento que va realizar el disco parabólico de esta manera además de facilitar la movilidad del disco parabólico sirven como punto de apoyo y sujeción ante la presencia de cambios climáticos.

El eje del motor también está constituido por una polea para motor de dos canales, las poleas son de las mismas medidas y sus características se muestran en la tabla 11.

Tabla 11

Características de las poleas utilizadas

Material	Aluminio
Canales	2
diámetro	8,89 cm

Fuente: El Autor, 2016

4.4.1.5 Relación de velocidades de las poleas

En las poleas la transmisión del movimiento entre dos ejes se encuentra en función de su diámetro, cumpliéndose en todo momento la siguiente relación.

$$N1 \times D1 = N2 \times D2$$

$$N2 = N1 \times (D1/D2)$$

D1 = diámetro de la polea conductora

D2 = diámetro de la polea conducida

N1 = velocidad de giro de la polea conductora

N2 = velocidad de giro de la polea conducida

La relación de velocidades (i) queda definida como:

$$i = \frac{\text{Velocidad eje conductor}}{\text{Velocidad eje conducido}} = \frac{\text{Diámetro polea conducida}}{\text{Diámetro polea conductora}}$$

$$i = \frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1}$$

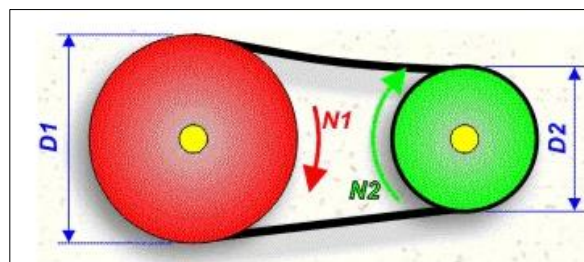


Figura 47, Características de las poleas utilizadas

Fuente: El Autor, 2016

Como en nuestro caso de estudio la finalidad de las poleas no es ni aumentar ni disminuir la velocidad, si no transmitir la misma velocidad de giro del eje conductor del motor entonces debe cumplirse la siguiente relación.

$$D1 = D2$$

$$N1 = N2$$

Entonces si las dos poleas tienen igual diámetro, las velocidades en los ejes serán iguales.



Figura 48, Poleas utilizadas en el mecanismo

Fuente: El Autor, 2016

4.4.1.6 Cables tensores

Para la movilidad del disco parabólico se ha utilizado cables tensores lo cuales por sus características son óptimos para la función que van a realizar, dichas características se las puede observar en la tabla 12.

Tabla 12

Características de los cables tensores utilizados

Material	Acero Galvanizado
Diámetro	0,32 cm
Peso soportado	154 kg

Fuente: El Autor

El cable se enrolla en la polea del motor, dando vueltas, pasa por las dos poleas y se ata al borde del disco parabólico por un extremo, y al borde contrario, por el otro extremo. Gracias a las vueltas y al rozamiento entre el cable y el eje del motor, el cable no desliza sobre este eje, sino que se recoge de un lado y se suelta del otro cuando el motor gira.

4.4.1.7 Acople para el sensor de posición

Para el correcto funcionamiento del sistema, la variable principal a medir es la posición en la que se encuentra el disco parabólico, gracias al acelerómetro se puede obtener esta medida en grados.

Fue necesario adaptar el sensor de posición es decir el acelerómetro al eje de movilidad del disco parabólico, para ello se diseñó un acople metálico con una carcasa plástica para que el sensor este protegido de las condiciones climáticas como se ve en la Fig. 49.



Figura 49, Acople y carcasa de protección para el acelerómetro
Fuente: El Autor

4.4.1.8 Movimiento del disco parabólico

En esta estructura el incremento de tensión en el cable en un lado del disco parabólico, origina la aproximación a la polea por la cual recibe el cable del borde correspondiente del disco parabólico. Simultáneamente, el cable se suelta y se destensa en el lado contrario, permitiendo que este lado se aleje de la polea de la que recibe el cable. Como consecuencia, el disco parabólico gira con la orientación correspondiente. El mecanismo de movilidad simula al de un cabrestante, enrollando y desenrollando el cable.

4.4.1.9 Ensayos del mecanismo

Se han realizado distintos ensayos para determinar el ángulo máximo de giro del generador termo solar.

Se ha determinado que el ángulo de giro máximo del disco parabólico sin que el cable se rompa es de 60° hacia el Este y hacia el Oeste. En previsión de pequeños errores (redondeo de medida, rozamiento y fallo de inclinación, etc.), en el software se ha fijado el ángulo máximo a 50° en ambos sentidos.

Para el montaje mecánico no se ha conseguido obtener un sistema totalmente simétrico. Esto no afecta al buen funcionamiento del seguidor, pero hay que tener en cuenta este factor para programar la velocidad con que se va a controlar el giro del motor para conseguir el movimiento adecuado del disco parabólico,

4.4.2 Cálculo del ángulo de seguimiento del generador termo solar

4.4.2.1 Conceptos previos

1.- Longitud

Es la distancia angular entre un punto determinado de la superficie terrestre y el meridiano que se tome como meridiano de origen medida a lo largo de un paralelo. Se usa como origen el meridiano de Greenwich su valor va desde -180° a 180° y es positivo en dirección Oeste (Pintos Lanzuela, 2010).

2.- Latitud

Es la distancia angular que existe entre un determinado punto de la superficie terrestre y el Ecuador, se mide a lo largo del meridiano que pasa por ese punto, su valor va desde -90° a 90° , positivo hacia el Norte y negativo hacia el Sur (Pintos Lanzuela, 2010).

3.- Coordenadas de ubicación del generador termo solar

Utilizando Google Maps Fig. 50 se selecciona la ubicación del generador Termo Solar para determinar la latitud y longitud del lugar tabla 13.

Tabla 13

Coordenadas de ubicación generador termo solar

Latitud	0,3574°
Longitud	-78,11°

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



Figura 50, Ubicación del lugar usando google maps

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

4.4.2.2 Aplicación de las ecuaciones y resultados

En base a aplicación de las ecuaciones de posicionamiento astronómico mencionadas anteriormente, se obtuvo los siguientes resultados los cuales están calculados para un día determinado del año en intervalos de una hora.

Una vez que se conoce el día del año para el cual se quiere realizar el cálculo de ángulo azimutal, en este caso el 31 de Mayo del presente año, día al cual le corresponde el número 152 se obtiene los siguientes resultados descritos en la tabla 14, donde se puede observar el ángulo diario y la declinación en radianes; calculada para este día en particular.

Tabla 14

Resultados del cálculo de la ecuación del tiempo, hora solar, ángulo diario y declinación.

Fecha	Número del día	Hora oficial(h)	Ecuación del tiempo (h)	Hora solar (h)	Angulo diario (t)	declinación
31/05/2016	152	6	0,04	5,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	7	0,04	6,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	8	0,04	7,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	9	0,04	8,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	10	0,04	9,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	11	0,04	10,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	12	0,04	11,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	13	0,04	12,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	14	0,04	13,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	15	0,04	14,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	16	0,04	15,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	17	0,04	16,84	2,5922	0,38205
31/05/2016	152	18	0,04	17,84	2,5922	0,38205

Fuente: El Autor, 2016

Después de obtener tanto la declinación como el ángulo diario, se puede calcular el ángulo horario y la altura solar cuyos resultados se muestran en la tabla 15.

Tabla 15*Resultados del cálculo del ángulo horario y altura solar*

Angulo horario(w)	Altura solar en radianes	Altura solar en grados
-1,6117	-0,0356	-2,0385
-1,3499	0,2072	11,8689
-1,0881	0,4479	25,6619
-0,8263	0,6830	39,1307
-0,5645	0,9048	51,8388
-0,3027	1,0931	62,6272
-0,0409	1,1929	68,3466
0,2209	1,1377	65,1827
0,4827	0,9687	55,5047
0,7445	0,7542	43,2110
1,0063	0,5221	29,9140
1,2681	0,2826	16,1937
1,5299	0,0402	2,03053

Fuente: El Autor, 2016

Finalmente aplicando la ecuación 8 y obteniendo previamente los valores de las variables, se calculó el ángulo de seguimiento solar es decir el ángulo azimutal, cuyo valor determina en qué posición debe estar el disco parabólico del generador termo solar durante cada día del año en intervalos de una hora, con la finalidad de orientarlo lo más perpendicular posible a los rayos del sol.

Los ángulos a partir de las 6:00 h am hasta las 12:00 h pm son considerados hacia el Este, los posteriores desde las 13:00 h pm hasta las 18:00 h pm hacia el Oeste.

Tabla 16*Resultados del cálculo del ángulo azimutal*

Hora oficial (h)	Azimut en radianes	Azimut en grados
6	0,3826	21,9191
7	0,3894	22,3134
8	0,4232	24,2451
9	0,4956	28,3963
10	0,6379	36,5469
11	0,9254	53,0214
12	1,4679	84,1049
13	2,0766	118,9787
14	2,4350	139,5147
15	2,6114	149,6227
16	2,7009	154,7509
17	2,7448	157,2674
18	2,7595	158,1061

Fuente: El Autor, 2016

4.4.3 Diseño electrónico del seguidor solar de un grado de libertad

4.4.3.1 Introducción

El diseño del seguidor solar se basa principalmente en la creación de un algoritmo de programación, utilizando una placa electrónica arduino, el programa a desarrollarse, realizará los cálculos mediante fórmulas ya preestablecidas para la correcta orientación y posicionamiento del disco parabólico hacia el sol a lo largo del día.

El circuito electrónico envía las señales de activación y desactivación, mediante el uso de relés a un variador de frecuencia, para que el motor de CA realice el movimiento correcto del disco parabólico hacia el sol, debido a que las fórmulas nos dan un resultado de posición en ángulos es necesario retroalimentar la señal mediante un acelerómetro analógico, el cual confirmará la posición correcta y nos permitirá saber en qué ángulo está orientada la superficie captadora.

Se realizó una interfaz gráfica utilizando Labview en donde se podrán observar las variables y su comportamiento, el usuario mediante esta interfaz podrá corregir ciertos parámetros manualmente desde un computador.

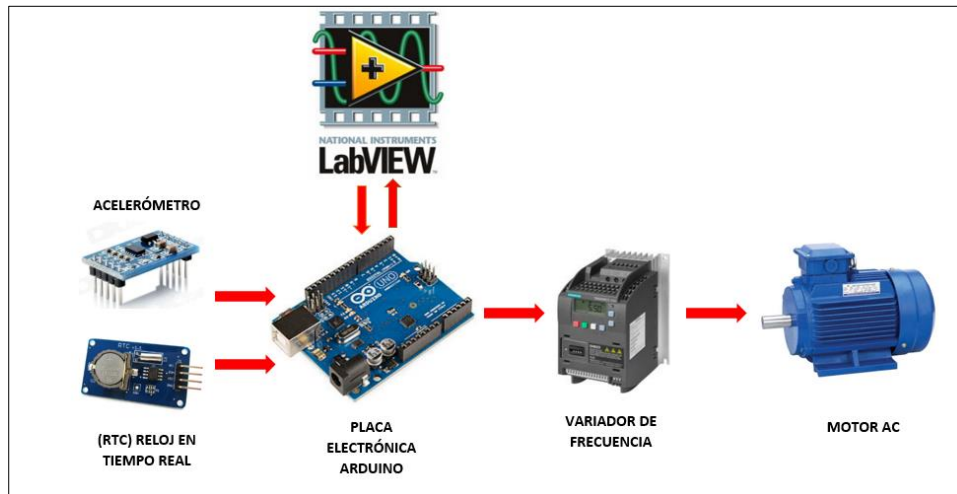


Figura 51, Esquema básico del seguidor solar

Fuente: El Autor, 2016

4.4.3.2 Circuito electrónico

Se describe cada uno de los componentes electrónicos que forman parte del sistema automático de seguimiento solar, aquí se incluyen los dispositivos de entrada, de control y de comunicación.

En la Fig. 52 se muestra la placa diseñada en el software PCB wizard para el sistema de seguimiento solar, la cual nos sirve como esquema general de los componentes que fueron necesarios para su diseño.

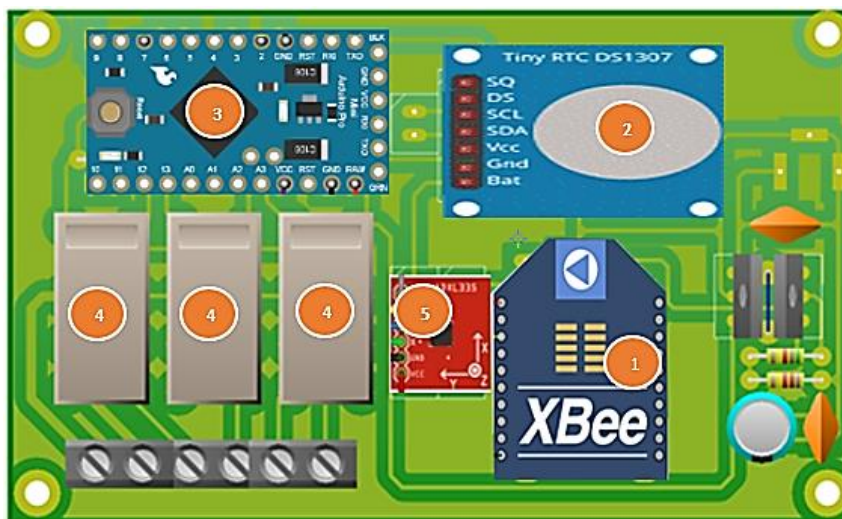


Figura 52, Circuito electrónico completo

Fuente: El Autor

Tabla 17

Componentes de la placa electrónica

COMPONENTES PRINCIPALES	
1	Acelerómetro 3 ejes GY-61 ADXL335
2	Reloj en tiempo real (RTC) DS1307
3	Arduino Pro Mini
4	Relés
5	Xbee pro S1
COMPONENTES SECUNDARIOS	
6	Condensador electrolítico
7	Condensador cerámico
8	Resistencias
9	Regulador de voltaje
10	Borneras
11	Transistores

Fuente: El Autor, 2016

4.4.3.3 Descripción de los componentes electrónicos

4.4.3.3.1 Acelerómetro

Los acelerómetros son dispositivos electromecánicos que pueden medir la aceleración en uno, dos o tres ejes. Existen de varios tipos de acuerdo a su comunicación la cual puede ser analógica, digital y por ancho de pulso (pwm).

El ADXL335 es un acelerómetro analógico de 3 grados de libertad es decir de 3 ejes, fabricado en tecnología MEMS con una excelente relación señal a ruido. El sensor tiene un rango de +/-3g. Esta tarjeta funciona a 3.3V.

La forma de conectar el acelerómetro a Arduino es muy sencilla y esta descrita en la sección de anexos.

Tabla 18

Características del acelerómetro GY61

Dispositivo	Rango	Interfaz	Ejes	Especificaciones
GY61	$\pm 3g$	Analógica	3 Ejes de censado.	Salida analógica. Bajo consumo: 350uA típico. Voltaje de trabajo: 3.3 V Compatible con Arduino, AVR o PIC. Temperatura de operación: -40° a 85° C.

Fuente: El Autor, 2016

4.4.3.3.2 Reloj en tiempo real (RTC)

En el presente trabajo el tiempo es una variable importante para realizar el proceso del seguimiento solar, por ello se usó un reloj en tiempo real Fig. 53 con la finalidad de mantener los datos inclusive si se apagase nuestro sistema.

Este circuito electrónico cuya función es mantener la hora y fecha actual en un sistema informático por ejemplo un micro controlador, se caracteriza por tener un bajo consumo de energía y su propia fuente de alimentación auxiliar y al utilizar este tipo de circuitos integrados se obtiene una mejor precisión del tiempo, el modelo utilizado fue el DS1307 cuyas características podemos observar en la tabla 19.

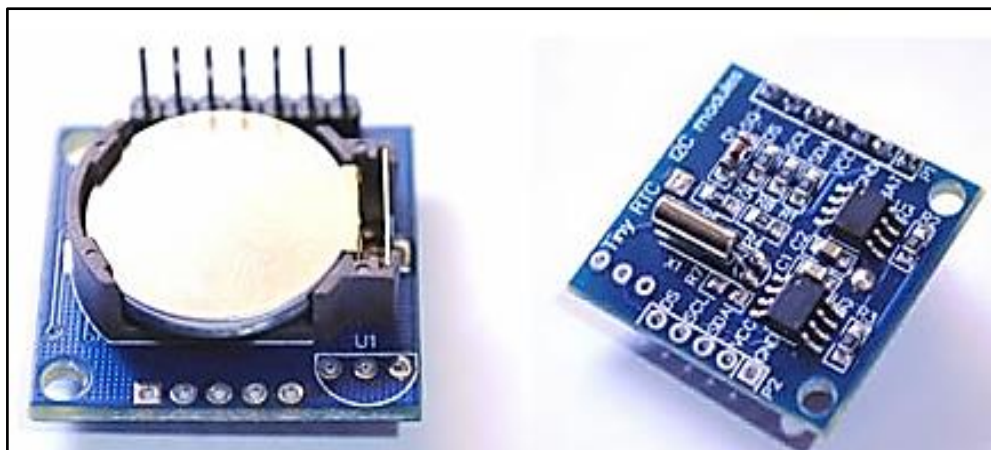


Figura 53, RTC DS1307

Fuente:<http://www.tuelectronica.es/tutoriales/arduino/reloj-rtc-i2c-con-arduino.html>

La configuración de este dispositivo no es necesaria, basta con conectarlo a la placa de arduino y utilizar los comandos dentro del código de programación para llamar a sus funciones.

Tabla 19*Características del RTC DS1307*

ITEM	DESCRIPCIÓN
RTC	Real Time Clock, lleva la cuenta de segundos, minutos y horas además de día, mes y año automáticamente válido hasta el año 2100.
Memoria ram	56 bytes, respaldada por una batería exterior, que mantiene la fecha y hora cuando no existe corriente.
Detección automática	De corte de corriente y cambio a modo batería
Bajo consumo	La batería dura entre 5 y 10 años
Comunicación	I2C integrado en el mismo chip
Voltaje de funcionamiento	5 Vcc
Corriente de trabajo	500 Na

Fuente: El Autor, 2016

4.4.3.3 Arduino pro mini

Este arduino Fig. 54 es una versión pequeña del Arduino Pro, Posee un tamaño pequeño pero esto no afecta sus características que son similares a la versión pro, este tipo de arduino es el que se utilizó para controlar el sistema en general cuyas características se observan en la tabla 20.

Posee el número necesario de entradas/salidas analógicas y digitales para el uso de nuestro sensor de posición angular y la suficiente capacidad de memoria, para desarrollar las operaciones matemáticas requeridas por el algoritmo de seguimiento por posicionamiento astronómico.

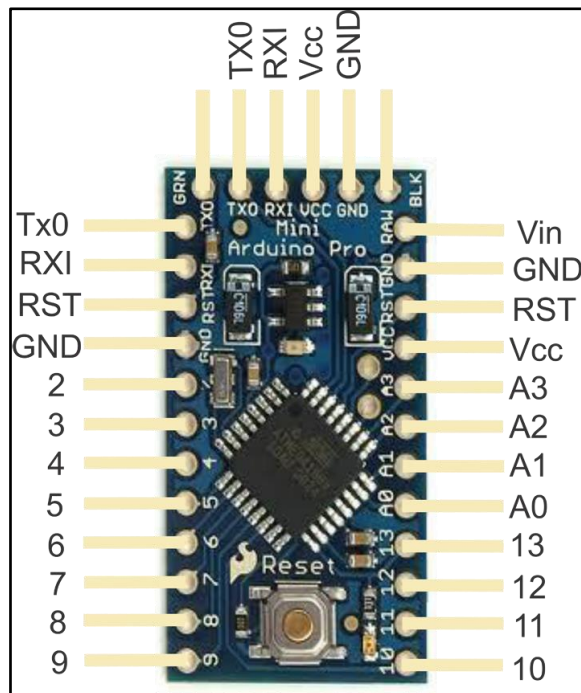


Figura 54, Arduino pro mini

Fuente: <http://comohacer.eu/wp-content/uploads/2014/07/arduino-pro-mini1.jpg>

Tabla 20

Características del Arduino mini pro

Micro controlador	ATmega168
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada	3.35 -12 V (modelo de 3.3V) o 5 - 12 V (modelo de 5V)
E / S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Entradas analógicas	8
Corriente continua para Pin E/ S	40 mA
Memoria Flash	16 KB (de los cuales 2 KB son usados por el gestor de arranque)
SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Velocidad del reloj	8 MHz (modelo de 3.3V) o 16 MHz (modelo de 5V)

Fuente: El Autor, 2016

4.4.3.3.4 Relés

El uso de relés Fig. 55 como mecanismo de activación y desactivación, son los encargados de enviar las señales al variador para controlar el giro del motor ya sea en sentido horario o anti horario, se utilizó relés debido a que arduino no puede enviar tensiones por sobre los 5 voltios ni manejar corrientes elevadas, los relés en cambio sí pueden hacerlo permitiendo de esta manera funcionar como mecanismo de activación y desactivación de los modos de operación del variador.

Según el macro de conexión utilizado se maneja 24 voltios en corriente continua, por ello se hacen necesarios los relés como elementos que permitan unir la parte de potencia y de control en el sistema, las características de los relés utilizados se observan en la tabla 21.

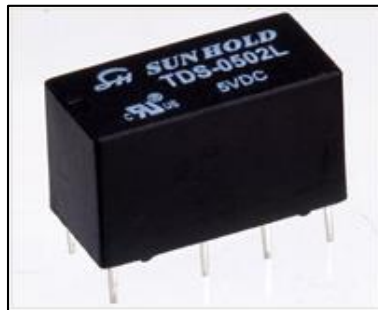


Figura 55, Relé automático de 5VDC 2 A

Fuente: http://www.sunhold.com/product_2.php?SNO2=42&SNO3=58&Vcode=106

Tabla 21

Características del relé TDS-0502L

Corriente de contacto	2A
Nominales de los contactos	24 VDC 2A
Voltaje de la bobina	3-48 VDC
Resistencia de aislamiento	DC500V 1000M Ω

Fuente: El Autor, 2016

4.4.3.3.5 Xbee

Este dispositivo se ha utilizado con el objetivo de crear una comunicación serial inalámbrica, entre una computadora y arduino el cuál controla el sistema automático de seguimiento solar, el modelo utilizado se lo puede observar en la Fig. 56 y sus características se describen en la tabla 22.

Xbee trabaja con un protocolo serie TTL y la ventaja de estos dispositivos es que permiten una comunicación bidireccional entre microcontroladores, ordenadores o prácticamente cualquier otro elemento que disponga de un puerto Serie/USB a nivel TTL.

Su conexión es muy sencilla solo requiere de su alimentación de corriente continua y de dos cables, uno de envío y otro de recepción de datos.



Figura 56, Xbee Pro chip antenna- S1

Fuente: <http://xbee.cl/que-es-xbee>

Como solo se utiliza dos dispositivos Xbee la comunicación será punto a punto, esta comunicación no requiere configuración alguna, solamente mantener la identificación o número de fábrica con el que ya vienen registrados los dos dispositivos Xbee.

Tabla 22*Características Xbee Pro chip antena- S1*

Alimentación:	3.3V
Velocidad de transferencia	250kbps Max
Potencia de salida	1mW o 60mW (+18dBm) 1A bajo trabajo de transmisión continua
Alcance	90metros o 1500 metros aprox.
Certificado	FCC
pinos ADC de 10-bit	6
pinos digitales IO	8
Encriptación	128-bit
Configuración	local o de forma inalámbrica
Comandos	AT o API

Fuente: <http://tienda.ray-ie.com/modulos-rfradio/27-modulo-xbee-series-1.html>

4.4.4 Circuito eléctrico

4.4.4.1 Diagrama de conexión eléctrica

El diagrama de conexión eléctrica tanto de la parte de potencia como la parte de control se la puede observar en la Fig. 57.

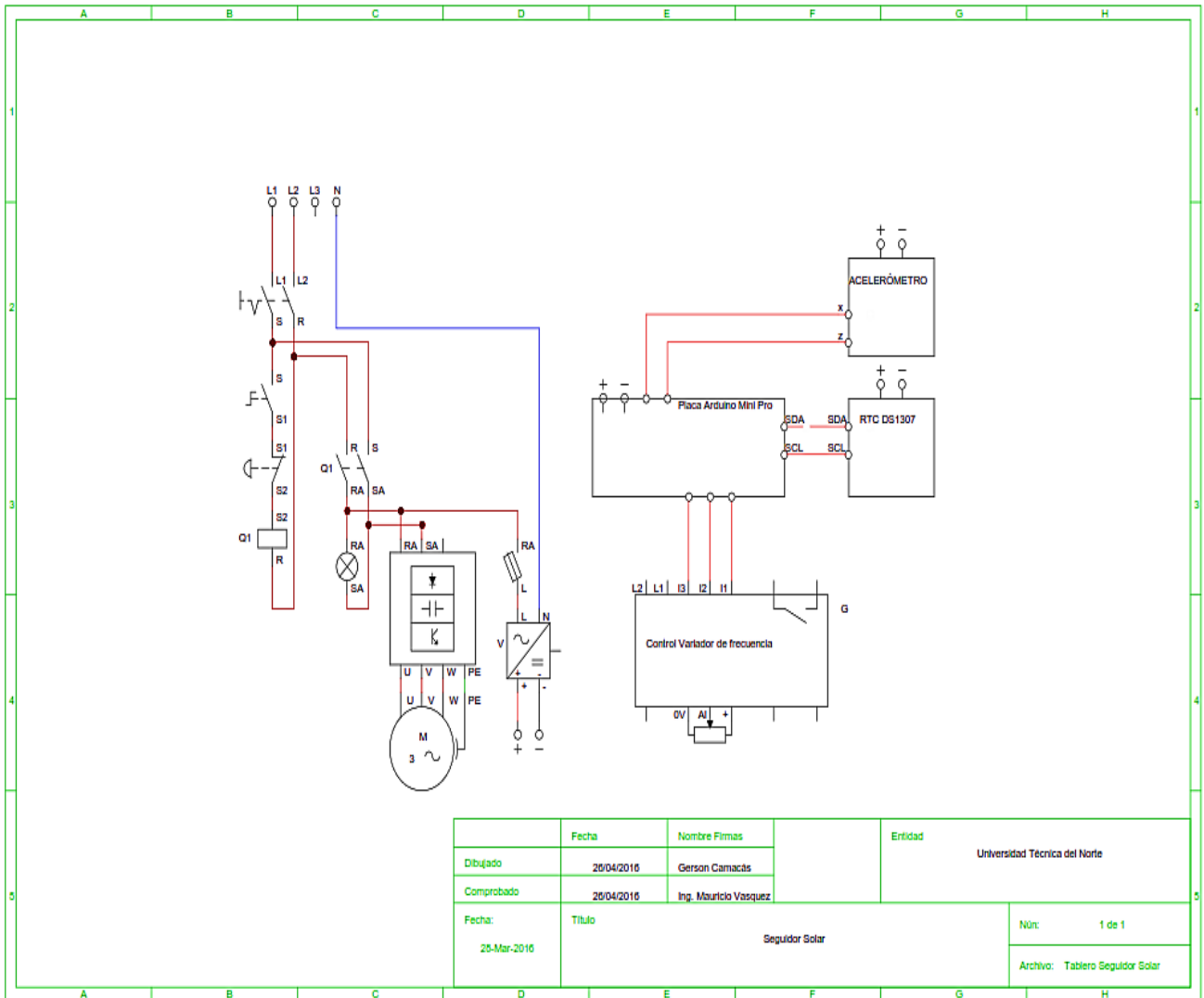


Figura 57, Diagrama de conexión eléctrica

Fuente: El Autor

4.4.4.2 Variador

El sistema de control para la movilidad el disco parabólico requiere de una etapa de potencia que permita controlar el motor de CA, y el variador de frecuencia Fig. 58 es un sistema que permite el control de la velocidad rotacional del motor, arranque y adicionalmente la inversión de giro, los variadores de frecuencia disponen de modos de trabajo ya sea manual o automático, según las necesidades del proceso, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de forma manual.

El variador dentro de su sistema incluye protecciones para el motor, tales como protecciones contra sobreintensidad, sobretensión, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra, etc. Además permite procesos de arranque y frenado suave, mediante rampas de aceleración y frenado lo que ayuda a que aumente la vida útil del motor y de las instalaciones.

El variador fue adquirido de acuerdo a las características del motor de CA con una capacidad de 1 hp, a su vez con las funciones y características de operación que se necesitan para el control como son entradas analógicas y digitales, variación de frecuencia e inversión de giro, para más detalles sobre sus características véase la tabla 23.



Figura 58, Variador de frecuencia Siemens Sinamics V20

Fuente: El Autor

Tabla 23*Características variador de frecuencia Siemens Sinamics V20*

Variador de frecuencia Siemens Sinamics V20	
Modelo	Sinamics V20
Voltaje de funcionamiento	200-230V
Corriente nominal de entrada	10 A
Corriente nominal de salida	4.2 A
Frecuencia de salida	0-63 Hz
Potencia	1hp
Rango de tensión	200 V a 240 V CA (tolerancia: de -10 % a +10 %) 47 Hz a 63 Hz Existe reducción de corriente con tensiones de entrada o frecuencias de conmutación superiores a 230 V / 8kHz.
Clase de protección	IP 20
Nivel de humedad máxima	95 % (sin condensación)

Fuente: Manual del variador de frecuencia SINAMICS V20

4.4.4.3 Configuración de datos

1. Motor

Dentro del variador existe un menú en donde se configuro los datos nominales de la placa de características del motor, este paso es indispensable para que el variador trabaje de manera óptima en conjunto con el motor. Los parámetros a ser configurados se describen en la tabla 24.

Tabla 24

Ajuste de datos del motor

Parámetro	Descripción
p0100	Selección de 50/60 Hz = 0: Europa [kW], 50 Hz (valor predeterminado de fábrica) = 1: Norteamérica [hp], 60 Hz = 2: Norteamérica [kW], 60 Hz
p0304(0)	Tensión nominal del motor [V]
p0305(0)	Corriente nominal del motor [A]
p0307(0)	Potencia nominal del motor [kW/hp]
p0308(0)	Factor de potencia del motor ($\cos \varphi$)
p0309(0)	Eficiencia nominal del motor [%]
p0310(0)	Frecuencia nominal del motor [Hz]
P0311(0)	Velocidad nominal del motor [RPM]

Fuente: Manual del variador de frecuencia SINAMICS V20

2. Macros de conexión

En este menú seleccionamos el macro que se necesita para las disposiciones de cableado estándar. El variador Sinamics V20 dispone de varios macros de conexión de acuerdo a las necesidades de su aplicación.

Tabla 25

Lista de macros de conexión

Macro de conexión	Descripción
Cn000	Ajuste predeterminado de fábrica. No hace cambios en los parámetros.
Cn001	BOP como la única fuente de regulación.
Cn002	Control desde los bornes (PNP/NPN).
Cn003	Velocidades fijas.
Cn004	Modo binario de velocidad fija.
Cn005	Entrada analógica y frecuencia fija.
Cn006	Control con pulsador externo.
Cn007	Pulsador externo con consigna analógica
Cn008	Regulación PID con referencia de entrada analógica
Cn009	Regulación PID con referencia de valor fija
Cn010	Regulación USS.
Cn011	Regulación MODBUS RTU.

Fuente: Manual del variador de frecuencia SINAMICS V20

El macro de conexión utilizado en el sistema es el Cn007 Fig. 59, pues este se ajusta a las necesidades del sistema.

Las fuentes de señales de mando necesarias son señales de impulso, se utilizó relés para proporcionar dicha señal y así controlar el variador y a su vez la puesta en marcha, paro e inversión de giro del motor.

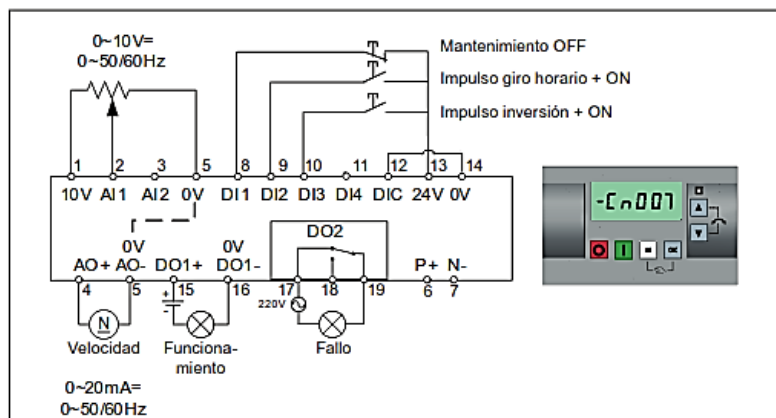


Figura 59, Macro de conexión Cn007: Pulsadores externos con control analógico

Fuente: Manual del variador de frecuencia SINAMICS V20

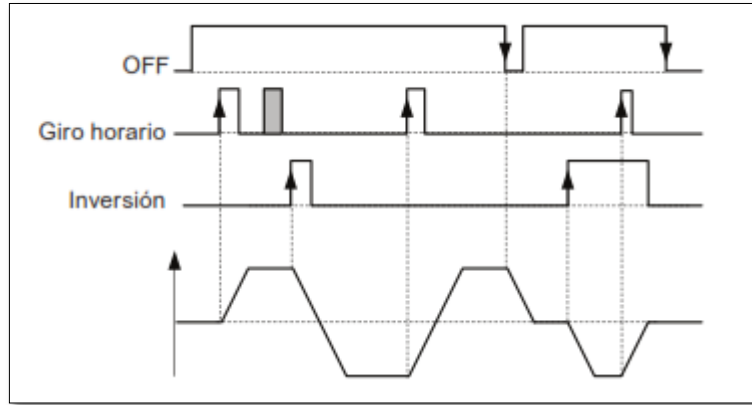


Figura 60, Tiempos de funcionamiento del variador
 Fuente: Manual del variador de frecuencia SINAMICS V20

4.4.4.4 Cableado del sistema y protecciones de tablero de control

Como se puede observar en la Fig. 61 el cableado de la parte de control se lo realizo con cable flexible #16 y para las conexiones de la parte de potencia el cable flexible calibre #12.

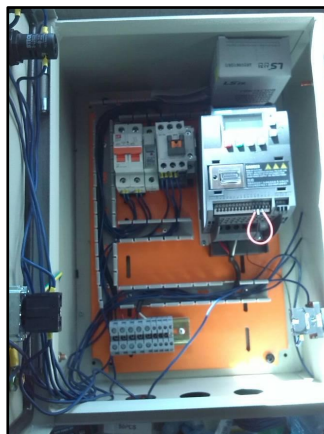


Figura 61, Cableado tablero de control
 Fuente: El Autor

Y para la alimentación del motor se utilizó cable concéntrico #12 AWG puesto que este es el calibre adecuado para evitar caídas de tensión y tener un correcto funcionamiento del mismo.

Las protecciones son un elemento importante dentro de un tablero de control, puesto que este posee dispositivos eléctricos de baja corriente, que pueden ser afectados si existe una corriente superior a la nominal de dichos elementos.

Los elementos de control son dispositivos de bajo consumo y mediante medición la corriente de operación de la placa en conjunto, arrojaba un valor cercano a 1A por lo que se dispuso de una protección de 3A para los elementos de control.

Para los elementos que conforman el circuito de fuerza se dispuso una protección más elevada con un breaker de 10 A.

4.4.5 Programación

La programación del dispositivo de control en este caso arduino pro mini se realizó utilizando su propio software de su plataforma de desarrollo y cuyo lenguaje de programación está basado en C++.

Para la programación del arduino fue necesario dividir en dos partes, pues la estructura básica del lenguaje de programación de arduino es sencilla y se divide en al menos dos partes las cuales contienen funciones, declaraciones, instrucciones que van hacer ejecutadas según las especificaciones del programa.

4.4.5.1 Declaración de variables setup ()

La parte que se encarga de almacenar la configuración es decir la declaración de las variables es la función Setup (), es la primera que será ejecutada en el programa y por una sola vez y se utiliza ya sea para iniciar o configurar las entradas y salidas de la placa arduino, o para configurar la comunicación serial.

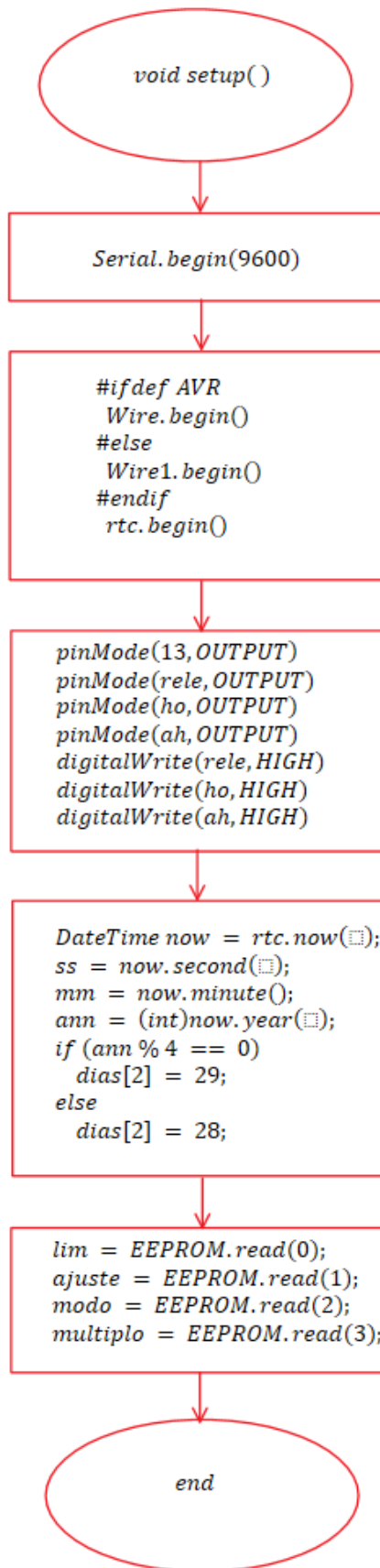


Figura 62, Diagrama de flujo void setup ()

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.2 Función loop ()

Después de haber declarado las variables en la función Void Setup (), la función Loop () permite que nuestro programa se ejecute de forma cíclica, lo cual permite que el programa responda de manera continua antes los sucesos que están ocurriendo en el micro controlador de el arduino (Playground.arduino.cc, 2016).

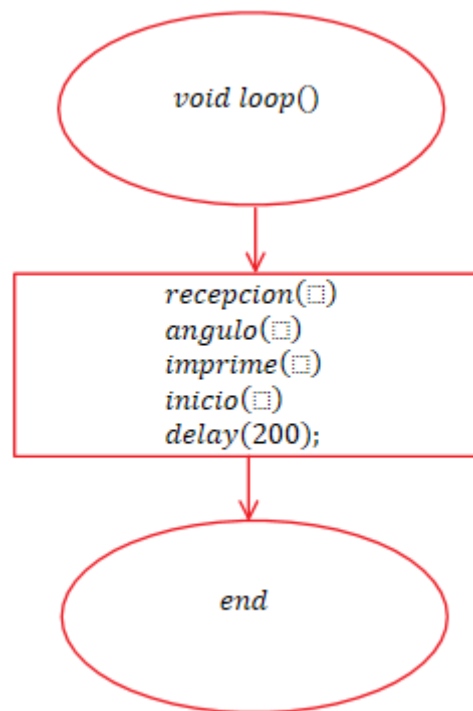


Figura 63, Diagrama de flujo void loop ()

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.3 Void recepción ()

El Void recepción permite realizar la recepción y decodificación de los parámetros del sistema que envía la interfaz de LABVIEW, entre los cuales consta de los límites angulares del panel, el tiempo de inicio del movimiento, la hora y fecha del PC para reajuste y sincronización, entre otros.

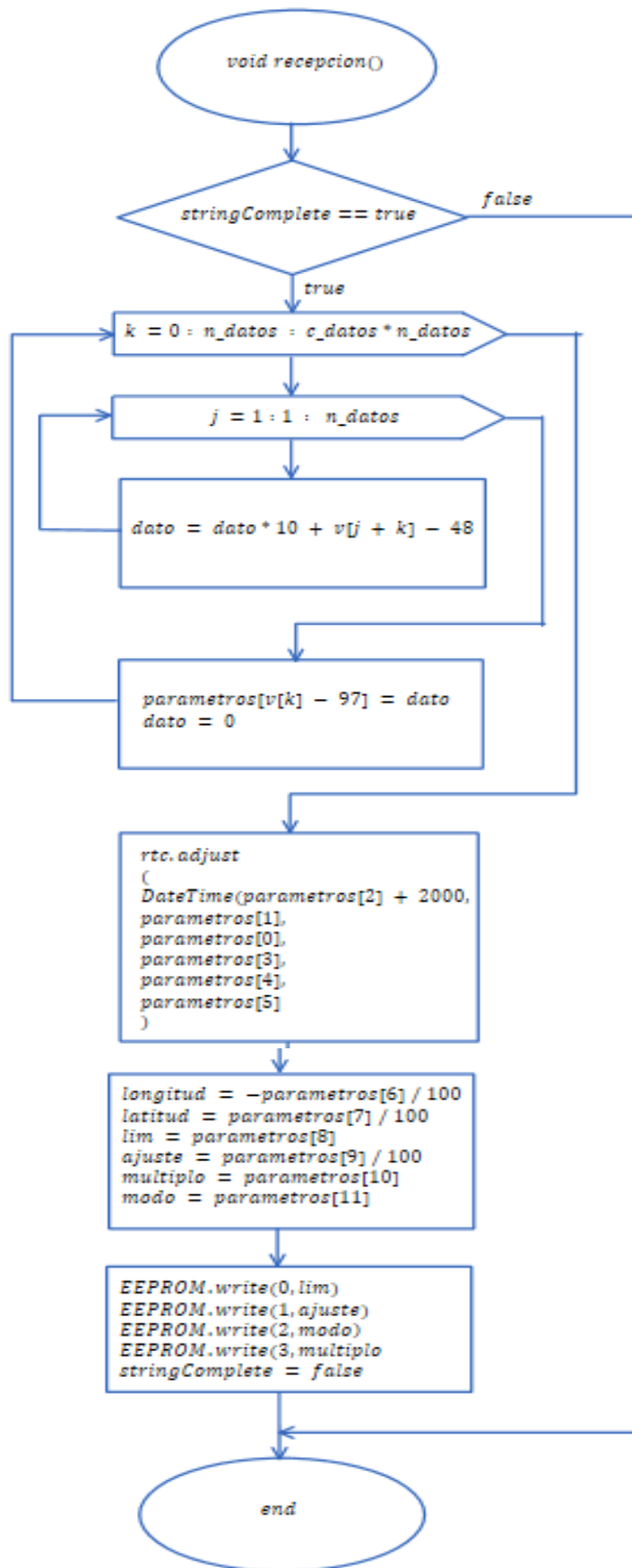


Figura 64, Diagrama de flujo void recepción ()

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.4. Void ángulo ()

El Void ángulo nos devuelve el ángulo de posición en el que se encuentra el disco parabólico y este ángulo es calculado y proporcionado por el acelerómetro, ángulo que se puede visualizar en la interfaz gráfica de Labview a través de la comunicación serial.

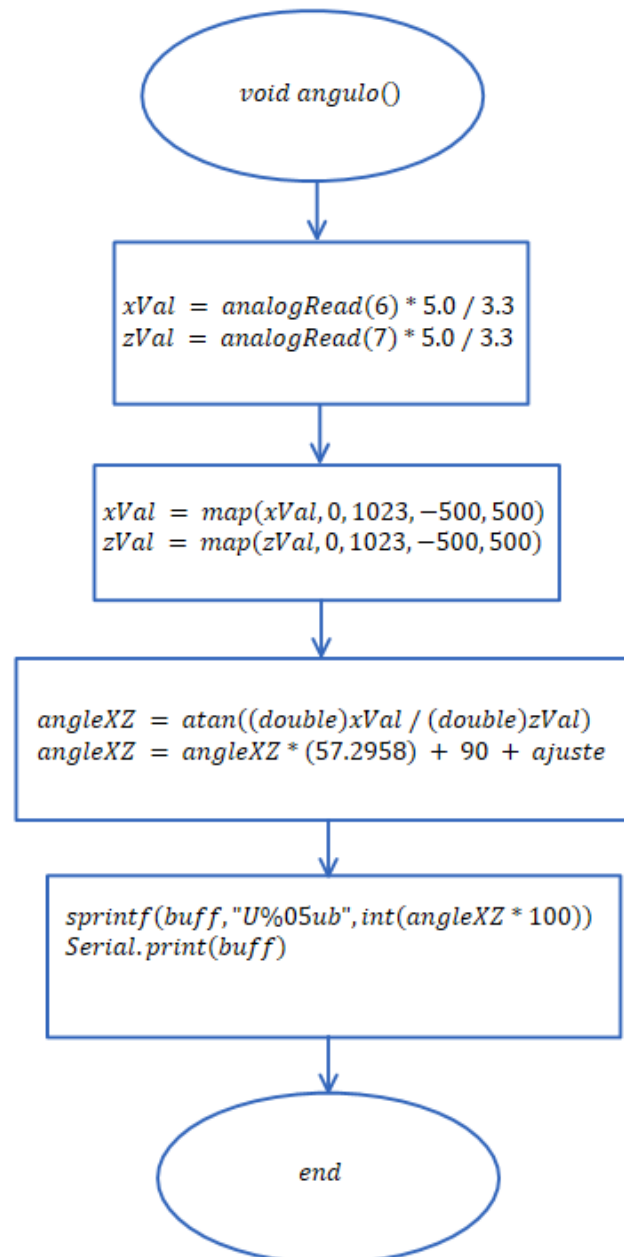
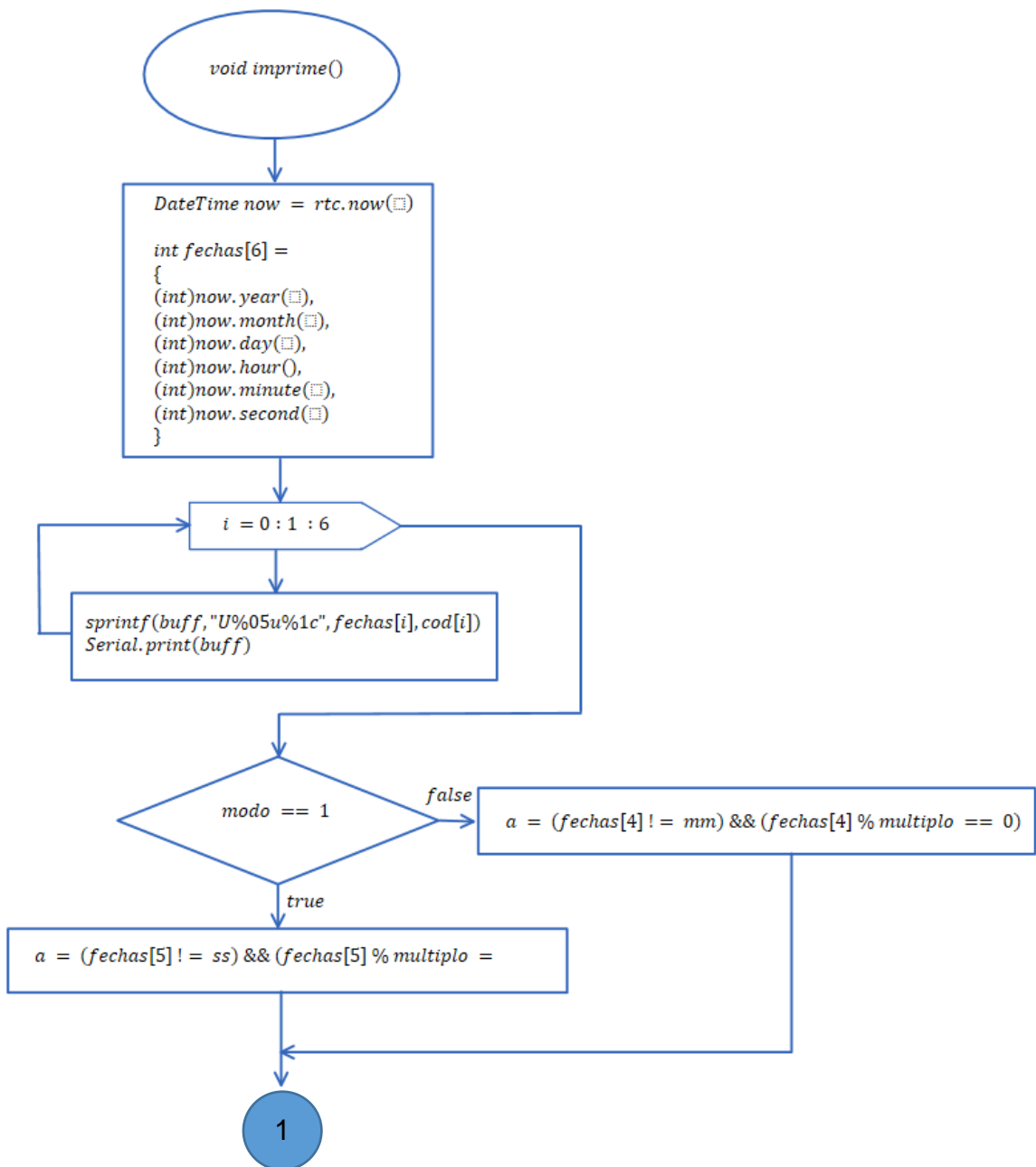


Figura 65, Diagrama de flujo void ángulo ()

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.5 Void imprime

El void imprime permite al sistema la codificación y envío de los datos del comportamiento del sistema, incluyendo la hora y fecha en la que se esta ejecutando el programa principal.



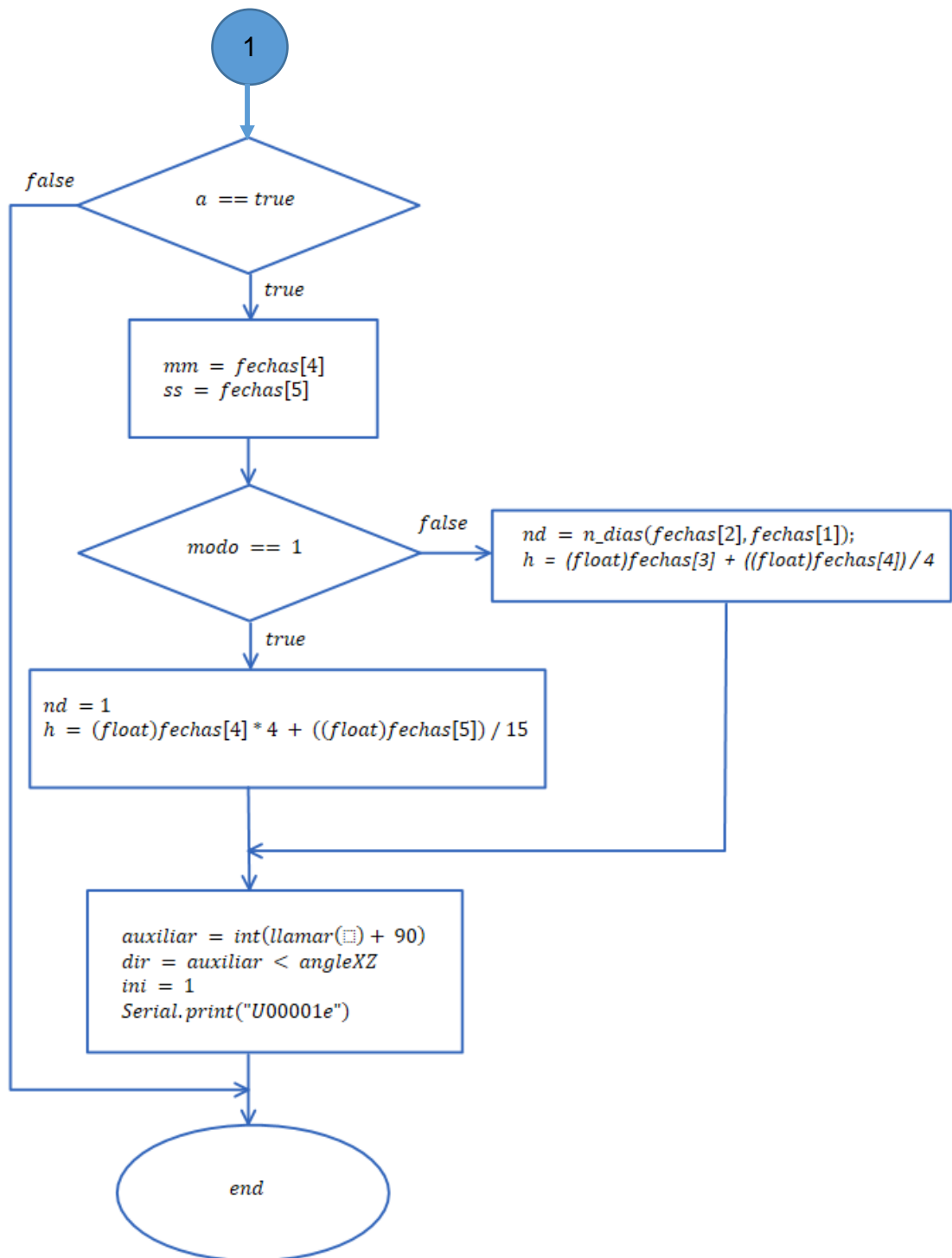


Figura 66, Diagrama de flujo void imprime ()

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.6 Void inicio

Esta función permite la activación de los relés y por ende el encendido del motor haciendo que se mueva en sentido horario o antihorario dependiendo de la hora del día.

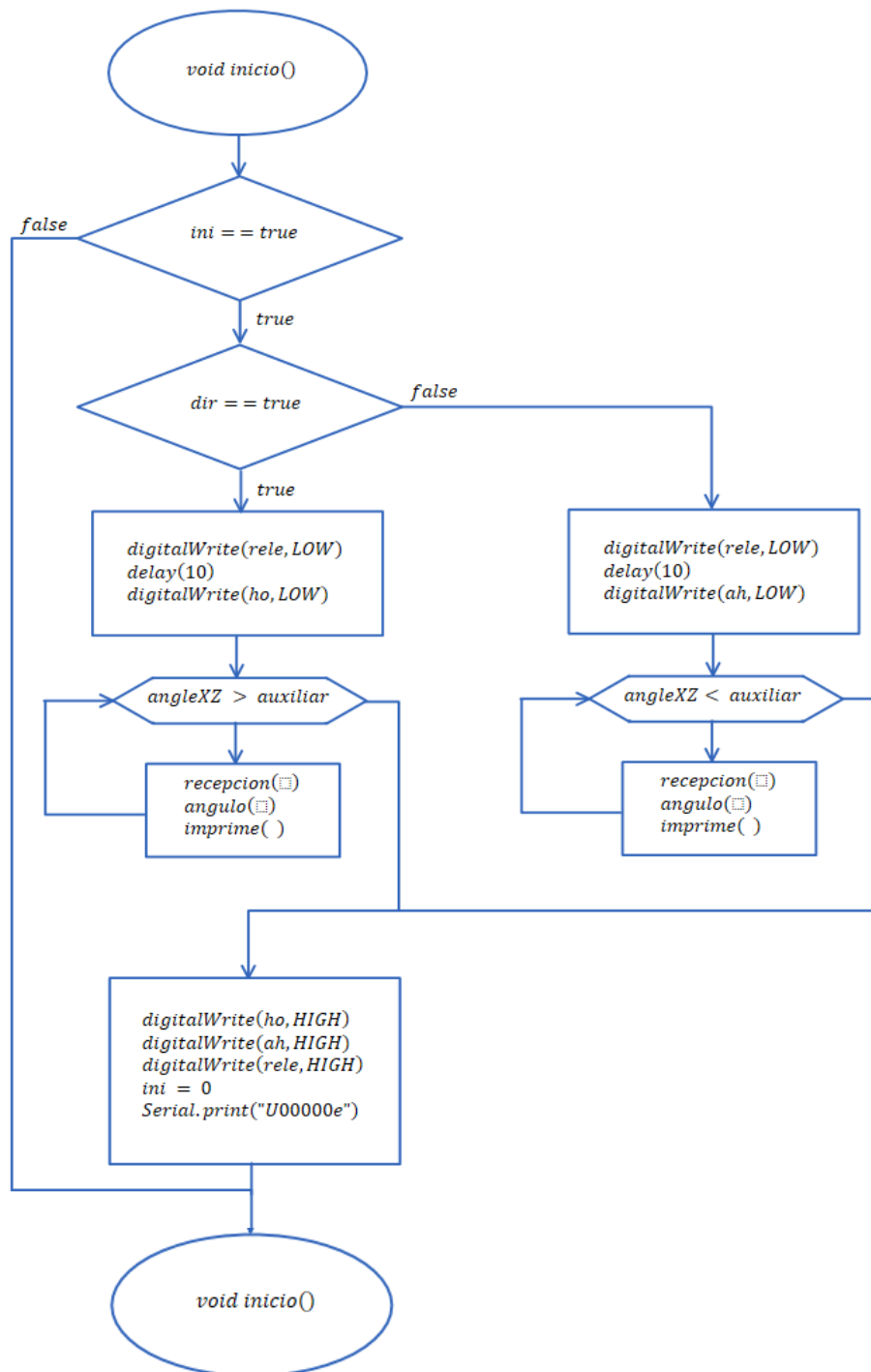


Figura 67, Diagrama de flujo void inicio ()

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.7 Cálculo día del año

Esta función permite el cálculo del número del día del año por ejemplo al primero de enero del 2016 le corresponde el día número 1, al día 31 de enero el número de día 31, y así cada uno de los días del año tiene su número de identificación necesario para el cálculo de las ecuaciones de posicionamiento astronómico.

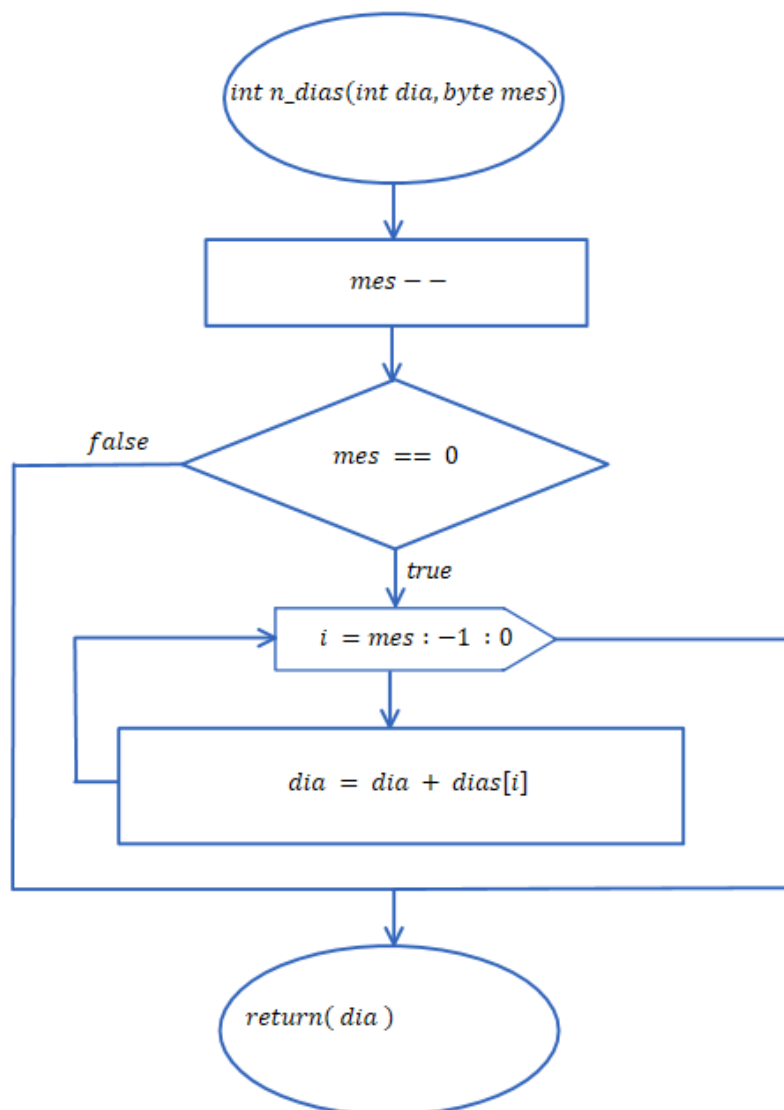


Figura 68, Diagrama de flujo, cálculo día del año

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.8 Void SerialEvent ()

Esta función se encarga de recibir los datos seriales enviados desde la interfaz gráfica de LabVIEW y guardarlos en un vector, para realizar las operaciones respectivas.

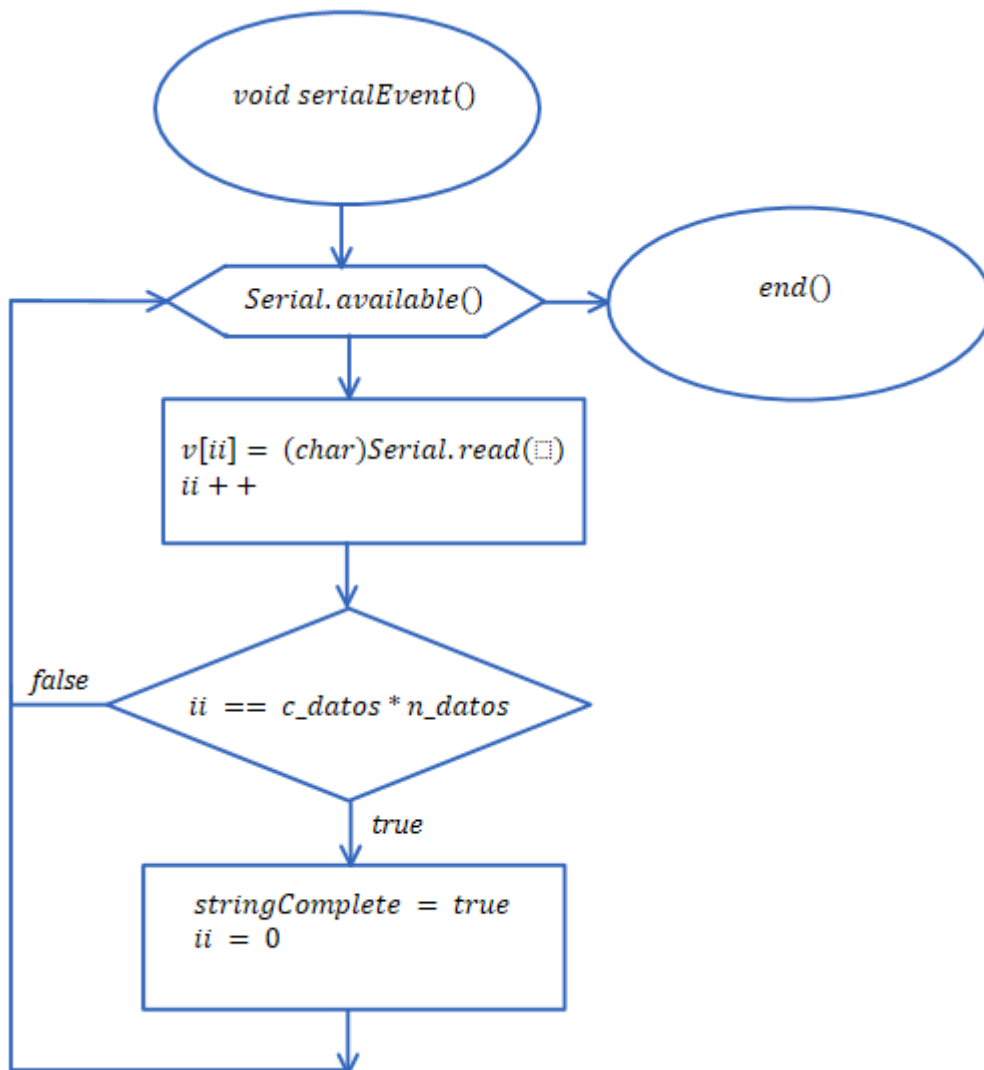


Figura 69, Diagrama de flujo void SerialEvent ()

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.9 Float llamar ()

Su función es llamar al valor del ángulo azimutal obtenido mediante el cálculo de las diferentes ecuaciones de posicionamiento astronómico con la finalidad de utilizarlo para comparar, si este valor es mayor al límite establecido mediante la interfaz gráfica de LabVIEW, para que el disco parabólico no se mueva más allá de esos límites. Además este valor angular se lo envía vía comunicación serial a la interfaz gráfica para ser visualizado en un indicador.

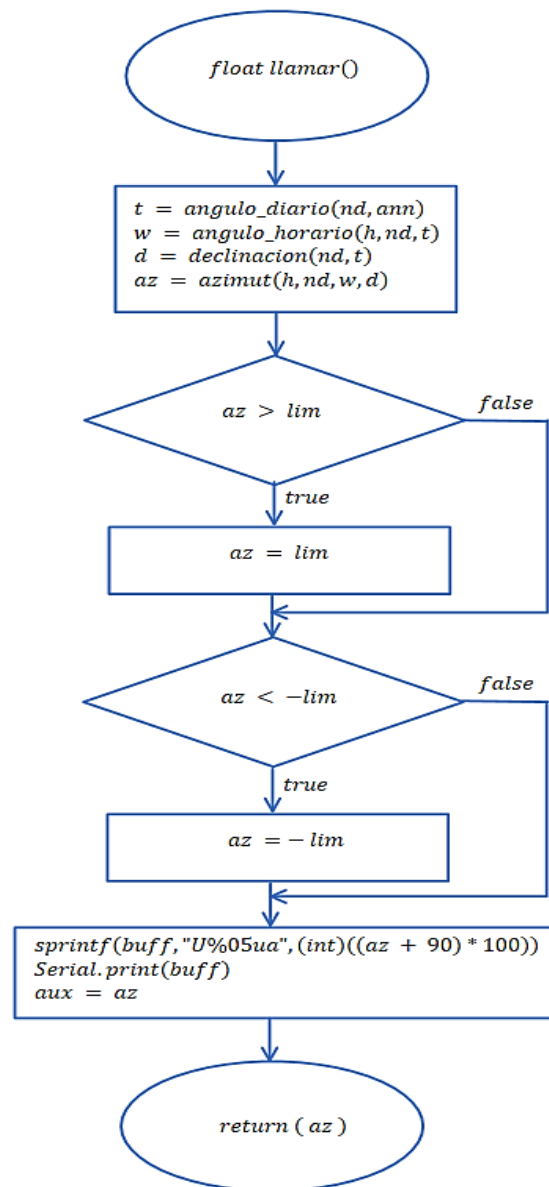


Figura 70, Diagrama de flujo float llamar ()

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.10 Cálculo del ángulo azimut

Esta parte es la encargada de aplicar la ecuación 8 descrita en el marco teórico para el cálculo del ángulo azimutal, donde el resultado final está expresado en grados. Para el cálculo del ángulo azimutal se necesita de los valores del ángulo horario, número de día, ángulo diario y la declinación.

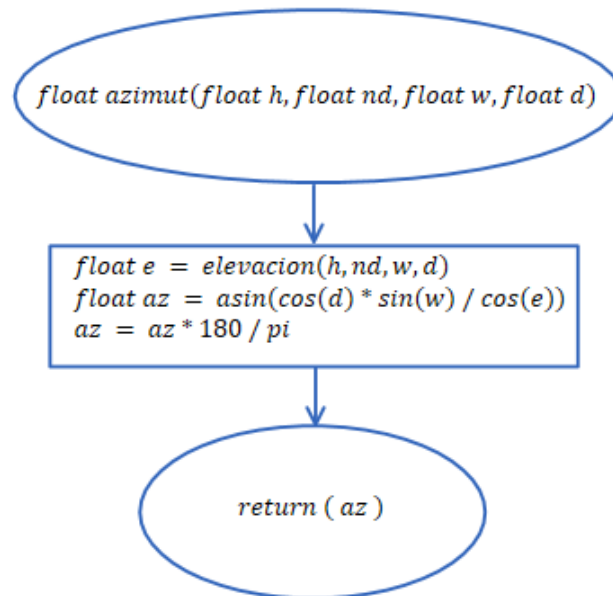


Figura 71, Diagrama de flujo, cálculo del ángulo azimut

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.11 Cálculo declinación

Aplicando la ecuación 1 del marco teórico se obtiene la declinación solar, para ello previamente se necesita el valor calculado del ángulo diario.

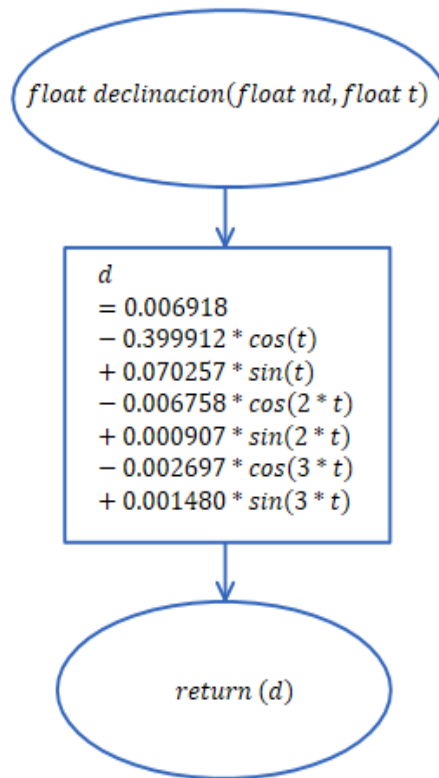


Figura 72, Diagrama de flujo, cálculo declinación

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.12 Cálculo ángulo diario

Se aplica la ecuación 2 descrita en el marco teórico, para obtener el ángulo diario, considerando dentro de esta parte del programa si es un año normal o bisiesto para el desarrollo de la ecuación.

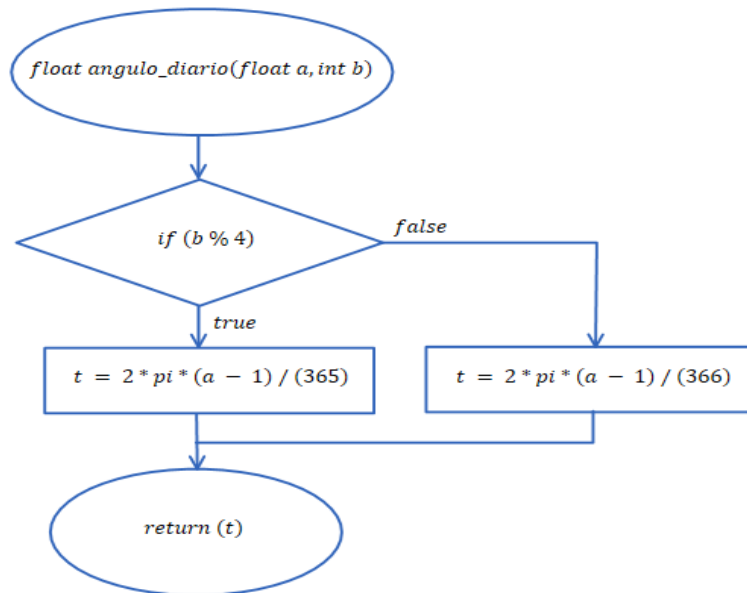


Figura 73, Diagrama de flujo, cálculo ángulo diario

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.13 Cálculo ecuación del tiempo

Se aplica la ecuación 6 para obtener el valor de la ecuación del tiempo, este valor es necesario para corregir la diferencia que existe entre la hora civil y la hora solar.

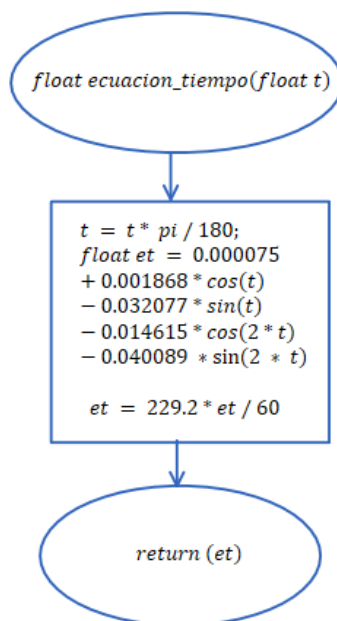


Figura 74, Diagrama de flujo, cálculo ecuación del tiempo

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.14 Cálculo hora solar

Aplicando la ecuación 4 obtenemos la hora solar, se definen los valores necesarios para este cálculo como lo es el número de día y el ángulo diario.

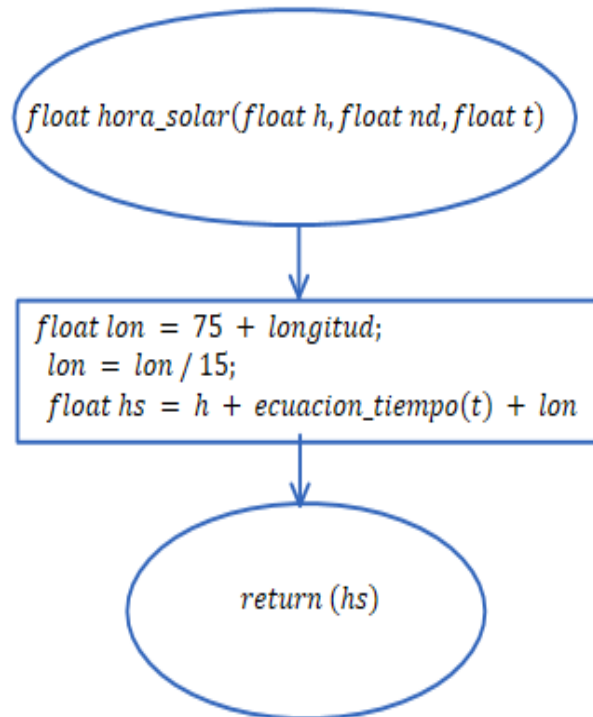


Figura 75, Diagrama de flujo, cálculo hora solar

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.15 Cálculo ángulo horario

Devuelve el valor del ángulo horario en grados para ello es necesario tener previamente la hora solar, el número de día y el ángulo diario.

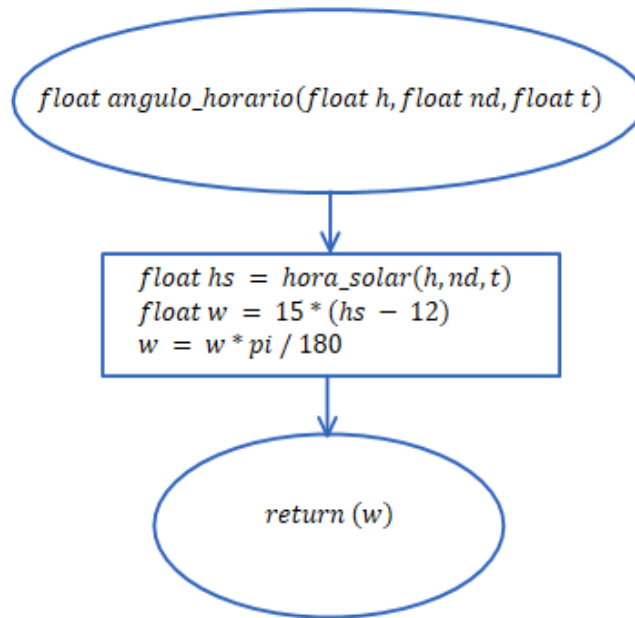


Figura 76, Diagrama de flujo, cálculo ángulo horario

Fuente: El Autor, 2016

4.4.5.16 Cálculo ángulo de elevación

Devuelve el valor calculado de la elevación o altura solar, mediante la aplicación de la ecuación 7 descrita en el marco teórico.

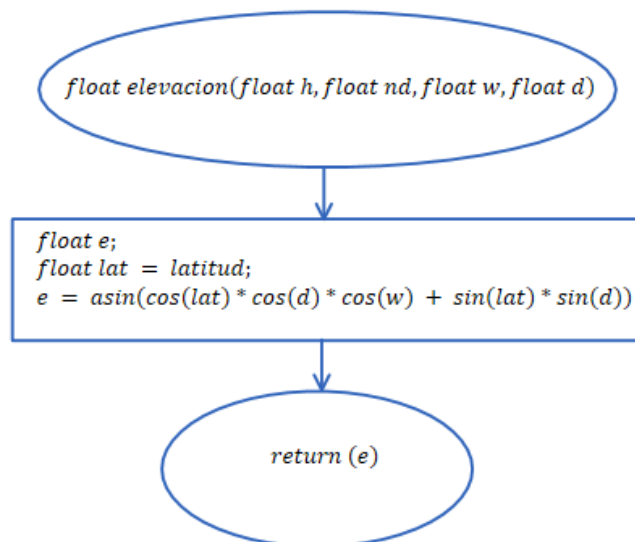


Figura 77, Diagrama de flujo, cálculo ángulo de elevación

Fuente: El Autor, 2016

4.4.6 Interfaz gráfica de usuario LabVIEW

El principal objetivo del programa desarrollado en LabVIEW, es que funcione como una interfaz gráfica de usuario, la cual nos permitirá ingresar ciertos parámetros para el correcto funcionamiento del sistema y también para poder monitorear los ángulos deseados, todo esto mediante una interfaz agradable con el usuario.

Algunos de los requerimientos que debe cumplir el software son:

- Permitir el ingreso de ciertos parámetros necesarios para el posicionamiento del generador termo solar tales como: latitud, ángulo máximo de inclinación en dirección Este, ángulo de inclinación máximo dirección oeste.
- Recibir los datos de la placa electrónica Arduino e interpretarlos para mostrarlos en la interfaz del usuario.
- Obtener datos reales y actuales como los ángulos de posición así como la hora y fecha en que se están ejecutando.

La plataforma LabVIEW se utilizó como un visor y editor de datos y no como un controlador.

El sistema está más enfocado a la implementación de la herramienta Arduino como el controlador principal, el cual contiene la programación que cumplirá con los diferentes procesos del sistema automático de seguimiento solar.



Figura 78, Interfaz gráfica LabVIEW

Fuente: El Autor

4.4.6.1 Puerto de comunicación

El usuario debe seleccionar el puerto de comunicación serial donde se conectará el Xbee para establecer posteriormente la comunicación serial entre el computador y Arduino, la velocidad de comunicación debe ser igual tanto en arduino como en labview.

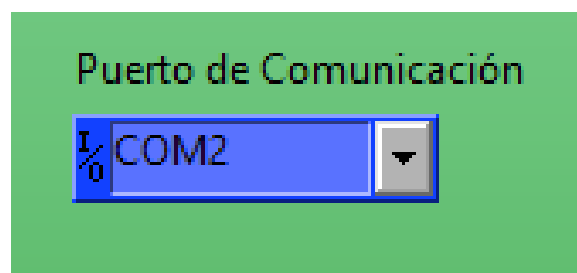


Figura 79, Puerto de comunicación serial

Fuente: El Autor

4.4.6.2 Selector modo prueba y automático

Se creó este selector con la única finalidad de mostrar el funcionamiento del sistema de seguimiento solar, es así que el modo prueba permite mostrar el movimiento del panel donde los intervalos son segundos y está tomado para un día en específico que es el día uno.

Por su parte el modo automático realiza el proceso normal de seguimiento en intervalos de una hora durante todo el día.



Figura 80, Selector modo (prueba/automático)

Fuente: El Autor

4.4.6.3 Parámetros

En esta sección el usuario ingresa los parámetros descritos en la figura 81.

A green rectangular box containing a blue rectangular area with five input fields. The fields are labeled on the right as "Longitud", "Latitud", "Límites", "Ajuste", and "Intervalos". The values entered in the fields are "-78,11", "0,35", "30", "0", and "30" respectively. The "Intervalos" field has a dropdown arrow.

Figura 81, Parámetros de Usuario

Fuente: El Autor

- Longitud: longitud del lugar donde está ubicado el captador solar.
- Latitud: Latitud del lugar donde está ubicado el captador solar.
- Límites: son los ángulos máximos de inclinación del disco parabólico o cualquier sistema de captación solar tanto hacia el Este como al Oeste.
- Ajuste: En caso de que el acelerómetro presente un error en el valor angular de la posición, ya sea por la distancia o por fallas propias del sensor este ajuste permitirá calibrarlo para tener una medición más acertada.
- Intervalos: El usuario puede elegir en que intervalo de tiempo quiere que se realice el seguimiento solar, los intervalos van desde un minuto hasta una hora.

4.4.6.4 Cargar datos y stop

Una vez ingresados los parámetros de usuario, los cargamos y mediante comunicación serial se envían al Arduino, estos parámetros son necesarios para la ejecución de los cálculos correspondientes dentro del controlador.

El stop permite detener la ejecución del VI.

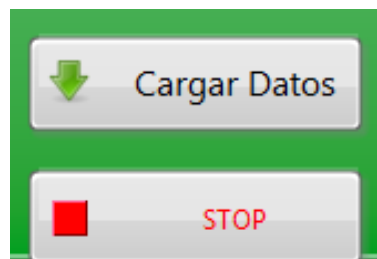


Figura 82, Cargar datos y stop

Fuente: El Autor

4.4.6.5 Visor de hora y fecha

Permite visualizar la hora y fecha actual en que se está ejecutando cada cambio de posición, verificando de esta manera que se cumpla el intervalo de tiempo que el usuario seleccionó previamente para los cambios de posición del captador solar a lo largo del día.



Figura 83, Visor de hora y fecha actual

Fuente: El Autor

4.4.6.6 Visor de posición angular

Se compone de dos indicadores uno es un setpoint que muestra la posición angular calculada mediante las ecuaciones de posicionamiento astronómico, es decir la posición a la cual debe moverse el disco parabólico.

El otro indicador es el proporcionado por el sensor de posición angular, que indica la posición conforme el disco parabólico se va moviendo hasta llegar al setpoint y una vez ahí el sistema se detiene y espera el intervalo de tiempo para el que fue programado para volver a recalcular la posición.



Figura 84, Visor gráfico de la posición del sistema

Fuente: El Autor

4.4.7 Programación en LabVIEW

4.4.7.1 Puerto de comunicación serial

Al inicio del programa siempre se va tener la comunicación serial, la cual está encargada de recibir y enviar datos al sistema.

El primer bloque denominado VISA nos indica hacia qué puerto se va establecer la comunicación serial con Arduino, a continuación se configura el puerto serial, estableciendo la velocidad de comunicación en 9600 baudios puesto que este mismo valor se lo puso en la programación de arduino para que exista la sincronía en el envío y recepción de datos, también se puso un tiempo de error de 1 segundo, para que en caso de presentarse un error de comunicación y que este no haya sido corregido en 1 segundo, se detenga el programa.

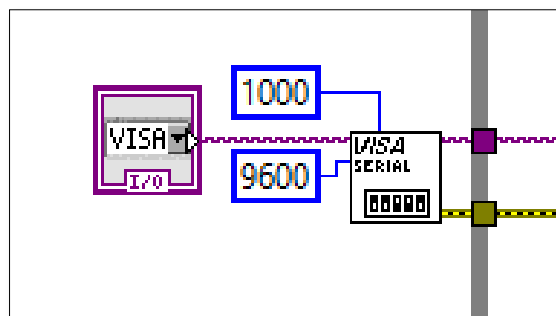


Figura 85, Configuración del puerto serial

Fuente: El Autor

Durante la ejecución del programa el puerto siempre enviara su nombre para ser identificado el cual está representado por el cable de color morado y el error serial que es el cable de color amarillo.

4.4.7.2 Timeout

Una vez que se ha configurado el puerto serial, el programa principal se desarrolla en una estructura while la que permitirá al programa repetirse cíclicamente, dentro de este ciclo while se introduce una estructura de eventos, al usar la estructura de eventos se pueden crear varios diagramas, el código de su interior se ejecutará solamente cuando se cumplan las condiciones configuradas para cada uno de ellos, por ejemplo que el usuario cambie el valor de un botón, que cierre el programa, etc. Mientras no se cumplan estas condiciones la ejecución de ese hilo estará detenida.

La estructura evento consta de tres etapas la primera es el timeout el cual indicara cada cuanto tiempo se va ejecutar una tarea, en este caso cada un milisegundo se esperara a leer datos.

1. Primero se pregunta si existe datos en el puerto, si es verdad entramos en el ciclo case primero a decir cuántos datos voy a recibir de arduino.

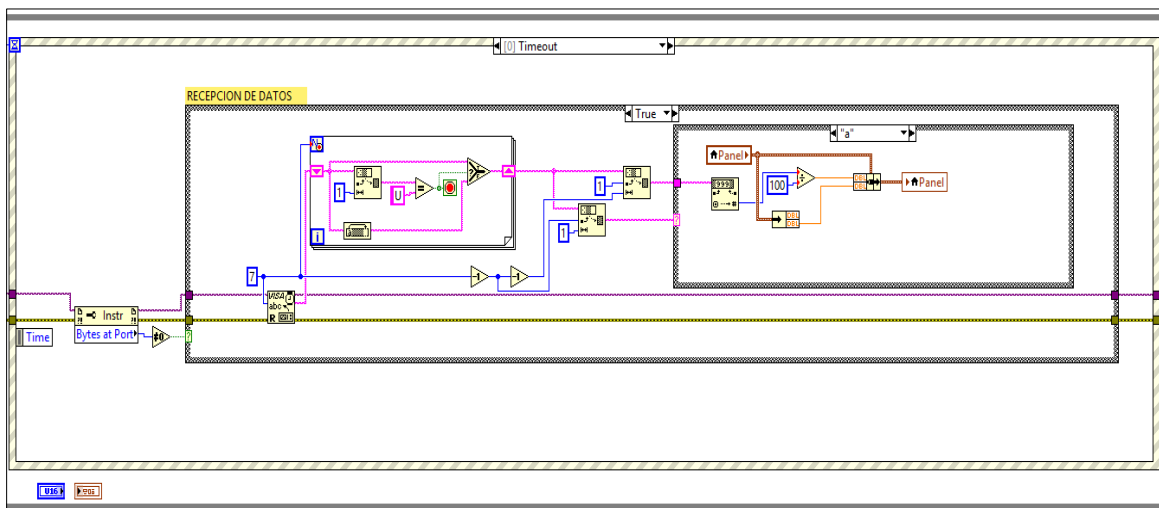


Figura 86, Recepción de datos

Fuente: El Autor

2. Se organizan los datos dentro de un ciclo for para asignar una letra de identificación en este caso la letra U al inicio, luego la cantidad de datos y una letra de reconocimiento para saber qué tipo de dato es, es decir se reorganiza la cadena para que sea reconocible.

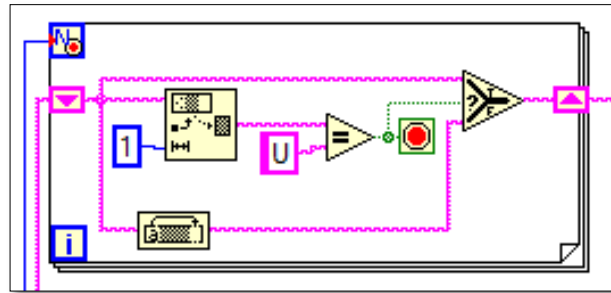


Figura 87, Organización de datos

Fuente: El Autor

3. Una vez organizado los datos seriales se extrae cada uno de ellos decodificándolos para que sean visualizados en la interfaz gráfica, para ello cada dato tiene una letra de reconocimiento, por ejemplo para el valor del ángulo proporcionado por el sensor de posición angular su letra de reconocimiento es la letra “a”.

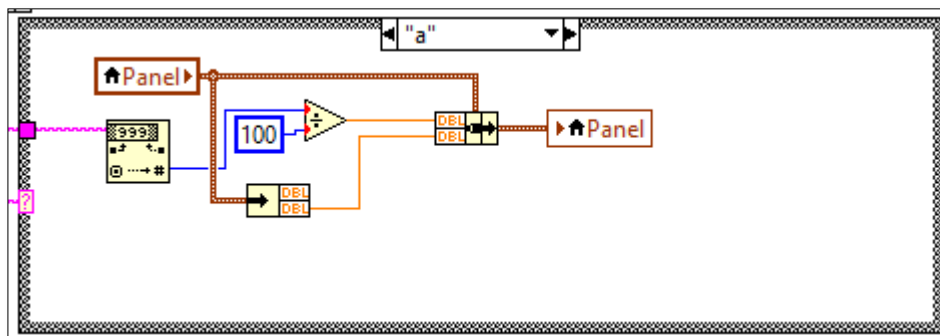


Figura 88, Decodificación de datos del sensor de posición angular

Fuente: El Autor

4. El mismo proceso de decodificación para visualización de los datos en la interfaz gráfica se lo realiza, para las fechas y las horas en donde las letras de identificación de los datos son las siguientes:

- “b” ángulo azimut.
- “e” led de encendido del sistema.
- “x” año
- “y” mes
- “z” día
- “u” horas
- “v” minutos
- “w” segundos

Para mayor información el código para la decodificación de cada dato se lo puede ver en la sección de anexos.

4.4.7.3 Cargar datos

Esta etapa es la encargada de enviar los datos hacia arduino, es decir los parámetros tales como la latitud, longitud, límites, ajuste e intervalos.

A cada parámetro se le asigna una posición dentro de un vector de cuatro posiciones, en donde la posición cero le corresponde a la longitud, la posición 1 a latitud, la 2 a límites y la 3 a ajuste, cada dato recibido se decodifica de un número decimal o un número entero a una cadena de caracteres para poder ser reconocido en la comunicación serial.

Cada dato se convierte en una cadena individual, estas cadenas se concatenan en una cadena única, asignándole a cada una de ellas una letra de reconocimiento para identificar que dato o parámetro es.

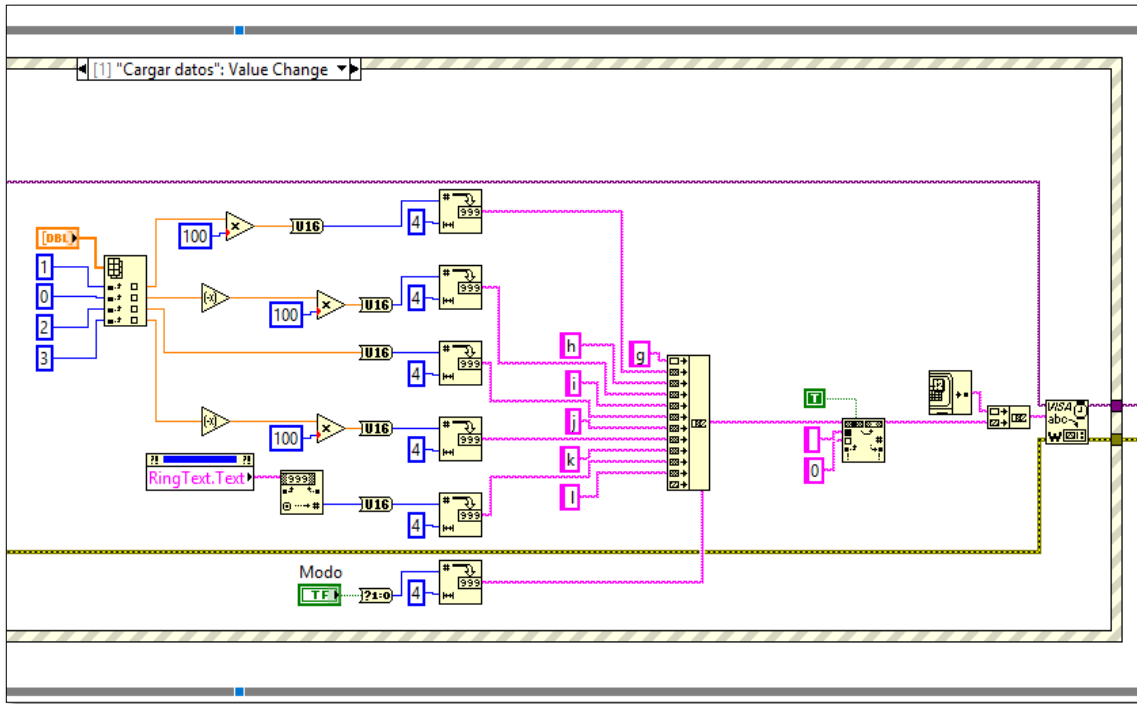


Figura 89, Cargar datos

Fuente: El Autor

4.4.7.4 Selección de modo

Sirve para cambiar entre el modo prueba y automático, dependiendo del modo seleccionado en la interfaz gráfica de LabVIEW, arduino determinará según su programación como actuar.

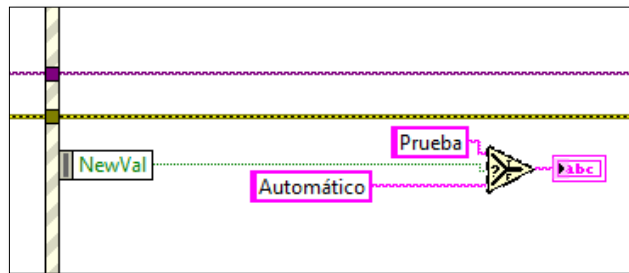


Figura 90, Selección de modo

Fuente: El Autor

Capítulo V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La investigación de los distintos tipos de sistemas de seguimiento solar permitió determinar que el más óptimo debido a la gran ventaja que tiene el Ecuador en cuanto a recurso solar, es el seguidor solar horizontal azimutal con un grado de libertad, basado en ecuaciones de posicionamiento astronómico cuya precisión se encuentra dentro de los estándares de los seguidores comerciales permitiendo un seguimiento de la trayectoria solar durante todo el año, puesto que no se utilizó sensores de seguimiento solar como fotorresistencias el sistema de seguimiento no es afectado por las condiciones climatológicas..
- Se ha logrado la implementación de un sistema mecánico sencillo y de fácil montaje que cumple con los requerimientos necesarios para el sistema de seguimiento solar en un grado de libertad.
- El diseño electrónico utilizando arduino como el controlador principal cumplió con los requerimientos necesarios mostrando que arduino puede ser dinámico, funcional y sobre todo económico a la hora de utilizarlo en este tipo de proyectos de Energías Renovables y automatización.
- Se desarrolló una interfaz en Labview la cual mediante comunicación serial con arduino, nos permite monitorear la posición del captador solar en tiempo real, además Labview permitió hacer un sistema editable y que puede ser usado en cualquier ciudad del país únicamente modificando los valores de latitud y longitud del lugar donde se desee implementar este sistema.

5.2 Recomendaciones

- Debido a que el sistema mecánico de movilidad es sencillo no se debe aumentar la velocidad del variador de la ya establecida cuyo valor es 12 Hz, para evitar problemas de funcionamiento, adicionalmente se debe revisar mensualmente la tensión en los cables y en caso de no estar tensionados ajustarlos manualmente para que el sistema funcione correctamente y lubricar con aceite las poleas del sistema mecánico para que el movimiento sea fluido y no haya fricción en sus rodamientos.
- La alimentación de el arduino debe estar entre un límite de 5 y 12 v para su correcto funcionamiento.
- Se debe escoger el puerto serial correcto al cual se conecta el Xbee para establecer la comunicación entre el computador y arduino a través de la interfaz en Labview, para que los Xbee puedan comunicarse solo entre ellos y evitar interferencias de otros dispositivos del mismo tipo.
- Mediante la interfaz gráfica de usuario se debe ingresar un límite de movilidad de hasta 60 grados, para que el sistema mecánico funcione correctamente y sin problemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abal, G., & Durañona, V. (2013). *Manual Técnico de Energía Solar Térmica*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República de Uruguay. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015
- Bishop, R. (2002). *The Mechatronics Handbook*. California, EEUU: Editor in Chef. Recuperado el 18 de Enero de 2016
- Costas, P. C. (2005). *Montaje e instalación en planta de máquinas industriales, procesos, instrumentos y técnicas básicas de construcción y organización del trabajo*. España: Ideaspropias. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de <https://books.google.com.ec/books?id=6LbBHjokNzsC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Chandi Paguay, K. A., & Ruano Vega, E. S. (2015). *Estudio de un sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico y motor stirling e implementación de un modelo a escala para la alimentación eléctrica de un filtro de purificación de agua con luz ultravioleta (tesis de pregrado)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Recuperado el 22 de Diciembre de 2015
- Duffie, J and Beckman, W. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes* (3rd ed.). Wiley: ISBN 0471698679. Recuperado el 10 de Noviembre de 2015
- Dutch, S. I. (2004). *World Book Online*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2015, de World Book, Inc.: www.nasa.gov
- Lorenzo, E. (2003). *Retratos de la Conexión fotovoltaica a la red*. Madrid, España: Instituto de energía solar – Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 22 de Diciembre de 2015
- Méndez Muñiz, J. M. (2011). *Energía solar térmica*. Fundación Cofemetal. Recuperado el 23 de Enero de 2016

Pintos Lanzuela, C. (2010). *Seguidor Solar Ligero Para Cubiertas (proyecto fin de carrera)*. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas. Recuperado el 16 de Septiembre de 2015, de <http://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4c2620b086830.pdf>

Spencer, J. (1971). *Fourier series representation of the position of the sun*. SE. Recuperado el 10 de Diciembre de 2015

Tapia Ayala, C. H., & Manzano Yupa, H. M. (Octubre de 2013). Evaluación de la plataforma arduino e implementación de un sistema de control de posición horizontal (tesis pregrado). Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Recuperado el 23 de Enero de 2016

Tobajas, M. C. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Cano Pina. Recuperado el 18 de Septiembre de 2015

LINKOGRAFÍA

5Hertz. (17 de Febrero de 2014). *5hertz*. Recuperado el 10 de Enero de 2016, de 5hertz: <http://5hertz.com/tutoriales/?p=228>

Energiasolar.mx. (2016). Recuperado el 15 de Marzo de 2016, de <http://energiasolar.mx/inventos/historia-energia-solar.html>

EXA. (2008). *exa.ec*. Recuperado el 17 de Enero de 2016, de Agencia Espacial Civil Ecuatoriana.

Honeyman, J. (2002). *Revista Peruana de Dermatología*. Recuperado el 15 de Agosto de 2015, de Efectos de las radiaciones ultravioletas en la piel: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/dermatologia/v12_n2/efectos_radiaciones.htm

López, F. (2016). *Arduprojects.blogspot.com*. Recuperado el 16 de Enero de 2016, de <http://arduprojects.blogspot.com/2012/09/tipos-de-arduino.html>

Proyecto Arduino. (2008). Recuperado el 20 de Diciembre de 2015, de ¿Qué es Arduino?: <https://proyectoarduino.wordpress.com/%C2%BFque-es-arduino/>

Solar, I. (2014). *Blog de I+D Energía - Expertos en energías renovables.* Recuperado el 10 de Enero de 2015, de <http://www.idenergia.com/blog/historia-de-la-energia-solar-termica/>

ANEXOS

ANEXO 1

PROGRAMACIÓN ARDUINO

/*Librerías*/

#include <math.h> //Funciones matemáticas

#include <Wire.h> //Reloj en tiempo real (RTC) Comunicación

#include "RTClib.h" //Reloj en tiempo real (RTC) Manejo de tiempos

#include <EEPROM.h> //Memoria no volátil

/*****/**

RTC_DS1307 rtc;

/*Declaración de variables globales*/

float h = 0.25;

float t;

float w;

float d;

float az;

float pi = 3.141592;

float aux;

float nd;

float auxiliar;

```
float lim = 30;

float ajuste = 0;

float modo = 1;

byte multiplo = 30;

byte pp = 10;

float ang[10];

char buff[7];

byte dir = 0;

int n_datos = 5, c_datos = 12;

byte rele = 6, ho = 3, ah = 5;

/*Variables datos*/

boolean stringComplete = false;

int v[100];

byte ii = 0;

byte ini = 0;

float longitud = -78.11, latitud = 0.3520;

/*Variables RTC*/

byte g;

int dato = 0;

int parametros[20];

byte dias[13] = {0, 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31};
```

```

char cod[6] = {'x', 'y', 'z', 'u', 'v', 'w'};

byte ss, mm;

byte ann;

/**/

float xVal, zVal, angleXZ;

/*Ciclo de configuración inicial*/

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Comunicación serial

  pinMode(13, OUTPUT);

  //Reloj en tiempo real

  /***/

#ifdef AVR

  Wire.begin();

#else

  Wire1.begin();

#endif

  /***/

  pinMode(rele, OUTPUT);

  pinMode(ho, OUTPUT);

  pinMode(ah, OUTPUT);

  digitalWrite(rele, HIGH);

```

```

digitalWrite(ho, HIGH);

digitalWrite(ah, HIGH);

/******

DateTime now = rtc.now();

ss = now.second();

mm = now.minute();

ann = (int)now.year();

if (ann % 4 == 0)

    dias[2] = 29;

else

    dias[2] = 28;

/******

lim = EEPROM.read(0);

ajuste = EEPROM.read(1);

modo = EEPROM.read(2);

multiplo = EEPROM.read(3);/*

angulo();

for (byte aa = 0; aa < 5; aa++)

    ang[aa] = xVal;*/

}

/*Programa principal*/

void loop()

```



```

{
repcion(); //Comprobación y adquisición datos seriales

angulo(); //Adquisición de posición angular del panel

imprime(); //Adquisición de datos de tiempo y comparación de inicio de proceso

inicio(); //Encendido del sistema

delay(200);

}

/*****/

```

```

void inicio()
{
if (ini)
{
if (dir)
{
digitalWrite(rele, LOW);

delay(10);

digitalWrite(ho, LOW);

while (xVal > auxiliar)
{
repcion();

angulo();

imprime();

```

```
    delay(200);  
  }  
}  
else  
{  
  digitalWrite(rele, LOW);  
  delay(10);  
  digitalWrite(ah, LOW);  
  while (xVal < auxiliar)  
  {  
    recepcion();  
    angulo();  
    imprime();  
    delay(200);  
  }  
}  
digitalWrite(ho, HIGH);  
digitalWrite(ah, HIGH);  
digitalWrite(rele, HIGH);  
ini = 0;  
Serial.print("U00000e");  
}  
}
```

```

/*void angulo()

{

xVal = analogRead(6);

xVal = (xVal - 150) / 4 ;

sprintf(buff, "U%05ub", int(xVal * 100));

Serial.print(buff);

}*/

void angulo()

{

xVal = analogRead(6) * 5.0 / 3.3;

zVal = analogRead(7) * 5.0 / 3.3;

xVal = map(xVal, 0, 1023, -500, 500);

zVal = map(zVal, 0, 1023, -500, 500);

angleXZ = atan((double)xVal / (double)zVal);

xVal = angleXZ * (57.2958) + 90 + ajuste;

for (byte aa = 0; aa < (pp - 1); aa++)

```

```

    ang[aa] = ang[aa + 1];

ang[pp - 1] = xVal;

int s = 0;

for (byte aa = 0; aa < pp; aa++)

    s = s + ang[aa];

xVal = (float)(s / pp);

sprintf(buff, "U%05ub", int(xVal * 100));

Serial.print(buff);
}

void recepcion()
{
    if (stringComplete)
    {
        for (byte k = 0; k < c_datos * n_datos; k += n_datos)
        {
            for (byte j = 1; j < n_datos; j++)

                dato = dato * 10 + v[j + k] - 48;

            parametros[v[k] - 97] = dato;

            dato = 0;
        }
    }
}

```

```
rtc.adjust(DateTime(parameters[2] + 2000, parameters[1], parameters[0],  
parameters[3], parameters[4], parameters[5]));
```

```
longitud = -parameters[6] / 100;
```

```
latitud = parameters[7] / 100;
```

```
lim = parameters[8];
```

```
ajuste = parameters[9] / 100;
```

```
multiplo = parameters[10];
```

```
modo = parameters[11];
```

```
EEPROM.write(0, lim);
```

```
EEPROM.write(1, ajuste);
```

```
EEPROM.write(2, modo);
```

```
EEPROM.write(3, multiplo);
```

```
stringComplete = false;
```

```
}
```

```
}
```

```
void imprime()
```

```
{
```

```
DateTime now = rtc.now();
```

```
int fechas[6] = {(int)now.year(), (int)now.month(), (int)now.day(), (int)now.hour(),  
(int)now.minute(), (int)now.second()};
```

```
for (byte i = 0; i < 6; i++)
```

```
{
```

```
printf(buff, "U%05u%1c", fechas[i], cod[i]);
```

```

Serial.print(buff);

}

boolean a;

if (modo == 1)

    a = (fechas[5] != ss) && (fechas[5] % multiplo == 0);

else

    a = (fechas[4] != mm) && (fechas[4] % multiplo == 0);

if (a)

{

    mm = fechas[4];

    ss = fechas[5];

    if (modo == 0)

        nd = n_dias(fechas[2], fechas[1]);

    else

        nd = 1;

    if (modo == 1)

        h = (float)fechas[4] * 4 + ((float)fechas[5]) / 15;

    else

        h = (float)fechas[3] + ((float)fechas[4]) / 4;

    auxiliar = int(llamar() + 90);

    dir = auxiliar < xVal;

    ini = 1;

    Serial.print("U00001e");

```

```
}  
}
```

```
int n_dias(int dia, byte mes)
```

```
{  
  
    mes--;  
  
    if (mes == 0)  
  
        return dia;  
  
    else  
  
        for (byte i = mes; i > 0; i--)  
  
            dia = dia + dias[i];  
  
    return dia;  
}
```

```
void serialEvent()
```

```
{  
  
    while (Serial.available())  
  
    {  
  
        v[ii] = (char)Serial.read();  
  
        ii++;  
  
        if (ii == c_datos * n_datos)  
  
        {  
  
            stringComplete = true;
```

```
    ii = 0;  
  }  
}  
}
```

```
float llamar()
```

```
{  
  
  t = angulo_diario(nd, ann);  
  
  w = angulo_horario(h, nd, t);  
  
  d = declinacion(nd, t);  
  
  az = azimut(h, nd, w, d);  
  
  if (az > lim)  
    az = lim;  
  
  if (az < -lim)  
    az = -lim;  
  
  sprintf(buff, "U%05ua", (int)((az + 90) * 100));  
  
  Serial.print(buff);  
  
  aux = az;  
  
  return az;  
}
```

```
float azimut(float h, float nd, float w, float d)
```

```
{
```



```

float e = elevacion(h, nd, w, d);

float az = asin(cos(d) * sin(w) / cos(e));

az = az * 180 / pi;

return (az);
}

```

```

float angulo_diario(float a, int b)

{

float t;

if (b % 4)

    t = 2 * pi * (a - 1) / (365);

else

    t = 2 * pi * (a - 1) / (366);

return (t);

}

```

```

float declinacion(float nd, float t)

{

d = 0.006918 - 0.399912 * cos(t) + 0.070257 * sin(t) - 0.006758 * cos(2 * t) +
0.000907 * sin(2 * t) - 0.002697 * cos(3 * t) + 0.001480 * sin(3 * t);

return (d);

}

```

```
float ecuacion_tiempo(float t)
```

```
{
```

```
    t = t * pi / 180;
```

```
    float et = 0.000075 + 0.001868 * cos(t) - 0.032077 * sin(t) - 0.014615 * cos(2 * t) -  
0.040089 * sin(2 * t);
```

```
    et = 229.2 * et / 60;
```

```
    return (et);
```

```
}
```

```
float hora_solar(float h, float nd, float t)
```

```
{
```

```
    float lon = 75 + longitud;
```

```
    lon = lon / 15;
```

```
    float hs = h + ecuacion_tiempo(t) + lon;
```

```
    return (hs);
```

```
}
```

```
float angulo_horario(float h, float nd, float t)
```

```
{
```

```
    float hs = hora_solar(h, nd, t);
```

```
    float w = 15 * (hs - 12);
```

```
    w = w * pi / 180;
```

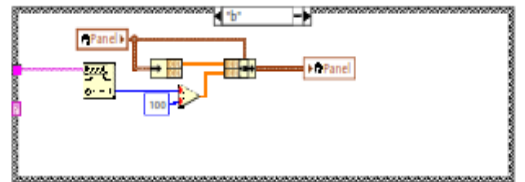
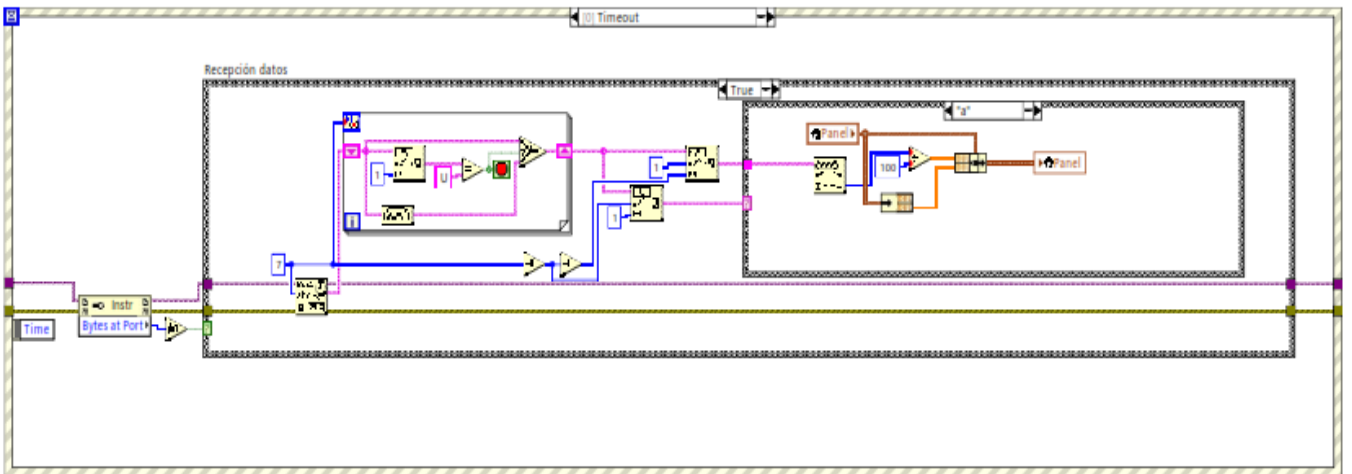
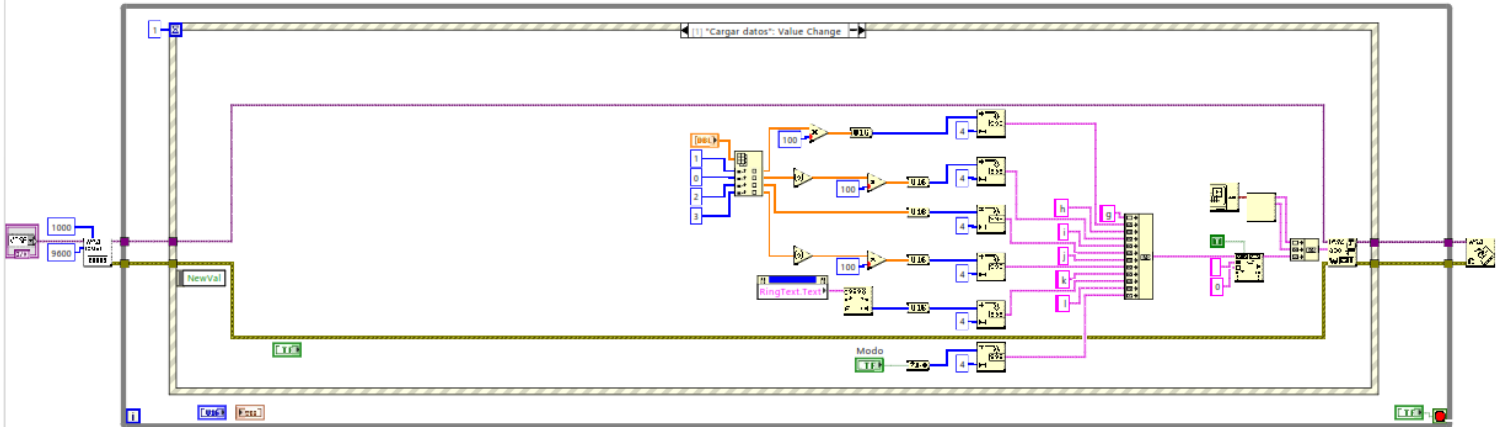
```
    return (w);
```

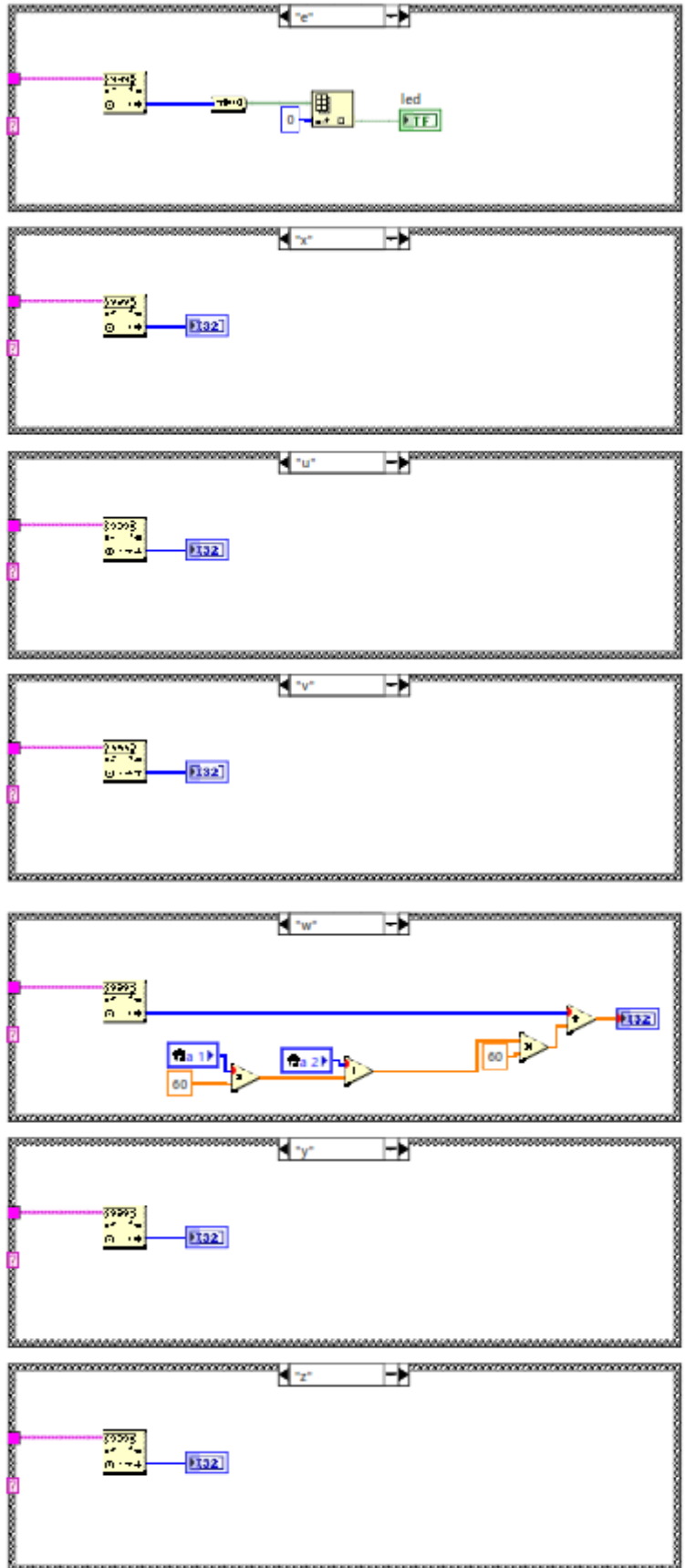
```
}
```

```
float elevacion(float h, float nd, float w, float d)  
{  
  
float e;  
  
float lat = latitud;  
  
e = asin(cos(lat) * cos(d) * cos(w) + sin(lat) * sin(d));  
  
return (e);  
  
}
```

ANEXO 2

PROGRAMACIÓN LABVIEW

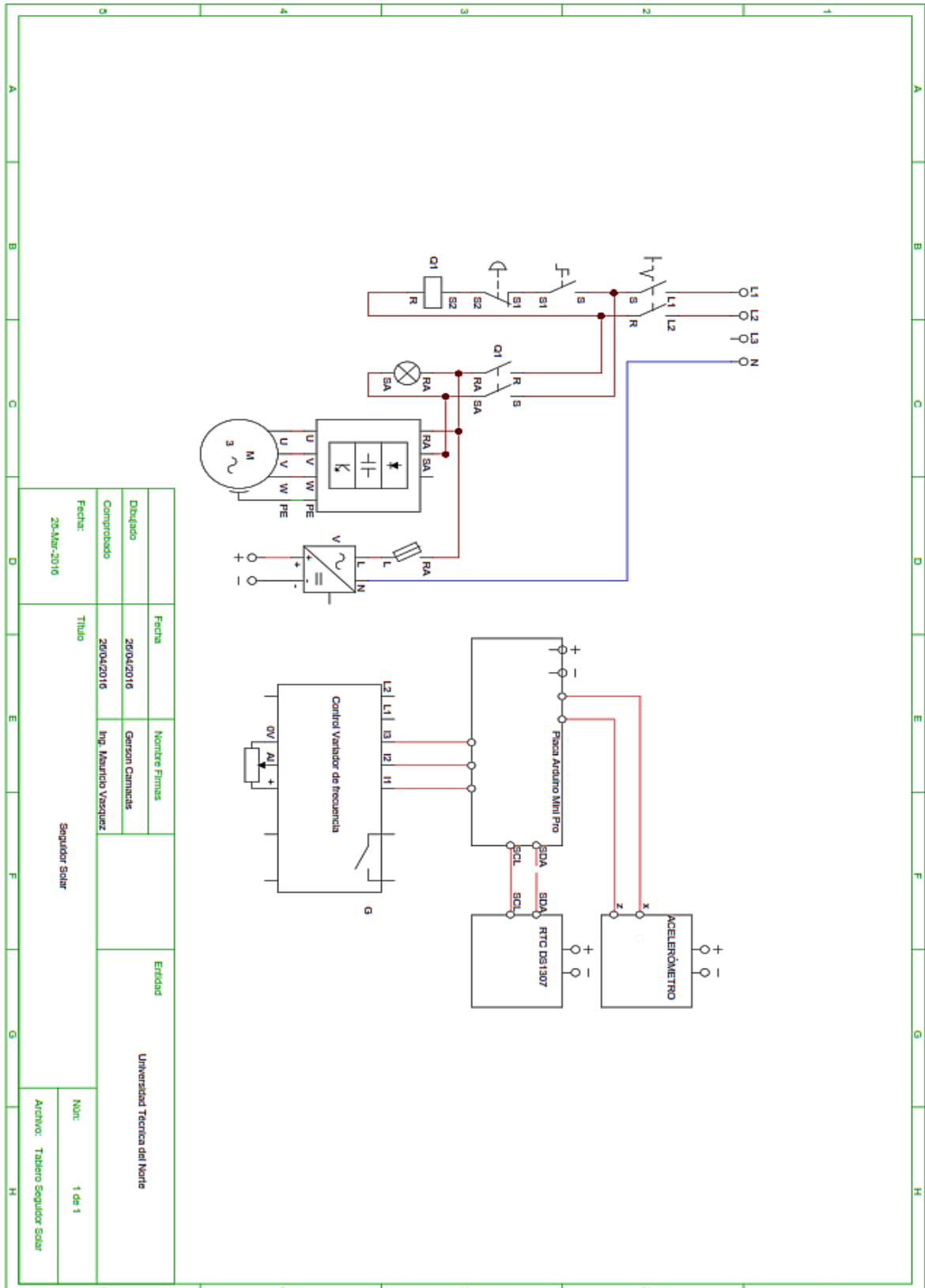






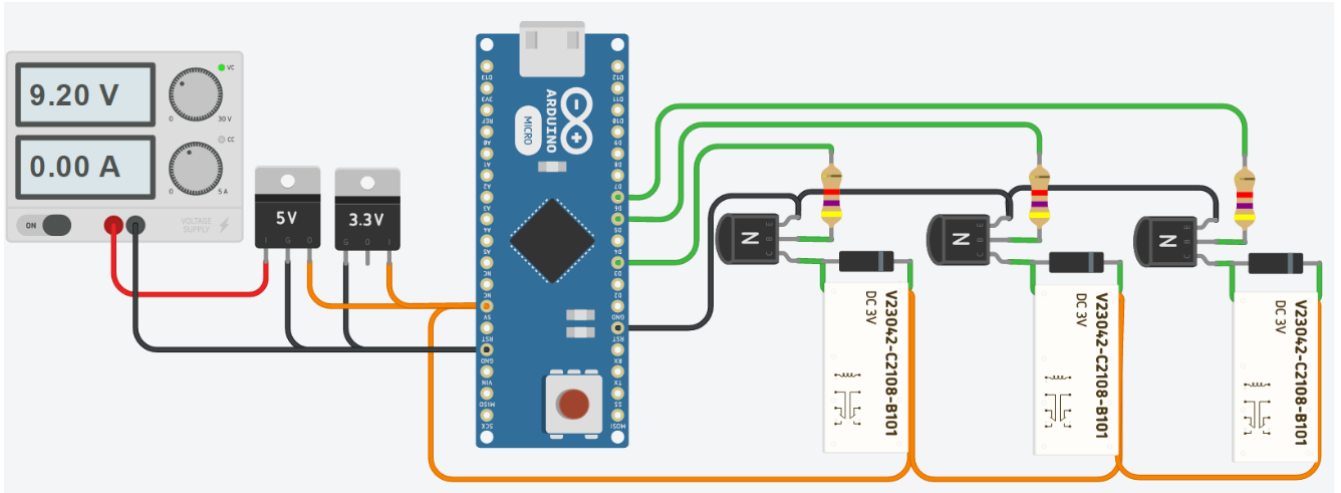
ANEXO 3

DIAGRAMA ELÉCTRICO

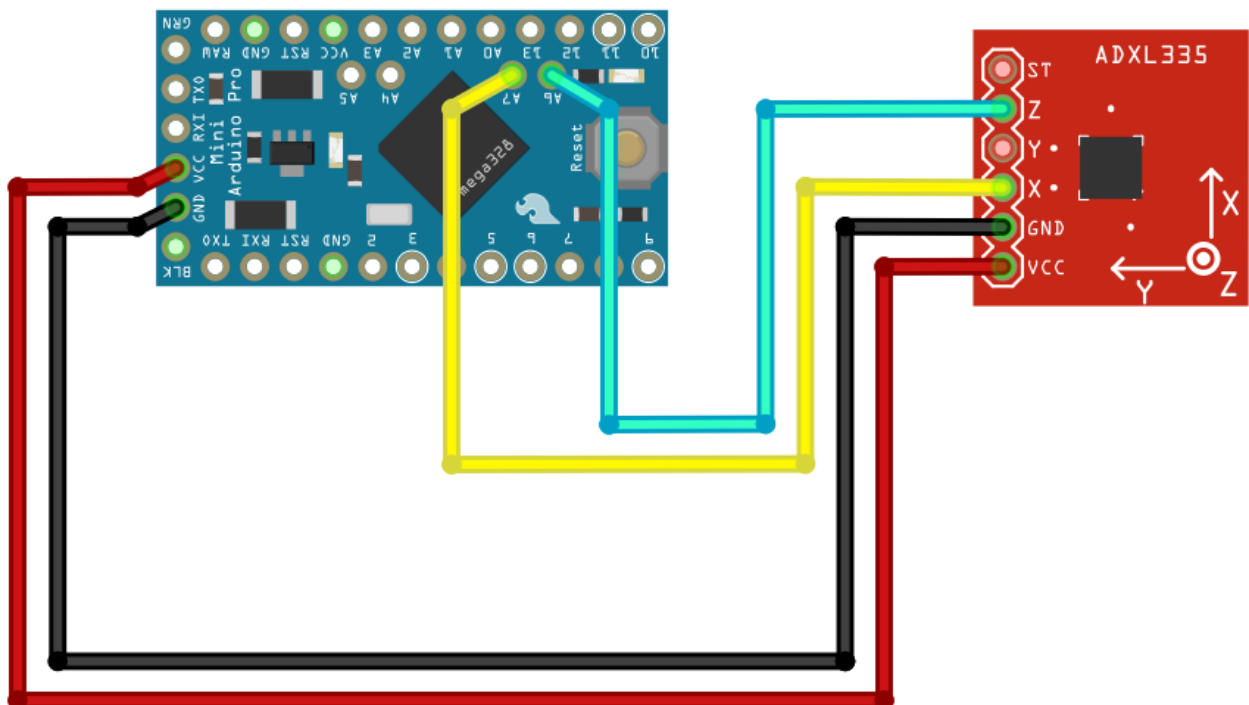


ANEXO 4

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO ELECTRÓNICO

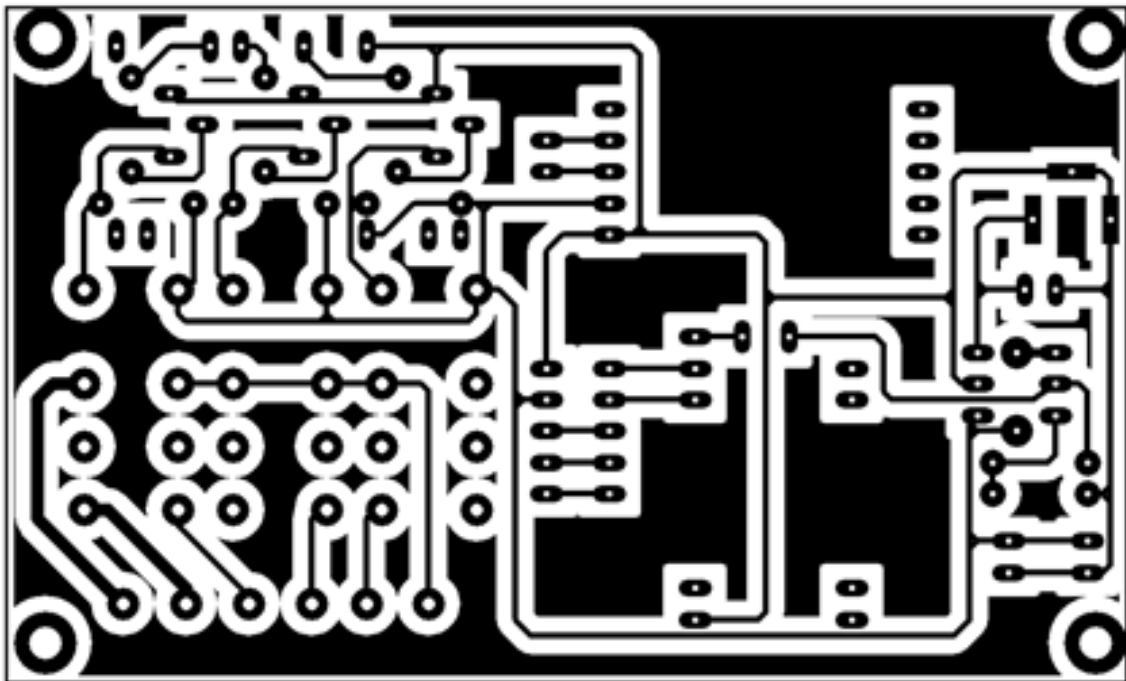
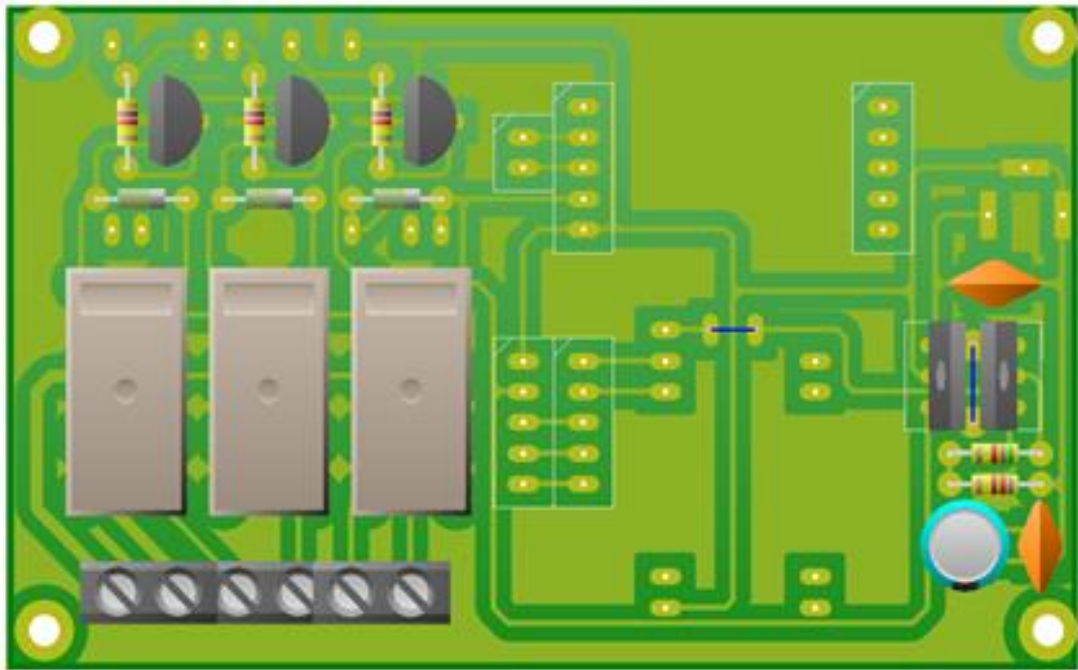


CONEXIÓN ARDUINO MINI PRO Y ACELERÓMETRO

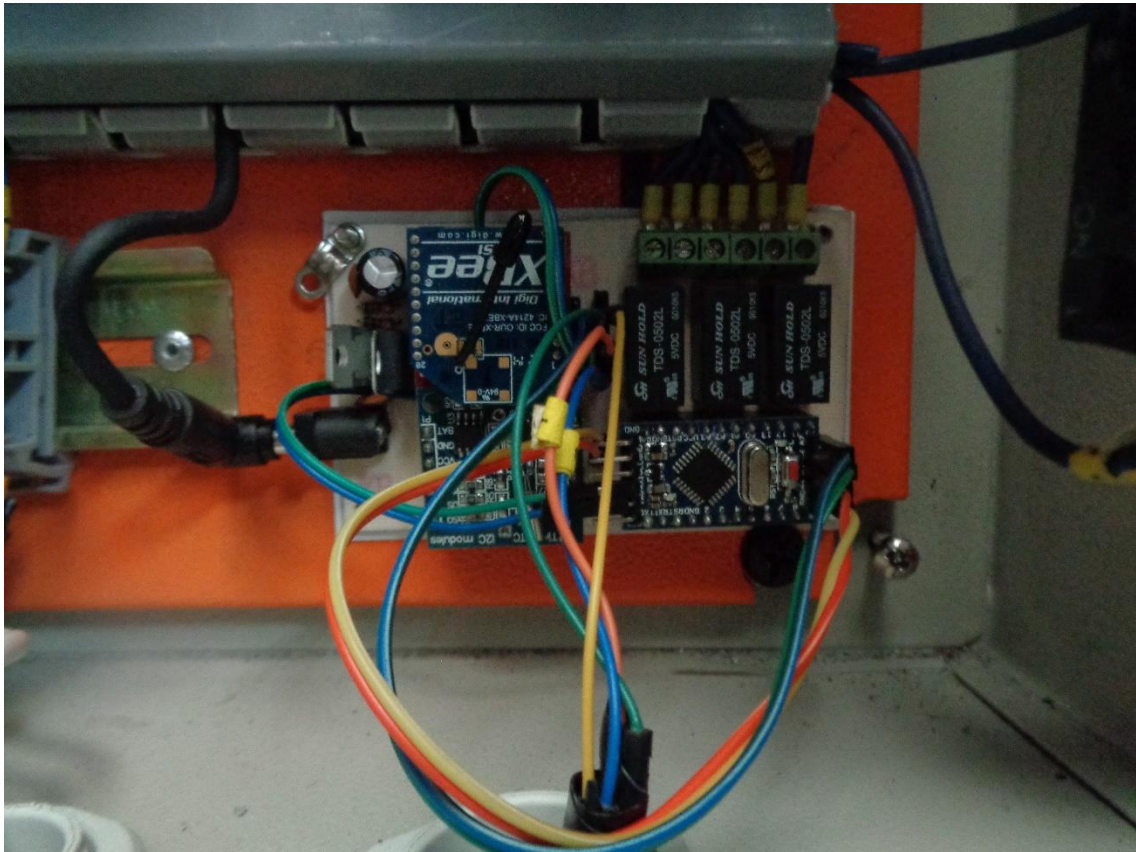
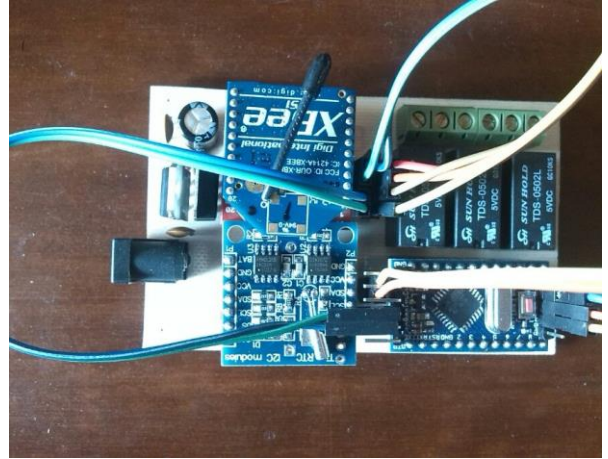
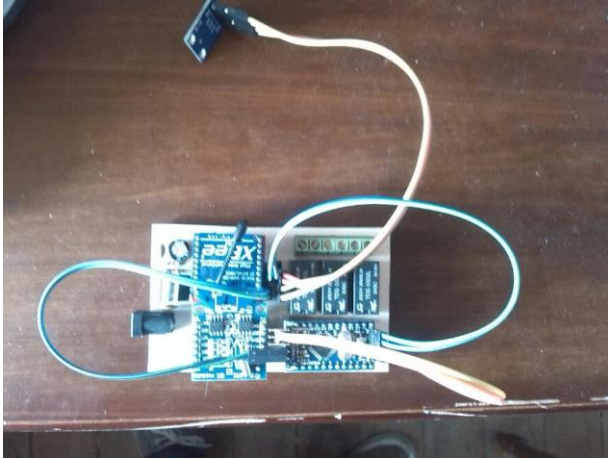


ANEXO 5

DISEÑO PLACA ELECTRÓNICA DE CONTROL UTILIZANDO SOFTWARE PCWIZARD

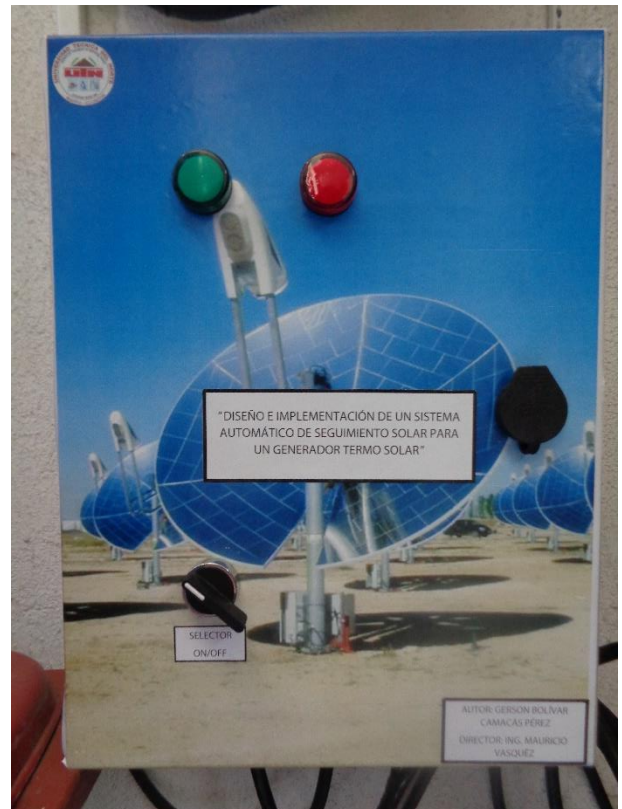
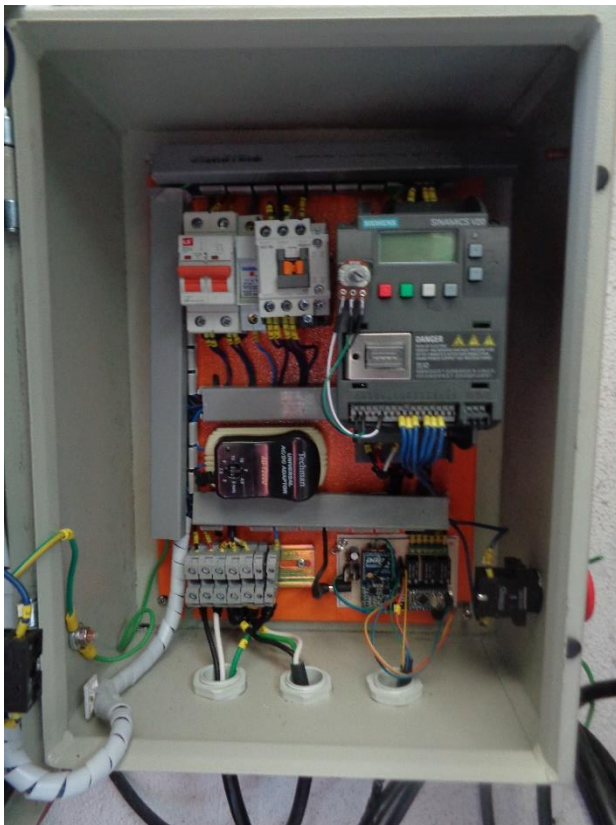
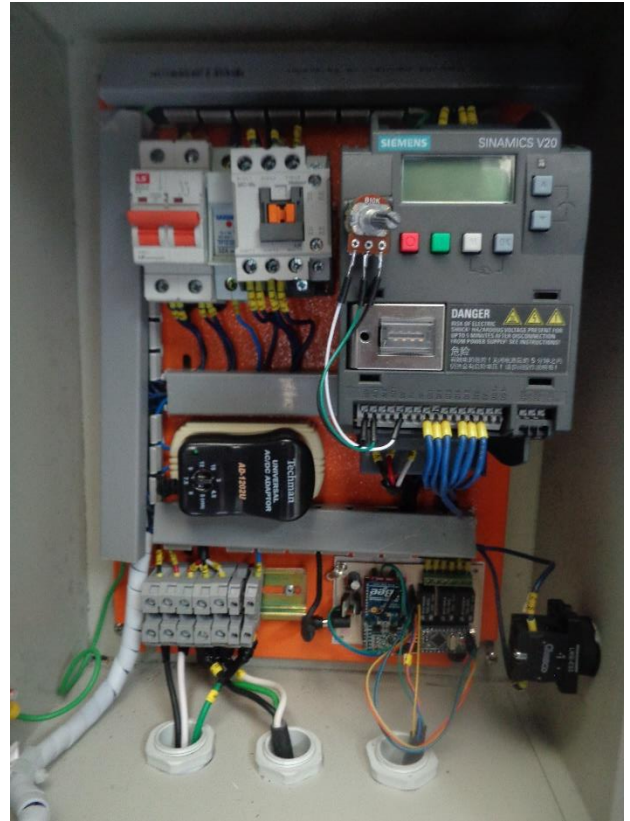


PLACA ELECTRÓNICA



ANEXO 6

TABLERO DE CONTROL



ANEXO 7

IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA



EJE DEL MOTOR



ACOPLE PARA SENSOR DE POSICIÓN ANGULAR



ANEXO 8

PRUEBAS DEL TABLERO DE CONTROL



PRUEBA COMUNICACIÓN SERIAL ARDUINO Y LABVIEW



ANEXO 9

MANUAL DE USUARIO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE SEGUIMIENTO SOLAR

INTRODUCCIÓN

El tablero de control que se describe a continuación es el encargado de controlar el sistema automático de seguimiento solar, activando y desactivando el motor que mueve el disco parabólico del generador termo solar hacia los rayos del sol a lo largo del día.

Adicionalmente el sistema posee una interfaz gráfica para visualizar el movimiento del panel y ajustar ciertos parámetros necesarios para el cálculo de la posición del disco parabólico, estos parámetros ya han sido descritos en el presente trabajo de grado.

1.- DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL TABLERO DE CONTROL

PANEL FRONTAL

1. Luz de encendido del sistema.
2. Luz de motor en funcionamiento.
3. Selector de encendido/apagado del sistema.



2.- MANEJO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

ENCENDIDO

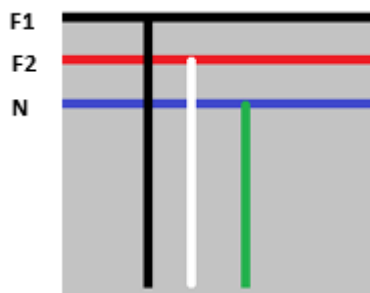
1.- Alimentar el tablero de control a la red recordando que la alimentación del tablero es a 220 V este voltaje es necesario para que funcione el variador de frecuencia y por ende el motor trifásico de inducción, adicional a eso internamente dentro del tablero se toma una fase de las ya existentes y un neutro para la alimentación a 110 V necesaria para la parte de control del sistema, aunque el neutro esta etiquetado como tal, es necesario especificar las fases y el neutro de la alimentación por seguridad.

Fase 1: cable color negro

Fase 2: cable color rojo

Neutro: cable color verde

Alimentación del sistema



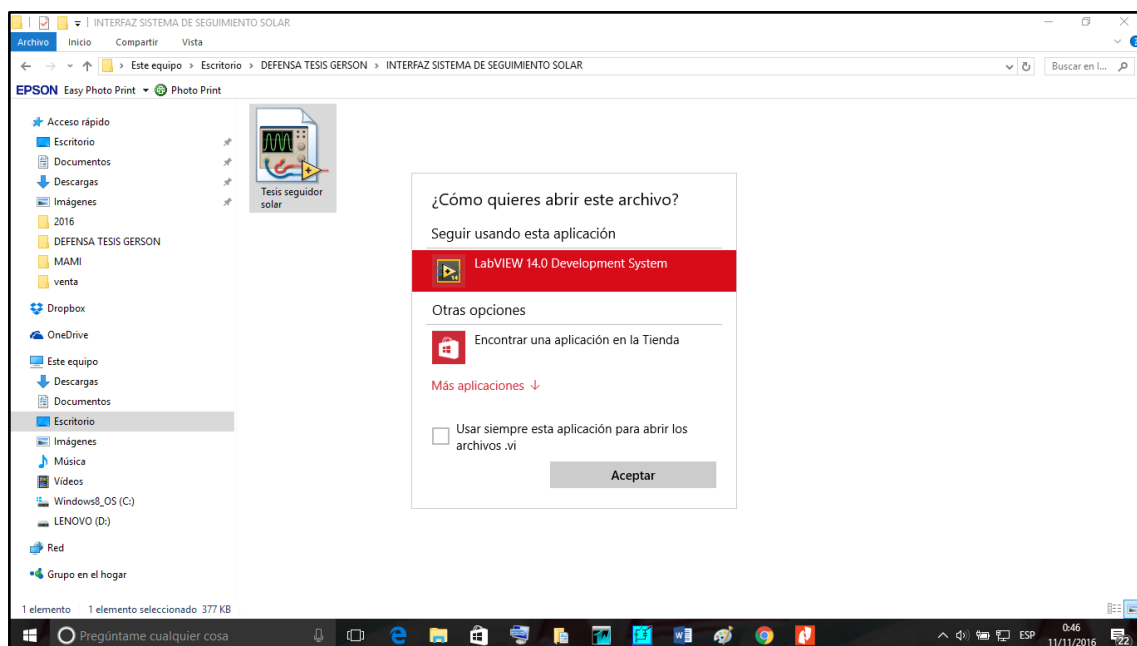
2.- Una vez que esté conectada correctamente la alimentación del tablero, podemos encender el sistema con el selector de encendido/apagado, el sistema dará inicio a los procesos de cálculo y verificación de los datos previamente cargados en el Arduino como las fechas, horas y ángulo de posición en el que debe estar en ese periodo de tiempo para orientar al disco parabólico hacia los rayos del sol.

VISUALIZACIÓN DE DATOS EN LA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

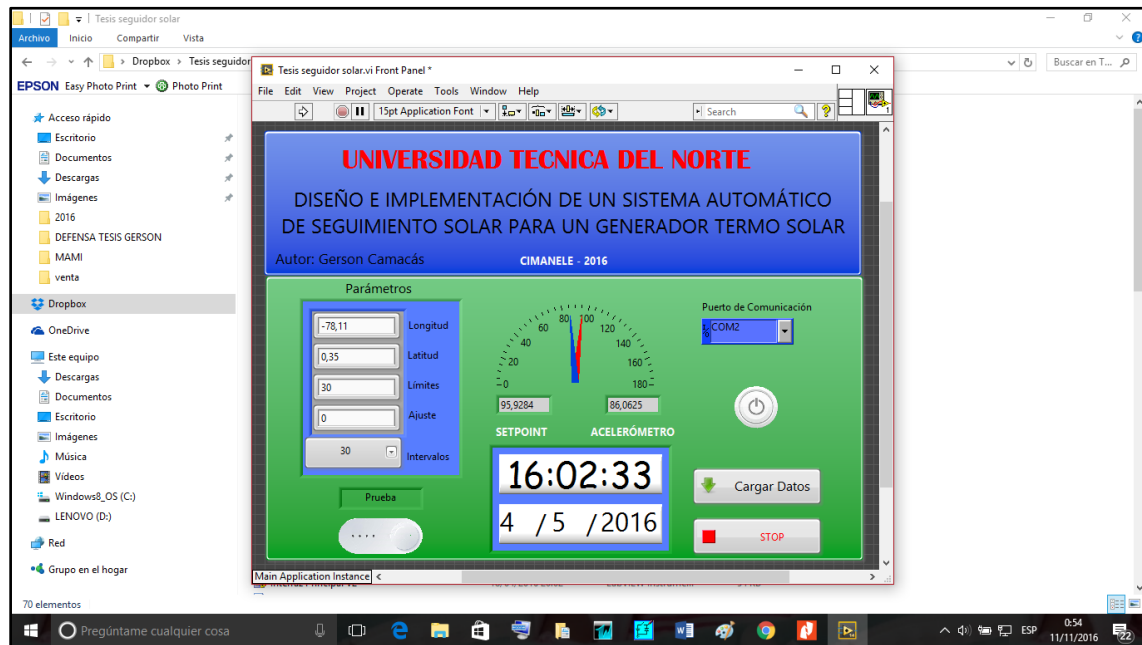
1.- Se debe tener previamente instalado en el ordenador ya sea de escritorio o portátil el software LabVIEW 2014 o sus versiones siguientes.

2.- Una vez instalado LabVIEW podemos ejecutar el archivo que contiene la interfaz gráfica de usuario dirigiéndonos a la carpeta donde este se encuentra ubicado.

Hacemos doble click directamente sobre el archivo de LabVIEW o en su defecto damos click derecho sobre este y seleccionamos abrir con y elegimos el software Labview para abrirlo.

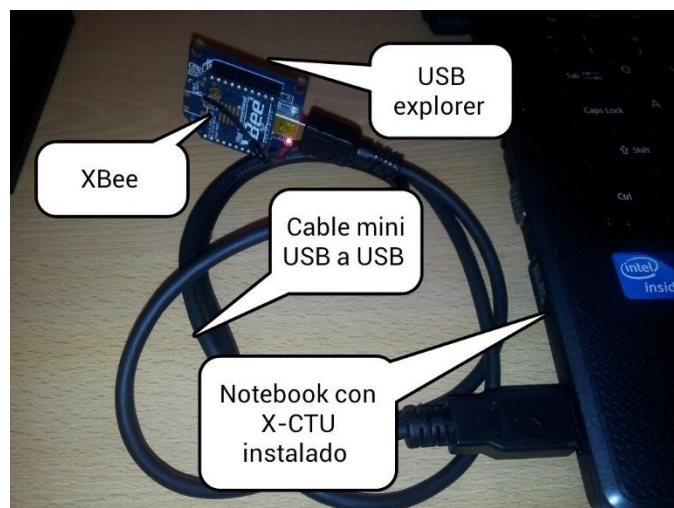


3.- Una vez abierto el archivo nos aparecerá la siguiente ventana:



4.- Para poder visualizar los datos de la interfaz gráfica debemos seguir los siguientes pasos:

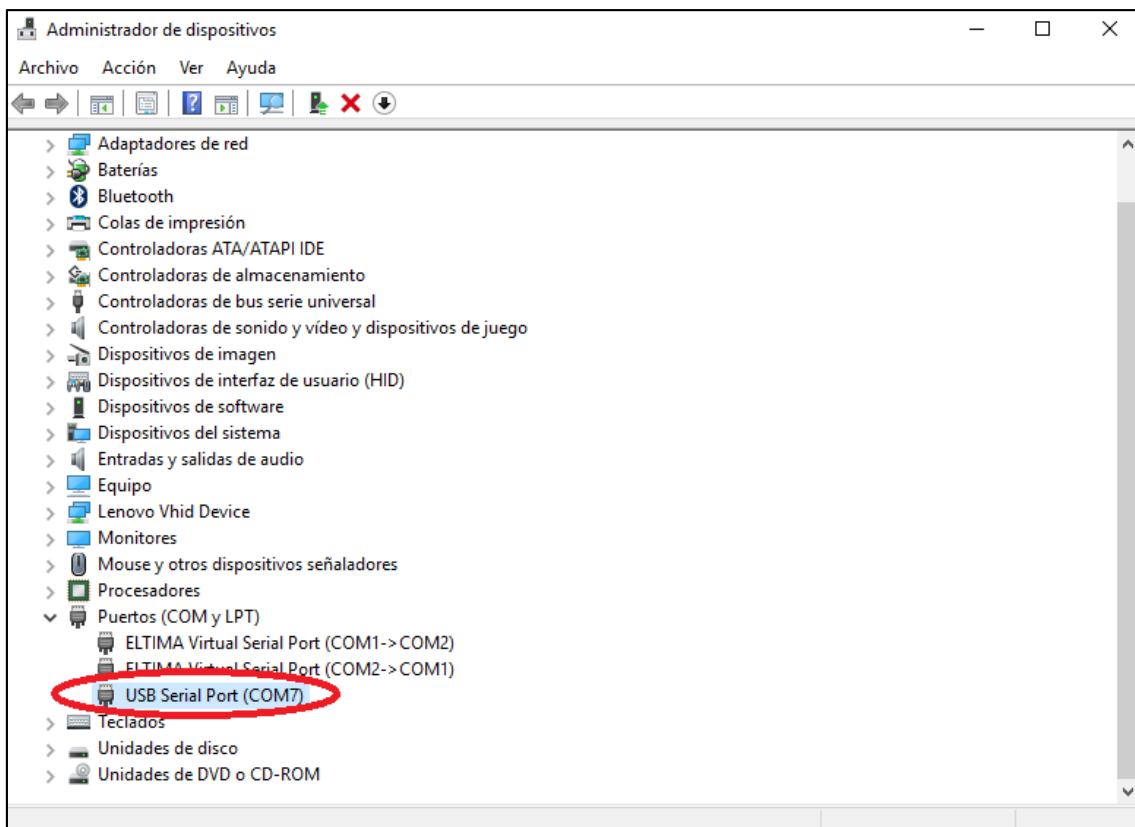
a) conectar el Xbee a nuestro ordenador en uno de los puertos USB.



b) Una vez conectado el Xbee al ordenador lo primero es seleccionar el puerto de comunicación en la interfaz gráfica.

- Para saber en qué puerto de comunicación se encuentra conectado nuestro Xbee, podemos dirigirnos a inicio – panel de control – administrador de dispositivos, ahí podremos observar en la ventana una pestaña que dice puertos (COM y LPT).

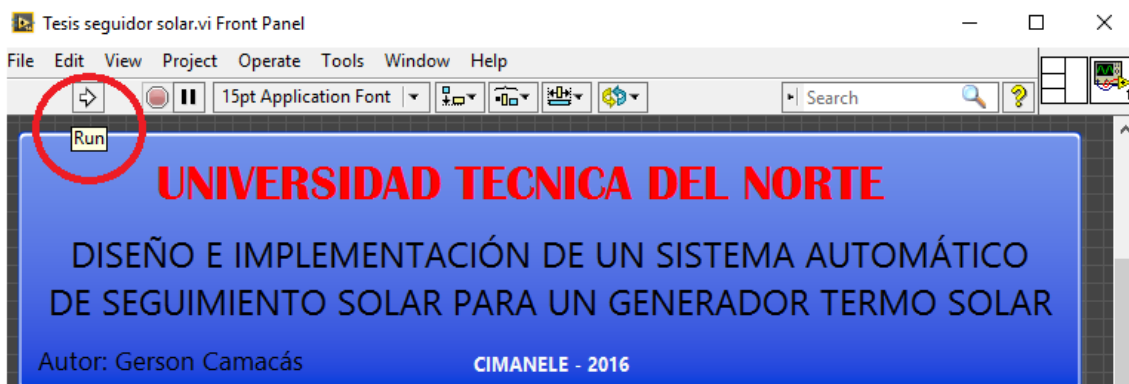
Si desconectamos y volvemos a conectar el Xbee, en la ventana desplegada veremos a que puerto COM se está conectando, en este caso está conectado en el COM 7 ese será el puerto que debemos seleccionar.



- Ahora seleccionamos en la interfaz gráfica el puerto de comunicación ya identificado anteriormente.



c) Una vez encendido el sistema desde el tablero de control y seleccionado el puerto de comunicación lo siguiente es, correr la interfaz gráfica de usuario dando click en el botón (run) que se lo puede identificar con una flecha en la ventana de LabVIEW.



- Hecho esto el sistema empezara a recibir los datos vía comunicación serial desde el Arduino hacia la interfaz gráfica de LabVIEW para ser visualizados.

d) Como se puede observar en el apartado de parámetros ya existen datos previamente cargados los cuales han sido almacenados en la memoria interna del Arduino para el desarrollo de los cálculos de posicionamiento astronómico, si se desea modificar estos parámetros según la necesidad de otro usuario dado que el sistema puede ser implementado para cualquier región del Ecuador, el usuario simplemente debe modificar los valores en el apartado de parámetros mientras la interfaz se está ejecutando.

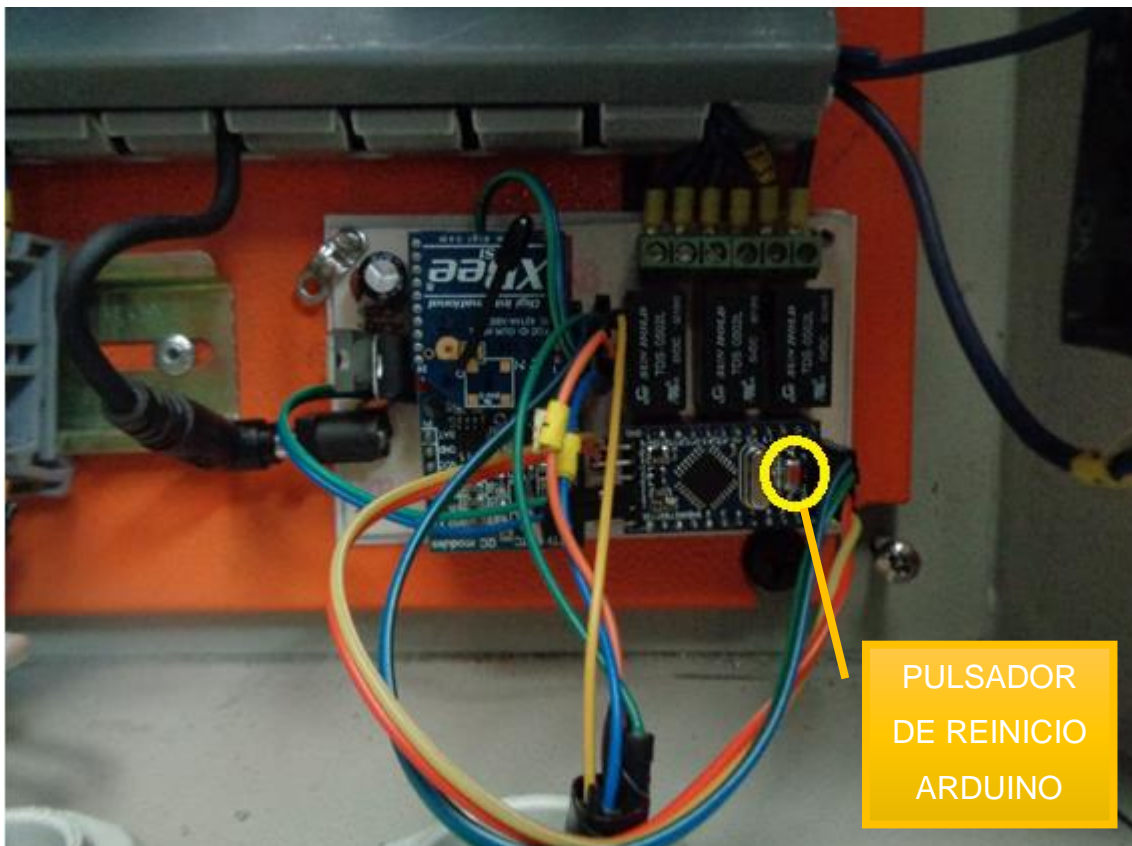
The image shows a LabVIEW control panel titled "Parámetros". It features five input controls arranged vertically on a blue background, all enclosed within a green border. From top to bottom: a numeric text box containing "-78,11" labeled "Longitud"; a numeric text box containing "0,35" labeled "Latitud"; a numeric text box containing "30" labeled "Límites"; a numeric text box containing "0" labeled "Ajuste"; and a numeric spinner control containing "30" with a dropdown arrow, labeled "Intervalos".

- Longitud: longitud del lugar donde está ubicado el captador solar.
- Latitud: Latitud del lugar donde está ubicado el captador solar.
- Límites: son los ángulos máximos de inclinación del disco parabólico o cualquier sistema de captación solar tanto hacia el Este como al Oeste dependiendo de la implementación mecánica.
- Ajuste: En caso de que el acelerómetro presente un error en el valor angular de la posición, ya sea por la distancia o por fallas propias del sensor este ajuste permitirá calibrarlo para tener una medición más acertada.
- Intervalos: El usuario puede elegir en que intervalo de tiempo quiere que se realice el seguimiento solar, los intervalos van desde un minuto hasta una hora.

e) Una vez configurados los parámetros se procede a cargarlos simplemente dando click en el botón de la interfaz que dice cargar datos.



- Como recomendación si no se observa un cambio en el sistema con la modificación de los nuevos parámetros, se debe presionar el botón de reset del Arduino dentro del tablero de control.



f) Si se desea detener la visualización de los datos en la interfaz gráfica, simplemente presionamos el botón stop y la interfaz dejara de ejecutarse, los parámetros configurados no se borrarán pues se mantendrán almacenados en la memoria interna del Arduino hasta que estos sean modificados nuevamente de ser requerido.

APAGADO DEL SISTEMA

El sistema como tal puede mantenerse encendido y funcionando de manera continua, sin necesidad de ejecutar la interfaz gráfica, pero si se desea apagarlo ya sea por mantenimiento de la superficie captadora u otra situación, simplemente apagamos mediante el selector de encendido/apagado y desconectando la alimentación principal por seguridad del usuario.

RECOMENDACIONES

- Verificar que el generador termo solar este desanclado de sus cables tensores de seguridad, para que pueda moverse sin problemas una vez que se ha activado el sistema automático de seguimiento solar.
- Antes de encender el sistema, verificar mediante un multímetro que la alimentación donde será conectado el sistema tenga el voltaje adecuado.
- La frecuencia de movilidad del sistema ha sido previamente establecida, por seguridad del sistema verificar que esta se encuentre establecida en 12 Hz, de no ser así mover el potenciómetro hasta la frecuencia antes mencionada.
- Si se modifican los parámetros y no se observan cambios en el comportamiento del sistema, presionar el botón reset del Arduino.

ANEXOS DIGITALES

ANEXO 10: MANUAL DEL VARIADOR SINAMICS V20

ANEXO 11: MANUAL DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

ANEXO 12: CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS XBEE