



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

TÍTULO:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGUIDOR
SOLAR AUTOMÁTICO PARA CONCENTRADOR
PARABÓLICO”.**

I N F O R M E D E T E S I S

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

AUTORES:

**Franco Patricio Loja Gualán.
Diego Efraín Suarez Díaz.**

DIRECTOR:

Ing. Diego Vinicio Orellana Villavicencio.

LOJA- ECUADOR

Noviembre de 2011

CERTIFICACIÓN

Ing. Diego Vinicio Orellana Villavicencio

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

El presente trabajo de investigación con el tema; **“Diseño y construcción de un seguidor solar automático para concentrador parabólico”**, fue desarrollado por los señores egresados: Franco Patricio Loja Gualán y Diego Efraín Suárez Díaz, bajo mi supervisión, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

.....
Ing. Diego Orellana
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad del contenido en diseño y construcción de ésta Tesis de Grado, nos corresponden exclusivamente; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento y el patrimonio intelectual de la misma a la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

.....
Franco Patricio Loja G.

.....
Diego Efraín Suárez D.

DEDICATORIA

Dedico principalmente a Dios; a mis abuelos Francisco Loja (+) y Zoila Cusco (+), que con amor, esfuerzo y trabajo me han brindado una buena educación y han cultivado en mí los mejores valores.

A mi madre que con su guía, consejos, ejemplo, paciencia y enseñanzas profundas consiguió hacer de mí el ser humano que soy ahora.

A mi padre que con su apoyo incondicional contribuyó a la realización del presente proyecto de investigación.

A mi esposa por todo el apoyo, amor y comprensión que me ha transmitido.

A mis hermanos con los que compartí mi infancia y mi juventud, gracias por el apoyo incondicional que me han brindado.

Para mis pequeñas hijas, por ser la fuente de alegría del hogar y lo más hermoso que me ha dado la vida.

Franco Patricio Loja G.

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios Padre Todo Poderoso y a la Santísima Virgen María por concederme los dones y gracias necesarias para continuar en el camino de la fe, la esperanza y la caridad. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre por haberme educado y soportar mis errores. Gracias a tus consejos, por el amor que siempre me has brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad. ¡Gracias por darme la vida!

A mi padre por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mis hermanos porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad.

A mis familiares por haberme brindado la comprensión y su apoyo en todo momento

A mis amigos que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino y que hasta el momento, seguimos siendo amigos.

Diego Efraín Suárez D.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirnos llegar a esta instancia de nuestras vidas.

A la carrera de Ingeniería Electromecánica, Personal docente y Administrativo por la acertada colaboración.

Un especial agradecimiento al Ing. Diego Orellana por sus excelentes consejos y dirección; contribuyó a la culminación del presente proyecto de titulación.

Al Ing. Byron Solórzano por su asesoramiento y facilitación de su taller para la construcción de este proyecto.

Los Autores

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁG.
CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE LAS FIGURAS	x
SIMBOLOGÍA	xiii
PROBLEMÁTICA	xvii
SITUACIÓN PROBLÉMICA.	xvii
PROBLEMA GENERAL DE INVESTIGACIÓN	xviii
PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE INVESTIGACIÓN	xviii
OBJETIVOS	xix
OBJETIVO GENERAL	xix
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	xix
PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	xix
HIPÓTESIS GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	xix
HIPÓTESIS ESPECÍFICAS DE LA INVESTIGACIÓN	xxi
1. RESUMEN	1
1. ABSTRACT	2
2. INTRODUCCIÓN	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 ENERGÍA SOLAR.	5
3.1.1 INTRODUCCIÓN.	5
3.1.2 GEOMETRIA SOLAR	5
3.1.2.1 DEFINICIONES GEOMÉTRICAS TERRESTRES	5
3.1.2.2 DEFINICIONES PARA OBSERVADOR TERRESTRE	6
3.1.3 DECLINACIÓN DEL SOL	8
3.1.4 LA CONSTANTE SOLAR.	10
3.1.5 LA RADIACION NORMAL EXTRATERRESTRE.	11
3.1.6 RADIACIÓN SOLAR	12
3.1.6.1 TIPOS DE RADIACIÓN Y SUS RELACIONES GEOMÉTRICAS.	12
3.2 CONCENTRADORES SOLARES	14
3.2.1 INTRODUCCIÓN.	14
3.2.2 COLECTOR SOLAR.	14
3.2.2.1 COLECTORES CONCENTRADORES	15
3.2.2.2 COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS	16

3.2.2.3 COLECTOR O DISCO PARABÓLICO.	17
3.2.2.4 HELIOSTATO	18
3.2.3 CONSIDERACIONES GEOMETRICAS SOBRE EL COLECTOR PARABÓLICO DE REVOLUCIÓN.	18
3.2.4 COLECTORES DE FOCALIZACIÓN PUNTUAL SOBRE UNA ZONA REDUCIDA	20
3.2.5 SEGUIMIENTO SOLAR.	21
3.2.5.1 ELECCIÓN DE LA MONTURA SOLAR	23
3.3 NOCIONES DE ELECTRÓNICA	24
3.3.1 INTRODUCCIÓN.	24
3.3.2 LA FUENTE DE PODER O ALIMENTACIÓN.	24
3.3.3 TRANSISTORES	25
3.3.3.1 CONFIGURACIÓN EN EMISOR COMÚN	27
3.3.3.2 CONFIGURACIÓN BASE COMÚN	27
3.3.3.3 CONFIGURACIÓN COLECTOR COMÚN	27
3.3.3.4 ZONA ACTIVA	28
3.3.3.5 ZONA CONMUTACIÓN	28
3.3.4 RESISTENCIAS	29
3.3.5 POTENCIÓMETROS	30
3.3.6 SENSOR DE LUZ LDR	31
3.3.7 CAPACITORES CERÁMICOS.	32
3.3.8 PANTALLAS LCD	32
3.3.8.1 PATILLAJE	33
3.3.9 EL MICROCONTROLADOR PIC	34
3.3.10 EL MICROCONTROLADOR PIC16FXXX	34
3.3.10.1 ARQUITECTURA DEL PIC16F819/877A.	36
3.3.10.2 LA MEMORIA DEL PROGRAMA.	36
3.3.10.3 LA MEMORIA DE DATOS.	37
3.3.10.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES.	38
3.3.10.5 OSCILADOR	39
3.3.10.6 DIAGRAMA DE PINES Y FUNCIONES	40
3.3.10.7 CONSIDERACIONES BÁSICAS A LA HORA DE MONTAR UN PROYECTO.	44
3.3.10.8 DECLARACIONES DISPONIBLES EN EL COMPILADOR PBP 2.44.	45
3.4 DISEÑO MECÁNICO	46
3.4.1 INTRODUCCIÓN.	46
3.4.2 MOMENTO DE INERCIA	46
3.4.3 EJES DE TRANSMISIÓN.	48
3.4.3.1 MOMENTO FLECTOR	49
3.4.3.2 TORSIÓN	49
3.4.3.3 MOMENTO TORSOR	50
3.4.4 EL TORNILLO SIN FIN Y LA RUEDA DENTADA	51

3.4.5 ENGRANAJES CILÍNDRICOS RECTOS	52
3.4.5.1 FUERZA TANGENCIAL	52
3.4.5.2 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN	52
3.4.6 RODAMIENTOS	53
3.4.6.1 RODAMIENTOS DE RODILLOS CÓNICOS.	53
3.4.6.2 RODAMIENTOS DE BOLAS A RÓTULA	53
3.4.6.3 LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS	54
3.4.7 TRANSMISIÓN POR CADENA	54
3.5 MOTOR PASO A PASO	56
3.5.1 INTRODUCCIÓN	56
3.5.2 MOTORES PASO A PASO BIPOLARES.	56
3.5.3 FUNCIONAMIENTO.	57
3.5.3.1 MOTOR BIPOLAR	57
4. MATERIALES Y MÉTODOS	61
4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SEGUIDOR SOLAR AUTOMÁTICO PROPUESTO.	61
4.1.1. DISEÑO Y SELECCIÓN.	61
4.1.1.1 LA ESTRUCTURA BASE.	61
4.1.1.2 TRANSMISIONES DE POTENCIA MECÁNICA	63
4.1.1.3 SISTEMA ELÉCTRICO, Y AUTOMATIZACIÓN	63
4.2 MÉTODOS	64
4.3 TÉCNICAS	65
4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS MOTORES PASO A PASO	66
4.5 DISEÑO DEL CONCENTRADOR PARABÓLICO DE REVOLUCIÓN	68
4.6 DISEÑO DEL EJE VERTICAL	72
4.7 DISEÑO DEL EJE HORIZONTAL	81
4.8 ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD	92
4.9 SELECCIÓN DEL PASO DE LA CADENA	95
4.10 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA BASE	97
4.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL	101
4.11.1. DISEÑO DEL SITEMA DE POTENCIA	101
4.11.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	103
4.11.2.1 PROGRAMA PARA EL PIC 16F877A	104
4.11.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EN PIC 16F877A	109
4.11.2.3 PROGRAMA PARA EL PIC 16F819	110
4.11.2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EN PIC 16F819	111
5. RESULTADOS	112
5.1. EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL	112
5.1.1. ANALISIS TÉCNICO DEL PROYECTO	112
5.1.2. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SEGUIDOR SOLAR.	112
5.1.3. EVALUACIÓN AMBIENTAL	114
6. DISCUSIÓN	116

7. CONCLUSIONES	117
8. RECOMENDACIONES	118
9. BIBLIOGRAFÍA	119
CITAS BIBLIOGRÁFICAS:	119
CITIOS WEB:	119
10. ANEXOS.	121

ÍNDICE DE LAS FIGURAS

FIGURAS	PÁG.
Fig. 3.1: Paralelos y meridianos.	5
Fig. 3.2: Ángulos para plano inclinado y posicionamiento solar	7
Fig. 3.3: Ángulos de elevación o altitud solar y acimutal	8
Fig. 3.4: Movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol.	9
Fig. 3.5: Declinación solar.	9
Fig. 3.6: Declinación solar, indicando los solsticios de invierno y verano respecto al plano del ecuador	10
Fig. 3.7: Colectores cilindro parabólicos (PTC)	16
Fig. 3.8: Colector parabólico.	17
Fig. 3.9: Heliostato.	18
Fig. 3.10: Esquema geométrico de los concentradores parabólicos de revolución.	19
Fig.3.11: Tipos de estructuras para seguimiento en 2 ejes.	22
Fig. 3.12: Estructura de dos ejes para colector parabólico.	23
Fig. 3.13: Fuente de alimentación de computador.	24
Fig. 3.14: El transistor PNP y NPN.	26
Fig. 3.15: Configuración el emisor es común tanto a la entrada como la salida.	27
Fig. 3.16: Configuración la base es común tanto a la entrada como la salida.	27
Fig. 3.17: Configuración el colector es común tanto a la entrada como la salida.	27
Fig. 3.18: Zona activa de trabajo del transistor.	28
Fig. 3.19: Zona de conmutación en corte.	29
Fig. 3.20: Zona de conmutación en saturación.	29
Fig. 3.21: Bandas de colores en las resistencias.	30
Fig. 3.22: Imagen y partes internas de un potenciómetro.	31
Fig. 3.23: Símbolo electrónico y el sensor de luz LDR.	31
Fig. 3.24: Capacitores cerámicos de disco.	32
Fig. 3.25: Pantalla LCD 2x16.	32
Fig. 3.26: La arquitectura harvard maneja la memoria de datos y la memoria de instrucciones por separado y con diferentes capacidades	36

Fig. 3.27: Mapa de la memoria de programa.	37
Fig. 3.28: Diagrama de pines del microcontrolador pic 16f819.	41
Fig. 3.29: Diagrama de pines del microcontrolador pic16f877a.	42
Fig. 3.30: Diagrama básico para conectar un pic con un led y un pulsante.	45
Fig. 3.31: Eje sometido a torsión.	50
Fig. 3.32: a) Mecanismo de transmisión circular compuesto por dos elementos, b) Indica el movimiento de sus elementos.	52
Fig. 3.33: Relación de transmisión.	52
Fig. 3.34: Rodamiento de rodillo cónico y corte longitudinal.	53
Fig. 3.35: Cortes de los rodamientos de bolas a rotulas.	54
Fig. 3.37: Esquema de bobinas de un motor paso a paso bipolar.	56
Fig. 3.38: a) Funcionamiento de un motor bipolar en modo paso completo y b) se observa que el motor se ha desplazado un paso (90°).	58
Fig. 3.39: Funcionamiento de un motor paso a paso bipolar en modo de medio paso	59
Fig. 4.1: Esquema de la estructura base del seguidor solar.	62
Fig. 4.2: Esquema geométrico del concentrador parabólico.	68
Fig. 4.3: Brazo de soporte y armadura de aros.	70
Fig. 4.4: Partes accionadas a través del eje vertical.	73
Fig. 4.5: Masa y radios de giro de partes accionadas a través del eje vertical.	74
Fig. 4.6: Fuerza flectora considerada para diseño del eje vertical.	77
Fig. 4.7: Dimensiones (unidades en mm) y cargas del eje vertical.	80
Fig. 4.8: Radios (unidades en cm) de las masas accionadas por el eje horizontal.	82
Fig. 4.9: Características generales del cuerpo de giro horizontal.	83
Fig. 4.10: Cargas en los segmentos del eje horizontal.	87
Fig. 4.11: Cargas y momentos flectores generados en el eje horizontal.	89
Fig. 4.12: Cargas y momentos flectores generados en el eje horizontal. (Eje Y).	90
Fig. 4.13: Esquema general de accionamiento del eje horizontal del seguidor solar.	94
Fig. 4.14: Esquema general de accionamiento del eje vertical del seguidor solar.	95
Fig. 4.15: Aros soldados por platinas para soporte de la parábola.	97
Fig. 4.16: Brazo y base para chumaceras de piso.	98

Fig. 4.17: Brazo y base para chumaceras de piso.	99
Fig. 4.18: Base del eje vertical y tubo de vapor mecanizado para ajustar rodamientos cónicos	99
Fig. 4.19: Mecanizado y soldadura del tubo de vapor para pista de rodamiento cónico, acoplamiento y montaje del eje vertical y brazo.	100
Fig. 4.20: montaje de la estructura base.	101
Fig. 4.21a: Esquema del puente H para una bobina para motor PaP. Bipolar	102
Fig. 4.21b: Puente H para motor PaP. Bipolar ensamblado en un Protoboar	102
Fig. 4.22: Diagrama de puertos de comunicación entre el PIC 16F877A y el PIC 16F819	103

SIMBOLOGÍA

- CR*: Razón de concentración.
Aac: Área de intercepción (m²).
Af: Área de absorción (m²).
S: Vértice.
F: Foco.
SF: Distancia focal (m).
D: Diámetro de abertura del paraboloide (m).
 ϕ : Ángulo máximo que lo define (°).
A_φ: Área de la parábola (m²).
V: Volumen (m³).
e: Espesor (m).
m: Masa (Kg).
 ρ : Densidad ($\frac{Kg}{m^3}$)
mT: Masa Total.
P: Presión ($\frac{N}{m^2}$)
v: Velocidad del aire ($\frac{m}{s}$)
A: Área (m²).
Q: Caudal ($\frac{m^3}{s}$).
 \dot{m} : Flujo másico ($\frac{kg}{s}$).
Ec: Energía cinética.
t: Tiempo (s)
F: Fuerza (N)
f_{trapez}: Frecuencia máxima para un movimiento trapezoidal (Hz)
P_{total}: Pasos o pulsos totales. (Pasos)
t_{total}: Tiempo total (s)
t_{acel}: Tiempo de aceleración (s).
V: Velocidad de rotación en (RPM).
J_{total}: Momento de inercia total (kg*m²).
T_{acel}: Torque necesario para acelerar y desacelerar la inercia total del sistema (N*m)

- ΔV : Variación de velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$
- Δt : Variación de Tiempo. (s)
- T_{resis} : Torque resistivo (N*m)
- μ_s : Coeficiente de seguridad.
- η_T : Factor de rendimiento.
- T : Torque (N*m).
- T_{Total} : Torque total motor PAP. (N*m).
- i : Relación de transmisión.
- $RPMm$: Revoluciones del motor paso a paso.
- IT : Relación de transmisión desde el motor al eje.
- ω_o : Velocidad angular inicial de la parábola $\left(\frac{rad}{s}\right)$.
- ω_f : Velocidad angular final de la parábola $\left(\frac{rad}{s}\right)$.
- $RPMp$: Revoluciones de la parábola.
- α : Aceleración angular $\left(\frac{rad}{s^2}\right)$
- τ : Torque necesario (Nm).
- τ_{ev} : Torque de eje vertical (Nm).
- F_f : Carga Flectora (kgf).
- b : Brazo (m)
- M_b : Momento Flector máximo (Nm)
- σ_c : Esfuerzo a la cedencia $\left(\frac{Kgf}{mm^2}\right)$
- S_s : Esfuerzo permisible máximo $\left(\frac{N}{m^2}\right)$
- M_t : Momento torsor (N-m).
- K_t : Coeficiente de momento torsor.
- K_b : Coeficiente de momento flector.
- μ_{ch} : Coeficiente por chavetero.
- D_{ev} : Diámetro mínimo del eje vertical (m) (mm).
- R_p : Radio del piñón (m)
- F_t : Fuerza tangencial (N)
- α : Aceleración angular $\left(\frac{rad}{s^2}\right)$
- I : Momento de inercia total $(Kg - m^2)$

- mf : Masa focal (kg)
- pf : Peso focal (N)
- bf : Brazo del foco (m).
- τf : Torque debido al peso y ubicación del foco (N-m).
- τim : Torque inercial de las masas accionadas (N-m).
- τT : Torque total mínimo (N-m).
- τm : Torque del motor (N-m).
- τeh : Torque del eje horizontal (N-m).
- Deh : Diámetro mínimo del eje horizontal (m) y (mm).
- Z : Numero de dientes
- RPM_e :Revoluciones de entrada.
- RPM_s :Revoluciones de salida.
- We : Velocidad angular de entrada $\left(\frac{rad}{s}\right)$.
- Ws : Velocidad angular de salida $\left(\frac{rad}{s}\right)$.
- PIC : Peripheral Interface Controller.
- LCD : *Liquid Crystal Display* - Pantalla de Cristal Líquido.
- LDR : *Litgh Dependent Resistance* - Resistencia dependiente de la luz.
- ADC : Conversión analógica-digital.

SIMBOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN EN PBP

DEFINE: Algunos elementos, como él, oscilador y las ubicaciones de los pines LCD, están predefinidas en PBP. Define le permite a un programa PBP cambiar estas definiciones si así lo desea. Estas definiciones deben estar en mayúsculas.

DEFINE LCD_DREG PORTB	Puerto de datos de LCD
DEFINE LCD_DBIT 0	Datos de LCD empezando en 0 o 4
DEFINE LCD_RSREG PORTB	Puerto de selección de registro LCD
DEFINE LCD_RSBIT 4	Bit de selección de registro LCD
DEFINE LCD_EREG PORTB	Puerto de habilitación LCD
DEFINE LCD_EBIT 5	Bit de habilitación LCD
DEFINE LCD_BITS 4	Tamaño 4 u 8 de bus de LCD
DEFINE LCD_LINES 2	Número de líneas en LCD
DEFINE OSC 4	Oscilador de 3, 4, 8, 10, 12, 16, 20.
DEFINE ADC_BITS 10	Bits de resolución de ADC 8 o 10
DEFINE ADC_CLOCK 3	Fija reloj a un valor de 3
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50	Tiempo de muestreo de ADC en 50 microsegundos.

CALL: Llamada a subrutina de ensamblador.

END: Detiene la ejecución e ingresa en modo de baja potencia.

FOR...NEXT: Ejecuta declaraciones en forma repetitiva.

GOSUB: Llama a una subrutina basic, en la etiqueta especificada.

GOTO: Continúa la ejecución en la etiqueta especificada.

HIGH: Hace alto la salida de un pin.

IF..THEN..ELSE..ENDIF: Ejecuta declaraciones en forma condicional.

LCDOUT: Muestra caracteres en LCD.

LOW: Hace bajo la salida de un pin.

PAUSE: Demora, resolución de 1 ms.

PAUSEUS: Demora, resolución de 1 us.

RETURN: Continúa en la declaración que continúa al último GOSUB.

SLEEP: Apaga el procesador por un periodo de tiempo.

TRISA: Registro de dirección I/O del puerto A.

TRISE: Registro de dirección I/O del puerto E.

TRISC: Registro de dirección I/O del puerto C.

ADCON1: Registro de habilitación de entradas analógicas.

DEC: Muestra el valor decimal de cierta variable o constante.

1. RESUMEN

En la presente investigación se presenta el diseño y fabricación de un seguidor solar automático para concentrador parabólico de dos ejes (acimut-elevación), el cual servirá para la posterior implementación de una parábola de diámetro de 2m, el mismo que podrá ser usado para cualquier aplicación de aprovechamiento solar térmico. El sistema trabaja con mecanismos reductores de velocidad accionados por dos motores paso a paso, maniobrados por microcontroladores PIC 16f819 y 16f877a desde una tarjeta de mando diseñada y fabricada por el grupo de investigación.

El diseño de las tarjetas de potencia y de control, se desarrollaron mediante el uso del *software ISIS 7 Profesional (Proteus)*, los códigos de programación para el seguidor solar se desarrollaron mediante el *software MicroCode Studio.lnk* en lenguaje PICBASIC PRO. Para grabar (quemar) el programa en el microcontrolador Pic se usó el *software PICkit 2 v2.61* con salida USB.

Por otro lado se añadió un sistema de seguimiento solar, basado en fotosensores (Ldr) estratégicamente ubicados, que mediante la comparación de los niveles de luz, permite desplazar la estructura de la base parabólica de acuerdo al movimiento aparente del sol.

1. SUMMARY

In the present investigation one presents the design and manufacture of a solar automatic follower for concentrating parabolic of two axes (azimuth - elevation), which will serve for the later implementation of a parable of diameter of the 2m, same one that will be able to be used for any application of solar thermal utilization. The system works with mechanisms speed reducers driven by two stepping motors, operated by microcontrollers PIC 16f819 and 16f877a from a card of control designed and made by the group of investigation.

The design of the cards of power and of control, (Proteus) developed by means of the use of the software ISIS 7 Professionally, the codes of programming for the solar follower developed by means of the software MicroCode Studio.Ink in language PICBASIC PRO. To record (to (burn) the program in the microcontroller Pic there used the software PICKit 2 v2.61 with output USB.

On the other hand was added a system of solar follow-up, based on photosensors (Ldr) strategically located, which by means of the comparison of the levels of light, there allows to displace the structure of the parabolic base of agreement to the apparent movement of the Sun.

2. INTRODUCCIÓN

El eminente crecimiento en la demanda energética, ha suscitado un gran interés hacia el estudio de nuevas fuentes de energía, este es el caso de la energía solar, hidráulica, eólica y geotérmica. La energía solar, como su nombre indica viene de una fuente inagotable que todos conocemos, el sol, principal sostén de vida en la Tierra. Por tal razón es la que más desarrollo ha experimentando en los últimos años.

En este proyecto de tesis se presenta una alternativa tecnológica que permita el aprovechamiento eficiente de la energía solar cuando se haga uso de un concentrador parabólico. Para ello, planteamos desarrollar el diseño y construcción de un seguidor solar automático de dos ejes.

Actualmente el área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables no cuenta con una estructura equipada con seguimiento solar electrónico en acimut y elevación.

Para el diseño de la estructura del concentrador parabólico, recopilamos información relacionada con el tema de investigación para luego determinar el tipo de montura apropiada y dimensionar las partes más relevantes con los que se construyó la estructura.

El tipo de montura seleccionada, consta de dos ejes de movimiento y tiene la facilidad de ubicar los rayos del sol en todo momento, se realizó esquemas técnicos, además un análisis de las partes más relevantes de la montura o estructura tomando en cuenta los tipos de materiales que se comercializan a nivel local.

Referente al accionamiento de las partes móviles, se consideró el aparente movimiento del sol, el cual es de 15° por hora, por tal motivo los desplazamientos son lentos y el tipo de motores que resultaron más apropiados fueron los de paso a paso.

Con los requerimientos básicos para que la estructura realice el seguimiento solar, se diseñó el sistema para luego seleccionar los elementos electrónicos necesarios y construir las tarjetas de potencia y de control.

En cuanto a los sensores y la transducción de las señales se seleccionó fotorresistencias y microcontroladores PIC respectivamente, estos elementos se acoplaron de manera adecuada tomando en cuenta las normas técnicas pertinentes, para luego mediante la programación, montaje y experimentación comprobar el funcionamiento correcto del sistema, lo cual garantiza el funcionamiento de nuestro seguidor solar automático para los fines propuestos.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 ENERGÍA SOLAR

3.1.1 INTRODUCCIÓN

La energía que procede del sol es fuente directa o indirecta de casi toda la energía que usamos. Los combustibles fósiles existen gracias a la fotosíntesis que convirtió la radiación solar en las plantas y animales de las que se formaron el carbón, gas y petróleo. El ciclo del agua que nos permite obtener energía hidroeléctrica es movido por la energía solar que evapora el agua, forma nubes y las lleva tierra adentro donde caerá en forma de lluvia o nieve. El viento también se forma cuando unas zonas de la atmósfera son calentadas por el sol en mayor medida que otras.

3.1.2 GEOMETRÍA SOLAR

3.1.2.1 DEFINICIONES GEOMÉTRICAS TERRESTRES

La tierra se divide en paralelos de latitud ver Fig. 3.1. En el hemisferio norte se considerara la latitud positiva y varía entre 0° y 90° , en el hemisferio sur se considera negativa y varía entre 0° y -90° . El paralelo de 0° se le llama ecuador terrestre. El símbolo que se utilizara para la latitud será ϕ

La tierra también se divide en meridianos de longitud como se observa en la Fig. 3.1. Se usa como meridiano 0° el que pasa por *Greenwich*, Inglaterra. Hacia el este y el oeste los meridianos aumentan de 0° a 180° .

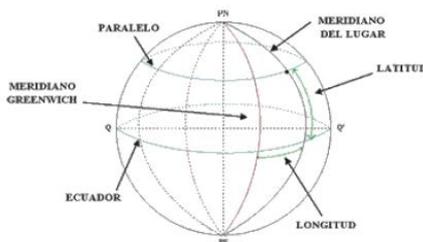


Fig. 3.1 Paralelos y meridianos. (FUENTE – Documento 00015898.pdf, 2010)

3.1.2.2 DEFINICIONES PARA OBSERVADOR TERRESTRE

Las relaciones geométricas entre un plano de orientación arbitraria y la radiación directa incidente (o sea, la posición relativa entre el sol y el plano) pueden ser descritas en términos de ángulos. Estos ángulos son los siguientes (como ayuda, usar la Figura 3.2):

Zenit: Es la línea perpendicular al plano horizontal en el punto del observador.

Ángulo zenit (θ): Es el ángulo subtendido entre la línea zenit y la línea de vista del sol.

Latitud (ϕ): La posición angular con respecto al Ecuador. $-90^\circ \leq \phi \leq 90$.

Declinación (δ): La posición angular del sol a mediodía con respecto al plano del Ecuador. El norte es positivo. $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$.

Inclinación (β): El ángulo entre la superficie de interés y el plano horizontal. $0 \leq \beta \leq 180^\circ$.

Ángulo de azimut del sol (γ_s): Es el ángulo formado por la proyección en el plano horizontal del rayo solar. Este ángulo tiene valor cero cuando la proyección apunta al norte, valor positivo cuando apunta hacia el oeste y valor negativo cuando apunta al este. $-180^\circ \leq \gamma_s \leq 180^\circ$.

Ángulo de azimut de la superficie (γ): Es el ángulo de desviación de la proyección en el plano horizontal de la normal a la superficie con respecto al meridiano local. Este ángulo tiene valor cero cuando la proyección apunta al norte, valor positivo cuando apunta hacia el oeste y valor negativo cuando apunta al este. $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

Ángulo de hora solar (ω): Es el desplazamiento angular Este u Oeste del sol con respecto al meridiano local debido a la rotación de la tierra en su eje a 15° por hora. Se toma como referencia ($\omega = 0$) el mediodía, y se calcula como $15 \cdot N^\circ$ horas a mediodía. En la mañana este ángulo es negativo y en la tarde, positivo.

Ángulo de incidencia (θ_i): Es el ángulo entre el haz de radiación directa en una superficie y la normal a esa superficie.

Los ángulos de zenit, inclinación, azimut solar y azimut de la superficie se pueden observar en la Figura 3.2:

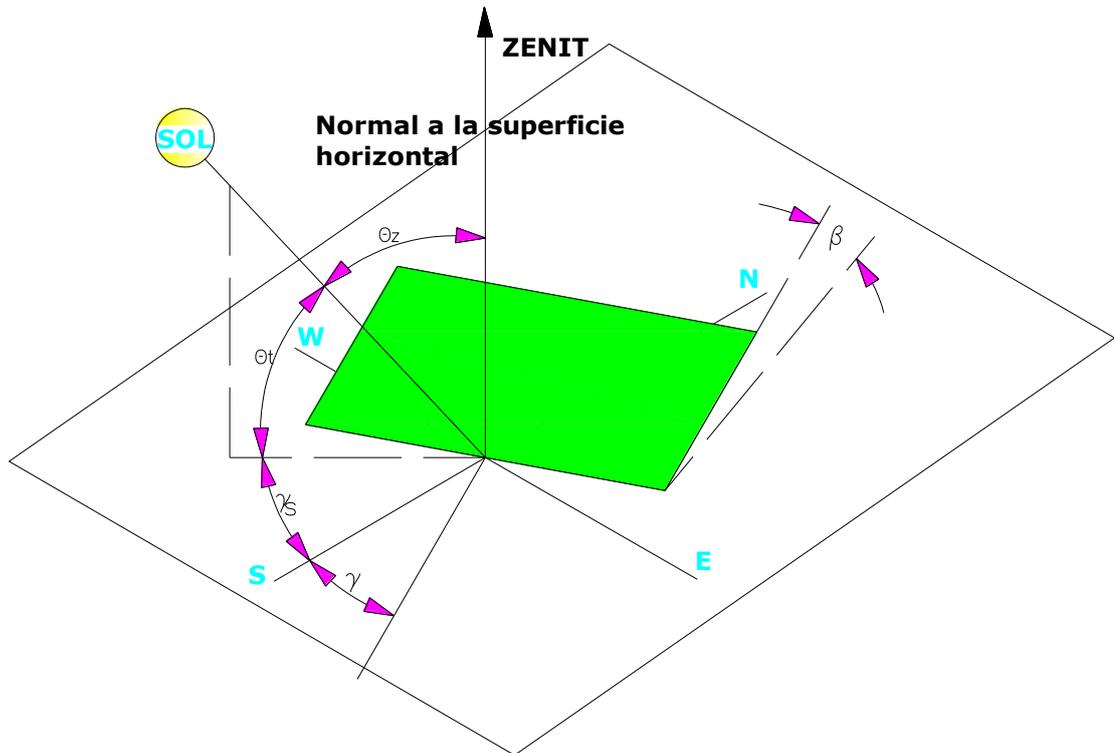


Figura 3.2: Ángulos para plano inclinado y posicionamiento solar (FUENTE - Los Autores, 2010)

Ángulo de elevación o altitud solar: En la fig. 3.3, se observa el ángulo medido verticalmente entre el sol y el plano horizontal del horizonte.

La altitud es 0° en la salida y puesta del sol, mientras el máximo se presenta al medio día

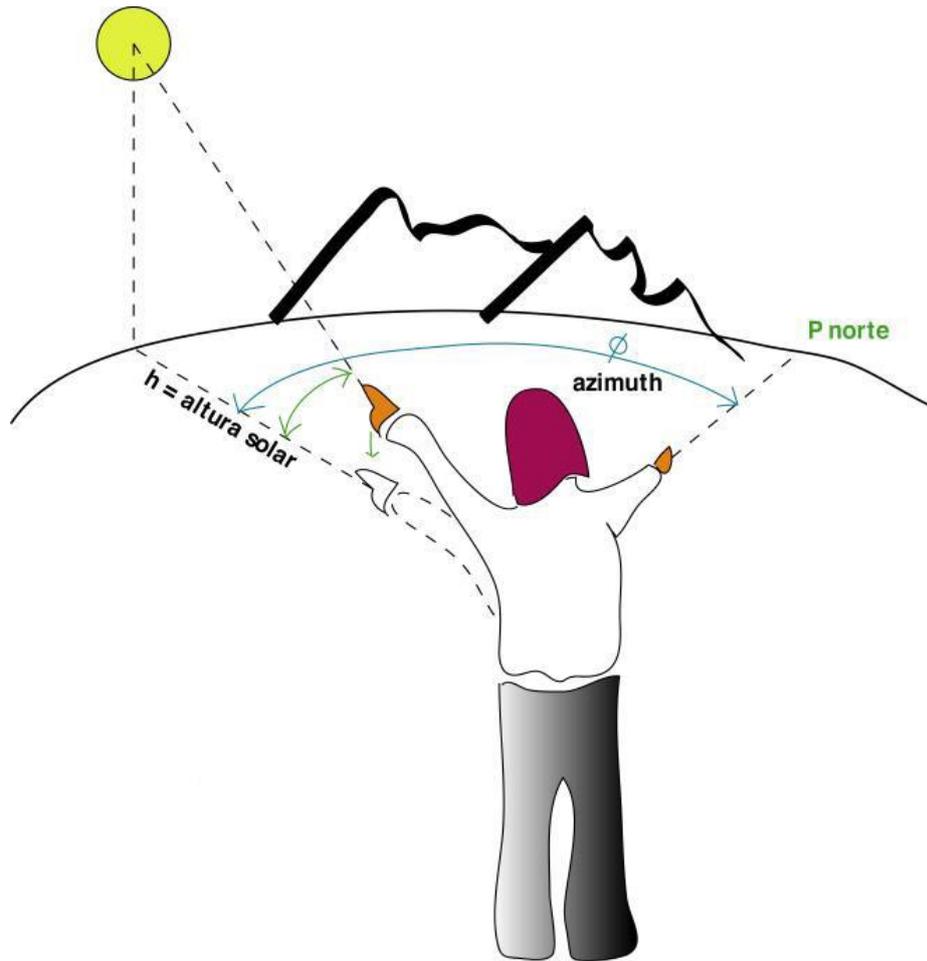


Figura 3.3: Ángulos de elevación o altitud solar y azimutal. (FUENTE – Documento 00015898.pdf, 2010)

3.1.3 DECLINACIÓN DEL SOL

Cuando se analiza el movimiento de rotación y translación de la Tierra, se encuentra que su eje de rotación, con respecto al plano de translación alrededor del Sol, tiene una inclinación fija de aproximadamente $23,45^\circ$ (no gira, siempre se encuentra en la misma dirección respecto del plano de translación. Ver Figura 3.4. El eje siempre tiene la misma orientación).

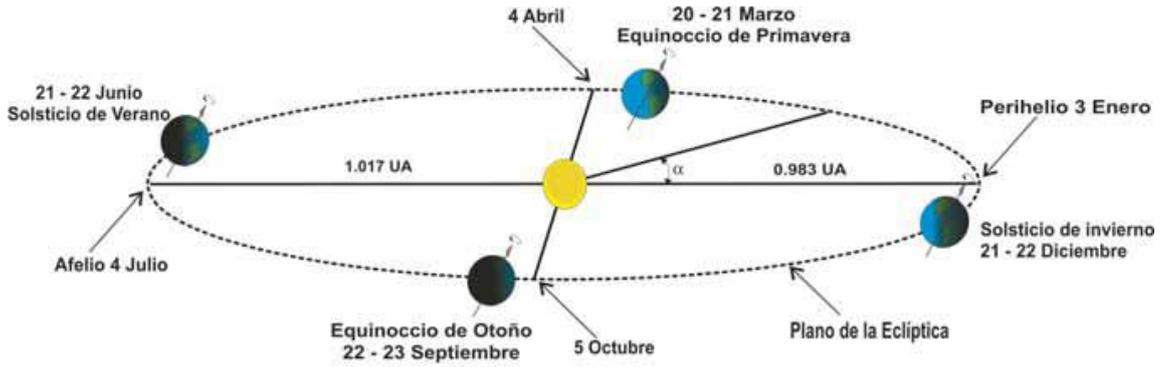


Fig. 3.4. Movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. (FUENTE – Documento 7-Apendice_A.Pdf, 2010)

El ángulo formado entre el plano ecuatorial de la tierra y la línea Tierra-Sol se denomina declinación solar. (Fig. 3.5.) Debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol el valor de este ángulo varía durante el año.

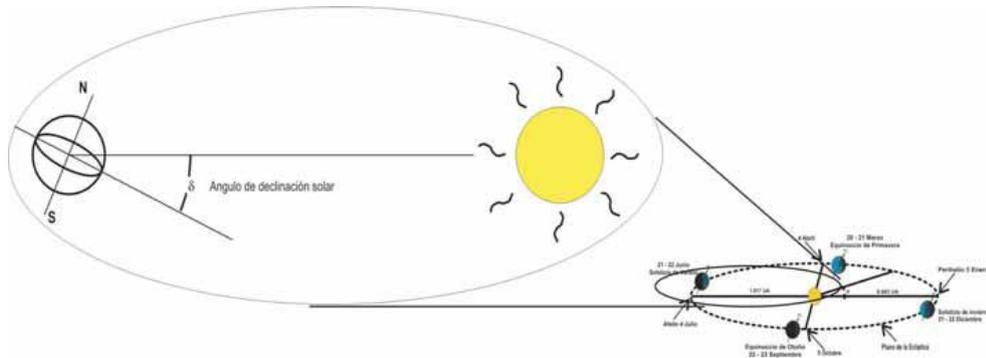


Fig. 3.5. Declinación solar. (FUENTE – Documento 7-Apendice_A.Pdf, 2010)

El signo de la declinación es positivo (+) cuando el Sol incide perpendicularmente sobre algún lugar en el hemisferio norte, entre el 21 de marzo (equinoccio de primavera) y el 23 de septiembre (equinoccio de otoño), y negativo (-) cuando incide perpendicularmente sobre algún lugar en el hemisferio sur, entre el 23 de septiembre (equinoccio de otoño) y el 21 de marzo (equinoccio de primavera), y varía entre $-23,45^\circ$, cuando el Sol se encuentra en la parte más baja del hemisferio sur (solsticio de

invierno 21/22 de diciembre)¹, y +23,45°, cuando se halla en la parte más alta del hemisferio norte (solsticio de verano 21/22 de junio). Dos veces durante el año toma valor cero, cuando el Sol pasa sobre el Ecuador terrestre, durante los equinoccios. Fig. 3.6

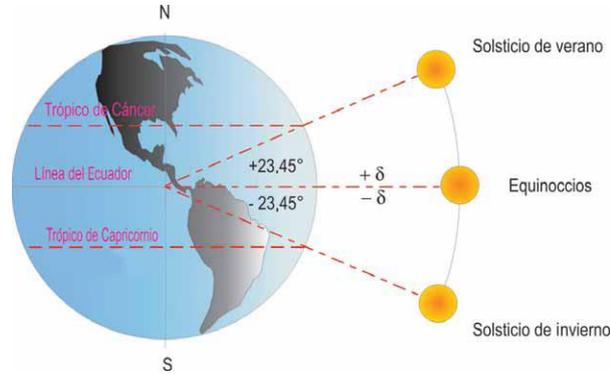


Fig. 3.6. Declinación solar, indicando los solsticios de invierno y verano respecto al plano del Ecuador. (FUENTE – Documento 7-Apendice_A.Pdf, 2010)

Los valores diarios de la declinación solar pueden calcularse con un error máximo de 0,0006 rad., mediante la fórmula obtenida por Spencer:

$$\delta = (0.006918 - 0.399912\cos\alpha + 0.070257\sen\alpha - 0.006758\cos\alpha + 0.000907\sen2\alpha - 0.002697\cos3\alpha + 0.00148\sen3\alpha) * \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

La declinación δ° también puede ser descrita por la ecuación de Cooper (1969)

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

3.1.4 LA CONSTANTE SOLAR.

La combinación de tres factores. La distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y la temperatura del sol, determinan un flujo luminoso, ie., un flujo de energía que incide sobre la superficie de la tierra.

¹ Normalmente, cuando nos referimos a invierno y verano, siempre hablamos del hemisferio norte del globo terráqueo. Recuérdese que en el hemisferio sur las estaciones son opuestas; es decir, si en el norte estamos en verano, en el sur se está en invierno.

Se llama **flujo** de “algo” (materia, energía), la cantidad de ese “algo” que pasa a través de una superficie, **por unidad de área y por unidad de tiempo**. Por tanto, el flujo luminoso, que es un flujo de energía, tiene unidades de energía por área y por unidad de área y por unidad de tiempo, por ejemplo, $\frac{J}{s \cdot m^2} = \frac{W}{m^2}$

La constante solar, G_{sc} , es el flujo de energía proveniente del sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la tierra al sol, fuera de toda atmosfera.

El valor comúnmente aceptado para G_{sc} ha variado en los últimos años, según las técnicas de medición que se han empleado, lo cual no indica que haya variado en sí la magnitud de la energía que se recibe del Sol. Para este presente proyecto tomaremos el valor:

$$G_{sc} = 1353 \frac{W}{m^2}$$

Que en otras unidades equivale a:

$$G_{sc} = 1940 \frac{cal}{cm^2 * min} = \frac{428 Btu}{ft^2 * hr} = 4871 \frac{MJ}{m^2 * hr}$$

3.1.5 LA RADIACION NORMAL EXTRATERRESTRE.

La radiación extraterrestre que incide sobre la tierra está sujeta a las variaciones geométricas y a las condiciones físicas del propio sol.

Por otro lado, la órbita que describe la tierra alrededor del sol no es circular, sino cuasi elíptica. La pequeña excentricidad de la órbita hace que, alrededor del 4 de enero, cuando la Tierra se encuentra en el perihelio (mínima distancia al sol) la radiación solar extraterrestre sea máxima. Por otro lado, alrededor del 1 de julio – seis meses después – la tierra se encuentra en el afelio (máxima distancia al sol) y entonces la radiación solar extraterrestre es mínima.

La ecuación que describe el flujo de energía sobre un plano normal a la radiación solar extraterrestre, a lo largo del año es:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 * \cos * \frac{360n}{365} \right) \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

G_{on} = El flujo de radiación extraterrestre, medida en un plano normal a la radiación, y n = es el número de día del año.

6.1.6 RADIACIÓN SOLAR

3.1.6.1 TIPOS DE RADIACIÓN Y SUS RELACIONES GEOMÉTRICAS.

La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmosfera, de modo que es necesario manejar algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación. Las siguientes definiciones ayudan a aclarar estos conceptos.

Se conoce como **radiación directa**, la que se recibe directamente del sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre, es por tanto, radiación directa. Se simboliza con el subíndice “b”.

La **radiación difusa** es la que se recibe del sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber dicha radiación, el cielo se vería negro, aun de día. Se utiliza el subíndice “d”.

Por otro lado se conoce que la **radiación terrestre** es la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo la que refleja una pared blanca, un charco o lago, etc.

Se conoce como **radiación total**, la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie. Por ejemplo, sobre una pared o una ventana, incide la radiación directa del sol, la difusa es difundida por las nubes y por el cielo y, además, puede entrar la luz reflejada por algún otro objeto frente a la pared o ventana. En este caso puede considerarse que no existe radiación terrestre y se conoce

también como radiación global. Por tanto la radiación global es la suma de la directa más la difusa.

Para expresar la potencia solar, y en general, de cualquier radiación se utiliza el término irradiación. **La irradiación** W/m^2 , es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie, por unidad de área. Generalmente se usa el símbolo G para la irradiancia junto con los subíndices adecuado: G_o , G_b , G_d , para la irradiancia extraterrestre, directa, difusa, etc.

3.2 CONCENTRADORES SOLARES

3.2.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se dará a conocer de forma más explícita algunos dispositivos útiles para la concentración de la radiación solar, nos basaremos básicamente al estudio de los concentradores de disco parabólico.

El uso de dispositivos que aumentan la intensidad solar sobre la superficie absorbente, la cual recibiría solamente el flujo solar debido a su apertura, se llaman concentradores. La concentración de la radiación solar se logra mediante dispositivos ópticos que reflejan o refractan la radiación solar de manera que concentran el flujo incidente sobre un absorbedor de área mucho menor que la de apertura.

La principal ventaja de un concentrador sobre un colector plano es que el flujo de energía es mayor por unidad de superficie de absorción, por lo que se reducen pérdidas térmicas, ya que el área del absorbedor es menor lográndose de esta forma temperaturas más altas.

3.2.2 COLECTOR SOLAR.

Existen básicamente dos tipos de colectores solares: los que no concentran una imagen o estacionarios y los que concentran una imagen. Un colector que no concentra imagen tiene usualmente un área de absorción (también llamada área de la imagen o área de zona focal) cercana al área de intercepción, mientras que un colector concentrador de imagen usualmente tiene una superficie reflectante cóncava y focaliza la radiación incidente en un área pequeña, incrementando el flujo radiativo.

La razón entre el área de intercepción (A_{ac}) y el área de absorción (A_f) es conocida como razón de concentración (CR) de un colector y es una propiedad relevante e intrínseca de cada uno de ellos. Puede ser definida como:

$$CR = \frac{A_{ac}}{A_f} \qquad \text{Ecuación (3.4)}$$

Una lista de los colectores que se pueden encontrar actualmente en el mercado es la siguiente:

Tabla 3.1: Colectores de energía solar (FUENTE – Documento Memoria_Jorge%20Quinteros.Pdf, 2010)

SEGUIMIENTO	TIPO DE COLECTOR	TIPO DE ABSORVENTE	Cr (*)	RANGO DE TEMP. (°C)
Estacionario	Plano (FPC)	Plano	1	30-80
	Tubo evacuado (ETC)	Plano	1	50-200
	Parabólico compuesto (CPC)	Tubular	1-5	60-240
En un eje	Reflectores Fresnel (LFR)	Tubular	10-40	60-250
	Cilindro parabólico (PTC)	Tubular	15-45	60-300
	Cilindro (CTC)	Tubular	10-50	60-300
En dos ejes	Disco parabólico (PDR)	Focal	100-1000	100-500
	Helióstato	Focal	100-1500	150-2000

Cr(*) =Concentration Ratio

3.2.2.1 COLECTORES CONCENTRADORES

Los colectores concentradores prestan ciertas ventajas con respecto a los concentradores planos convencionales. Las principales son:

- ☀ El fluido de trabajo llega a temperaturas mayores en un colector concentrador, tomando la misma superficie de colector en ambos. Esto significa que se puede lograr una mayor eficiencia termodinámica.
- ☀ Dado que la superficie absorbentes pequeña (con respecto al área total del colector), ocupar superficies de absorción selectivas y ocupar zonas de vacío en ésta para disminuir perdidas (y por los tanto la eficiencia del colector) son alternativas económicamente viables.

También ofrecen desventajas comparativas. Las principales son:

- ☀ Los colectores concentradores sólo utilizan la radiación directa y no la difusa. Es necesario implementar un sistema de seguimiento solar con los colectores.

- ☀ El reflectante del colector puede perder sus propiedades con el tiempo y requiere mantenimiento periódico.

3.2.2.2 COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS

Una característica importante de estos colectores es que pueden lograr temperaturas hasta los 400 °C con una buena eficiencia termodinámica, lo cual permite obtener vapor de agua directamente o trabajar con aceites térmicos a alta temperatura. En consecuencia son aplicables tanto en generación de energía eléctrica, calefacción para procesos industriales y como en calentamiento de agua, pudiendo para esta última aplicación ser construidos con materiales ligeros y baratos, lo cual disminuye el costo de inversión inicial y facilita el seguimiento solar. En la Fig. 3.7 se observa las partes de un colector y se construyen doblando una lámina de material reflectante con forma parabólica o un espejo semicilíndrico de perfil parabólico. Un tubo metálico de color negro, recubierto con un tubo de vidrio para disminuir las pérdidas de calor, se debe colocar a lo largo de la línea focal como receptor.

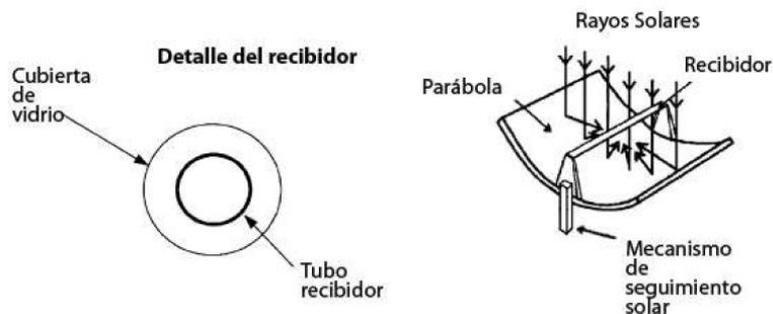


Fig. 3.7 Colectores cilindro parabólicos (PTC). (FUENTE – Documento Memoria_Jorge%20Quinteros.Pdf, 2010)

Cuando la parábola es orientada hacia el sol, los rayos paralelos incidentes en el colector son reflejados hacia el foco lineal. Es suficiente hacer seguimiento solar en un solo eje de rotación. Este tipo de colectores no se ocupa, la mayoría de las veces, en forma individual, sino que en forma grupal y estando los tubos receptores conectados entre ellos.

3.2.2.3 COLECTOR O DISCO PARABÓLICO.

Esquemáticamente, un colector parabólico se puede representar como en la Figura 3.8. Cuando este colector enfrenta al sol, la radiación incidente se concentra en su foco. Por lo anterior, debe seguir al sol

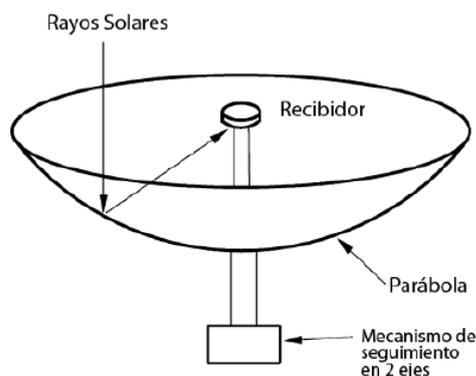


Fig. 3.8 Colector Parabólico. (FUENTE – Documento Memoria_Jorge%20Quinteros.Pdf, 2010)

Este sistema, como el anterior, solo funciona correctamente cuando el espejo está orientado de forma tal que el eje principal de la parábola (recta definida por su foco y por su polo) pasa por la posición del sol. Para conseguir que se cumpla esta condición a lo largo del día, el espejo se instala sobre una plataforma orientable, movida por motores eléctricos y gobernados por un sistema de seguimiento solar en sus dos grados de libertad (altitud y azimut).

Debe tenerse en cuenta que los colectores concentradores sólo aprovechan la radiación solar directa, no captan la radiación difusa ni la reflejada por el entorno (albedo). Los colectores planos son capaces de captar, cuando menos en parte, estos tres tipos de radiación. La temperatura en el receptor puede sobrepasar los 1500°C

Los colectores parabólicos tienen ventajas importantes con respecto a otros colectores:

- ☀ Debido a que siempre están apuntando al sol, son el sistema de concentración solar más eficiente.
- ☀ Tienen concentraciones entre 600-2000 °C

- ☀ El colector como módulo se puede ocupar de manera independiente o ser parte de un campo de colectores.

3.2.2.4 HELIÓSTATO

Para obtener altos niveles de radiación de energía solar, es necesario disponer de varios espejos planos dispuestos en un campo con seguimiento solar de altitud-azimut, en la Fig. 3.9 se observa reflejando la radiación incidente en cada uno de ellos a un foco receptor común.

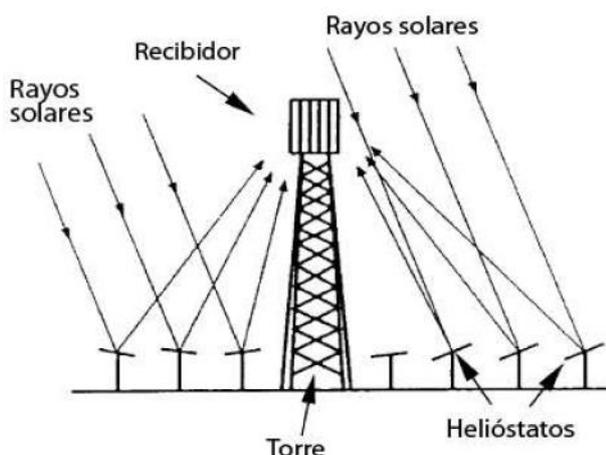


Fig. 3.9 Heliostato. (FUENTE – Documento Memoria_Jorge%20Quinteros.Pdf, 2010)

Generalmente, en el receptor se genera vapor de agua a alta presión y temperatura. Esta agua se lleva mediante cañerías a un receptor central donde se puede almacenar y ocupar para generar energía eléctrica.

Se pueden obtener concentraciones entre 300 y 1500, teniendo el foco un flujo radiativo entre 200 y 1000 [kW/m²], obteniéndose temperaturas por sobre los 150 °C.

3.2.3 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS SOBRE EL COLECTOR PARABÓLICO DE REVOLUCIÓN.

Un paraboloide de revolución se obtiene por rotación de una parábola alrededor de su eje. A continuación vamos a exponer algunas propiedades de esta curva, de aplicación en concentradores de energía solar.

Un paraboloide es el conjunto de puntos situados a igual distancia de una recta fija llamada directriz y de un punto fijo F llamado foco, Fig. 3.10. La intersección de la parábola y su eje es el vértice S; si se elige este vértice como origen de coordenadas, la ecuación de la parábola es:

$$y^2 = 4fx \tag{Ecuación (3.5)}$$

Siendo

f : La distancia focal (SF).

En coordenadas polares de polo F, la ecuación de la parábola es:

$$\rho = \frac{f}{\cos^2 \frac{\phi}{2}}$$

Siendo:

$$\phi = 2 \arctg \frac{h}{2f} \tag{Ecuación (3.6)}$$

El diámetro D de apertura del paraboloide y el ángulo máximo ϕ que le define, vienen relacionados por:

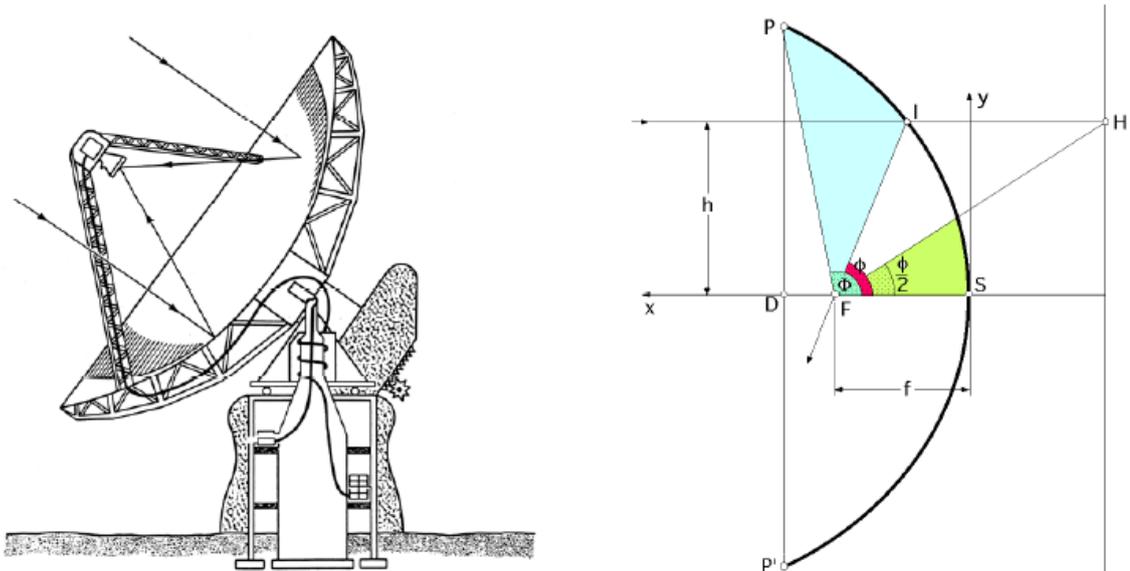


Fig. 3.10 Esquema geométrico de los concentradores parabólicos de revolución. (FUENTE – Documento 04 solar.pdf, 2010)

$$\Phi = 2 \operatorname{arc. Tan} \frac{D}{2f}$$

$$D = 4f \cdot \operatorname{Tan} \frac{\Phi}{2} \quad \text{Ecuación (3.7)}$$

Resultando que la superficie de abertura A_a de este paraboloides es:

$$A_a = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{16f^2 \operatorname{Tan}^2 \frac{\Phi}{2}}{4} = 4\pi f^2 \operatorname{Tan}^2 \frac{\Phi}{2} \quad \text{Ecuación (3.8)}$$

El área del paraboloides se puede determinar a partir del teorema de Guldín, en la forma:

$$A_\Phi = \frac{8\pi f^2}{3} \left(\frac{1}{\cos^3 \left(\frac{\Phi}{2} \right)} - 1 \right) \quad \text{Ecuación (3.9)}$$

La propiedad fundamental de un espejo parabólico es la de ser estigmático para el punto del ∞ . El diámetro d la imagen del disco solar es: $d = f\varepsilon = 0,01f$ es decir, el número que marca la distancia focal en metros es el mismo que marca la imagen solar en cm.

Se obtiene una imagen nítida del sol si: $\frac{D}{f} < 0,1$

3.2.4 COLECTORES DE FOCALIZACIÓN PUNTUAL SOBRE UNA ZONA REDUCIDA

Los colectores de focalización puntual, se montan sobre un chasis que puede girar alrededor de dos ejes perpendiculares entre sí, uno en dirección N-S y el otro en dirección E-O, de manera que, en cualquier hora del día, la radiación solar directa es normal a la superficie de apertura del espejo.

El receptor consiste en una pequeña cavidad absorbente, situada en el foco de la parábola y bien aislada térmicamente del aire ambiente exterior, en la zona opuesta a espejo. La boca de apertura, dirigida hacia el espejo, puede protegerse mediante un cristal de cuarzo, con la finalidad de mejorar su aislamiento térmico.

Dentro de los concentradores puntuales, existen dos tipos de sistemas:

Sistemas de receptor fijo. El receptor se suspende sobre el espejo en un punto fijo coincidente con el foco del paraboloide de revolución y el espejo se mueve, en dos direcciones, alrededor de un mismo punto.

3.2.5 SEGUIMIENTO SOLAR.

Con el fin de maximizar la energía solar que llega al receptor, un sistema de seguimiento solar debe ser desarrollado. En un colector parabólico es muy importante, ya que los rayos que inciden de manera paralela a la línea focal inciden en el foco y por lo tanto es necesario estar apuntando al sol en todo momento.

Un sistema de seguimiento debe ser confiable, capaz de seguir al sol con un cierto nivel de certeza (la certeza depende de la aplicación que se requiera), capaz de regresar al colector de su posición en el ocaso a su posición de espera del sol en el amanecer y también capaz de seguir al sol a un cuando haya existencia de nubes en forma intermitente.

Adicionalmente, el sistema de seguimiento también puede ser usado para proteger al colector ante la presencia de condiciones adversas de trabajo, como ráfagas de viento intensas.

Varias formas de seguimiento solar han sido desarrolladas, pasando de las monturas Ecuatoriales hasta el seguimiento elevación-acimut. Actualmente, debido al desarrollo de la electrónica, el seguimiento elevación-acimut es el más utilizado. En este tipo de seguimiento, se utilizan dos motores (un motor por eje de giro) los cuales son controlados electrónicamente a través de sensores (por ejemplo fotodiodos) que detectan la radiación solar incidente. Cuando la radiación sobre un sensor disminuye, entonces se da la orden de giro en el eje correspondiente.

El diseño de la estructura o montura solar que soporta a los motores paso a paso, al sistema electrónico, y al colector. Existe en la literatura bibliográfica y en la internet

una variedad de diseños y muestras de monturas solares. En la Fig. 3.11 se pueden ver las estructuras más ocupadas para seguimientos en dos ejes.

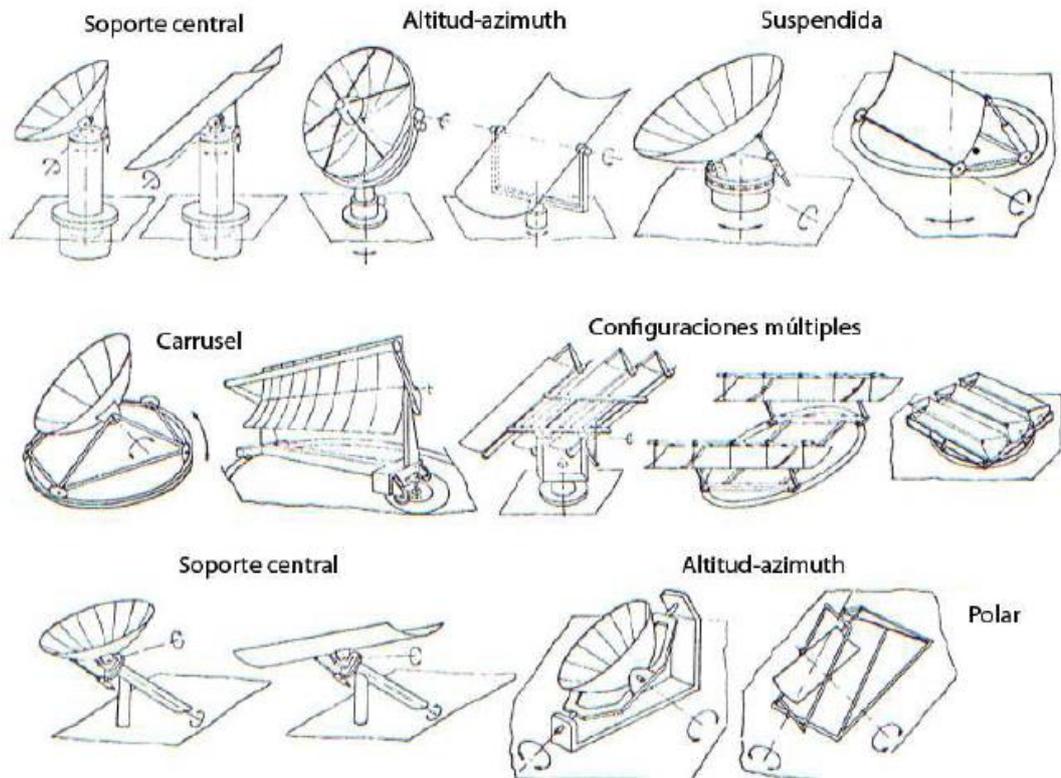


Fig. 3.11: Tipos de estructuras para seguimiento en 2 ejes. (FUENTE – Documento Memoria_Jorge%20Quinteros.Pdf, 2010)

Las velocidades medias de desplazamiento del sol promedian los 15° /hora. Dada esta baja velocidad de desplazamiento, los sistemas de seguimiento no requieren de motores con alta potencia, sino con alto torque; lo cuales sean capaces de sacar al sistema de la inercia y hacer giros del sistema en torno a los 5° . Una manera de limitar este torque, que puede llegar a ser muy alto, es encontrar el centro de gravedad de manera que el peso quede equilibrado.

Es deseable que el sistema de seguimiento tenga dos velocidades: una velocidad lenta para seguir el sol y una velocidad rápida para hacer mantenciones y para volver en la noche a su posición de amanecer.

3.2.5.1 ELECCIÓN DE LA MONTURA SOLAR

Las estructuras mostradas en la Figura 3.11 sirvieron como motivación para diseñar una estructura funcional y con un nivel medio de dificultad de construcción. La estructura estudiada que construiremos se puede ver en la Fig. 3.12

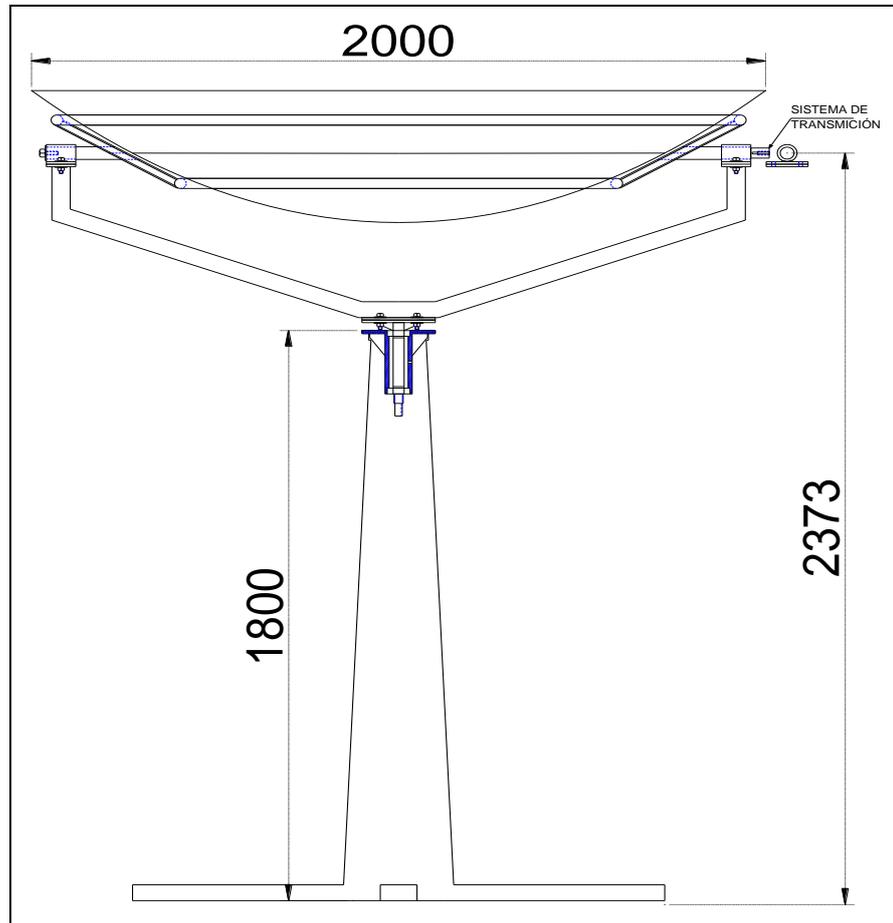


Fig. 3.12: Estructura de dos ejes para colector parabólico. (FUENTE – Autores, 2010)

3.3 NOCIONES DE ELECTRÓNICA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

3.3.1 INTRODUCCIÓN.

La electrónica avanza cada día y el técnico tiene que estar familiarizado con los componentes o elementos electrónicos y diseño que se puede encontrar en el mercado. Como conocemos en la mayoría de los aparatos e industria, y en todas partes que nos rodea, los circuitos electrónicos son parte fundamental para el correcto funcionamiento de la mayoría de ellas.

La manera de enfocar el contenido de la electrónica que se desarrolla en esta parte es de una manera práctica, explicando el funcionamiento de algunos circuitos que se han implementado en el presente proyecto.

3.3.2 LA FUENTE DE PODER O ALIMENTACION.

Una Fuente de Voltaje de corriente continua, fig. 3.13 es un dispositivo o subsistema que convierte la corriente alterna de la red energía eléctrica en otro tipo de corriente eléctrica adecuado para el uso que se le vaya a dar. Muchos circuitos necesitan para su funcionamiento una alimentación de corriente continua (C.C.), Normalmente se encuentra alimentación de corriente (C.A.)

Para lograr obtener corriente continua, de una entrada de corriente alterna se debe seguir un proceso conversión usando dispositivos electrónicos como resistencias, diodos, circuitos integrados, capacitores, etc.; un elemento eléctrico como el transformador, los cuales mediante un proceso por etapas obtenemos tensión co1ntinua.



Fig. 3.13: Fuente de alimentación de computador. (FUENTE – sanadresaldia.blogspot.com, 2011)

La alimentación provee, a la salida, las tensiones y las intensidades necesarias para garantizar el funcionamiento adecuado de las tarjetas. Estas tensiones son estabilizadas y reguladas. Esto significa que la red de entrada puede variar en varias decenas de voltios sin afectar a las tensiones de salida, las que permanecen estables. Las tensiones normalizadas son de 5V y 12V.

3.3.3 TRANSISTORES

El transistor es un semiconductor, del cual salen tres patillas denominados emisor, base y colector. En la Fig. 3.14 se observa las dos clases de TRT de silicio:

1. Los TRT PNP, que están formados por una doble unión PN, que la central es una unión N y que en este caso será la que está unida a la base del TRT.
2. Los TRT NPN, que están formados por una doble unión NP, que la central es una unión P y que en este caso está unida a la base.

Los transistores pueden estar relacionados:

Pueden ser equivalentes. Son aquellos que tienen características muy parecidas, pudiéndose sustituir uno por el otro sin mayor problema, este es el caso de los BC107, BC109 Y BD136, BD138 Y BD140.

Pueden ser complementarios. Son los que tienen las mismas características según las tablas del fabricante, pero un TRT es PNP y el otro es NPN.

Pueden ser apareados. Son transistores complementarios que el fabricante, según los manuales o tablas, garantiza que son exactamente iguales pero uno es NPN y el otro es PNP.

Los TRT tienen unas configuraciones según las conexiones de sus terminales; tenemos tres tipos de configuraciones y siempre en éstas un terminal del TRT va a ser común, tanto a la entrada como a la salida. Siendo la $I_{COLECTOR} >$ que la I_{BASE} .

$$I_{EMISOR} = I_{BASE} + I_{COLECTOR}$$

I_{EMISOR} es aproximadamente o igual a la $I_{COLECTOR}$.

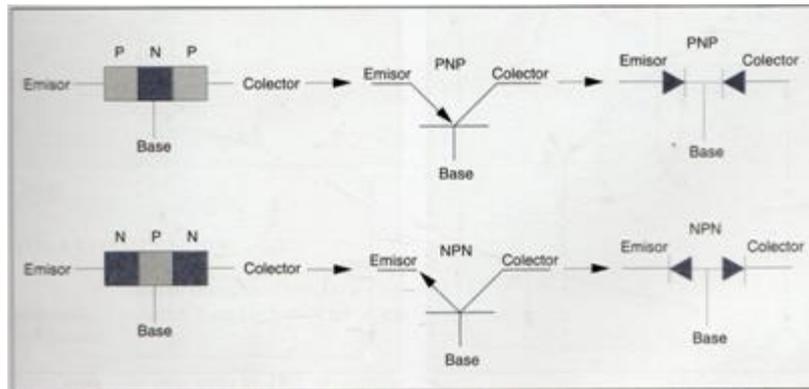


Fig. 3.14: El transistor PNP y NPN. (FUENTE – Manual de electricidad, 2011)

En cada uno de estos circuitos vamos a comprobar que tenemos una terminología; a continuación desciframos qué quiere decir cada una de ellas.

I_b	Intensidad de base
I_c	Intensidad de colector
I_e	Intensidad de emisor
V_{ce}	Tensión colector emisor
V_{be}	Tensión base emisor
V_{cb}	Tensión colector base

3.3.3.1 CONFIGURACIÓN EN EMISOR COMÚN (Fig. 3.15)

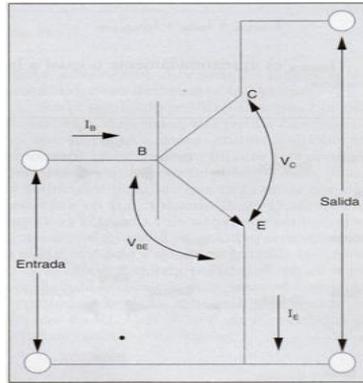


Fig. 3.15: En esta configuración el emisor es común tanto a la entrada como la salida. (FUENTE – Manual de electricidad, 2011)

3.3.3.2 CONFIGURACIÓN BASE COMÚN (Fig. 3.16)

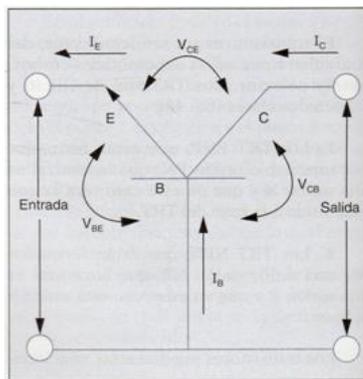


Fig. 3.16: En esta configuración la base es común tanto a la entrada como la salida. (FUENTE – Manual de electricidad, 2011)

3.3.3.3 CONFIGURACIÓN COLECTOR COMÚN (Fig. 3.17)

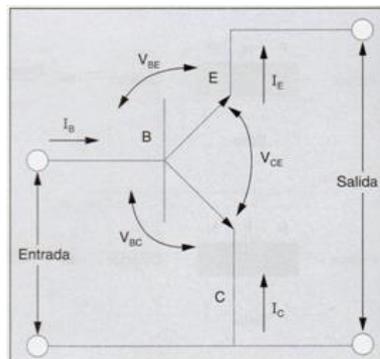


Fig. 3.17: En esta configuración el colector es común tanto a la entrada como la salida. (FUENTE – Manual de electricidad, 2011)

El transistor puede trabajar en dos zonas:

1. Zona activa, que es lineal
2. Zona en conmutación, que es trabajar de corte a saturación.

3.3.3.4 ZONA ACTIVA

La zona activa se caracteriza porque a pequeñas variaciones que hagamos de I_B , tenemos variaciones considerables de I_C , esta relación entre la I_B y la I_C es el parámetro beta. En esta zona de trabajo la V_{BE} tiene un valor de 0.6 v para los transistores de silicio (Fig. 3.18)

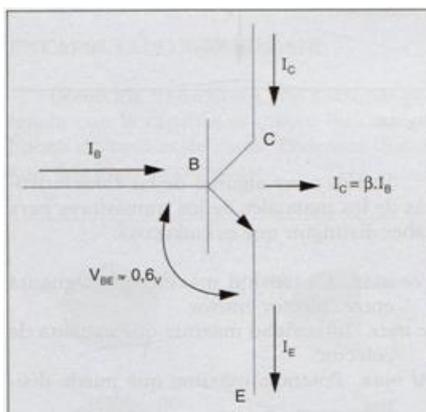


Fig. 3.18: Zona activa de trabajo del transistor. (FUENTE – Manual de electricidad, 2011)

3.3.3.5 ZONA CONMUTACIÓN

En este caso el transistor trabaja en un momento en corte y en otro momento en saturación.

1. **Corte.** En este caso el TRT no conduce, es un interruptor abierto; la V_{BE} en el TRT de silicio vale 0.5v (Fig. 3.19).

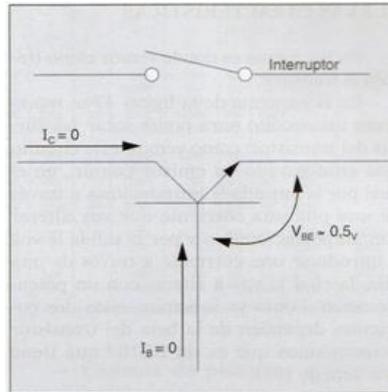


Figura 3.19: Zona de conmutación en corte. (FUENTE – Manual de electricidad, 2011)

2. **Saturación.** Al transistor le pasa la máxima corriente posible sin estropearse, se comporta como un interruptor cerrado, la I_C es la máxima la de saturación y la V_{BE} 0.7 v, para los transistores de silicio (fig. 2.20).

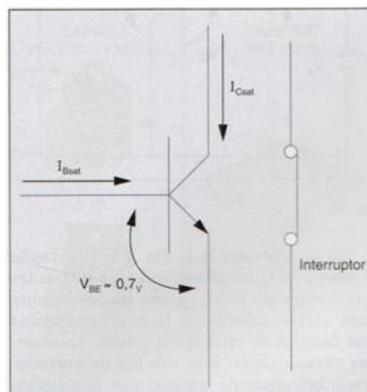


Fig. 3.20: Zona de conmutación en Saturación. (FUENTE – Manual de electricidad, 2011)

3.3.4 RESISTENCIAS

Las resistencias pertenecen a los componentes electrónicos pasivos. Cualquier elemento que opone cierta dificultad al paso de la corriente eléctrica. Es decir, ofrece resistencia a dejarse atravesar por la corriente eléctrica en los más variados valores según el tipo de componente, de modo que puede cumplir diversas funciones tales como: *la polarización de carga, limitadores de tensión. Etc.*

Las resistencias básicas se pueden encontrar construidas de carbón y un compuesto metálico denominado NICRON, que es la mezcla de NIQUEL y CROMO, así como de compuestos especiales para funciones especiales.

En la Fig. 3.21 se observa las resistencias comerciales tienen un código de 4 o 5 bandas de colores, que permite identificar su valor y tolerancia. La 5a banda, si existe, indica su confiabilidad. Ver tabla de valores en ohmios Ω de la resistencia según el código de colores ANEXO 1



Figura 3.21: Bandas de colores en las resistencias. (FUENTE – Foto, 2011)

3.3.5 POTENCIOMETROS

Los potenciómetros son resistencias variables construidas de carbón mientras que los reóstatos son resistencias variables construidas de alambre NICRON, ver Fig. 3.22. Y además su fabricación es de carbón sobre una lámina de material aislante (Normalmente baquelita). En el centro unido al eje, una lamina metálica que roza a la resistencia para poder elegir de esta forma el valor en el potenciómetro.

Los extremos del carbón tienen terminales con remaches que aseguran los contactos. Estos dispositivos son capaces de medir la posición angular y pequeños desplazamientos de posición lineal.

Además hay un contacto unido a la resistencia pero que se puede deslizar a su alrededor; este elemento es conocido como wiper.

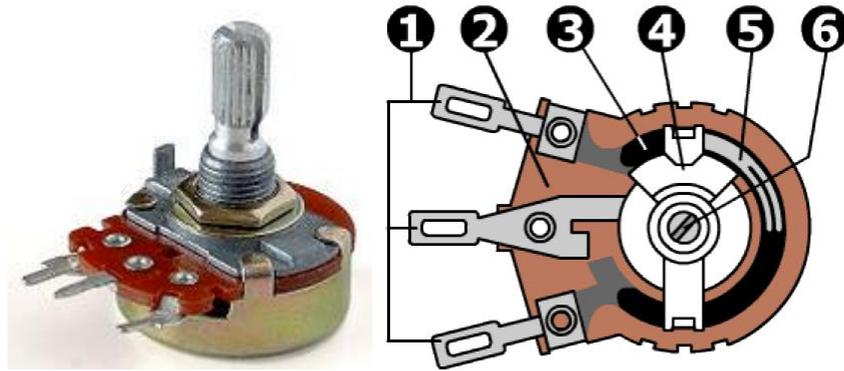


Fig. 3.22: Imagen y partes internas de un potenciómetro. (FUENTE – potenciómetro.pdf, 2011.)

El wiper se conecta físicamente al elemento cuyo movimiento vamos a medir. Cuando este elemento se mueva el wiper se irá moviendo por la resistencia y la tensión de salida en él wiper irá cambiando. Si medimos está tensión de salida, podremos determinar cuánto se ha desplazado el wiper, y por lo tanto cuanto se ha desplazado el elemento que pretendíamos controlar.

La característica principal de estos elementos, es que el valor en ohms del dispositivo puede ser ajustado dentro de un rango limitado por el valor marcado en el dispositivo (valor máximo).

3.3.6 SENSOR DE LUZ LDR

Una LDR es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente, puede ser llamada también fotorresistencia, célula fotoeléctrica o resistor dependiente de la luz, cuyas siglas, se originan de su nombre en inglés *LIGHT DEPENDENT RESISTOR* (LDR). Su cuerpo está formado por una célula o celda y dos patillas. En la Fig. 3.23, se muestra su símbolo electrónico y el sensor de luz LDR.

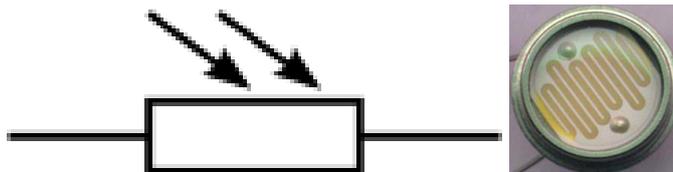


Fig. 3.23: Símbolo electrónico y el sensor de luz LDR. (FUENTE – foto, 2011.)

El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él (puede descender hasta 50 Ohms) y muy alto cuando está a oscuras (varios mega ohmios).

3.3.7 CAPACITORES CERAMICOS.

Son capacitores de flujo construido a base de dos electrodos de plata, entre los cuales se ha dispuesto un dieléctrico de material cerámico como el titanato de bario, cuya composición puede variarse para obtener capacitores con un amplio margen de coeficientes de temperatura. Sus valores capacitivos más comunes varían entre 10pF y 0.05μF. Véase la Fig. 3,24



Fig. 3.24: Capacitores cerámicos de disco. (FUENTE – c-dicopel.pdf, 2011.)

3.3.8 PANTALLAS LCD

Las pantallas de cristal líquido LCD o display para mensajes de la Fig. 3.25 tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, permitiendo representar la información que genera cualquier equipo electrónico de una forma fácil y económica.

Las pantallas más comunes suelen ser de 1x16, de 2x16 y de 4x16 (Filas x Columnas). Todas estas configuraciones también se encuentran para 20 columnas y hasta para 40 columnas.



Fig. 3.25: Pantalla LCD 2x16. (FUENTE – basic.pdf, 2011.)

Las características generales de un módulo LCD 16x2 son las siguientes:

- ☀ Consumo muy reducido, del orden de 7.5mW
- ☀ Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres japoneses Kanji, caracteres griegos y símbolos matemáticos.
- ☀ Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o a la derecha
- ☀ Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla, visualizándose 16 caracteres por línea
- ☀ Movimiento del cursor y cambio de su aspecto
- ☀ Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres
- ☀ Pueden ser gobernados de 2 formas principales:
 1. Conexión con bus de 4 bits
 2. Conexión con bus de 8 bits

3.3.8.1 PATILLAJE

A continuación en la tabla 3.2, se presenta la descripción de señales empleadas por el modulo LCD así como el numero de patilla a la que corresponden.

Tabla 3.2: Descripción de las señales del modulo LCD y el numero de pin. (FUENTE – practica7.pdf, 2011.)

Nº PIN	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
1	V _{SS}	Patilla de tierra de alimentación
2	V _{DD}	Patilla de alimentación de 5 V
3	V _O	Patilla de contraste del cristal líquido. Normalmente se conecta a un potenciómetro a través del cual se aplica una tensión variable entre 0 y +5V que permite regular el contraste del cristal líquido.
4	RS	Selección del registro de control/registro de datos: RS=0 Selección del registro de control RS=1 Selección del registro de datos
5	R/W	Señal de lectura/escritura

		R/W=0 El módulo LCD es escrito R/W=1 El módulo LCD es leído
6	E	Señal de activación del módulo LCD: E=0 Módulo desconectado E=1 Módulo conectado
7-14	D0-D7	Bus de datos bi-direccional. A través de estas líneas se realiza la transferencia de información entre el módulo LCD y el sistema informático que lo gestiona

3.3.9 EL MICROCONTROLADOR PIC

Un microcontrolador es un circuito integrado, en cuyo interior posee toda la arquitectura de un computador, esto es un CPU, memorias RAM, EEPROM y circuitos de entrada y salida.

Un microcontrolador de fábrica, no realiza tarea alguna, este debe ser programado para que realice desde un simple parpadeo de un led hasta un sofisticado control de un robot. Un microcontrolador es capaz de realizar la tarea de muchos circuitos lógicos como compuertas AND, OR, NOT, NAND, CONVERSORES A/D, D/A, temporizadores, decodificadores, etc., simplificando todo el diseño a una placa de reducido tamaño y pocos elementos.

3.3.10 EL MICROCONTROLADOR PIC16FXXX

Los microcontroladores PIC (*Peripheral Interface Controller*). Su gran versatilidad, gran velocidad, bajo costo, bajo consumo de potencia, y gran disponibilidad de herramientas para su programación lo hacen ideal para proyectos de automatización.

El microcontrolador PIC16FXXX de Microchip pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos) que tienen las siguientes características generales que los distinguen de otras familias:

- Arquitectura Harvard
- Tecnología RISC
- Tecnología CMOS

Estas características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad de ejecución.

En la tabla 3,3, Microchip ha dividido sus microcontroladores en tres grandes subfamilias de acuerdo al número de bits de su bus de instrucciones:

Tabla 3.3: Subfamilias de acuerdo al número de bits del bus de instrucciones. (FUENTE – Documento *pic16f877-guia%20detallada%20parte2.pdf*, 2011.)

Subfamilia	Bits del bus de instrucciones	nomenclatura
Base - Line	12	PIC12XXX y PIC14XXX
Mid – Range	14	PIC16XXX
High - End	16	PIC17XXX y PIC18XXX

Los microcontroladores PIC con la letra F en su serie son los más populares, y poseen una memoria flash (EEPROM grabada a bajo voltaje) para el programa y memoria SRAM y EEPROM para los datos.

La memoria de programa, es de tipo FLASH y soporta hasta 100000 ciclos de escritura.

La memoria de datos EEPROM, soporta hasta 1,000.000 de ciclos de escritura. Es utilizada para almacenar datos fijos que no cambian durante la ejecución del programa.

La memoria de datos RAM es tipo estática SRAM se utiliza para almacenar variables.

3.3.10.1 ARQUITECTURA DEL PIC16F819/877A.

El PIC16F819/877A utiliza un procesador con arquitectura **HARVARD**, consiguiendo de mayor rendimiento en el procesamiento de las instrucciones, esta arquitectura a diferencia de la **VON NEUMANN**, utiliza dos bloques de memorias independientes, una contiene instrucciones y la otra solo datos, cada una con su respectivo sistema de buses de acceso, 8 líneas para los datos y 14 líneas para las instrucciones, con lo que es posible realizar operaciones de acceso lectura o escritura simultáneamente en las 2 memorias, a esto se conoce como paralelismo (figura 3.26).

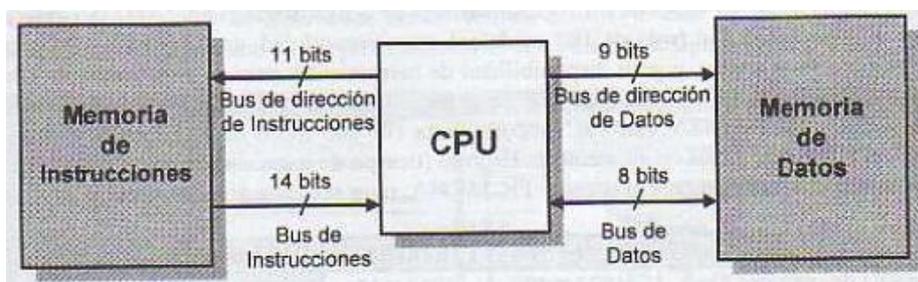


Fig. 3.26: En la arquitectura Harvard maneja la memoria de datos y la memoria de instrucciones por separado y con diferentes capacidades. (FUENTE – MICROCONTROLADORES PIC, CARLOS A. REYES, 2010.)

El CPU del microcontrolador PIC16F819/877A emplea una avanzada arquitectura **RISC** (computador con juego de instrucciones reducido) con un set de 35 instrucciones poderosas pertenecientes a la gama media de la familia de los microcontroladores PIC, la mayoría de instrucciones se ejecutan en un ciclo de instrucción a excepción de los saltos que requieren de 2 ciclos, dentro de su procesador existe una PILA de 8 niveles que permiten el anidamiento de subrutinas, esto quiere decir que puede recordar 8 lugares diferentes de línea de programa e ir regresando a cada uno en el orden inverso al que fueron anidados (ver figura 3.27).

3.3.10.2 LA MEMORIA DEL PROGRAMA.

Conocido también como memoria de instrucciones, aquí se escribe las órdenes para que el CPU las ejecute. En el caso del microcontrolador PIC16F819/877A tienen

memoria de programa no volátil tipo **FLASH**, este se caracteriza por ser más rápido en el proceso de escritura/borrado eléctrico, además dispone de mayor capacidad de almacenamiento, esta característica hace que sea ideal para prácticas de laboratorio en donde la grabación y el borrado son frecuentes (recuerde que soporta 100.000 ciclos de escritura/borrado). El bus de direcciones de la memoria de programa es de 13 bits, por lo que el contador de Programa puede direccionar 8192 posiciones de 14 bits cada una (desde la 0000h hasta 1FFFh), es decir el PC sólo utiliza los 11 primeros bits de direcciones los demás bits los ignora.

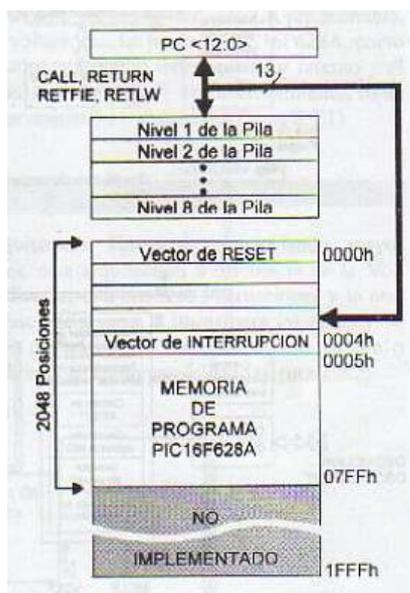


Fig. 3.27: Mapa de la memoria de Programa, de las 8196 posiciones, sólo tiene implementado las primeras 2048 posiciones, la dirección 0000h está reservada para el vector de reset y la 0004h está reservada para el vector de interrupción. (FUENTE – MICROCONTROLADORES PIC, CARLOS A. REYES, 2010)

3.3.10.3 LA MEMORIA DE DATOS.

El PIC16FXXX, tiene dos tipos de memorias de datos, la **RAM** estática o SRAM (Random Access Memory) o memoria de acceso casual, es un tipo de memoria volátil, es decir sus datos permanecen en la memoria mientras exista alimentación en el dispositivo, es de vital importancia porque ahí residen dos tipos de datos, los registros de propósito general (GPR), en donde se almacenan las variables y los registros especiales (SFR), que son los encargados de llevar el contador de programa, el conteo del temporizador, el estado de los puertos, configuración de las interrupciones, etc.

El otro tipo de memoria es una memoria auxiliar no volátil llamada **EEPROM**, con capacidad de 128 posiciones de 8 bits cada una. Esta memoria puede ser accedida por el usuario mediante programación, es muy útil para almacenar datos que el usuario necesita que se conserven aún sin alimentación, tal es el caso de la clave de una alarma, esta puede ser modificada, pero no debe perderse por un corte de energía, el fabricante asegura que la serie PIC16FXXX, tiene una retención de datos en esta memoria mayor a 100 años.

Como este microcontrolador es fabricado con tecnología **CMOS**, su consumo de potencia es muy bajo (2mA a 4Mhz) y además es completamente estático, lo que significa que si el reloj se detiene los datos de la memoria RAM no se pierden, esto mientras el micro sigue alimentando. La memoria de datos RAM, tiene 512 líneas de 8 bits cada una y esta particionada por 4 bancos; el banco 0, banco 1, banco 2 y banco 3, cada uno con 128 bits, el acceso a cada banco de memoria lo realiza los bits RP1 y RP0 del registro STATUS, la mayoría de los bytes son ocupados por los Registros de Funciones Especiales (SFR) o no están implementadas. Para el caso del PIC16FXXX sólo 224 posiciones de memoria **RAM** están disponibles para los Registros de Propósito General (GPR), la distribución de memoria se muestra en la tabla de la Fig. 3.27.

3.3.10.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES.

A continuación se va resumir las características más relevantes del PIC16FXXX con los dispositivos más cercanos de su familia:

- ☀ Velocidad de operación hasta 20 MHZ con oscilador externo.
- ☀ Oscilador interno RC (resistencia condensador) de 4MHZ calibrado de fabrica al $\pm 1\%$.
- ☀ Admite 8 configuraciones de oscilador.
- ☀ 8 niveles de PILA.
- ☀ Procesador con arquitectura HARVARD.
- ☀ Con unto reducido de instrucciones RISC (35) gama media.
- ☀ Instrucciones de un ciclo excepto los saltos (200nS por instrucción a 20 MHZ).

- ☀ Resistencias PULL-UP programables en el puerto B.
- ☀ Temporizador perro guardián WDT independiente del oscilador.
- ☀ Programable con bajo voltaje LPV (5V).
- ☀ Código de protección programable por sectores.
- ☀ Memoria de programa FLASH 2048K. de 100.000 ciclos escritura/borrado.
- ☀ Memoria de datos EEPROM de 1'000.000 de ciclos escritura/borrado de 100 años de retención.
- ☀ 3 Timers, Timer 0 a 8 bits, Timer 1 a 16 bits y Timer 2 a 8 bits.
- ☀ Módulos CCP. Captura compara 16 bits, PWM, modulación de ancho de pulso 10 bits.
- ☀ 10 fuentes de interrupción.
- ☀ Modulo de comunicación serial USART/SCI.
- ☀ Capacidad de corriente para encender leds directamente (25mA I/O) por cada pin.

3.3.10.5 OSCILADOR

Un oscilador es un circuito que es capaz de convertir la corriente continua en una corriente que varía de forma periódica en el tiempo (corriente periódica); estas oscilaciones pueden ser sinusoidales, cuadradas, triangulares, etc., dependiendo de la forma que tengan la onda producida. Un oscilador de onda cuadrada suele denominarse multivibrador.

Los PIC de rango medio permiten hasta 8 diferentes modos para el oscilador. El usuario puede seleccionar alguno de estos 8 modos programando 2 bits de configuración del dispositivo denominados: FOSC1 y FOSC0, ubicados en un registro especial de configuración en la localidad 2007H de la memoria de programa:

Configuración Word (2007H):

Tabla 3.4: Configuración Word. (FUENTE – pic16f877-guia%20detallada%20parte2.pdf, 2011.)

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CP1	CP0	DBUG	-	WRT	CPD	LVP	BODEN	CP1	CP0	PWRTE	WDTE	FOSC1	FOSC0

En algunos de estos modos se puede indicar que se genere o no una salida al oscilador (CLKOUT) a través de una patita de entrada y salida. Los modos de operación se muestran en la siguiente lista:

Tabla 3.5: Modos de operación del oscilador. (FUENTE – pic16f877-guia%20detallada%20parte2.pdf, 2011.)

FOSC1	FOSC0	Modo de operación del oscilador
0	0	LP: Baja frecuencia (y bajo consumo de potencia)
0	1	XT: Cristal/Resonador cerámico externos, (Media frecuencia)
1	0	HS: Alta velocidad (y alta potencia) Cristal/resonador
1	1	RC resistencia/capacitor externos

- **Obs:** Algunos PIC’s poseen un modo de oscilación que les permite usar una resistencia y un capacitor interno calibrados para 4 Mhz.

3.3.10.6 DIAGRAMA DE PINES Y FUNCIONES.

En el pic 16F819 excluyendo los dos pines de alimentación, todos los 16 pines restantes pueden ser configurados como entradas o salidas, alguno de ellos tienen funciones especiales, ver el diagrama de pines en la Fig. 3.28.

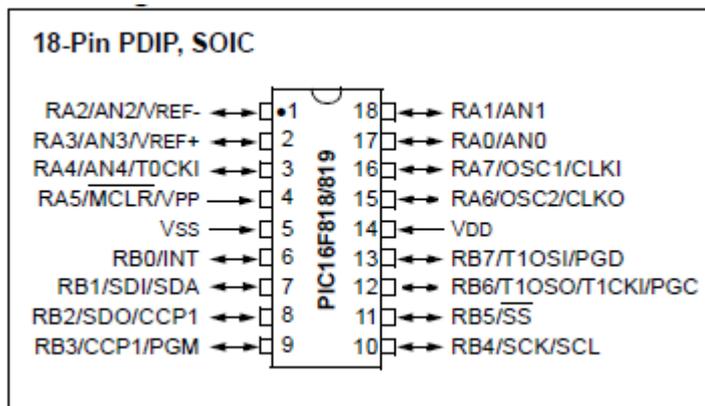


Fig. 3.28: Diagrama de pines del PIC 16F819. (FUENTE – Datasheet. Documento 39598e 16f819.pdf, 2011).

Tabla 3.6: Tabla de pines de PIC 16F819 con sus funciones especiales. (FUENTE – MICROCONTROLADORES PIC, CARLOS A. REYES, 2010).

PIN	Nombre	Descripción
17	RA0/AN0	Pin bidireccional I/O, entrada de comparador analógico
18	RA1/AN1	Pin bidireccional I/O, entrada de comparador analógico
1	RA2/AN2/VREF	Pin bidireccional I/O, entrada de Comp. Analógico, volt. Referencia
2	RA3/AN3/COMP1	Pin I/O, entrada Comp. Analógico y salida del Comp. Analógico 1
3	RA4/T0C/CNP2	Pin I/O, entrada reloj TIMER 0, salida de comparador Analógico 2
4	RA5/MCLR/VPP	Pin de entrada, en modo MCLR actica RESET externo.
15	RA6/OSC2/CKLOUT	Pin I/O. entrada oscilador ext. Salida de ¼ de frecuencia osc 1.
16	RA7/OSC1/CLKIN	Pin I/O, Entrada oscilador externo., entrada de reloj externo.
6	RB0/INT	Pin I/O, resistencia Pull-Up programable, entrada Interrup. Int.
7	RB1/RX/DT	Pin I/O, Resist. Pull-Up, entrada dato RS232. I/O dato serial asicr.
8	RB2/TX/CK	Pin I/O, resist. Pull- Up. Salida dato RS232. I/O señal reloj asicr.
9	RB3/CCP1	Pin I/O, Resist. Pull-Up, modulo CCP/PWM entrada o salida
10	RB4/PGM	Pin I/O, Resist. Pull-Up, entrada del voltaje bajo de programación
11	RB5	Pin I/O. resist. Pull-Up programable.
12	RB6/T1OSO/T1CKI	Pin I/O. resist. Pull-Up. Salida osc. TIMER1, entr. Reloj de ICSP.
16	RB7/T1OSI	Pin I/O. Resist. Pull-Up. Entrada osc. TIMER1, I/O Datos de ICSP.
5	VSS	Pin de conexión a tierra.
14	VDD	Pin de conexión a 5VDC

El PIC 16F877A de Microchip es un microcontrolador que se caracteriza por ser de bajo Consumo de potencia, alta velocidad tecnología CMOS y con un amplio rango de voltaje de operación (2.0V a 5.5V). Cuenta con 8kB de memoria para programación,

una EEPROM de 256 Bytes, en la Fig. 3.29 se muestra el diagrama de pines, este pic consta de 40 pines de entrada salida, conversor A/D de 10 bits, tres timers, módulo de comparación y captura, módulo integrado de comunicación SPI e I²C, entre otras características.

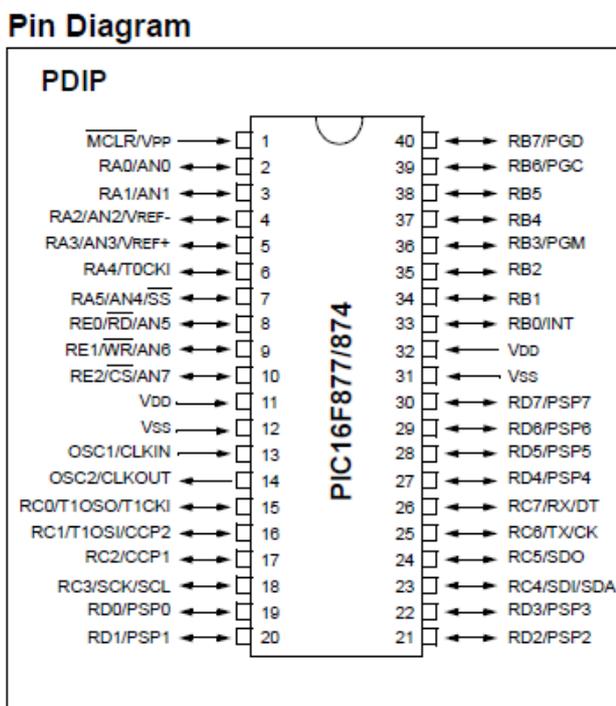


Figura 3.29: Diagrama de pines del microcontrolador pic16f877a (FUENTE – DATASHEET MICROCONTROLADOR PIC16F877A, 2011)

Tabla 3.7: Tabla de pines de PIC 16F877A con sus funciones especiales. (FUENTE – DATASHEET MICROCONTROLADOR PIC 16F877A, 2010).

PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
40	RB7/PGD	Digital I/O, In circuit debugger e ICSP datos de programación.
39	RB6/PGC	Digital I/O, In-circuit debugger e ICSP reloj de programación.
38	RB5	Digital I/O.
37	RB4	Digital I/O.
36	RB3/PGM	Digital I/O, pin de habilitación de programación ICSP.
35	RB2	Digital I/O.
34	RB1	Digital I/O.
33	RB0/INT	Digital I/O, interrup. externo.
32	VDD	Pin de conexión a 5 Vcc.
31	VSS	Pin de conexión a tierra.
30	RD7/PSP7	Digital I/O, señal de datos de puerto paralelo esclavo.

29	RD6/PSP6	Digital I/O, señal de datos de puerto paralelo esclavo.
28	RD5/PSP5	Digital I/O, señal de datos de puerto paralelo esclavo.
27	RD4/PSP4	Digital I/O, señal de datos de puerto paralelo esclavo.
26	RC7/RX/DT	Digital I/O, receptor asincrono USART, señal de datos sincrono USART.
25	RC6/TX/CK	Digital I/O, transmisor asincrono USART, reloj sincrono USART1.
24	RC5/SDO	Digital I/O, salida de datos SPI.
23	RC4/SDI/SDA	Digital I/O, entrada de datos SPI, I/O de datos I2C.
22	RD3/PSP3	Digital I/O, señal de datos de puerto paralelo esclavo.
21	RD2/PSP2	Digital I/O, señal de datos de puerto paralelo esclavo.
20	RD1/PSP1	Digital I/O, señal de datos de puerto paralelo esclavo.
19	RD0/PSP0	Digital I/O, señal de datos de puerto paralelo esclavo.
18	RC3/SCK/SCL	Digital I/O, I/O señal de reloj sincrono en modo SPI, I/O señal de reloj sincrono en modo I2C.
17	RC2/CCP1	Digital I/O, entrada de captura1, salida de comparador1, salida PWM1.
16	RC1/T1OSI/CCP2	Digital I/O, entrada de osc. timer 1. Entrada de captura2, salida de comparador2, salida PWM2.
15	RC0/T1OSO/T1CK1	Digital I/O, entrada de reloj externo, salida de osc. timer 1
14	OSC2/CLKOUT	Cristal oscilador o señal de salida de reloj.
13	OSC1/CLKIN	Cristal oscilador o señal de entrada de reloj externo.
12	VSS	Pin de conexión a tierra.
11	VDD	Pin de conexión a 5 Vcc.
10	RE2/CS/AN7	Digital I/O, entrada analógica 7, chip select control para puerto paralelo esclavo.
9	RE1/WR/AN6	Digital I/O, escritura de control para puerto paralelo esclavo, entrada analógica 6.
8	RE0/RD/AN5	Digital I/O, lectura de control para puerto paralelo esclavo, entrada analógica 5.
7	RA5/AN4/SS	Digital I/O, entr. analog. 4, salida de comparador 2, entrada de selección SPI slave
6	RA4/T0CKI	Digital I/O, salida de comparador 1, entrada de reloj externo 1.
5	RA3/AN3/VREF+	Digital I/O, entrada analógica 3, volt. referencia alto
4	RA2/AN2/VREF-	Digital I/O, entrada analógica 2, volt. referencia bajo
3	RA1/AN1	Digital I/O, entrada analógica 1.
2	RA0/AN0	Digital I/O, entrada analógica 0.
1	MCLR/VPP	Entrada de reset master clear, entrada de voltage de programación.

3.3.10.7 CONSIDERACIONES BÁSICAS PERO MUY ÚTILES A LA HORA DE MONTAR UN PROYECTO.

Es muy importante tomar en cuenta estas recomendaciones ya que si no las sigue podría correr el riesgo de dañar el PIC:

1. Recordemos que el PIC tiene tecnología CMOS, esto quiere decir que consume muy poca corriente pero que a la vez es susceptible a daños por estática, se recomienda utilizar pinzas para manipular y así poder transportar desde el grabador al *protoboard* o viceversa, o a su vez utilizar una manilla antiestática.
2. No sobrepase los niveles de corriente, tanto de entrada como de salida, recuerde que el PIC puede entregar por cada uno de sus pines una corriente máxima de 25mA. Asimismo soporta una corriente máxima de entrada de 25mA; esto quiere decir que puede encender un led con una resistencia de 330Ω , revisemos:
 - Voltaje que sale de un pin del PIC, si es alimentado con $5V = 5V$
 - Corriente que requiere el led para un encendido normal = $15mA$
 - ¿Qué resistencia es necesario para encender el led correctamente?

$$V = R * I \quad \text{Ecuación (3.10)}$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{0.015A} = 333,33\Omega \approx 330\Omega$$

Ahora un ejemplo de corriente de entrada al PIC, si queremos poner un pulsador ¿Qué resistencia sería la mínima a colocarse?

Como sabemos que la corriente de entrada que soporta por cada pin del PIC es de 25mA entonces para un pulsador tenemos que:

$$V = R * I$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{0.025A} = 200\Omega \approx 220\Omega$$

Esto quiere decir que la resistencia mínima a colocarse sería de 220Ω para estar al límite de la capacidad que soporta el PIC, pero no es muy aconsejable

trabajar con los límites, por lo que se recomienda utilizar una resistencia de $1K\Omega$ a $10K\Omega$, así el PIC estaría trabajando tranquilamente con una corriente de entrada de 5mA o de 0,5mA respectivamente.

3. En algunos proyectos es necesario conectar un capacitor de $1\mu F$ en paralelo al PIC, este evita mal funcionamiento que podrían ocurrirle, en especial cuando se utiliza teclados matriciales y se tiene conectado adicionalmente un buzzer activo (parlante activo o chicharra) y relés.

Cuando se necesite precisión en el trabajo del PIC (comunicación serial, tonos DTMF, etc.), se recomienda utilizar un cristal oscilador externo de 4MHZ en adelante, ya que el oscilador interno RC que posee no tiene muy buena precisión. Con todas estas recomendaciones se tiene en la Fig. 3.30 se encuentra el siguiente diagrama para encender un led y conectar un pulsador sin que el PIC sufra ningún daño.

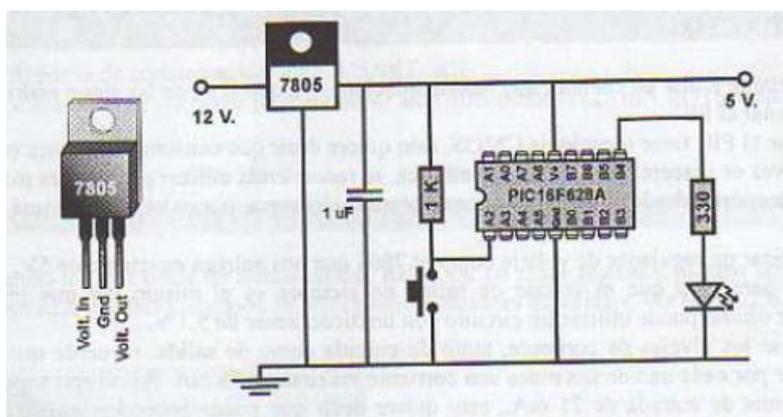


Fig. 3.30: Diagrama básico para conectar un PIC con un led y un pulsante. (FUENTE – MICROCONTROLADORES PIC, CARLOS A. REYES, 2010)

3.3.10.8 DECLARACIONES DISPONIBLES EN EL COMPILADOR PBP 2.44.

Debemos comprender que compilaciones deben ser cada una de las palabras en el compilador PBP 2.44 tiene reservado para realizar una tarea específica, las más utilizadas son: **HIGH, LOW, PAUSE, GOUSUB, GOTO, LCDOUT, SERIN, SEROUT, FOR, NEX, IF, THEN, SOUND, END.** Ver en Anexo 2 las instrucciones disponibles con una breve explicación.

3.4 DISEÑO MECÁNICO

3.4.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se abordara las partes más importantes para el diseño del concentrador parabólico, para empezar debemos considerar o reconocer lo importante las funciones de los diferentes elementos de una máquina y los tipos de carga que cada uno de ellos transmiten. Un elemento de máquina puede funcionar como un transmisor de carga normal, como transmisor de movimiento rotacional. Algunos transmisores de carga normal son los cojinetes de elementos rodantes, los cojinetes hidrodinámicos y los cojinetes de fricción. Algunos elementos transmisores de movimiento rotacional son los engranes, mecanismos de tracción, de cadena y bandas.

El diseño de productos razonablemente seguros implica muchos retos al diseño, para asegurar que sus componentes sean lo suficientemente grande, fuertes o tenaces para sobrevivir el impacto medio de fuerzas exteriores o de carga.

Un sistema mecánico es la unión de una serie de elementos de que dispondrían una máquina, el diseño de sistemas mecánicos requiere de una flexibilidad considerable y creatividad.

3.4.2 MOMENTO DE INERCIA

El momento de inercia o inercia rotacional es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo. Más concretamente el momento de inercia es una magnitud escalar que refleja la distribución de masas de un cuerpo o un sistema de partículas en rotación, respecto al eje de giro. El momento de inercia sólo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento.

El momento de inercia desempeña un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme. Es el valor escalar del momento angular longitudinal de un sólido rígido.

Ecuaciones del momento de inercia:

El momento de inercia de un cuerpo indica su resistencia a adquirir una aceleración angular. Para una masa puntual y un eje arbitrario, el momento de inercia es:

$$I = m * r^2 \qquad \text{Ecuación (3.11)}$$

Donde:

m = Es la masa del punto.

r = Es la distancia al eje de rotación.

Dado un sistema de partículas y un eje arbitrario, se define como la suma de los productos de las masas de las partículas por el cuadrado de la distancia de cada partícula a dicho eje. Matemáticamente se expresa como:

$$I = \sum m_i * r_i^2$$

Para un cuerpo de masa continua (Medio continuo), se generaliza como:

$$I = \int_v \rho r^2 dV$$

El subíndice v de la integral indica que se integra sobre todo el volumen del cuerpo.

Este concepto desempeña en el movimiento de rotación un papel semejante al de masa inercial. La masa es la resistencia que presenta un cuerpo a ser acelerado en traslación y el Momento de Inercia es la resistencia que presenta un cuerpo a ser acelerado en rotación. Así, por ejemplo, la segunda ley de Newton:

$$a = \frac{f}{m} \qquad \text{Ecuación (3.12)}$$

Siendo:

a =Aceleración.

f =Fuerza.

m =Masa.

Tiene como equivalente para la rotación:

$$\tau = I \cdot \alpha \quad \text{Ecuación (3.13)}$$

Donde:

τ = Es el momento aplicado al cuerpo.

I = Es el momento de inercia del cuerpo con respecto al eje de rotación.

La aceleración angular viene dado por la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{d.t^2}$$

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_o}{t} \quad \text{Ecuación (3.14)}$$

Donde:

α = Aceleración angular.

ω_f = Velocidad angular final.

ω_o = Velocidad angular inicial.

t = Tiempo.

3.4.3 EJES DE TRANSMISIÓN.

Es un elemento cilíndrico de sección circular que transmite un momento de giro y que puede llevar montadas distintos elementos mecánicos de transmisión de potencia como pueden ser: engranajes, poleas, volantes, etc.

Árbol: Elemento giratorio sometido a torsión, transmisión de potencia.

Eje: No está sometido a torsión, sin transmisión de potencia.

Tipos de Cargas:

1. Flexión.
2. Tracción / compresión.
3. Torsión.

3.4.3.1 MOMENTO FLECTOR

Se denomina momento flector se denomina al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Cuya rigidez depende entre otras cosas, del momento de inercia y de la sección transversal de los ejes.

El Momento flector máximo se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$Mb = Ef * b \quad (Nm) \quad \text{Ecuación (3.15)}$$

Donde:

b = Distancia del brazo (cm)

Ef = Fuerza o Carga flectora (Kg)

3.4.3.2 TORSIÓN

Si se considera una barra sujeta rígidamente en un extremo y sometida en el otro a un par T aplicado en un plano perpendicular el eje, como se muestra en la Fig. 3.31. Se dice que la barra está sometida a torsión.

$$\tau = F * d \quad \text{Ecuación (3.16)}$$

Donde:

τ =Torque.

F =Fuerza.

d =Distancia.

$$\tau_{eje} = \tau m * IT \quad \text{Ecuación (3.17)}$$

Donde:

τ_{eje} =Torque en el eje.

τm = Torque Motor.

IT = Relación de transmisión.

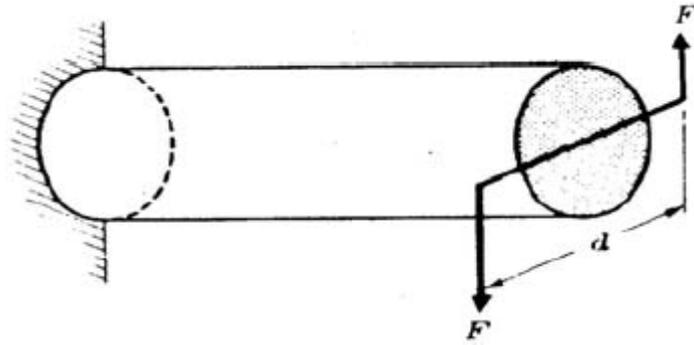


Fig. 3.31: Eje sometido a torsión. (FUENTE – Documento capítulo2.pdf, 2010)

3.4.3.3 MOMENTO TORSOR

A veces, a lo largo de un eje actúan una aserie de pares. En este caso es conveniente introducir un nuevo concepto, el momento torsor, que se define para cada sección de la barra, como la suma algebraica de los momentos de los pares aplicados, situados a un lado de la sección considerada. Naturalmente, la elección del lado es arbitraria en cada caso.

La ecuación para determinar el diámetro del eje es:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\mu_{ch} * \pi * S_s} * \sqrt{(Kb * Mb)^2 + (Kt * Mt)^2}} \quad \text{Ecuación (3.18)}$$

Donde:

d =Diámetro del eje.

Mb =Momento flector.

Mt =Mometo torsor.

Kb =Coeficiente por momento flector.

Kt =Coeficiente por momento torsor.

μ_{ch} =Coeficiente por chavetero.

S_s =Esfuerzo permisible.

3.4.4 EL TORNILLO SINFIN Y LA RUEDA DENTADA

El tornillo sinfín es un mecanismo de transmisión circular compuesto por dos elementos: Fig. 3.32a, el tornillo (sinfín), que actúa como elemento de entrada (o motriz) y la rueda dentada, que actúa como elemento de salida (o conducido) y que algunos autores llaman corona. La rosca del tornillo engrana con los dientes de la rueda de modo que los ejes de transmisión de ambos son perpendiculares entre sí.

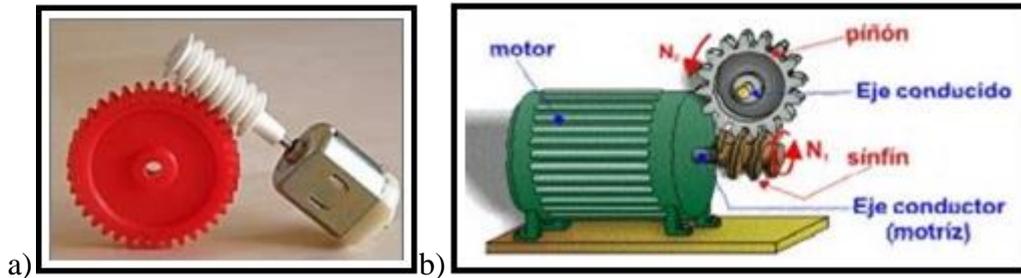


Fig. 3.32: a) mecanismo de transmisión circular compuesto por dos elementos, b) indica el movimiento de sus elementos. (FUENTE – VILLALBA HERVÁS, 2010)

En la Fig. 3.32b, se muestra el funcionamiento de este mecanismo de transmisión, por cada vuelta del tornillo, el engranaje gira un solo diente o lo que es lo mismo, para que la rueda dé una vuelta completa, es necesario que el tornillo gire tantas veces como dientes tiene el engranaje. Se puede deducir de todo ello que el sistema posee una relación de transmisión muy baja, es un excelente reductor de velocidad y, por lo tanto, posee elevada ganancia mecánica.

El tornillo es considerado una rueda dentada con un solo diente que ha sido tallado helicoidalmente (en forma de hélice). A partir de esta idea, se puede deducir la expresión que calcula la relación de transmisión.

$$I = \frac{1}{Z} \quad \text{Ecuación (3.19)}$$

Donde Z representa el número de dientes del engranaje.

3.4.5 ENGRANAJES CILINDRICOS RECTOS

Los engranajes cilíndricos rectos son ruedas dentadas cuyos elementos de diente son rectos y paralelos al eje del árbol correspondiente; se emplean para transmitir el movimiento y la potencia entre ejes paralelos.

3.4.5.1 FUERZA TANGENCIAL

La fuerza tangencial F_t : componente tangencial de la fuerza de contacto entre el piñon y cremayera o cadena.

$$F_t = \frac{M_t}{R_p} \quad \text{Ecuación (3.20)}$$

Donde:

M_t = Momento Torsor (Nm).

R_p = Radio del piñon (m).

3.4.5.2 RELACION DE TRANSMISIÓN

La relación de transmisión es la proporción entre el número de dientes de un piñon en comparación con la rueda dentada. En la Fig. 3.33 tenemos una relación de 2:1 en donde el piñon dará dos vueltas para que la rueda dentada (conducido) gire sólo una.

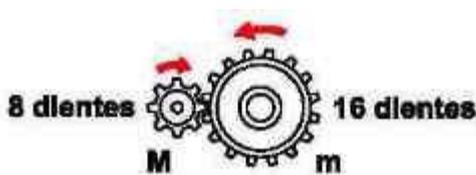


Fig. 3.33: Relación de transmisión. (FUENTE – Modulo: Mantenimiento de los sistemas de transmisión y frenado.pdf, 2010)

$$I = \frac{z_2}{z_1} \quad \text{Ecuación (3.21)}$$

Donde:

Z_1 = Numero de dientes Piñon (conductor)

Z_2 = Numero de dientes Rueda dentada (conducido)

3.4.6 RODAMIENTOS

3.4.6.1 RODAMIENTOS DE RODILLOS CÓNICOS.

En este tipo de rodamientos, los rodillos y las pistas de rodadura tienen forma cónica. La configuración de su diseño hace que los vértices de los conos de rodillos y pistas de rodadura se encuentren en un punto común sobre el eje de rodamiento.

Los rodillos, que se observan en la Fig. 3.34, son guisdos por el contacto entre el extremo mayor del rodillo y el reborde mayor del anillo interior. El contacto lineal entre los rodillos y las pistas de rodadura, hace que estos rodamientos tengan una elevada capacidad de carga; a su vez, existen velocidades relativamente elevadas.

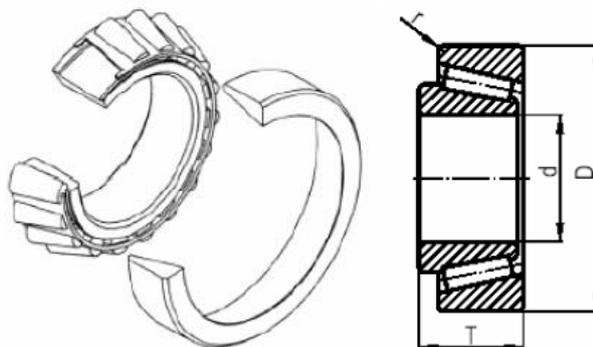


Fig. 3.34: Rodamiento de rodillo cónico y corte longitudinal. (FUENTE – Rodamientos%20af.pdf, 2011)

Tienen una alta capacidad para soportar cargas radiales, cargas axiales en una dirección y cargas combinadas. Cuanto más grande es el ángulo de contacto, más grande es la capacidad de carga axial.

3.4.6.2 RODAMIENTOS DE BOLAS A ROTULA

Este tipo de rodamientos dispone de dos hileras de bolas. En la Fig. 3,35 muestra la pista de rodadura del anillo exterior forma una superficie esférica común para las dos

hileras de bolas, y su centro es coincidente con el del rodamiento; por su parte, el anillo interior tiene dos pistas de rodadura, una para cada hilera de bolas.

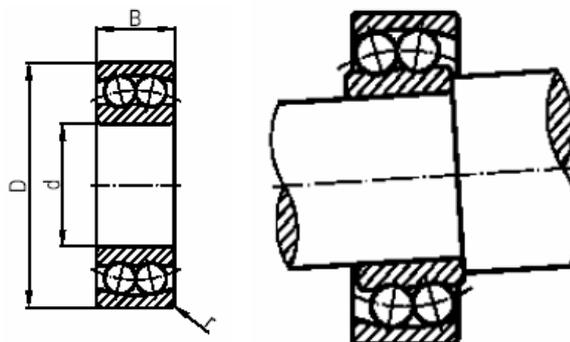


Fig. 3.35: Cortes de los rodamientos de bolas a rotulas. (FUENTE – Rodamientos%20af.pdf, 2011)

De esta forma, el anillo interior junto con las bolas de acero y la jaula porta bolas pueden oscilar sobre el anillo exterior, adaptándose automáticamente a un posible desalineamiento que pudiera presentar el árbol.

Según lo anterior, este tipo de rodamientos se utiliza cuando se prevén flexiones o desalineaciones del árbol con respecto al alojamiento del soporte.

La capacidad de carga axial es limitada, en consecuencia, no son apropiados para aplicaciones con cargas axiales elevadas.

3.4.6.3 LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Para el buen funcionamiento de los rodamientos es condición indispensable una buena lubricación, ya que: reduce el rozamiento de rodadura, protege las distintas partes del rodamiento de la herrumbre y el polvo, absorbe el calor que se desarrolla durante el funcionamiento y atenúa las vibraciones del rodamiento durante el funcionamiento.

3.4.7 TRANSMISIÓN POR CADENA

La transmisión por medio de cadena de rodillos y engranajes, constituye un sólido y seguro sistema de transmisión de la energía mecánica. En la Fig. 3.36, el

movimiento y la fuerza se transmiten a cierta distancia de los engranes y se conserva el sentido de giro.

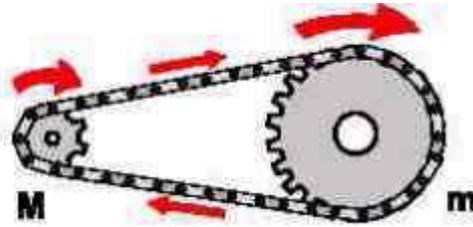


Figura 3,36: Transmisión por cadena. (FUENTE – Modulo: Mantenimiento de los sistemas de transmisión y frenado.pdf, 2011)

Las transmisiones a cadena reúnen las siguientes ventajas:

1. No se producen resbalamientos.
2. Se mantiene constante la relación de velocidades.
3. El rendimiento es elevado: 98%.
4. La carga repartida sobre varios dientes del piñón prolonga la vida útil de la cadena.
5. La clásica elasticidad de la cadena, sumada a la película lubricante que se forma entre partes móviles, amortiguan los golpes por cargas intermitentes.

3.5 MOTOR PASO A PASO

3.5.1 INTRODUCCIÓN

Los denominados motores paso a paso (PaP), son un caso bastante particular dentro de los motores en general. La señal eléctrica de alimentación no es ni c.c. ni c.a. como en otros casos, sino un tren de pulsos que se suceden con una secuencia, previamente definida, a cada una de las bobinas que componen el estator. Cada vez que a alguna de estas bobinas se les aplica un pulso, el motor se desplaza un paso, y queda fijo en esa posición. Dependiendo de las características constructivas del motor este paso puede ser desde 90° hasta incluso $0,9^\circ$.

Por lo tanto, si somos capaces de mover el motor en pequeños pasos, esto nos va a permitir controlar su posición, con mayor o menor precisión dependiendo del avance de cada paso.

Además, variando la frecuencia con la que se aplican los pulsos, también estaremos variando la velocidad con que se mueve el motor, lo que nos permite realizar un control de velocidad.

Por último si invertimos la secuencia de los pulsos de alimentación aplicados a las bobinas, estaremos realizando una inversión en el sentido de giro del motor.

3.5.2 MOTORES PASO A PASO BIPOLARES.

Motores PaP bipolares: en la Fig. 3.37 se observa que están formados por dos bobinas, y la intensidad que circula por ellas invierte su sentido sucesivamente (de ahí surge el nombre de bipolares). Se pueden reconocer externamente porque presentan cuatro conductores, uno para cada extremo de una bobina.

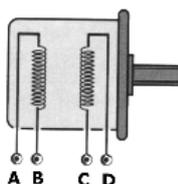


Figura 3.37: Esquema de bobinas de un motor paso a paso bipolar. (FUENTE – MOTORES PAP, 2010)

3.5.3 FUNCIONAMIENTO.

El principio de funcionamiento de los motores PaP de imán permanente, como ya se ha citado anteriormente, está basado en las fuerzas de atracción-repulsión que experimentan los cuerpos sometidos a un campo magnético.

3.5.3.1 MOTOR BIPOLAR

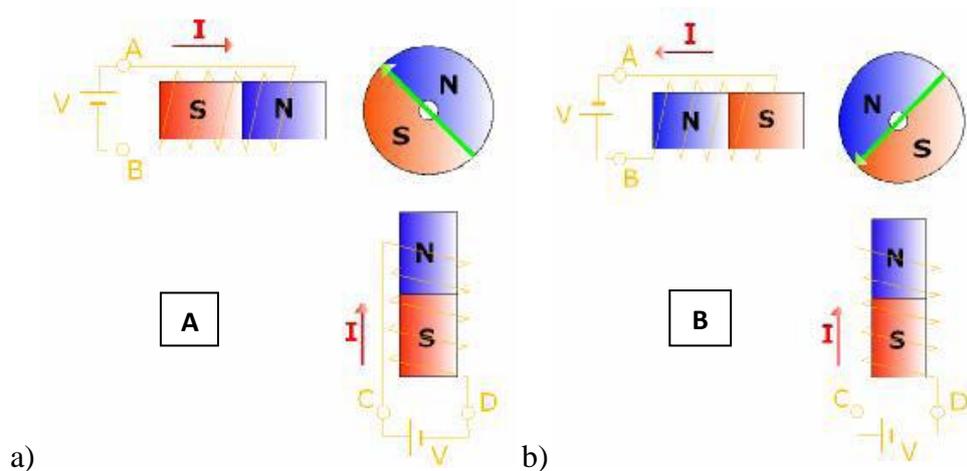
El motor bipolar más sencillo está compuesto por dos bobinas (polos) por los que irá circulando corriente en uno u otro sentido según una secuencia definida.

Mientras no circule corriente por ninguna de las bobinas el rotor se encontrará en reposo en una posición cualquiera.

Si aplicamos intensidad a ambas bobinas, de la manera que indica la figura 3.38a, el rotor girará hasta la posición indicada en dicha figura.

Si se invierte el sentido de la intensidad aplicada a la bobina de terminales AB, el campo magnético variará, y el rotor girará de nuevo orientándose ahora de la manera mostrada en la Fig. 3.38b. Se observa que el motor se ha desplazado un paso (90°).

Invirtiendo sucesivamente el sentido de la corriente en ambas bobinas, obtendremos el giro completo del motor, que se muestra en la siguiente figura:



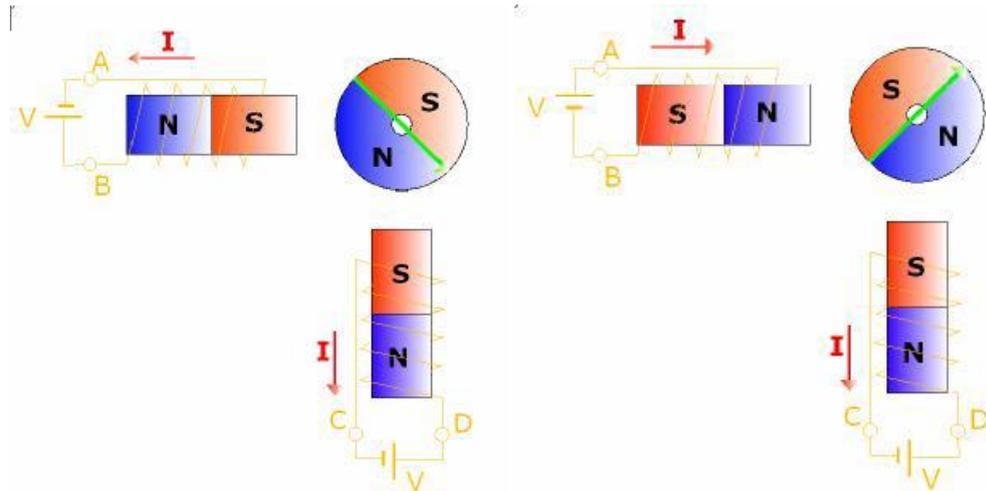


Fig. 3.38:a) Funcionamiento de un motor bipolar en modo paso completo y b) Se observa que el motor se ha desplazado un paso (90°). (FUENTE – MOTORES PAP, 2010)

Como cada vez que se aplica un pulso distinto a la entrada del motor, éste gira un paso completo se dice que está funcionando en modo paso completo.

En este caso el paso es de 90°, demasiado grande para poder realizar ningún tipo de control.

Tabla 3.8: Secuencia de excitación para el funcionamiento de un motor bipolar en modo paso completo.

Paso	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	-V	+V	+V	-V
3	-V	+V	-V	+V
4	+V	-V	-V	+V

Para aumentar la resolución, se tienen varias opciones.

La más sencilla de todas y que no necesita un cambio constructivo del motor, consiste en cambiar la secuencia de alimentación.

En modo de funcionamiento de paso completo, las bobinas nunca quedan sin alimentación. Pues bien, si entre cada cambio en la tensión de alimentación de una bobina, esta se deja sin alimentar, podemos conseguir una posición del rotor intermedia entre dos pasos. A esta forma de funcionamiento se le denomina medio paso.

Las distintas posiciones por las que pasa el rotor, así como las polaridades de las bobinas del estator, se pueden apreciar en la Fig.3.39

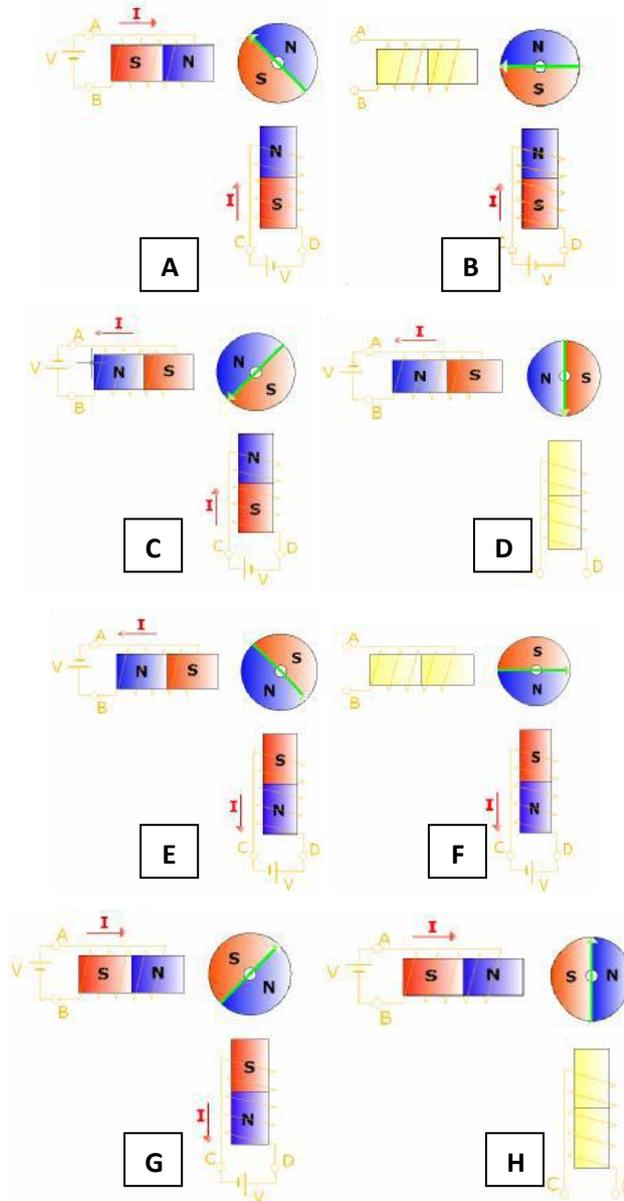


Figura 3.39: Funcionamiento de un motor paso a paso bipolar en modo de medio paso. (FUENTE – MOTORES PAP, 2010)

Tabla 3.9: Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor bipolar en modo de medio paso. (FUENTE – MOTORES PAP, 2010)

<i>Paso</i>	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
	0	0	+V	-V
2	-V	+V	+V	-V
	-V	+V	0	0
3	-V	+V	-V	+V
	0	0	-V	+V
4	+V	-V	-V	+V
	+V	-V	0	0

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SEGUIDOR SOLAR AUTOMÁTICO PROPUESTO.

4.1.1. DISEÑO Y SELECCIÓN.

Para elaborar el diseño de la estructura para el seguidor solar automático se toma en cuenta las condiciones de trabajo a los que estará expuesto, para así realizar una correcta selección de materiales con sus respectivas dimensiones. En el presente proyecto de seguidor solar automático para concentrador parabólico consta de tres partes:

- La estructura base.
- Transmisiones de potencia mecánica.
- Sistema eléctrico y de control.

4.1.1.1 LA ESTRUCTURA BASE.

En la Fig. 4.1 se observa la estructura base que se diseño, cuya función es soportar una parábola de 2m de diámetro, el movimiento que ésta desarrollara a través de sus dos ejes es vertical y horizontal de tal manera que nos permita el seguimiento solar en acimut y elevación.

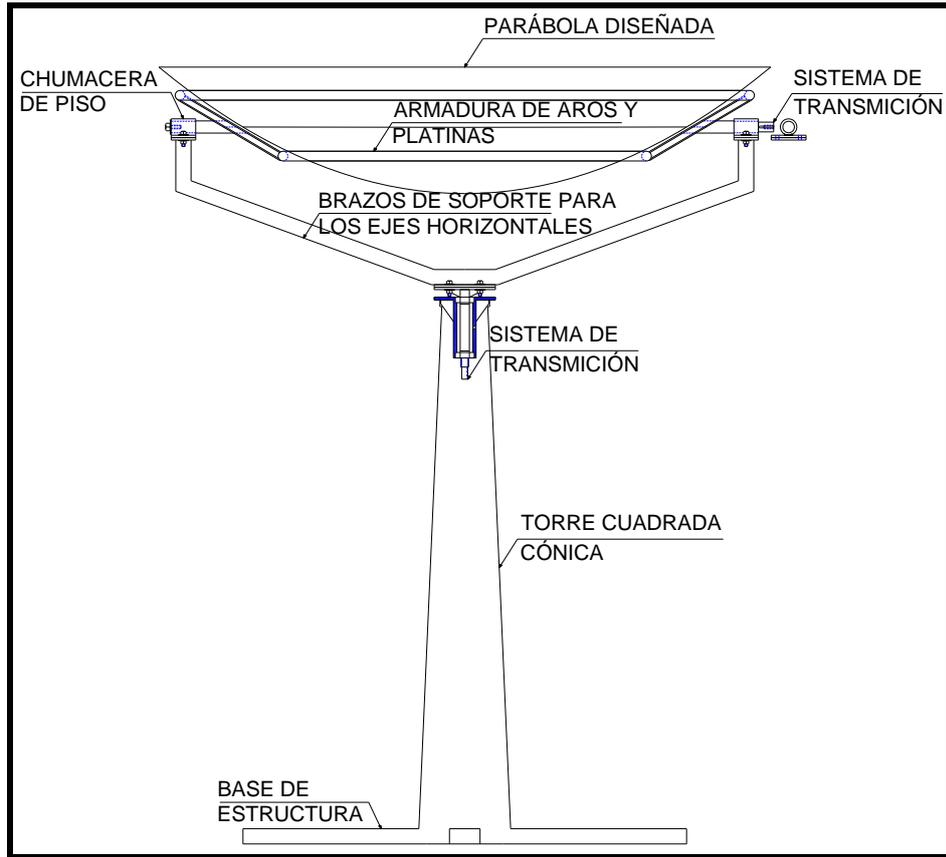


Fig. 4.1: Esquema de la estructura base del seguidor solar. (FUENTE – Autores, 2010)

El presente diseño ha sido implementado con los materiales que se describe en la Tabla 4.1 donde se detallan dimensiones y tipo de material.

Tabla 4.1: Lista materiales usados en la estructura bases. (FUENTE – Autores, 2010).

NÚMERO	PARTES DE LA ESTRUCTURA
1	2 Tubos estructural negro red. 1 1/2"*2mm.
2	1 Tubo rectangular negro de 100*50*2mm.
3	248cm de platina de 2 1/2 * 1/4"
4	90cm de platina de 4*1/4"
5	2 Tubos galvanizado de 1 1/4"*1.5mm
6	8 Pernos de 1/2*11/2"con 2 arandelas planas, una arandela de presión y tuerca
7	23cm de tubo de vapor CD 80 15* 3"
8	2 recortes de plancha negra 20*20cm*8mm
9	18 cm de eje de transmisión de 1 1/2"

10	25 cm de eje de transmisión de 1 1/2"
11	1 recorte de plancha negra 14*14*6mm
12	1 recorte de plancha negra 23*23cm*6mm
13	4 recortes de plancha negra de 1/8" 30*15*160cm
14	30 cm de acero 1 1/2" 705 (SAE 4340)

4.1.1.2 TRANSMISIONES DE POTENCIA MECÁNICA

El seguidor solar tiene un eje vertical y dos horizontales situado en el centro de gravedad de los aros de soporte del disco parabólico de revolución, cada uno de estos ejes son accionados por un motor paso a paso cada uno. Pese a que los mencionados motores pueden desarrollar velocidades muy bajas y debido a que los ejes de los motores son de diámetro de 1/4", se implemento un sistema de transmisión para cada motor que a continuación en la tabla 4.2 se detalla el tipo de transmisión y el material.

Tabla 4.2: Partes de la caja de transmisión. (FUENTE – Autores, 2010).

NÚMERO	PARTES Y TIPO DE TRANSMISIÓN
1	Piñón conductor = 10 Dientes.
2	Piñón conducido = 41 Dientes.
3	2 Tornillos sin fin = Paso de 1 hilo por pulgada, Ø = 32mm.
4	Engranaje helicoidal = 40 Dientes.
5	Catalina conductora = Catalina conducida = 20 Dientes.
6	1 Cadena ASA-40.
7	Chumacera de pared
8	Ejes de transmisión
9	Pernos

4.1.1.3 SISTEMA ELÉCTRICO Y AUTOMATIZACIÓN

Para el control automático del movimiento en sus dos ejes de libertad tanto en elevación y acimut se desarrollo la adquisición de dos motores paso a paso, diseño de tarjetas electrónicas de potencia y de mando y la programación del microcontrolador

PIC. En la tabla 4.3 se enumeran los equipos y dispositivos que se usaron para el diseño y la automatización del presente proyecto.

Tabla 4.3: Equipos y dispositivos eléctrico, electrónico y de programación de pic’s. (FUENTE – Autores, 2010).

NÚMERO	EQUIPOS Y DISPOSITIVOS
1	2 motores paso a paso bipolares (<i>VEXTA</i>)
2	Fuentes de poder.
3	1 Programador <i>PICKit 2 v2.61</i>
4	1 software <i>MicroCode Studio</i>
5	1 Software <i>MPLAB IDE v8.30</i>
6	1 Software <i>Proteus 7.6 SPO</i>
7	2 interfaz de potencia o puente H
8	1 tarjeta electrónica para control
9	9 Fotocélulas o LDR’s
10	1 <i>Timer</i> de 24h
11	2 Fin de carrera
12	1 <i>Protoboar</i>
13	1 pic 16F877A
14	1 pic 16F819
15	1 pic 16f877a
16	3m de cable multipar (Pruebas y diseño)
17	Otros elementos (<i>leds</i> , resistencias....)

4.2 MÉTODOS

- Método analítico:** Con ayuda de este método se pudo indagar los tipos de estructuras para seguidores solares de dos ejes relacionados con el presente proyecto de tesis, analizando sus partes constitutivas o elementos y sus respectivas funciones, para de esta forma tener una noción de cómo debía estar compuesto el seguidor solar de dos ejes que se desarrolló en el presente proyecto de tesis.

- **Método sintético:** Una vez analizado las distintas estructuras solares de dos ejes existentes en el medio y la red, se procede a la utilización del método sintético en el cual se recopiló la información necesaria y más relevante, sirviendo de base fundamental para el diseño de la estructura para el seguidor solar.
- **Método experimental:** A través de este método se pudo construir, demostrar y explicar el funcionamiento del seguidor solar automático, mediante la programación en *MicroCode Studio – PICBASIC PRO*.
- **Método inductivo:** Por medio del presente método fue posible analizar la programación del PIC y observar mediante la práctica el comportamiento de los motores paso a paso usando las fotorresistencias.
- **Método deductivo:** Luego de la construcción de la estructura, implementación del sistema de transmisión mecánica y constatación del funcionamiento de los motores paso a paso mediante la programación del PIC, se construyeron las tarjetas electrónicas que permitieron verificar el funcionamiento del seguidor solar automático para concentrador parabólico.

4.3 TÉCNICAS

Las técnicas que se utilizaron al momento de la recopilación de la información son las siguientes:

- **Recopilación bibliográfica:** La presente técnica nos sirvió para obtener la información más importante de fuentes bibliográficas tales como: libros, tesis, enciclopedias, catálogos, revistas, folletos, etc.; el contenido selecto sirvió como base teórica para la elaboración de la revisión de literatura del presente proyecto de tesis.
- **Observación:** Mediante ésta técnica se pudo constatar el movimiento del eje vertical y horizontal para ubicarse frente a la posición del sol, con la ayuda del sistema de control electrónico implementado y la programación.

- **Entrevista:** El uso de ésta técnica nos sirvió para establecer un dialogo con algunos profesionales que conocen los diferentes temas abordados en el presente proyecto de tesis y de esta forma a medida que avanza el mismo ir despejando las dudas que se presentaron, y a la vez fortalecer nuestros conocimientos los cuales nos sirvieron para el desarrollo del presente proyecto de tesis.

4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS MOTORES PASO A PASO

El motor inferior accionará el soporte de la parabola y este movimiento tendrá un ángulo máximo de 180°, que será en la tarde cuando no haya luz del sol y regrese a su posición inicial. La relación de transmisión es de 164:1. Para que el eje del soporte de la parábola gire 180°, el eje del motor tendrá que girar 29520°.

El desplazamiento angular por cada paso de los motores a elegirse será de 1.8° por tener mayor precisión en movimiento.

$1 \text{ rev} = 200 \text{ pasos}$: # de pasos en una revolución

$P_{\text{totales}} = 16400 \text{ pasos}$: Los pulsos totales para hacer el movimiento requerido.

El tiempo en acelerar la carga lo asumimos de 1620 ms, en 24 pasos llega a la velocidad constante, partiendo con una velocidad de 1 paso/120ms y llegando a 1 paso/10 ms. El mismo tiempo lo asumimos para desacelerar. Por lo tanto 16352 pasos serán realizados a velocidad constante en 163520 ms. El tiempo total del movimiento será de 166760 ms, igual a 2.78 minutos.

$$f_{\text{trapez}} = \frac{(P_{\text{total}} - (f_0 * t_{\text{acel}}))}{(t_{\text{total}} - t_{\text{acel}})}$$

$$f_{\text{trapez}} = \frac{16400 \text{ pasos} - \left(\left(1 \text{ paso} / 0.12 \text{ s} \right) * 1.62 \text{ s} \right)}{163.52 \text{ s} - 1.62 \text{ s}}$$

$f_{\text{trapez}} = 101.2 \text{ Hz}$: La frecuencia máxima para un movimiento trapezoidal.

Determinamos la velocidad en rpm.

$$V = 101.2 \frac{\text{pulsos}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ rev}}{200 \text{ pulsos}} = 30.36 \text{ RPM}$$

Para determinar el momento de inercia de la parábola se utilizó el *software* inventor, el momento de inercia en el eje Y, que se obtuvo del *software* INVENTOR es de: 24.16 kg*m².

$$J_{total} = 24.16 \text{ kg} * \text{m}^2. \quad : \text{Momento de inercia total}$$

$$T_{acel} = J_{total} * \left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right) \left(\frac{2\pi}{60}\right) \quad : \text{Torque necesario para acelerar y desacelerar la inercia total del sistema.}$$

$$T_{acel} = 24.16 \text{ kg} * \text{m}^2 * \left(\frac{30.36 \text{ RPM}}{1.62 \text{ s}}\right) * \left(\frac{2\pi}{60}\right)$$

$$T_{acel} = 47.41 \text{ Nm}$$

Debido a la geometría de la parábola, la fuerza del viento se distribuye y se anula, consideraremos un torque resistivo por fuerzas externas igual a cero.

Considerando que:

$$T = T_{acel} + T_{resist} \quad : \text{Torque del motor.}$$

$$T = 47.41 \text{ Nm} + 0 \text{ Nm}$$

$$T = 47.41 \text{ Nm}$$

$$\mu_s = 1.25 \quad : \text{Coeficiente de seguridad.}$$

$$\eta_T = 0.8 \quad : \text{Factor de rendimiento.}$$

$$T_{total} = T * \frac{\mu_s}{\eta_T} \quad : \text{Torque total.}$$

$$T_{total} = 47.41 \text{ Nm} * \frac{1.25}{0.8}$$

$$T_{total} = 74.1 \text{ Nm}$$

$$i = 164 \quad : \text{Relacion de transmisión}$$

$$T_{motor} = \frac{T_{total}}{i} \quad : \text{Torque necesario del motor.}$$

$$T_{motor} = \frac{74.1 \text{ Nm}}{164}$$

$$T_{motor} = 0.45 \text{ Nm}$$

El torque del motor necesario para mover el eje vertical del soporte de la parábola es de 0.45 Nm, se utilizará un motor paso a paso de 2 Nm ya que se consiguió un motor de dichas características. De igual manera se utilizará un motor similar para mover el eje horizontal del soporte de la parábola, no se realizó cálculos de dicho motor ya que el eje horizontal pasa por el centro de gravedad del soporte y el torque para moverlo es mínimo.

4.5 DISEÑO DEL CONCENTRADOR PARABÓLICO DE REVOLUCIÓN

Un paraboloide de revolución (disco parabólico) se obtiene por rotación de una parábola alrededor de su eje. A continuación se expondrán algunas propiedades de la curva, para aplicación en concentradores de energía solar. Un paraboloide es el conjunto de puntos situados a igual distancia de una recta fija llamada directriz y de un punto fijo F llamado foco, ver Fig. 4.2. La intersección de la parábola y su vertice se llama S; para el análisis y cálculo del área, nos basamos en la ecuación de la parábola.

$$y^2 = 4fx$$

En donde f es la distancia focal SF.

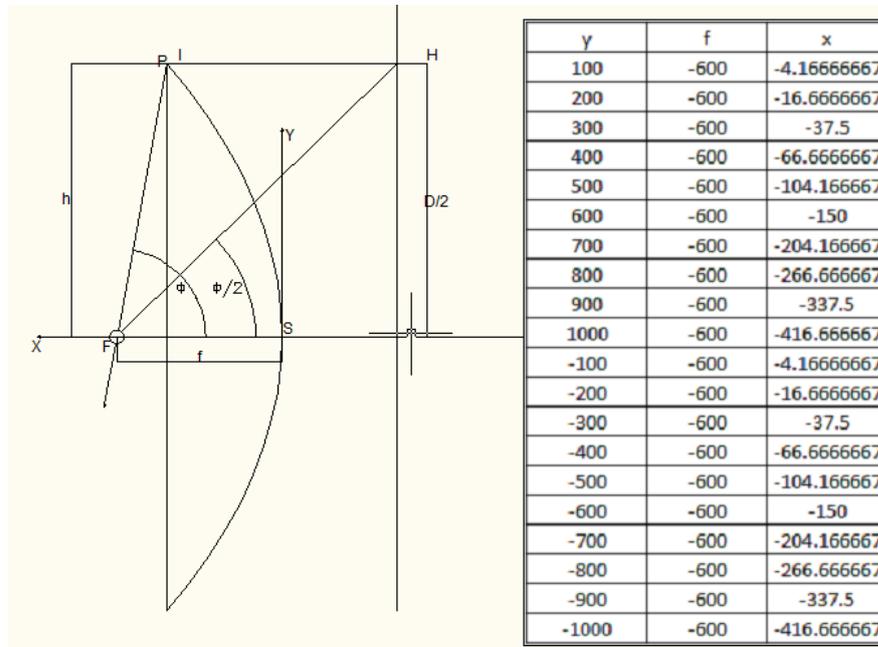


Fig. 4.2: Esquema geométrico del concentrador parabólico. (FUENTE – Autores, 2010)

El diámetro D de abertura del paraboloide o disco parabólico y el ángulo máximo ϕ que lo define, vienen relacionados por:

$$\tan \frac{\phi}{2} = \frac{D}{2f} \quad : f = \text{Distancia Focal}$$

$$\phi = 2 * \tan^{-1} \frac{D}{4f}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2}{4 * 0.6}$$

$$\phi = 88.5^\circ \quad : \text{Ángulo máximo}$$

El área de paraboloide se puede determinar por la siguiente fórmula:

$$A_\phi = \frac{8\pi f^2}{3} \left(\frac{1}{\cos^3\left(\frac{\phi}{2}\right)} - 1 \right) \quad : \text{Área del disco parabólico.}$$

$$A_\phi = \frac{8\pi(0.6)^2}{3} \left(\frac{1}{\cos^3\left(\frac{88.5}{2}\right)} - 1 \right)$$

$$A_\phi = 3.6418\text{m}^2$$

El material del área reflectante de la parábola se considera de acero inoxidable brillante, el espesor del material que se considera para el diseño es de $1/16" = 1.5\text{mm} = 0.0015\text{m}$.

$$V = A_\phi * e \quad : \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$V = 3.6418 * 0.0015$$

$$V = 0.0054\text{m}^3$$

Para el cálculo del peso del paraboloide, tomaremos como dato la densidad de los aceros, que están en un rango similar al que usamos con anterioridad, $\rho = 7800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$.

$$m = \rho * V \quad : \text{Masa (Kg)}$$

$$m_1 = 7800 * 0.0054$$

$$m_1 = 42.6\text{kg}$$

El esquema de la Fig. 4.1 se detalla las partes de la estructura o armazón que se construyó y que en base a los datos de medidas de: longitudes, radios, masas, etc. Se diseñara las partes mas importantes de seguidor solar.

Mediante el uso de una balanza se obtuvo los pesos de las partes que se muestran en la Fig. 4.3.



Fig. 4.3: Brazo de soporte y Armadura de aros (FUENTE – Foto, Autores, 2010)

- Toda la armadura de aros y platinas.

$$m_2 = 57\text{lib}$$

$$m_2 = 25.91\text{Kg}$$

- Peso de los brazos que soportan los aros.

$$m_3 = 40\text{lib}$$

$$m_3 = 18,165\text{Kg}$$

- El peso de toda la estructura para el analisis y calculo de los ejes .

$$m_{T1} = m_1 + m_2 + m_3$$

$$m_{T1} = (42,6 + 25,91 + 18,165)\text{Kg}$$

$$m_{T1} = 86,71\text{Kg}$$

- Por razones de diseño a futuro se aumentara el 25% a la masa total

$$m_T = m_{T1} + 25\% \quad : \text{Masa total (kg)}$$

$$m_T = 86,71 + 25\%$$

$$m_T = 108,33\text{Kg} \cong 109\text{Kg}$$

CÁLCULO DE LA FUERZA DEL VIENTO

Para el cálculo de la presión y fuerza del viento se considera una velocidad promedio de viento de $7 \frac{m}{s}$, que se obtuvo de mediciones con un anemometro en el AEIRNNR.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * A \text{ [W]} \quad : \text{Potencia del viento.}$$

Potencia = Presión * Caudal

$$p = \text{Presión.} \quad : \rho = \text{Densidad del aire.}$$

$$\frac{1}{2} * \rho * v^3 * A = p(v * A)$$

$$\frac{1}{2} * \rho * v^3 = pv \quad : v = \text{Velocidad}$$

$$p_{\text{aire}} = \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad : \text{Presión del Aire.}$$

$$p_{\text{aire}} = \frac{1}{2} * 0.95 * 7^2$$

$$p_{\text{aire}} = 23.3 \frac{N}{m^2}$$

$$p = \left(\frac{1}{2} * \rho * v^2 \right)$$

$$\frac{F}{A} = \left(\frac{1}{2} * \rho * v^2 \right)$$

$$F = \left(\frac{1}{2} * \rho * v^2 \right) * A \quad : \text{Fuerza del viento (N).}$$

$$F_{\text{viento}} = 23.3 \frac{N}{m^2} * 3.64m^2$$

$$F_{\text{viento}} = 84.72N \cong 85N$$

La fuerza producida por la incidencia del viento sobre la superficie de la parábola es de 85N. Esta fuerza en conjunto con el peso de la estructura de la parábola servirán como base para determinar los diámetros de los ejes principales.

4.6 DISEÑO DEL EJE VERTICAL

Además del momento flector producido por las cargas, es necesario determinar el momento torsor que se produce en el eje de giro vertical. Para esto se determina el torque que se produce en el instante de iniciarse el movimiento, ya que este valor es el máximo producido por la ganancia de movimiento desde el reposo (aceleración).

Con el momento de las masas que conforman la parábola y los soportes de la misma, se estima el momento de inercia que tendrá que vencer el eje en el instante de iniciarse el movimiento, se analiza el caso de la posición que ejerce un mayor momento, o sea cuando el ángulo de inclinación es cercano a los 22° con la horizontal, no se considera un ángulo menor, debido a que no existirá mayor grado de libertad en esa dirección.

El eje en análisis adquiere su movimiento a través de un motor paso a paso, cuyo tiempo de arranque promedia los 3 a 4 segundos hasta alcanzar su velocidad nominal. Este tiempo determina la aceleración que alcanzará la parábola, que en conjunto con el momento de inercia permiten obtener el torque necesario para iniciar el movimiento.

El esquema siguiente muestra los componentes que giran debido al movimiento del eje vertical.

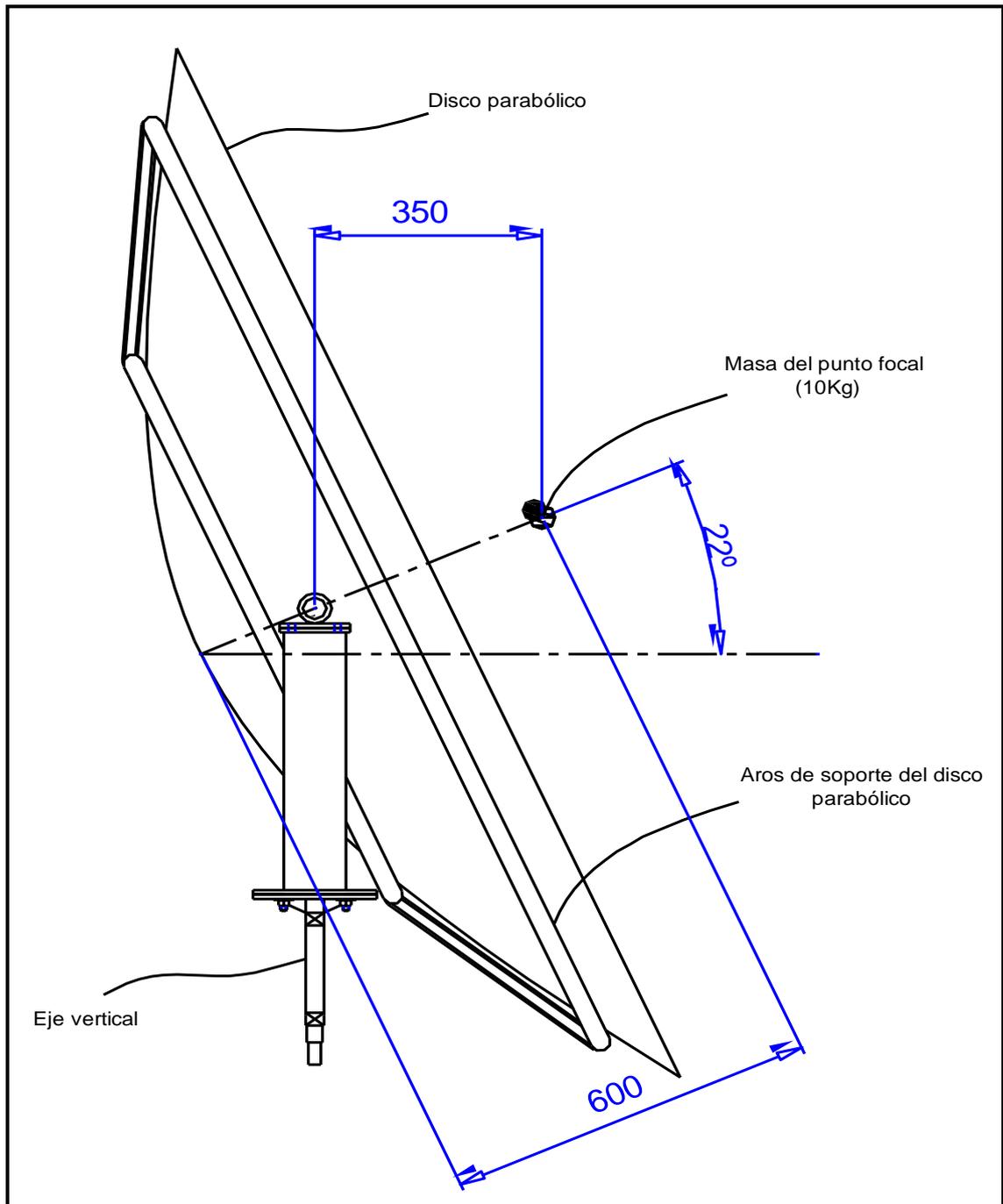


Fig. 4.4: Partes accionadas a través del eje vertical (FUENTE –Autores, 2010)

Las masas y radios de giro respecto al eje son mostrados en la figura siguiente:

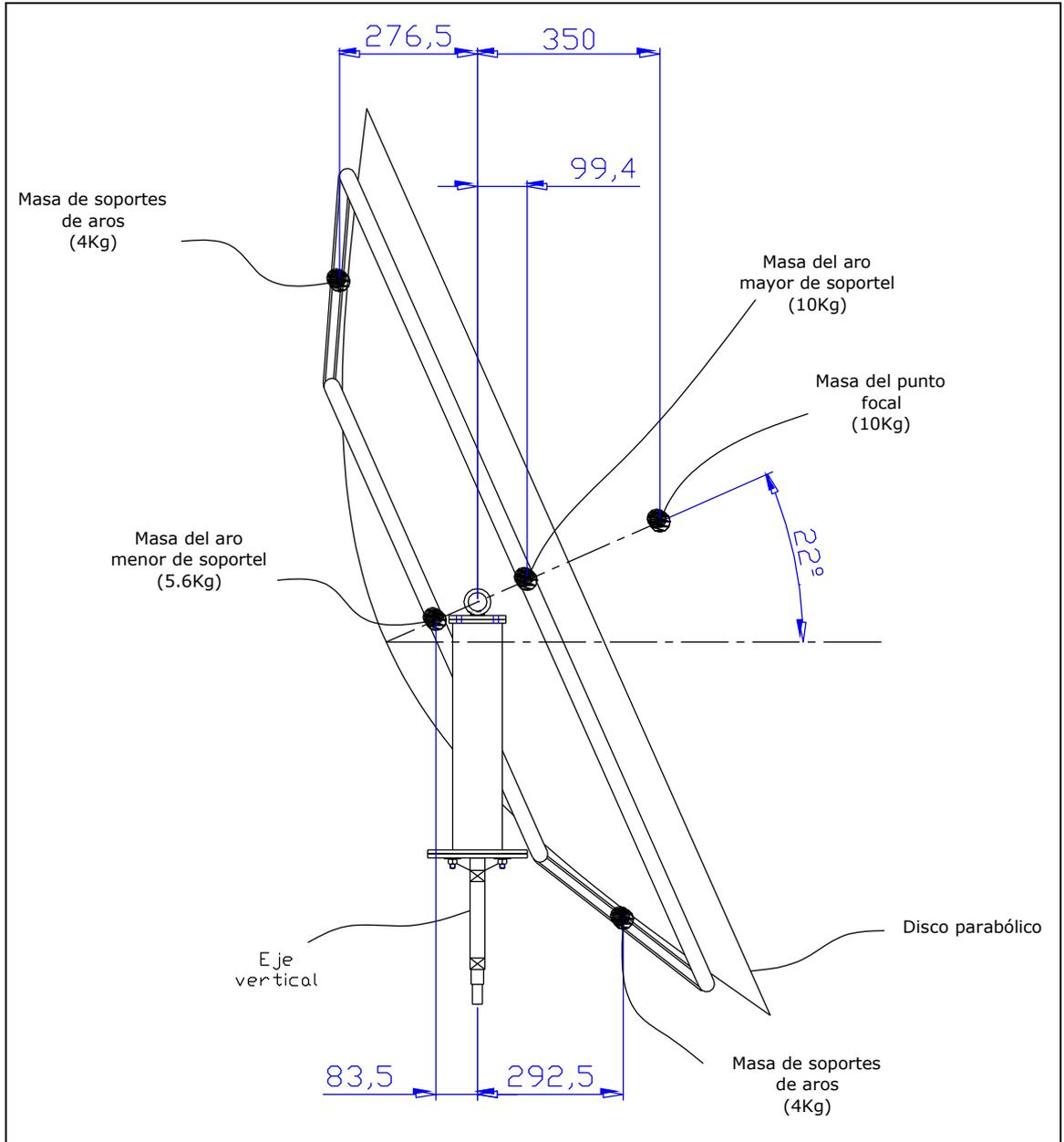


Fig. 4.5: Masa y radios de giro de partes accionadas a través del eje vertical (FUENTE – Autores, 2010)

El momento de inercia será entonces la suma de los momentos de las masas respecto a sus radios de giro, considerando el momento de inercia del disco parabólico el cual es de 24.16 kg m^2 , dato que se obtuvo con la ayuda del *software INVENTOR*. Con esto tenemos:

Tabla 4.4:- Masa y radios de giro existentes en la estructura superior respecto al eje vertical. (FUENTE – Autores, 2010)

<i>Detalle</i>	<i>Masa</i>	<i>Radio de giro</i>	<i>Momento de inercia</i>
	Kg	M	Kg.m ²
Disco parabólico	-	-	24.16
Soporte superior de aros	4.0	0.276	0.304
Soporte inferior de aros	4.0	0.292	0.341
Aro mayor de soporte	5.6	0.083	0.038
Aro menor de soporte	10	0.094	0.088
Punto focal	10	0.350	1.225
		Total	26.156

El torque mínimo es el producto del momento de inercia por la aceleración angular que adquieren las masas. La velocidad máxima que adquiere el disco parabólico se lo determina mediante un análisis del tipo de motor y su funcionamiento.

En el caso de las revoluciones del motor, se considera en el circuito de mando un paso cada 10 milisegundos, obteniendo una frecuencia de 101.2 Hz lo que equivale a 30.36 rpm. La velocidad angular mencionada es la máxima que se alcanzará en el tiempo de arranque, partiendo del reposo, dicho tiempo es de 2segundos.

Desde la parábola hasta el motor existe una relación de transmisión igual a 164, lo que significa que la parábola tendrá una velocidad angular igual a:

$$RPM_m = 30.36$$

Revoluciones del motor paso a paso

$$IT = 164$$

Relación de transmisión desde el motor hasta el eje vertical de la parábola.

$$\omega_0 = 0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Velocidad angular inicial de la parábola

$$\omega_f = \frac{RPM_m \pi}{30s * IT}$$

Velocidad angular final de la parábola

$$\omega_f = 0.0194 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{RPM}_p = \frac{30s\omega_f}{\pi} \quad \text{Revoluciones de la parábola}$$

$$\text{RPM}_p = 0.185$$

Cabe destacar que esta velocidad es mucho mayor a la del movimiento de rotación de la tierra.

Entonces la aceleración que alcanzará el disco parabólico será:

$$t = 1.620\text{s} \quad \text{Tiempo de arranque del motor paso a paso}$$

$$\omega_0 = 0 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad \text{Velocidad angular inicial de la parábola}$$

$$\omega_f = 0.02 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad \text{Velocidad angular final de la parábola}$$

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t}$$

$$\alpha = 0.0123 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad \text{Aceleración angular de la parábola.}$$

En este caso se utiliza un coeficiente de seguridad para determinar el torque, debido a que existen cargas irregulares por fuerza del viento y otros. Con lo mencionado se tiene:

$$I = 26.156 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad \text{Momento de inercia total}$$

$$\alpha = 0.0123 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad \text{Aceleración angular de la parábola}$$

$$\mu_s = 2 \quad \text{Coeficiente de seguridad}$$

$$\tau = \mu_s \cdot (I \cdot \alpha)$$

$$\tau = 0.643\text{Nm} \quad \text{Torque necesario para empezar el movimiento.}$$

Como se puede observar el torque es demasiado pequeño, esto se debe a que la velocidad de giro de la parábola es baja, por lo que en el caso del diseño del eje se considera un valor mayor. El valor debe asegurar la manipulación de la armadura superior.

Para el presente caso se trabajará desde el torque disponible del motor el cual es de 2 N-m.

El torque desarrollado en el eje vertical será:

$$\tau_m = 2Nm$$

Torque del motor

$$IT = 164$$

Relación de transmisión desde el motor hasta el eje vertical de la parábola

$$\tau_{ev} = \tau_m * IT$$

$$\tau_{ev} = 328Nm$$

Torque de eje vertical

Para asegurar la manipulación del equipo se asume una carga de 25kg en el extremo superior del aro de soporte de la parábola. El esquema siguiente muestra lo mencionado.

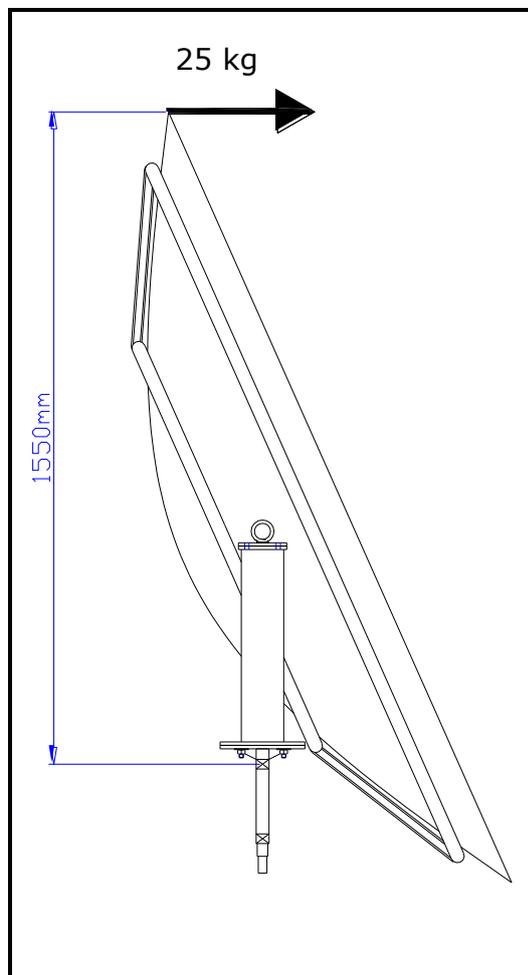


Fig. 4.6: Fuerza flectora considerada para diseño del eje vertical. (FUENTE –Autores, 2010)

Conocida la carga flectora y la distancia del brazo (caso más crítico) se determina el momento flector como sigue:

$$Ff = 25kgf$$

$$b = 155cm$$

$$Mb = Ff * b$$

Momento flector máximo

$$Mb = 380.008Nm$$

Con estos valores, determinamos el diámetro necesario del eje vertical, el cual será de la siguiente denominación AISI/SAE 4340 (705). Cuyo esfuerzo a la cedencia es $70kg/mm^2$:

El esfuerzo permisible es:

$$\sigma c = 70 \frac{kgf}{mm^2}$$

Esfuerzo a la cedencia para el eje AISI/SAE 4340

$$Ss = 0.6\sigma c$$

Esfuerzo permisible máximo para un eje con carga de flexión

$$Ss = 4.119 \times 10^8 \frac{N}{m^2}$$

(Teoría de esfuerzo cortante máximo)

Por consiguiente el diámetro del eje será:

$$Mb = 380.008N-m$$

Momento flector.

$$Mt = 328N-m$$

Momento Torsor.

$$Kb = 1.15$$

Coficiente por momento flector.

$$Kt = 1.15$$

Coficiente por momento torsor.

$$\mu ch = 0.85$$

Coficiente por chavetero.

$$Ss = 4.119 \times 10^8 Pa$$

Esfuerzo permisible.

$$Dev = \sqrt[3]{\frac{16}{\mu ch \pi * Ss} \sqrt{(Kb * Mb)^2 + (Kt * Mt)^2}}$$

$$Dev = 0.02m$$

Diámetro mínimo del eje vertical

$$Dev = 20.326mm$$

Por ser el eje de configuración vertical es necesario el uso de rodamientos cónicos, los cuales son adecuados para este tipo de trabajos, a continuación se determina las reacciones en los puntos donde se colocarán los rodamientos, estas reacciones servirán para la selección de los rodamientos por carga radial ya que las velocidades de operación son muy bajas.

El movimiento desde el reductor de velocidad hacia el eje principal se transmitirá mediante una cadena, se hace uso de este tipo de transmisión para evitar deslizamientos. Como el torque máximo de diseño es de 328 N-m y el piñón a utilizar tiene un diámetro de 10cm se desarrolla la siguiente fuerza tangencial:

$$Mt = \tau ev \quad \text{Momento Torsor.}$$

$$Mt = 328 N*m$$

$$Rp = 0.05m \quad \text{Radio del piñón.}$$

$$Ft = \frac{Mt}{Rp} \quad \text{Fuerza tangencial.}$$

$$Ft = 5.467x 10^3 N$$

El eje tendrá las siguientes dimensiones y cargas producidas:

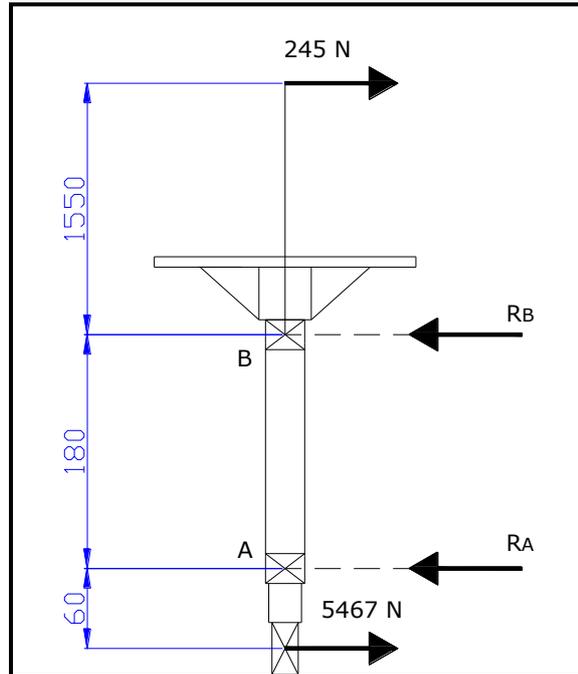


Fig. 4.7: Dimensiones (unidades en mm) y cargas del eje vertical. (FUENTE –Autores, 2010)

Las reacciones de los rodamientos son:

$$\sum F_x = 0$$

$$245N + 5467N - RA - RB = 0$$

$$5712N - RA - RB = 0$$

$$RA + RB = 5712N$$

$$\sum Mom_B F = 0$$

$$-245N \times (1.55m) - RA \times (0.18m) + 5467N \times (0.24m) = 0$$

$$-379.75Nm + 1312.08Nm - RA \times (0.18m) = 0$$

$$RA = \frac{932.33Nm}{0.18m} = 5179.61N$$

Remplazando el valor de RA en la ecuación de sumatoria de fuerzas se tiene:

$$RA + RB = 5712N$$

$$RB = 5712N - RA$$

$$RB = 5712N - 5179.61N$$

$$RB = 532.39N$$

Los rodamientos que se seleccionen deberán soportar un a carga mínima de 5179.61N y tener un diámetro interior mínimo de 21mm, esto de acuerdo a lo calculado anteriormente.

4.7 DISEÑO DEL EJE HORIZONTAL

El eje de giro horizontal permite un ángulo de rotación de 145°, es compuesto por dos segmentos de eje unidos a los aros de soporte de la parábola.

Se procederá a determinar el diámetro mínimo del eje, para esto se considera los momentos flectores producidos y el torque de giro.

Al igual que en el caso anterior se procederá a calcular el torque inercial necesario para acelerar las masas existentes desde el reposo. En caso de ser muy pequeño se optará por asumir otros valores en el diseño, con el fin de garantizar el mismo.

Los esquemas siguientes muestran la geometría general del eje y las cargas relacionadas.

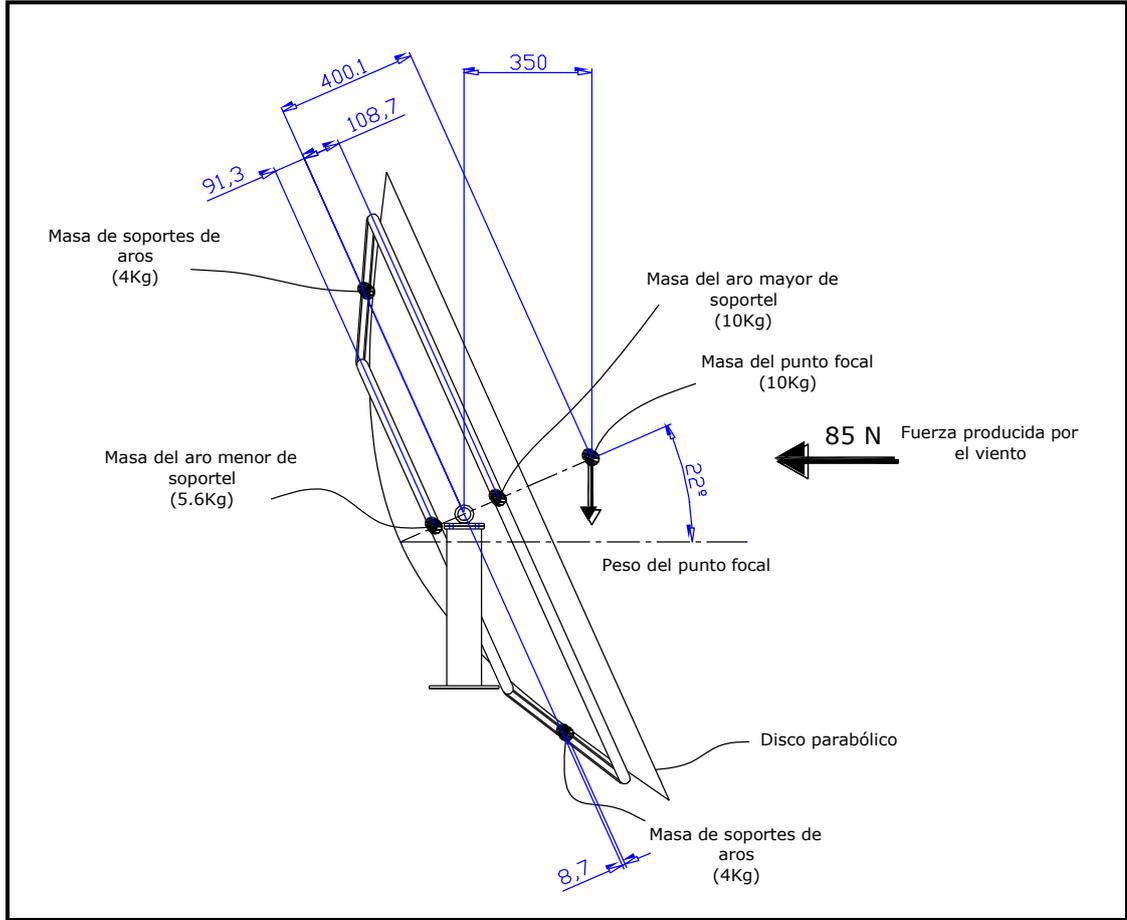


Fig. 4.8: Radios (unidades en mm) de las masas accionadas por el eje horizontal. (FUENTE – Autores, 2010)

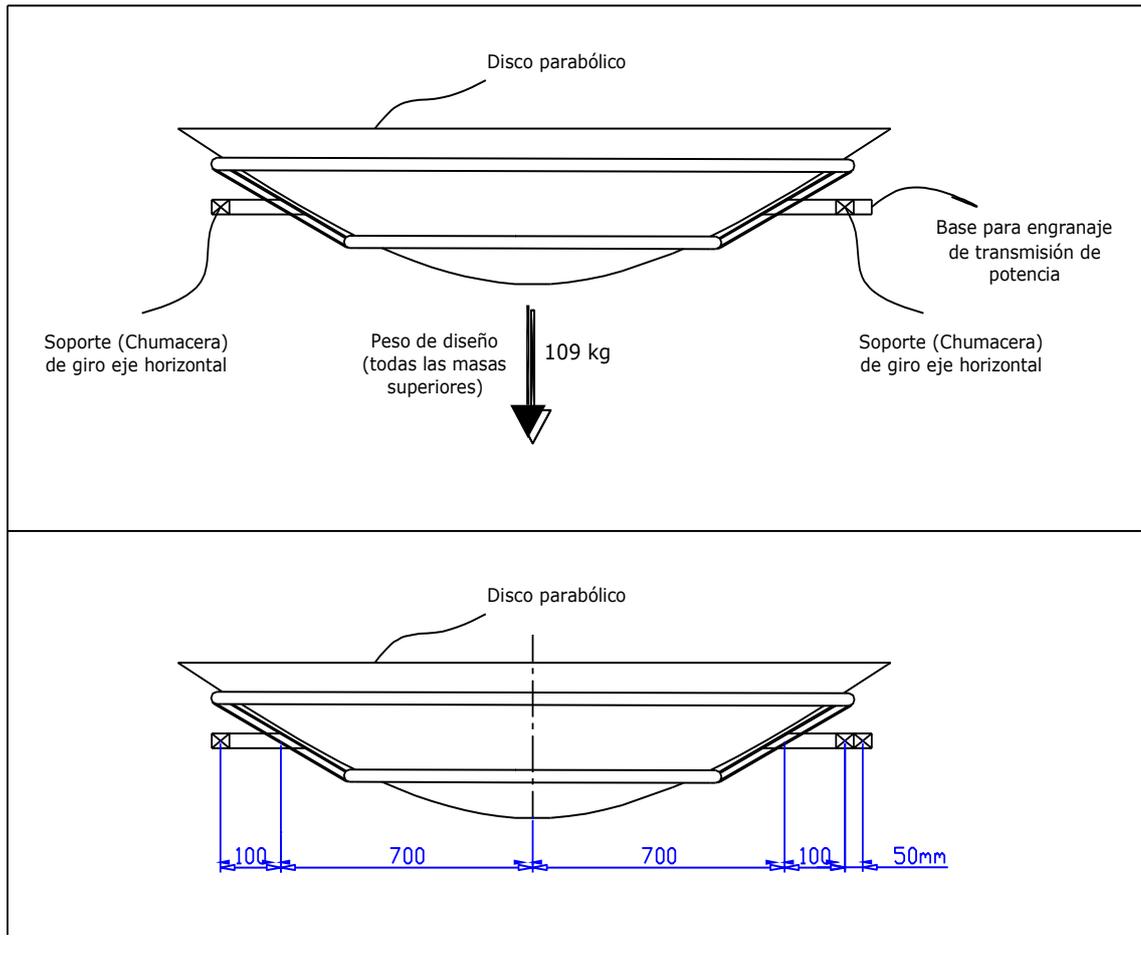


Fig. 4.9: Características generales del cuerpo de giro horizontal. (FUENTE – Autores, 2010)

El momento de inercia será entonces la suma de los momentos de las masas respecto a sus radios de giro, considerando el momento de inercia del el disco parabólico el cual es de 3.95 kg m². Con esto tenemos:

Tabla 4.5: Masa y radios de giro existentes en la estructura superior respecto al eje horizontal. (FUENTE –Autores, 2010)

Detalle	Masa	Radio de giro	Momento de inercia
	Kg	m	Kg.m ²
Disco parabólico	-	-	3.9500
Soporte superior de aros	4.0	0.008	0.0002
Soporte inferior de aros	4.0	0.008	0.0002
Aro mayor de soporte	5.6	0.108	0.0653

Aro menor de soporte	10	0.091	0.0828
Punto focal	10	0.400	1.6000
	Total		5.6985

El torque mínimo es el producto del momento de inercia por la aceleración angular que adquieren las masas, más el peso de la masa focal multiplicado con su respectivo brazo de torsión que es igual a 0.35m (observar en gráfica de diseño de eje vertical).

Al igual que en el caso anterior, se considera en el circuito de mando un paso cada 10 milisegundos obteniendo una frecuencia de 101.2 Hz lo que equivale a 30.36 rpm. La velocidad angular mencionada es la máxima que se alcance en el tiempo arranque, partiendo del reposo, la cual es de 1.62segundos.

Desde la parábola hasta el motor existe una relación de transmisión igual a 164, lo que significa que la parábola tendrá una velocidad angular igual a:

$$RPMm = 30.36$$

Revoluciones del motor paso a paso

$$IT = 164$$

Relación de transmisión desde el motor hasta el eje vertical de la parábola

$$\omega_o = 0 \frac{rad}{s}$$

Velocidad angular inicial de la parábola

$$\omega_f = \frac{RPMm * \pi}{30s * IT}$$

Velocidad angular final de la parábola

$$\omega_f = 0.02 \frac{rad}{s}$$

$$RPMp = \frac{30s * \omega_f}{\pi}$$

Revoluciones de la parábola

$$RPMp = 0.19$$

Entonces la aceleración que alcanzará el disco parabólico será:

$$t = 1.620s$$

Tiempo de arranque del motor pasa a pase

$\omega_0 = 0 \frac{rad}{s}$	Velocidad angular inicial de la parábola.
$\omega_f = 0.02 \frac{rad}{s}$	Velocidad angular final de la parábola
$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t}$	Aceleración angular de la parábola
$\alpha = 0.012 \frac{rad}{s^2}$	

En este caso se utiliza un coeficiente de seguridad para determinar el torque, debido a que existen cargas irregulares por fuerza del viento y otros. Con lo mencionado se tiene:

$I = 5.7kgm^2$	Momento de inercia total
$\alpha = 0.012 \frac{rad}{s^2}$	Aceleración angular de la parábola
$\mu_s = 2$	Coeficiente de seguridad
$\tau = \mu_s * (I * \alpha)$	
$\tau = 0.137Nm$	Torque necesario para empezar el movimiento
$m_f = 10kg$	Masa focal
$P_f = m_f * g$	Peso del foco
$P_f = 98.066N$	
$b_f = 0.35m$	Brazo del foco hasta el eje de giro horizontal
$\tau_f = P_f * b_f$	Torque debido al peso y ubicación del foco
$\tau_f = 34.323Nm$	
$\tau_{im} = 0.137Nm$	Torque inercial de las masas accionadas
$\tau_T := \tau_f + \tau_{im}$	Torque total mínimo necesario
$\tau_T = 34.46Nm$	

Como se puede observar el torque es considerable, pero como ya se mencionó en el caso anterior la velocidad de rotación de la parábola es demasiada baja siendo necesario el uso de un reductor de velocidad, el cual aumenta el torque en el eje en estudio.

Se partirá desde el torque disponible en la fuente motriz, por otro lado cabe mencionar que la reducción de velocidad se realizará con un motor y un reductor de las

mismas características que el caso anterior cuya relación de transmisión es 164:1 por lo que las revoluciones y el torque máximo en el eje son:

$\tau m = 2Nm$	Torque del motor
$IT = 164$	Relación de transmisión desde el motor hasta el eje Horizontal de la parábola.
$\tau eh = 328Nm$	Torque del eje horizontal
$RPMm = 30.36$	Revoluciones del motor paso a paso
$IT = 164$	Relación de transmisión desde el motor hasta el eje Vertical de la parábola.
$\omega f = 0.02 \frac{rad}{s}$	Velocidad angular final de la parábola
$RPMp = \frac{30s\omega f}{\pi}$	Revoluciones de la parábola
$RPMp = 0.19$	

La transmisión de potencia hacia el eje horizontal será mediante un engranaje helicoidal en el cual recibe su movimiento desde un tornillo sin fin. Se hace uso de este tipo de transmisión para evitar deslizamientos. Como el torque máximo de diseño es de 328 N-m y el engranaje a utilizar tiene un diámetro de 9cm se desarrolla la siguiente fuerza tangencial:

$Rp = 0.045m$	Radio del piñón
$Ft = \frac{Mt}{Rp}$	Fuerza tangencial
$Ft = 7.289 \times 10^3 N$	

Conocidas las fuerzas (tangencial del engranaje, peso de la estructura superior y fuerza del viento) se determina las reacciones en las chumaceras de soporte para su selección de acuerdo a la carga radial y el correspondiente momento flector que soporta cada extremo, con estos valores se podrá determinar el diámetro del eje mínimo necesario.

La gráfica siguiente muestra dichas cargas:

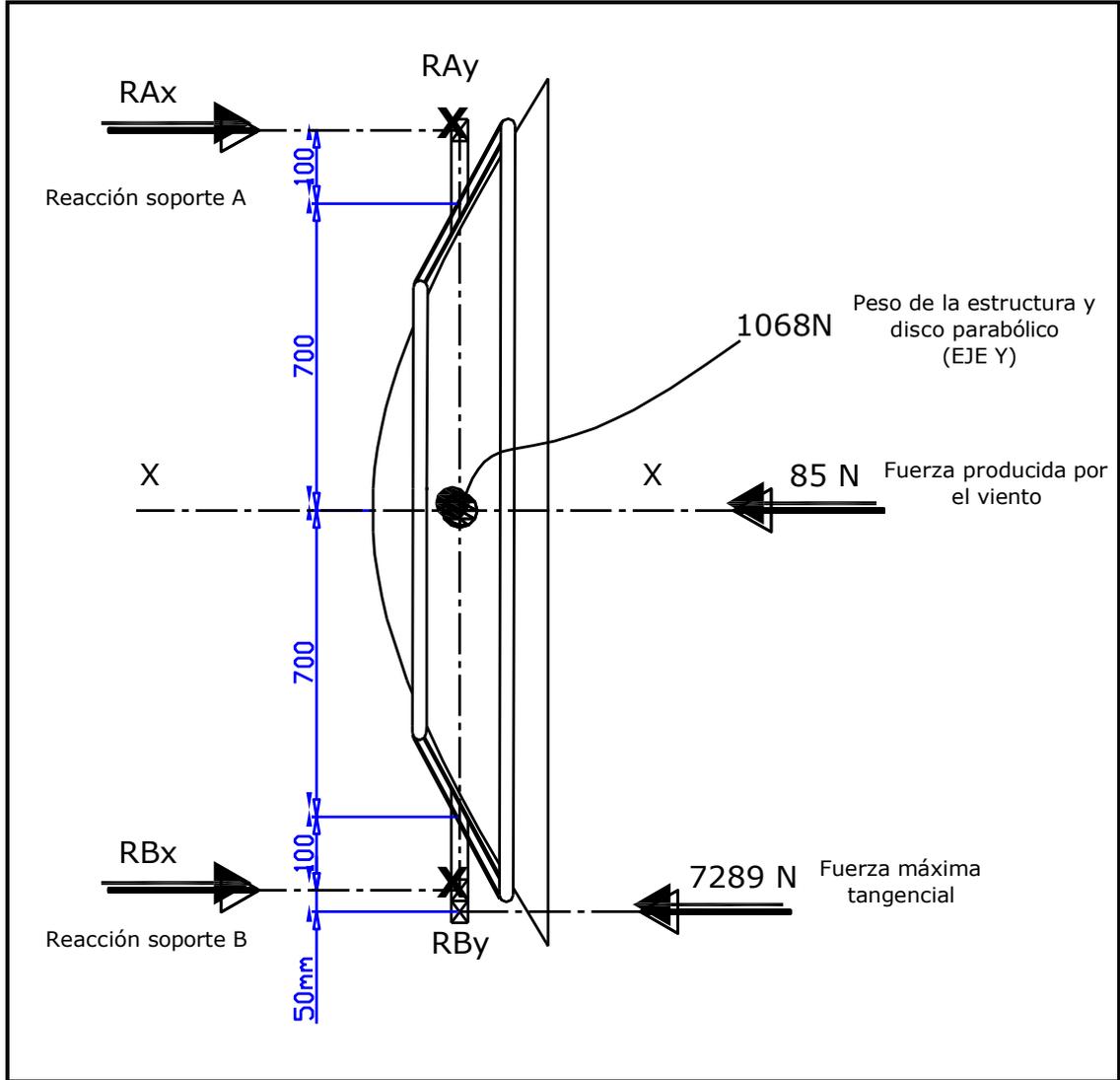


Fig. 4.10: Cargas en los segmentos del eje horizontal. (Vista inferior) (FUENTE – Autores, 2010)

Las reacciones se calculan a continuación:

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Ax} + R_{Bx} - 85N - 7289N = 0$$

$$R_{Ax} + R_{Bx} - 7374N = 0$$

$$R_{Ax} + R_{Bx} = 7374N$$

$$\sum Mom_B F = 0$$

$$-7289N \times (0.05m) + 85N \times (0.8m) - R_{Ax} \times (1.6m) = 0$$

$$-364.45Nm + 68Nm - RAx \times (1.6m) = 0$$

$$RAx = \frac{-296.45Nm}{1.6m} = -185.3N$$

Remplazando el valor de RAx en la ecuación de sumatoria de fuerzas se tiene:

$$RAx + RBx = 7374N$$

$$RBx = 7374N - RAx$$

$$RBx = 7374N - (-185.3N)$$

$$RBx = 7559.3N$$

Ahora se procede a determinar las reacciones en el eje Y:

$$\sum Fy = 0$$

$$RAy + RBy - 1068N = 0$$

$$RAy + RBy = 1068N$$

$$\sum Mom_B F = 0$$

$$RAy \times (1.6m) - 1068N \times (0.8m) = 0$$

$$RAy \times (1.6m) = 854.4Nm$$

$$RAy = \frac{854.4Nm}{1.6m} = 534N$$

Remplazando el valor de RAy en la ecuación de sumatoria de fuerzas se tiene:

$$RAy + RBy = 1068N$$

$$RBy = 1068N - RAy$$

$$RBy = 1068N - 534N$$

$$RBy = 534N$$

Las reacciones son iguales debido a que están distribuidas equidistantemente.

Conocidas la cargas se procede a determinar los momentos flectores resultantes, siendo el mayor, el valor a utilizarse en el dieño del eje.

Las gráficas siguientes muestran los momentos generados en ambos ejes:

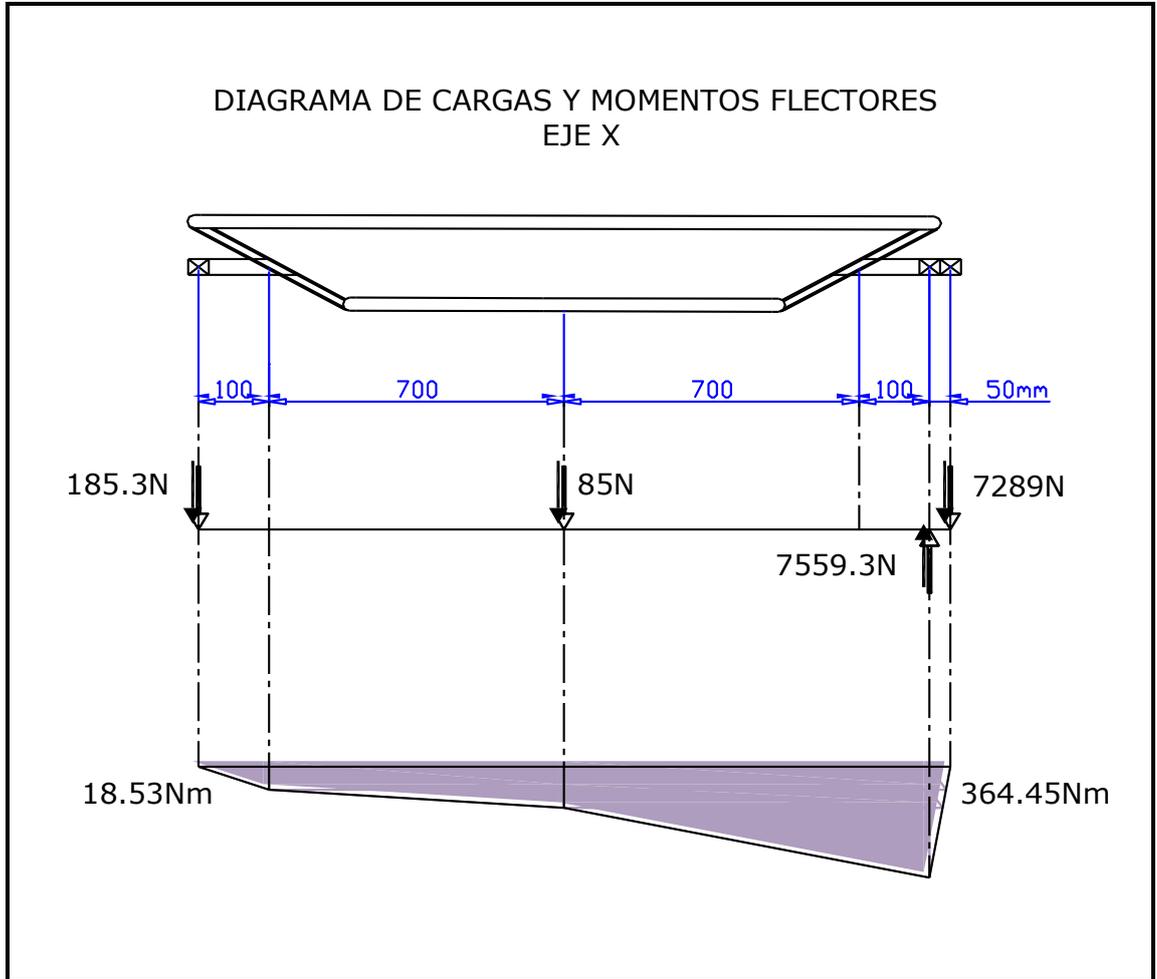


Fig. 4.11: Cargas y momentos flectores generados en el eje horizontal. (Eje x). (FUENTE – Autores, 2010)

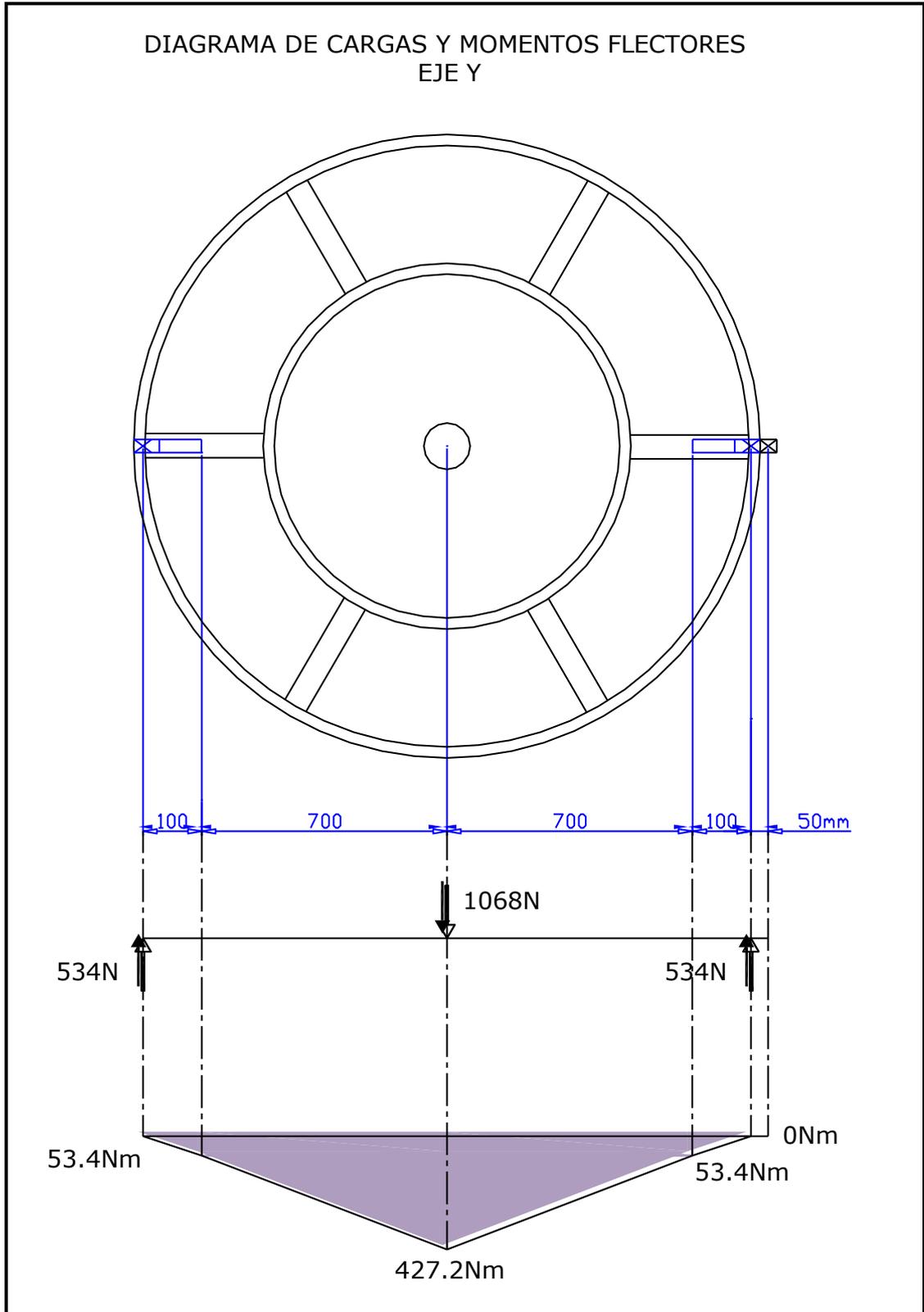


Fig. 4.12: Cargas y momentos flectores generados en el eje horizontal. (Eje y). (FUENTE – Autores, 2010)

Como se puede observar en las gráficas, el mayor momento flector se produce en el lado derecho del análisis del eje X debido a la transmisión máxima de potencia. Entonces el valor del momento flector de diseño es: 364.45Nm.

Con estos valores determinamos el diámetro necesario del eje, el cual será de la siguiente denominación SAE 1018. Cuyo esfuerzo a la cedencia es 35kg/mm²:

El esfuerzo permisible es:

$\sigma_c = 35 \frac{kgf}{mm^2}$	Esfuerzo a la cedencia del eje SAE 1018
$S_s := 0.6 \sigma_c$	Esfuerzo permisible máximo para un eje con carga de flexión
$S_s = 2.059 \times 10^8 Pa$	(Teoría de esfuerzo cortante máximo)

Por consiguiente el diámetro del eje será:

$S_s = 2.059 \times 10^8 Pa$	Esfuerzo permisible
$M_{bh} = 364.45 N-m$	Momento flector
$M_t = 328 N-m$	Momento Torsor
$K_b = 1.15$	Coefficiente por momento flector
$K_t := 1.15$	Coefficiente por momento torsor
$\mu_{ch} = 0.85$	Coefficiente por chavetero

$$D_{eh} := \sqrt[3]{\frac{16}{\mu_{ch}\pi \cdot S_s} \cdot \sqrt{(K_b \cdot M_{bh})^2 + (K_t \cdot M_t)^2}}$$

$$D_{eh} = 0.025m$$

$$D_{eh} = 25.409mm \quad \text{Diámetro mínimo del eje}$$

4.8 ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD

Por razones de diseño se hace necesario el uso de dos reductores de velocidad los cuales garantizan el seguimiento del sol, ya que poseen una alta relación de reducción.

En el presente proyecto, se analizará de forma general la cinemática de los reductores, ya que el objetivo principal es identificar e implementar el sistema automático de seguimiento solar.

Cabe señalar que los mencionados reductores son del mismo tipo y la misma relación de transmisión. Además obtienen su alta relación de reducción debido a que poseen un tornillo sin fin, el cual recibe el movimiento a partir de una transmisión de engranes rectos.

Los reductores están acoplados de acuerdo al eje de giro deseado. En el caso del giro del eje vertical se utiliza una transmisión extra la cual es simplemente de paso, o sea, tiene una relación de transmisión de 1:1.

Los componentes básicos de reducción son los siguientes:

- Primera transmisión.- Compuesta por engranajes rectos.
 - Piñón conductor = 10 Dientes
 - Piñón conducido = 41 Dientes
- Segunda transmisión.- Compuesta por tornillo sin fin y un engranaje helicoidal.
 - Tornillo sin fin = Paso de 1 hilo por pulgada, $\phi = 32\text{mm}$
 - Engranaje helicoidal = 40 Dientes
- Tercera transmisión.- Solo utilizada en el caso del eje vertical.

- Catalina conductora = Catalina conducida = 20 Dientes.

La relación de transmisión total calculada es:

$Z_{econductor} := 10$ Transmisión por engranajes rectos

$Z_{econducido} := 41$

$Z_{ehconducido} := 40$ Transmisión por tornillo sin fin

$Z_{pconductor} := 20$

$Z_{pconducido} := 20$ Transmisión por cadena

$$IT := \frac{Z_{econducido}}{Z_{econductor}} \cdot Z_{ehconducido} \cdot \frac{Z_{pconducido}}{Z_{pconductor}}$$

$$IT = 164$$

Las revoluciones de la fuente motriz son 30.36 RPM (calculado anteriormente) y el torque promedio de diseño es de 2 N.m, por lo que en la salida se obtiene un torque teórico de 328Nm.

La velocidad angular de entrada y salida son:

$RPM_e = 30.36$ Revoluciones de entrada

$IT = 164$ Relación de transmisión total

$RPM_s = \frac{RPM_e}{IT}$ Revolución de salida

$$RPM_s = 0.185$$

$\omega_e = \frac{\pi RPM_e}{30s}$ Velocidad angular de entrada

$$\omega_e = 3.179 \frac{rad}{s}$$

$\omega_s = \frac{\pi RPM_s}{30s}$ Velocidad angular de salida

$$\omega_s = 0.0194 \frac{rad}{s}$$

Las velocidades de salida están por encima de la velocidad de avance del sol, pero no es inconveniente alguno ya que la velocidad de la fuente motriz es regulable ya que es un motor paso a paso.

En las figuras siguientes se muestra de manera general como se adapta los reductores de velocidad a los ejes del seguidor solar.

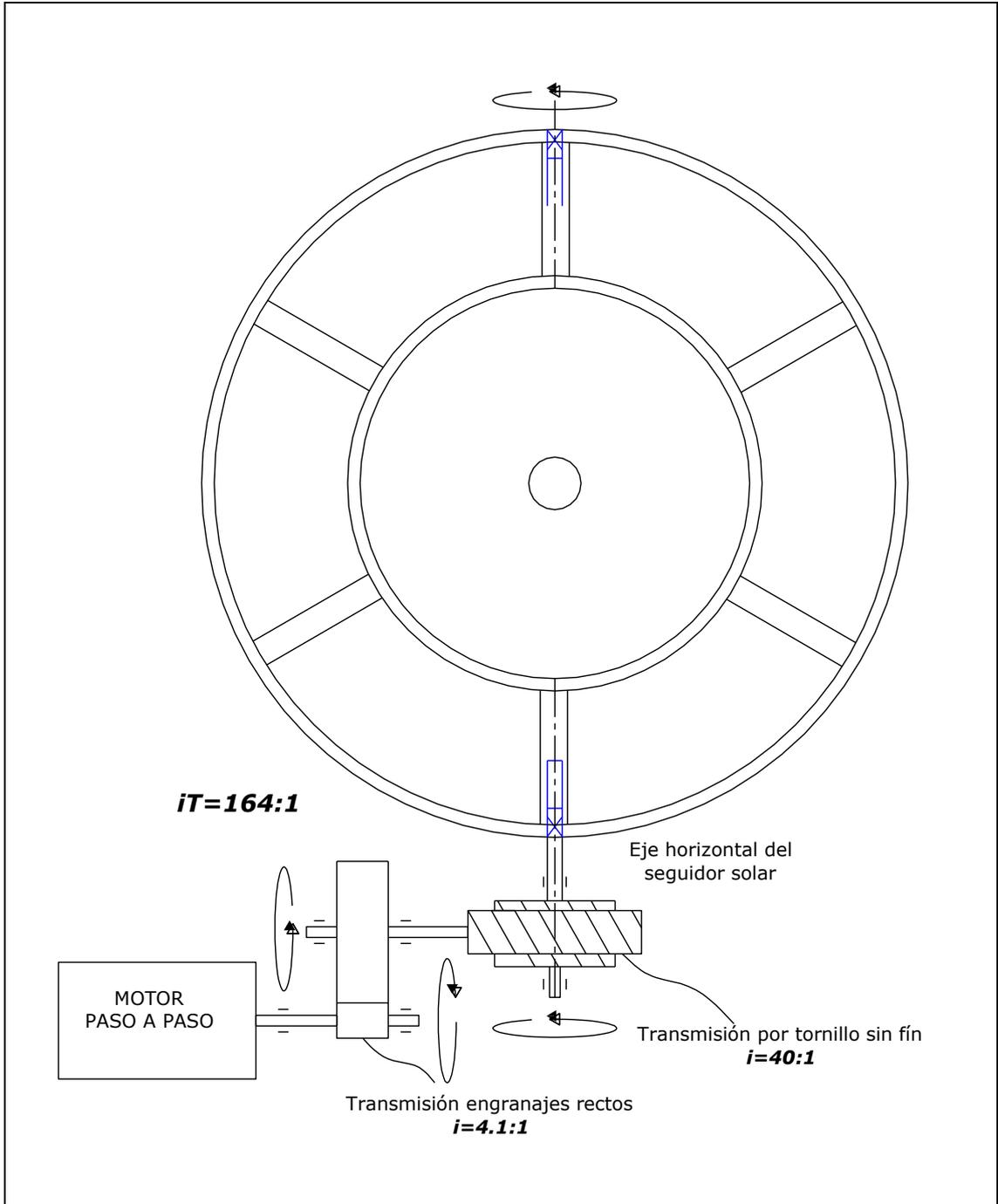


Fig. 4.13: Esquema general de accionamiento del eje horizontal del seguidor solar. (FUENTE – Autores, 2010)

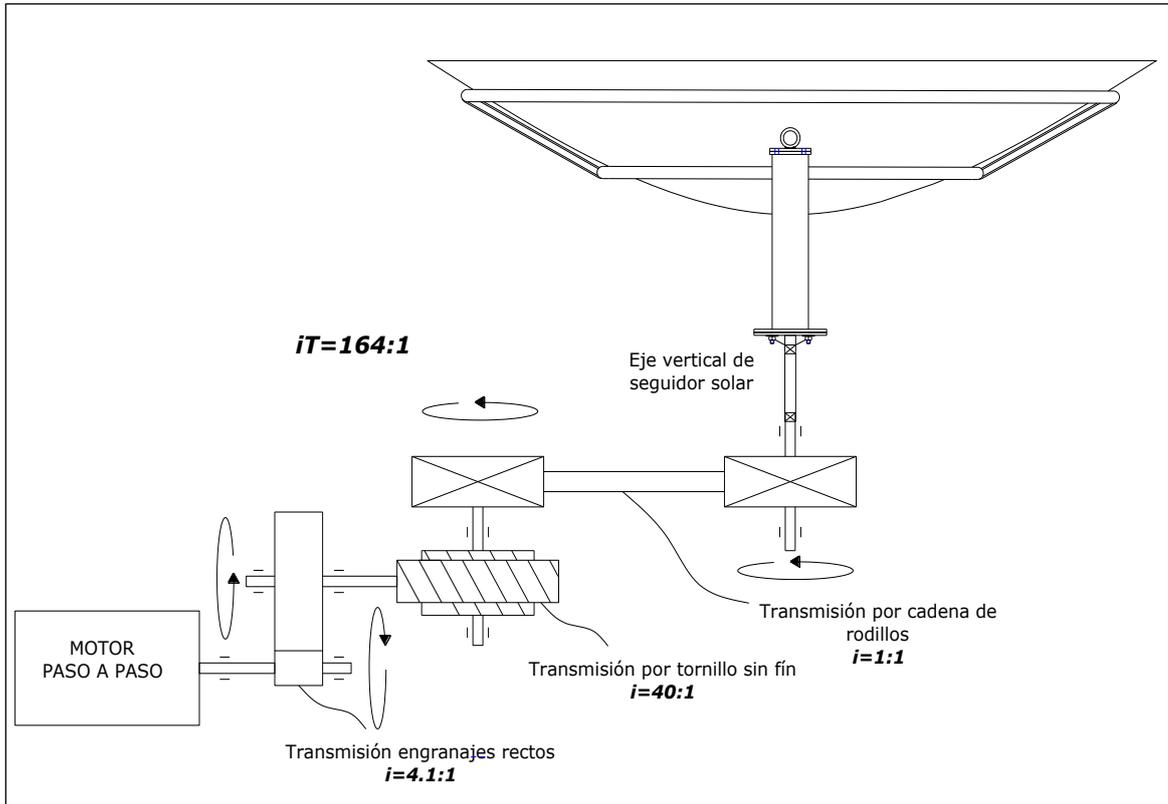


Fig. 4.14: Esquema general de accionamiento del eje vertical del seguidor solar. (FUENTE – Autores, 2010)

4.9 SELECCIÓN DEL PASO DE LA CADENA

Para el caso de la transmisión por cadena se hará la selección de acuerdo a la carga tangencial generada, la cual produce una tensión en la cadena al instante de transmitir potencia.

No se hace la selección del paso de la cadena de la forma regular, la cual consiste en el diagrama de potencia frente a velocidad de rotación del piñón menor, debido a que los dos parámetros mencionados son muy pequeños. Pero debido a la relación de transmisión el torque es alto dandonos como resultado una fuerza tangencial elevada. Esta fuerza fue calculada anteriormente, teniendo un valor de 5467N (560kg).

De acuerdo a la tensión de diseño de las cadenas de rodillos se elige el siguiente paso de cadena:

Tabla 4.6: Cadena a rodillo serie Americana ASA. (FUENTE –Ángel Larreina S.A, 2011)

Código	Dimensiones Nominales				Otras Dimensiones				Superficie de Trabajo	Carga Mínima de Rotura	Partes de Cadena		
	Paso	Diam. Rodillo	Ancho Interno	Diam. Max. Perno	Altura Max. de Placa	Centro de Calibre	Ancho Max. Perno Remach.	Max. Largo Total Perno			Peso Neto por Metro	Unión	Media Malla
	P mm	Dr mm	W mm	DP mm	Hi mm	Tp mm	A1 mm	B mm			kg/m	n.	n.
ASA 25	6,35	3,3	3,18	2,3	6,02	-	8	13	11	420	0,13	26	30
ASA 35	9,525	5,08	4,77	3,59	9,05	-	11,9	18,5	27	1000	0,33	26	13-30
ASA 40	12,7	7,95	7,95	3,96	12,07	-	16,5	24,3	44	1750	0,6	26	13-30
ASA 50	15,875	10,16	9,53	5,08	15,09	-	20,4	28,6	70	2650	1,01	25-26	13-30
ASA 60	19,05	11,91	12,7	5,94	18,08	-	26	35,2	105	3800	1,43	26	13
ASA 80	25,4	15,88	15,88	7,92	24,13	-	33,1	43,9	180	6600	2,57	24	14
ASA 100	31,75	19,05	19,05	9,53	30,18	-	39,9	52,1	260	10800	3,87	24	14
ASA 120	38,1	22,23	25,4	11,1	36,2	-	50,3	63,5	390	15400	5,65	24	14
ASA 140	44,45	25,4	25,4	12,7	42,24	-	53,9	68,7	470	20800	7,44	24	14
ASA 160	50,8	28,58	31,75	14,27	48,26	-	64,1	79,9	645	26200	9,74	24	14
ASA 180	57,15	35,72	35,7	17,45	54,36	-	72,5	86,8	875	36200	13,28	24	14
ASA 200	63,5	39,68	38,1	19,84	60,33	-	78,8	99,2	1090	43000	16	25	13
ASA 240	76,2	47,63	47,63	23,8	72,39	-	95,5	116,5	1610	59000	24	25	13

✓ ASA-35, la cual soporta una tensión mínima de rotura de 1000Kg.

En el mercado local no se encuentra este tipo de cadena, existiendo el paso siguiente, o sea el tipo ASA-40, cuya cadena soporta 1750kg de tensión mínima. Por esta razón se trabajará con este tipo de cadena cuyas características son:

- Código: ASA-40
- Paso: 12.7mm
- Diámetro del rodillo: 7.95mm
- Ancho interno: 7.95mm
- Diámetro máximo del perno pasador: 3.96mm
- Carga mínima de rotura: 1750kg
- Peso medio por metro: 0.6kg/m

----- SOLIDOS -----

Centro de gravedad:

X: -2502.0378

Y: 353.0558

Z: 0.0000

Momentos de inercia:

X: 2.2925E+12

Y: 3.8914E+13

Z: 3.8216E+13

4.10 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA BASE

En la Fig. 4.1 se indica el modelo de estructura que se desarrollara, para el inicio en el proceso de construccion era necesario rolar dos tobos estructural negro de 1 1/2"*2mm, de tal manera que se formen dos anillos, por la contextura del tubo se hizo uso de una roladora de tubo, el proceso para el rolado fue:

La longitud aro mayor y menor se calculó con la siguiente expresión: $L = \pi * d$

$$L_1 = \pi * d_1 = \pi * 1.80m = 5.65m$$

$$L_2 = \pi * d_2 = \pi * 1.22m = 3.83m$$

Una vez cortado los tubos de las medidas calculadas se procede a realizar varias pasadas en la maquina roladora de tubos hasta conseguir los respectivos aros, para unir las dos esquinas se hizo con suelda. En la Fig. 4.15 se muestra la base de la parábola que esta compuesta por dos aros y 4 platinas de 2 1/2 * 1/4" y 2 Platinas de 4*1/4", distribuidos, alineados y soldados entre si. Las platinas de más espesor sirvieron para perforar y empotrar los ejes horizontales.



Fig. 4.15: Aros soldados por platinas para soporte de la parábola. (FUENTE – Autores, 2010)

En la Fig. 4.16 se observa el brazo y base construido, donde se colocará las chumaceras de piso de 1 1/4" , se utilizó tubo rectangular negro de 100*50*2mm, el corte de dicho tubo se hizo con disco de corte y luego se unió las partes, en las zonas mas criticas se colocó templadores y refuerzos.



Fig. 4.16: Brazo y base para chumaceras de piso. (FUENTE – Autores, 2010)

La base de soporte para el brazo se indica en la Fig. 4.17, la misma que consta de un Recorte cuadrado de plancha negra 20*20cm*8mm y de 20*20*6mm, cabe indicar que el sistema para el movimiento en rotación del eje vertical es desmontable y de facil acoplamiento. En la imagen se muestra las chumaceras de piso y los ejes horizontales que permitiran el movimiento de elevación acopladas y centradas entre si.



Fig. 4.17: Brazo y base para chumaceras de piso. (FUENTE – Autores, 2010)

En la Fig. 4.18 se muestra, que para el movimiento en rotación del eje vertical y debido a que en el mencionado eje actúan cargas combinadas (cargas radiales y axiales) se implementó rodamientos de rodillos conicos, dichos rodamientos fueron acoplados en el eje y ajustados en forma segura en un tubo de vapor CD 80 15* 3", cabe mencionar que los recortes de plancha para el eje y el tubo de vapor fueron perforados en el torno para lograr una mejor profundidad en la soldadura.

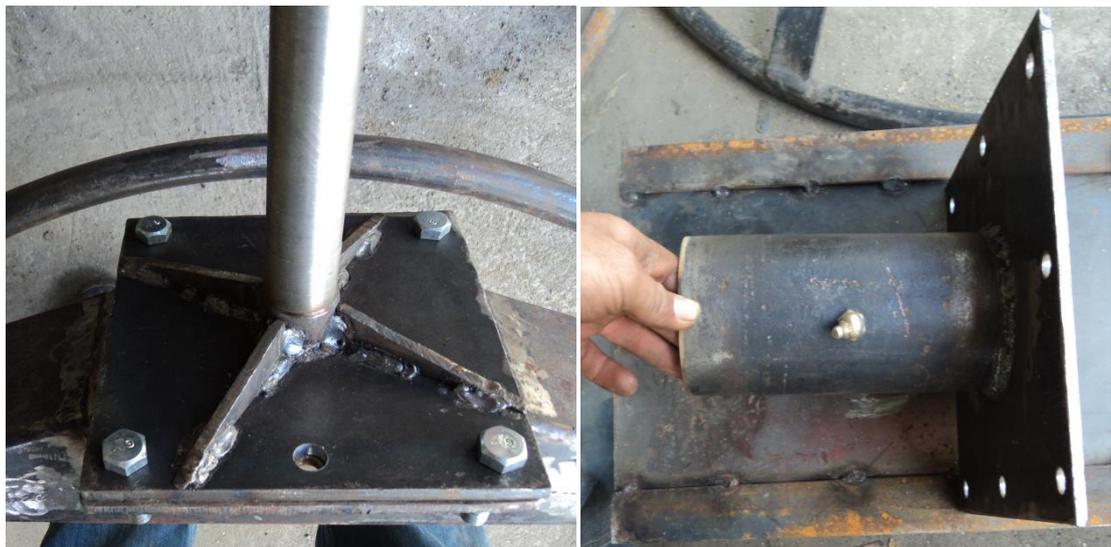


Fig. 4.18: Base del eje vertical y tubo de vapor mecanizado para ajustar rodamientos cónicos. (FUENTE – Autores, 2010)

El sistema provisto para el movimiento del eje vertical se observa que en la Fig. 4.19, para evitar la inestabilidad del tubo de vapor en parte inferior se colocó una recorte de plancha con una perforación de diámetro del tubo. Debido a que en la parte superior de los brazos y estructura de aros, se implementará una parábola de 2m de diámetro, para evitar posibles deformaciones por fuerzas naturales en el eje y soldadura en las zonas más críticas se realizó un trabajo y diseño de eje con materiales seguros.



Fig. 4.1: Mecanizado y soldadura del tubo de vapor para pista de rodamiento cónico, acoplamiento y montaje del eje vertical y brazo respectivamente. (FUENTE – Autores, 2010)

El montaje de las partes mostradas anteriormente se visualiza en la Fig. 4.20, según se observa el prototipo desarrollado, en las partes móviles no requiere de mayor esfuerzo ya que se ubican en el centro de gravedad.



Fig. 4.20: Montaje de la estructura base. (FUENTE – Autores, 2010)

4.11 DISEÑO DE SISTEMA POTENCIA Y CONTROL

4.11.1. SISTEMA DE POTENCIA

Para el control de motores paso a paso bipolares es necesario el uso de un puente H, uno por cada bobina del motor.

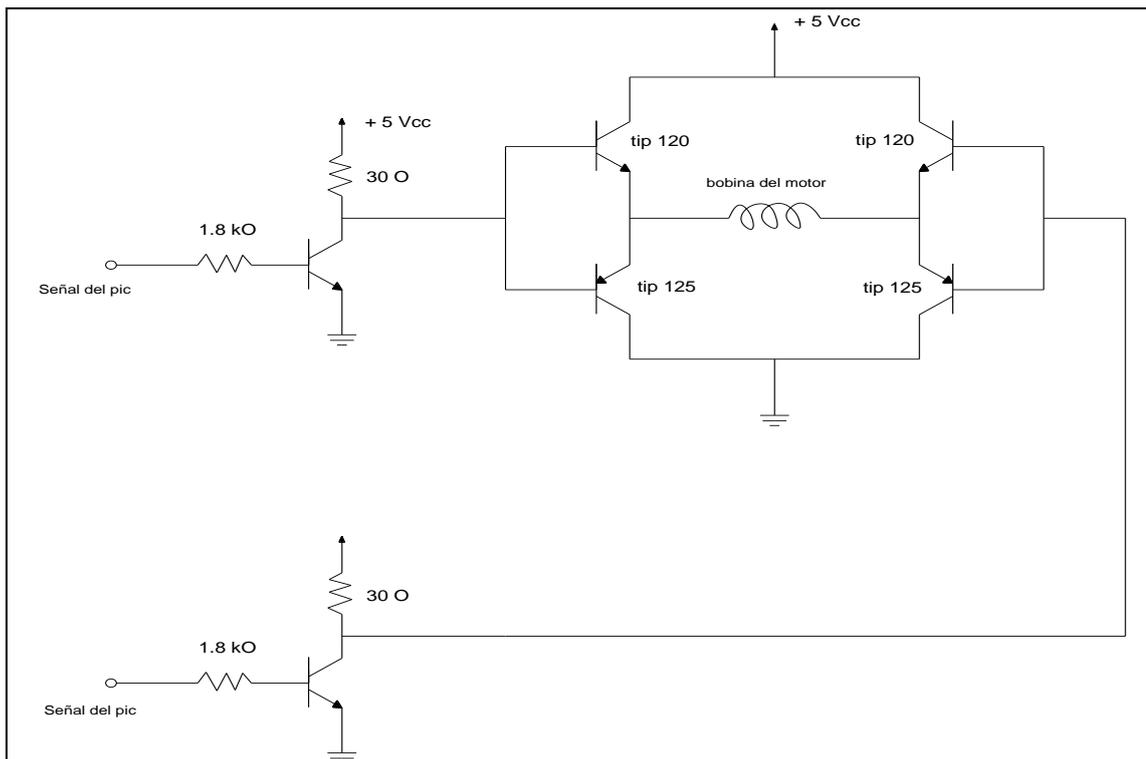


Fig. 4.21a: Esquema de una bobina para motor paso a paso bipolar (FUENTE – Autores 2011)

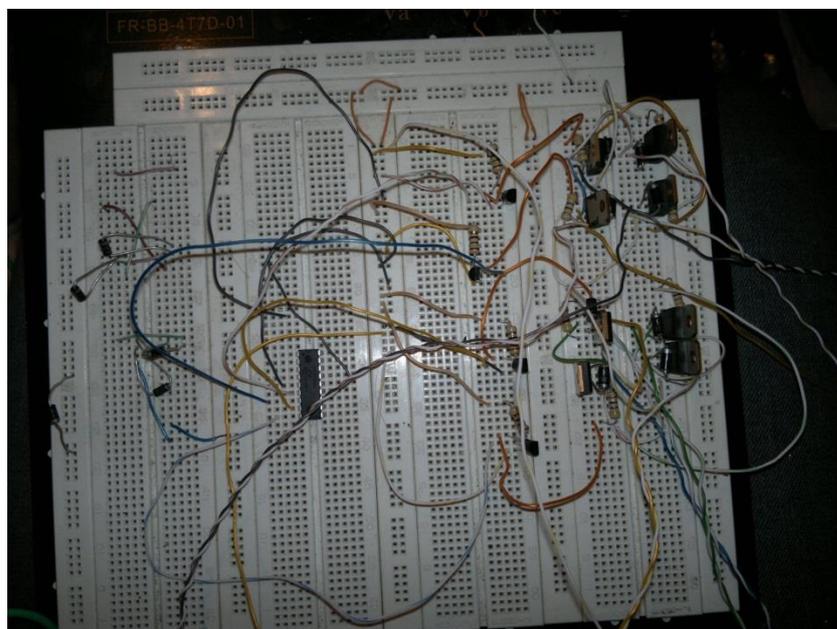


Fig. 4.21b: Puente H para motor paso a paso bipolar ensamblado en un Protoboar. (FUENTE – Autores, 2011)

4.11.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En la Fig. 4.22 se muestra un bosquejo del sistema de control, donde se describe los puertos de los PIC’S 16F877A y 16F819.

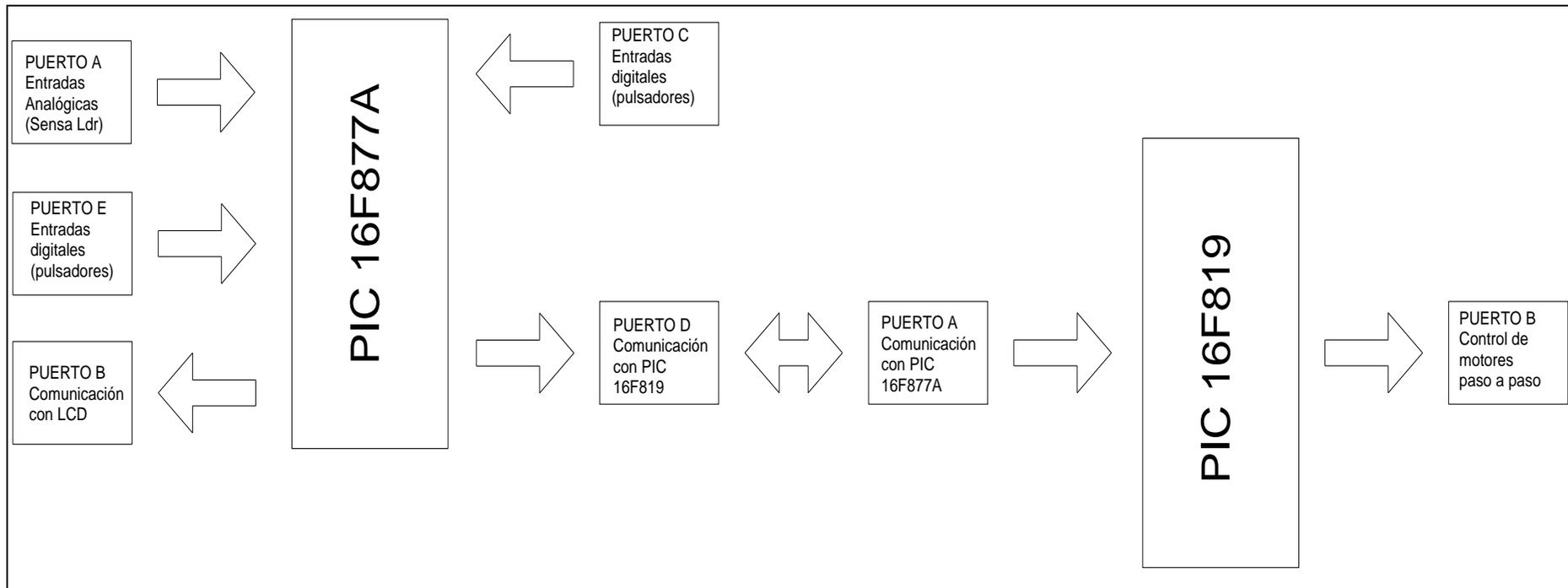


Fig. 4.22: Diagrama de puertos de comunicación entre el PIC 16F877A y el PIC 16F819 (FUENTE – Autores, 2011)

4.11.2.1 PROGRAMA PARA EL PIC 16F877A

```

*****
'* Name      : UNTITLED.BAS *
'* Author    : [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'* Notice    : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*           : All Rights Reserved *
'* Date      : 09/10/2011 *
'* Version   : 1.0 *
'* Notes     : *
'*           : *
*****
DEFINE LCD_DREG PORTB ;bit de datos del LCD empezando
DEFINE LCD_DBIT 0 ;por B.0 ,B.1, B.2 y B.3
DEFINE LCD_RSREG PORTB ;bit de registro del LCD conectar
DEFINE LCD_RSBIT 5 ;en el puerto B.5
DEFINE LCD_EREG PORTB ;bit de Enable conectar en el
DEFINE LCD_EBIT 4 ;puerto B.4
DEFINE OSC 8
DEFINE ADC_BITS 10
DEFINE ADC_CLOCK 3
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50

p1 VAR WORD ; se crea variable p1 de 65536 bytes
p2 VAR WORD ; para guardar resultados
p3 VAR WORD
p4 VAR WORD
p5 VAR WORD
ref1 VAR WORD
ref2 VAR WORD
restar1 VAR WORD
restar2 VAR WORD
rest1 VAR WORD
rest2 VAR WORD
ok VAR BYTE ;crear la variable x de 255 bytes
x VAR BYTE
abc VAR BYTE

ref1=0 ;se inicializa var. con valor de 0
ref2=0
TRISA = %11111111 ;configura el puerto A como entradas
trisc=%00111111 ;configura el puert.C como ent. except C.6 y C.7
portd=%00000000 ;puerto D es de salida
ADCON1 =%10000010 ;habilita las entradas anal{ogicas del puerto A
trisb.7=0 ;inicializa el puerto B con 0 lógico.

HIGH portb.7 ;enciende el pin b.7
PAUSE 1000
LOW portb.7 ;apaga el pin b.7
LOW portd.0
LOW portd.1
LOW portd.2
LOW portd.3
GOTO arranque

diferencia: ;subrutina de nombre diferencia
restar1=p1-p2 ;realiza resta de p1-p2 y lo almacena en

```

```

restar1
RETURN ;retorna al punto desde donde se llamo a
subrutina
diferencia1: ;diferencia
restar1=p2-p1
RETURN
diferencia2:
restar2=p3-p4
RETURN
diferencia3:
restar2=p4-p5
RETURN

arranque:

    PAUSE 1000 ;retardo para esperar que funcione el LCD
    LCDOUT $fe,1 ;limpiar pantalla
    FOR x = 0 TO 14 ;repetir 15 veces
    LOOKUP x, ["ELECTROMECHANICA"], abc
    LCDOUT, abc ;sacar en LCD el contenido de abc
    PAUSE 400 ;esperar 400 mls
    NEXT ;siguiente repetición
    PAUSE 2000
    LCDOUT $fe, 1, "Diego Suarez" ;limpiar LCD y sacar teXTO
    LCDOUT $fe,$c0, "Franco Loja"
    PAUSE 2000

prueba:
    ADCIN 0, p1 ;activar canal 0
    PAUSE 50
    LCDOUT $fe,1, "ldr1:"
    LCDOUT $fe,$c0,DEC p1
    PAUSE 1000
    ADCIN 1, p2 ;activar canal 1
    PAUSE 50
    LCDOUT $fe,1, "ldr2:"
    LCDOUT $fe,$c0,DEC p2
    PAUSE 1000
    ADCIN 2, p3 ;activar canal 2
    PAUSE 50
    LCDOUT $fe,1, "ldr3:"
    LCDOUT $fe,$c0,DEC p3
    PAUSE 1000
    ADCIN 3, p4 ;activar canal 3
    PAUSE 50
    LCDOUT $fe,1, "ldr4:"
    LCDOUT $fe,$c0,DEC p4
    PAUSE 1000
    ADCIN 4, p5 ;activar canal 4
    PAUSE 50
    LCDOUT $fe,1, "ldr5:"
    LCDOUT $fe,$c0,DEC p5

Inicio:
    HIGH portd.3 ;habilita a 16f819 mediante MCLR
    LCDOUT $fe, 1
    LCDOUT $fe, $c0, "sensando...."
    PAUSE 500

ldr1:
    ADCIN 0, p1 ;activar canal 0
    PAUSE 50

ldr2:

```

```

ADCIN 1, p2          ;activar canal 1
PAUSE 50
LCDOUT $fe,1,"Muestra ldr 1 y 2"
PAUSE 1000
LCDOUT $fe,1,DEC p1
LCDOUT $fe,$c0,DEC p2

ldrp:
ADCIN 4, p5
PAUSE 50

orientar:
IF p5<700 THEN descanso2
IF p1>p2 THEN izq1
IF p2>p1 THEN der1
IF p2=p1 THEN vertical ; en caso de que horizontalmente este
orientado
GOTO orientar          ;vaya a orientarse verticalmente, que
es en donde
                        ;va a tener mas movimiento

izq1:
LCDOUT $fe, 1 , " Girando a la"
LCDOUT $fe,$c3,"Izquierda"
PAUSE 1000

izq:
ref1=ref1+1
HIGH portd.0
ADCIN 4, p5          ;activar canal 4
PAUSE 50
ADCIN 0, p1          ;activar canal 0
PAUSE 50
ADCIN 1, p2          ;activar canal 1
PAUSE 50
LCDOUT $fe,1,DEC p1
LCDOUT $fe,$c0,DEC p2
IF p5<700 THEN descanso2
IF p1=p2 THEN paro
IF p1>p2 THEN GOSUB diferencia
IF p2>p1 THEN GOSUB diferencial
IF restar1<3 THEN paro
GOTO izq

der1:
LCDOUT $fe, 1 , " Girando a la"
LCDOUT $fe,$c4,"Derecha"
PAUSE 1000

der:
ref2=ref2+1
HIGH portd.1
ADCIN 4, p5          ;activar canal 4
ADCIN 0, p1          ;activar canal 0
PAUSE 50
ADCIN 1, p2          ;activar canal 1
PAUSE 50
LCDOUT $fe,1,DEC p1
LCDOUT $fe,$c0,DEC p2
IF p5<700 THEN descanso2
IF p1=p2 THEN paro
IF p1>p2 THEN GOSUB diferencia
IF p2>p1 THEN GOSUB diferencial
IF restar1<3 THEN paro
GOTO der

```

```

paro:
    LOW portd.0
    LOW portd.1
vertical:
    ADCIN 4, p5 ;activa el canal 3
    PAUSE 50
    ADCIN 2, p3 ;ACTIVA EL CANAL 2
    PAUSE 50
    ADCIN 3, p4 ;activa el canal 3
    PAUSE 50
    LCDOUT $fe,1,"Muestra ldr 3 y 4"
    PAUSE 1000
    LCDOUT $fe,1,DEC p3
    LCDOUT $fe,$c0,DEC p4
    PAUSE 1000
Orientar2:
    IF p5<700 THEN descanso2
    IF p3>p4 THEN subir1
    IF p4>p3 THEN bajar1
    GOTO orientar2
subir1:
    LCDOUT $fe, 1 , "Fijando posicion"
    LCDOUT $fe,$c4, "SUBIR"
    PAUSE 1000
subir:
    IF portc.0=0 AND portc.1=1 THEN preparado ;c.o conectar fin
de carrera
    HIGH portd.2
    ADCIN 4, p5
    PAUSE 50
    ADCIN 2, p3 ;ACTIVA EL CANAL 2
    PAUSE 50
    ADCIN 3, p4 ;activa el canal 3
    PAUSE 50
    LCDOUT $fe,1,DEC p3
    LCDOUT $fe,$c0,DEC p4
date:
    IF portc.0=0 AND portc.1=1 THEN preparado
    IF p5<750 THEN descanso2
    IF p3=p4 THEN descanso
    IF p3>p4 THEN GOSUB diferencia2
    IF p4>p3 THEN GOSUB diferencia3
    IF restar2<3 THEN descanso
    GOTO subir
bajar1:
    LCDOUT $fe, 1 , "Fijando posicion"
    LCDOUT $fe,$c4, "BAJAR"
    PAUSE 2000
bajar:
    IF portc.0=0 AND portc.1=1 THEN preparado
    HIGH portd.4
    ADCIN 4, p5
ldr52:
    ADCIN 2, p3 ;ACTIVA EL CANAL 4
    PAUSE 50
ldr62:
    ADCIN 3, p4 ;activa el canal 5
    PAUSE 50
    LCDOUT $fe,1,DEC p3
    LCDOUT $fe,$c0,DEC p4

```

```

date2:
    IF p5<700 THEN descanso2
    IF p3=p4 THEN descanso
    IF p3>p4 THEN GOSUB diferencia2
    IF p4>p3 THEN GOSUB diferencia3
    IF portc.0=0 AND portc.1=1 THEN preparado ;c.0 a fin de
carrera
    IF restar2<3 THEN descanso ; restar2 diferencia entre la
ldrs
    GOTO bajar
descanso2:
    LCDOUT $fe, 1 , " NO SE DETECTA" ;limpiar LCD y sacar teXTO
    LCDOUT $fe,$c2,"POSICION DE SOL"
    LOW portd.0
    LOW portd.1
    LOW portd.2
    LOW portd.3
    FOR ok=1 TO 10
    PAUSE 1000
    NEXT
    GOTO inicio
descanso:
    LOW portd.2
    LOW portd.4
    LCDOUT $fe, 1 , " posicion"
    LCDOUT $fe,$c4,"FIJADA"
    FOR ok=1 TO 10
    PAUSE 1000
    NEXT
    GOTO inicio
preparado:
    LOW portd.2
    LOW portd.4
    LOW portd.0
    LOW portd.1
    IF portc.1=0 THEN retornar ;C.1 puerto de entrada para
timmer
    LCDOUT $fe, 1 , " Esperando"
    LCDOUT $fe,$c5,"Ocaso" ;indicando que ya son la 6 pm.
    PAUSE 1000
    GOTO preparado
retornar:
    IF ref1>ref2 THEN derr
    IF ref2>ref1 THEN izqr
    GOTO retornar
derr:
    LCDOUT $fe, 1 , "Retornando a"
    LCDOUT $fe,$c5,"Inicio"
    HIGH portd.1
    IF portc.2=0 THEN dormir
    GOTO derr
izqr:
    LCDOUT $fe, 1 , "Retornando a"
    LCDOUT $fe,$c5,"Inicio"
    HIGH portd.0 ;si empezo girando a la der., q retorne girando
; a la izq. para que no se enreden los cables
    IF portc.2=0 THEN dormir ;fin carrera posición amanecer
    GOTO izqr
dormir:
    ; apaga máquina y espera señal de arranque
    
```

```

LCDOUT $fe, 1 , "Desactivado"
LOW portd.3
LOW portd.0
LOW portd.1
LOW portd.2
IF portc.3=0 THEN arranque;portc.3 señal de timmer a las 6 am
PAUSE 1000
GOTO dormir
END
    
```

4.11.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EN PIC 16F877A

El microcontrolador pic 16F877A se encarga de sensar con las entradas analógicas del puerto A, desde el A.0 al A.4, los sensores ldr (resistentes dependientes de luz). Se hace una comparación de los sensores conectados en A.0 y A.1 para posicionar el eje vertical, el A.2 y A.3 para posicionar el eje horizontal, y con la entrada A.4 se sensa la intensidad de la luz solar, si está nublado no realiza ningún movimiento de la estructura. La conversión analógica-digital ADC se la realiza con 10 bits de resolución (valores de 0 a 1024), cuando está nublado se obtuvo valores de 600 y en días bien soleados valores de 960.

El puerto B es utilizado para la comunicación con el LCD (pantalla de cristal líquido); el puerto D para comunicación con el pic 16F819; el puerto C y E son usados como entradas digitales, para pulsadores.

El programa empieza haciendo las comparaciones analógicas, si está nublado realiza una pausa de 120 segundos y regresa a realizar comparaciones, al no estar nublado procede posicionando los ejes respectivamente; activando las salidas D.0 y D.1 para ubicar el eje vertical, D.0 mueve el motor en sentido horario y D.1 en sentido anti horario; de igual manera al activar las salidas D.2 y D.3 se posiciona el eje horizontal. Se realiza una pausa de 120 segundos una vez que se ha orientado la estructura hacia la posición del sol, luego vuelve a repetir el ciclo.

Un final de carrera conectado a la entrada C.0 señala el fin del movimiento del eje horizontal, una vez que es activado no se realiza ningún movimiento de la estructura y se espera que se active un *timmer* conectado a la entrada C.2 que indica que son las

18h00; luego se activa motor del eje vertical hacia la posición de inicio, que será señalado por un final de carrera conectado a C.1.

El microcontrolador comienza nuevamente a realizar comparaciones analógicas cuando se activa la entrada C.3 que proviene de un *timmer*, indicando que son las 7h00 de la mañana.

4.11.2.3 PROGRAMA PARA EL PIC 16F819

```

*****
'* Name      : UNTITLED.BAS                                     *
'* Author    : [select VIEW...EDITOR OPTIONS]                 *
'* Notice    : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*           : All Rights Reserved                             *
'* Date      : 11/09/2011                                       *
'* Version   : 1.0                                             *
'* Notes     :                                                 *
'*           :                                                 *
*****
cmcon=7                ;hace digitales las entradas del puerto A.
trisb=0                ;hace salidas al puerto B.
portb=0                ;inicializa a 0, las salidas del puerto B.
sensar:
portb=0
IF porta.3=1 THEN hder
IF porta.2=1 THEN hizq
IF porta.4=1 THEN vizq
IF porta.5=1 THEN vder
GOTO sensar
hizq:
IF porta.2=0 THEN sensar
portb=%1000
PAUSE 10
portb=%0010
PAUSE 10
portb=%0100
PAUSE 10
portb=%0001
PAUSE 10
GOTO hizq

hder:
IF porta.3=0 THEN sensar
portb=%0001
PAUSE 10
portb=%0100
PAUSE 10
portb=%0010
PAUSE 10
portb=%1000
PAUSE 10
GOTO hder

```

```
vizq:
IF porta.4=0 THEN sensar
  portb=%10000000
PAUSE 10
portb=%00100000
PAUSE 10
portb=%01000000
PAUSE 10
portb=%00010000
PAUSE 10
GOTO vizq

vder:
IF porta.5=0 THEN sensar
portb=%00010000
PAUSE 10
portb=%01000000
PAUSE 10
portb=%00100000
PAUSE 10
portb=%10000000
PAUSE 10
GOTO vder

END
```

4.11.2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EN PIC 16F819

El pic 16F819, es el encargado de controlar las tarjetas de potencia para el mando de los motores paso a paso.

El puerto A es configurado como entradas, sensa las señales que son enviadas desde el pic 16F877A, las cuales indican el motor que debe activarse y el sentido de giro en el cual debe operar.

El sentido de giro se lo logra invirtiendo la secuencia de activación de los pines del puerto B.

5. RESULTADOS

5.1. EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONOMICA Y AMBIENTAL

5.1.1. ANALISIS TÉCNICO DEL PROYECTO

Los materiales que conforman el seguidor son de buena calidad garantizando así un funcionamiento óptimo frente a las condiciones de operación. Dentro de estos materiales existe uno en particular que fue importado desde Japón, adquirido en la empresa VEXTA.

La tecnología general de fabricación, fue basada principalmente en la creación de partes a través del proceso de mecanizado que demandó el uso de máquinas herramientas como son: torno, fresadora, cepilladora, roladora de tubos, taladro de pedestal, cizalla, soldadora y herramientas de mano. Por lo tanto se recomienda que se base en los planos de los diversos elementos para la construcción de piezas de recambio.

Se optó por construir la tarjeta de control para el seguimiento solar y los *drivers* para los motores paso a paso, debido a que los materiales para su elaboración se los encuentra en el mercado local y ya que en el proceso de diseño se los puede ajustar a nuestros requerimientos.

5.1.2. VALORACIÓN ECONOMICA DEL SEGUIDOR SOLAR.

Presentamos a continuación un resumen de materiales y costos que se emplearon para la construcción.

Tabla 5.1: Presupuesto de costos del proyecto (FUENTE – Autores 2011)

		PRESUPUESTO DE MATERIALES		HOJA No. :1 DE 1	
		DESEÑO MECÁNICO DE UN SEGUIDOR SOLAR		FECHA : Septiembre-2011	
ITE M	CANT .	DESCRIPCIÓN	UNI D	P. UNIT US\$	P. TOTAL US\$
A.-MATERIALES DE HIERRO					
1	2	Tubo estructural negro red. 1 1/2"*2mm.	UNID	13,50	27
2	1	Tubo rectangular negro de 100*50*2mm.	UNID	38,00	38,00
3	248	Platina de 2 1/2 * 1/4"	CM	0,09	22,57
4	90	Platina de 4*1/4"	CM	0,12	10,80
5	2	Tubo galvanizado de 1 1/4"*1.5mm	UNID	13,5	27
6	8	Perno de 1/2*1 1/2" con 2 arandelas planas, una arandela de presión y una tuerca	UNID	0,50	4,00
7	10	Chaveteros	UNID	5,00	50,00
8	23	Tubo de vapor CD 80 15* 3"	CM	0,42	9,66
9	1	Funda de suelda 6011A GA	UNID	22,00	22,00
10	2	Recorte cuadrado de plancha negra 20*20cm*8mm	UNID	5,50	11,00
11	18	Eje de transmisión de 1 1/2"	CM	0,22	3,96
12	25	Eje de transmisión de 1 1/2"	CM	0,22	5,50
13	1	Recorte cuadrado de plancha negra 14*14*6mm	CM	3,00	3,00
14	1	Recorte cuadrado de plancha negra 23*23cm*6mm	UNID	7,00	7,00
15	8	Pernos de 1/2"*1" de acero con arandela plana y de presión	UNID	0,40	3,20
16	6	Pernos de 1/2"*1 1/2" de acero con arandela plana y de presión	UNID	0,60	3,60
17	2	Arandelas planas de 1"	UNID	0,30	0,60
18	3	Seguros exteriores para ejes de 1 1/2"	UNID	1,00	3,00
19	2	Angulos de 1" 1/2*3/16"	UNID	17,55	35,10
20	1	Tarro de 1/4 de masilla plástica	UNID	5,50	5,50
21	2	Rulimanes conicos de 32207	UNID	8,00	16,00
22	2	Pliegos de lijas #80 y #180	UNID	1,50	3,00
23	1	Galon de fondo gris	UNID	12,00	12,00
24	1	Tuerca de 1 1/4"	UNID	3,50	3,50
25	30	Acero 1 1/2" 705 (SAE 4340)	UNID	0,41	12,30
26	2	Pernos de 1 * 2" con tuerca, arandela plana y de presión.	UNID	1,50	3,00
27	1	Plancha negra de 1/8" (1.22*2.44 CM)	UNID	85,00	85,00
28	12	Pernos de 7/16"*1 1/2" con tuerca, arandela plana y de presión	UNID	0,50	6,00
29	1	Disco de desbaste de 7"	UNID	3,25	3,25
30	2	¼ de Galón de pintura esmalte (negro y tomate)	UNID	5,00	10,00
31	2	Piñones de duralón de 10 dientes	UNID	10,00	20,00
32	2	Piñones de duralón de 41 dientes	UNID	15,00	30,00
33	2	Ruedas dentadas, diámetro 84 mm, 4 hilos por pulgada	UNID	60,00	120,00
34	2	Tornillo sin fin, diám. 32 mm, 4 hilos por pulgada	UNID	50,00	100,00
35	2	Piñones para cadena Z40, 19 dientes	UNID	10,00	20,00
36	6	Chumaceras de pared 3/4"	UNID	5,35	32,10
37	1	Cadena de transmisión Z40	UNID	25,00	25,00
38	12	Pernos de hierro de 3/8" 2" con arandela plana y de presión	UNID	0,30	3,60
B.- SISTEMA DE POTENCIA Y DE CONTROL					
39	2	Motores paso a paso Vexta, 1.8°, 5 Vcc, 4.5 A	UNID	400,00	800,00
40	2	Rollo de cable # 18 AWG flexible	UNID	22,00	44,00
41	1	Protoboard	UNID	18,00	18,00

42	2	Fuentes de poder de computador	UNID	18,00	36,00
43	2	Borneras de paso 6 mm2	UNID	1,25	2,50
44	2	Final de carrera mecánico	UNID	0,35	0,70
45	1	Timmer analógico	UNID	35,00	35,00
46	1	Caja de mando metálica de 30 *40	UNID	40,00	40,00
47	1	Hardware pickit 2	UNID	60,00	60,00
48	1	Lcd 16x2	UNID	6,50	6,50
49	2	Tarjeta electrónica de potencia para motores paso a paso	UNID	70,00	140,00
50	1	Tarjeta electrónica de control	UNID	100,00	100,00
51	1	Microcontrolador 16F877A	UNID	6,50	6,50
52	5	Sensores LDR	UNID	0,60	2,40
53	1	Microcontrolador 16F819	UNID	5,30	5,30
C.- VARIOS					
54	2	Mano de obra	UNID	400,00	800,00
55	1	Imprevistos (Movilización, Materiales para pruebas y Recopilación Bibliográfica)	UNID	400,00	400,00
TOTAL					3.294,14

5.1.3. EVALUACIÓN AMBIENTAL

El fin del presente proyecto investigativo es de optimizar el aprovechamiento de un recurso renovable, lo que da gran importancia, ya que como es conocido por todos se trata de reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente.

Referente a lo ambiental podemos destacar los siguientes puntos a favor y en contra:

Ventajas:

- El prototipo planteado no produce emisiones de gases contaminantes al medio ambiente.
- No emite Ruidos.
- Tiene un consumo energético bajo (50 W)
- Se destinará a un centro de estudio por lo que tendrá un tiempo de vida aceptable.
- El prototipo coadyuva a un aprovechamiento eficiente del recurso solar

Desventajas:

- Necesita lubricación en sus partes móviles lo que genera residuos contaminantes, por lo que es necesario manejar adecuadamente este tipo de desechos.

- Los accesorios electrónicos producen armónicos y alteran la red de suministro de energía.

Frente a lo mencionado se puede concluir que el impacto que producirá el prototipo es mínimo, ya que su funcionamiento no produce ningún tipo de emisión de gas contaminante, además en su proceso de construcción no se utilizo ningún tipo de químico o sustancias perjudiciales para el medio ambiente.

6. DISCUSIÓN

El seguidor solar planteado, consta de dos ejes de rotación; el eje vertical permite el movimiento en azimut y el eje horizontal permite el movimiento de elevación, lo que en el caso de los seguidores de un solo eje, solo permiten el movimiento en elevación durante el día y unicamente se posicionan en una sola dirección durante todo el año, es decir no pueden inclinarse en acimut hacia el norte o el sur en las estaciones, mientras que la estructura desarrollada posee las características antes mencionadas.

Nuestro seguidor solar presenta múltiples ventajas sobre los seguidores solares de dos ejes utilizados comúnmente, debido a que necesita menos gasto energético para realizar el movimiento solar, ya que se realizan menos esfuerzos en los ejes de transmisión de potencia (los ejes se encuentran en los centros de gravedad de la parábola). Por otro lado existe menos dificultad en lo que se refiere al desplazamiento en los ejes de la parábola, debido a que el movimiento se lo realiza con mecanismos tradicionales, como son engranes piñones y cadenas, caso contrario a esto son los seguidores comunes que necesitan actuadores lineales que presentan complejidad en montaje y adquisición.

Uno de los inconvenientes fue la adquisición de motores paso a paso, ya que en nuestro mercado, este tipo de accesorios son escasos.

Referente a la parte de sensores y accionamientos, nuestro sistema es fiable, ya que está formado por tarjetas y componentes electrónicos adquiridos en el mercado local, garantizados y debidamente comprobados.

Por último, podemos mencionar que es una alternativa confiable, que se ajusta a los requerimientos de explotación del recurso solar térmico por todas las ventajas antes mencionadas.

7. CONCLUSIONES

- La recopilación y la sistematización de la información sobre seguidores solares fue un mecanismo de gran importancia para el desarrollo del presente trabajo investigativo, pues nos permitió seleccionar una estructura adecuada basada en dos ejes perpendiculares de rotación, con lo que se logró avanzar adecuadamente con las siguientes etapas de diseño y dimensionamiento de equipos para la construcción.
- La estructura construida permite realizar el seguimiento del sol sin ningún inconveniente, presentando buena resistencia para la manipulación y los fines de estudio.
- El proceso de comparación del nivel de iluminación resultó ser un método adecuado para realizar el movimiento solar, siendo de fácil acoplamiento al sistema de control, que en conjunto presenta buenas condiciones de operación frente al seguimiento solar.
- El sistema de seguidor tiene bajo consumo energético, debido a que se aprovecha la geometría de la parábola para reducir los esfuerzos en la estructura.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar sobre nuevos algoritmos de programación para su posterior implementación en el prototipo planteado.
- Mantener con un buen nivel de lubricación los mecanismos de transmisión
- Para futuros estudios investigar sobre el uso de otros tipos de sensores.
- No someter a cargas desequilibrantes a la estructura de la base de la parábola.
- Mantener limpia la superficie de los sensores, para evitar lecturas erróneas.

9. BIBLIOGRAFÍA

CITAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ☀ ARAUJO; Diego, Electrónica Aplicada, Editorial Cultural S.A., Impreso en Colombia, Edición MMIX, pag 17, 67,167.
- ☀ FAIRES V.M.; Diseño de elementos de máquinas, Editorial Montaner y Simón, S.A, Barcelona, Cuarta Edición, Pag.362-363.
- ☀ MARTÍN; Ricardo y otros, Electrónica Básica, Editorial Cultural S.A., Impreso en U.E, Edición MMIX, Pág. 343-347.
- ☀ NASH William A.; Teoría y Resistencia de Materiales, McGRAW-HILL de México, S.A, Traducido de la primera edición, Pág. 51.
- ☀ REYES; Carlos A., Microcontroladores PIC programación en Basic, Segunda Edición, Impreso en Quito – Ecuador, Pág. 17-23.

SITIOS WEB:

- ☀ <http://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf> [17/05/2010 16:20]
- ☀ <http://www.bairesrobotics.com.ar/data/pic16f877-guia%20detallada%20parte2.pdf> [12/07/2011 11:50]
- ☀ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/aguilar_v_e/capitulo2.pdf [20/07/2011 18:16]
- ☀ http://www.centroenergia.cl/literatura/memorias_tesis/Memoria_Jorge%20Quiñeros.pdf [02/12/2009 16:32]
- ☀ <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H2F7KSQB-DTVPLB-J47/potenciometro.pdf> [12/07/2011 11:04]
- ☀ <http://www.electronicaestudio.com/docs/09basic.pdf> [10/11/2011]
- ☀ <http://es.scribd.com/doc/101172/pic16f877-en-espanol1> [10/11/2011]
- ☀ <http://www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/apuntes/ahumada/pdfs/Rodamientos%20af.pdf> [20/07/2011 18:37]
- ☀ <http://www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/MODULOS%20CUARTO/MANTENIMIENTO%20DE%20LOS%20SISTEMAS%20DE%20TRANSMISIÓN%20Y%20FRENADO/Gu%C3%ADa%20N%C2%BA%204%20Concepto%20de%20Transmisión%20B3n.pdf> [20/07/2011 18:19]
- ☀ http://www.habe.euskadi.net/s23-4728/es/contenidos/informacion/huerto_solar_agurain/es_eia/adjuntos/PROYECTO/ANEJO3.pdf [18/05/2009 11:00]

- ☀ <http://www.ing.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/anexo/c-dicopel.pdf>
[12/07/2011 11:07]
- ☀ <http://isa.umh.es/asignaturas/sea/practicas2C/P7/practica7.pdf> [14/07/2011
15:14]
- ☀ <http://www.ives.edu.mx/bibliodigital/Ingenierias/Ingenieria%20bloque%201%20%20%20%20%2054.1%20megas/Libro%20Energia%20alternativas/Solar/Solar4.pdf> [02/12/2009]
- ☀ <http://libros.redsauce.net/EnergiasAlternativas/solar/PDFs/04solar.pdf>
[03/02/2010 19:21]
- ☀ <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf> [12/07/2011
11:51]
- ☀ <http://www.unrobotica.com/manuales/basic.pdf> [12/07/2011 12:00]
- ☀ http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/7-Apendice_A.pdf
[27/07/2009 11:55]

10. ANEXOS.

ANEXO 1: CODIGO DE COLORES DE RESISTENCIAS

ANEXO 2: MODELO PARA SELECCIÓN DE MOTORES

ANEXO 3: HOJA DE DATOS DE MICROCONTROLADOR PIC 16F877A

ANEXO 4: HOJA DE DATOS DE MICROCONTROLADOR PIC 16F819

ANEXO 5: ESQUEMA ELECTRICO Y ELECTRÓNICO

ANEXO 6: SOLIDOS MOMENTO DE INERCIA

ANEXO 7: SOLIDO CENTRO DE GRAVEDAD

ANEXO 8: PLANOS

ANEXO 9: ANTEPROYECTO DE TESIS