

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE CONCENTRADOR  
SOLAR PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA Y DE ALIMENTOS.**

**FELIX ANTONIO RAMIREZ MEZA**

**LUISA FERNANDA TRILLOS SIERRA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2005**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE CONCENTRADOR  
SOLAR PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA Y DE ALIMENTOS.**

**FELIX ANTONIO RAMIREZ MEZA  
LUISA FERNANDA TRILLOS SIERRA**

**Tesis de grado para optar al titulo de Ingeniero Mecatrónico**

**Director:  
Ing. John Faber Archila  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2005 ®**

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Bucaramanga, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2005**

## AGRADECIMIENTOS

### ***LUISA:***

A mis padres, por permitirme llevar a cabo esa etapa de mi vida, sin importar lo que pasara.

A Andrés por todo su apoyo, y por darme siempre esperanza donde parecía no quedar nada.

A los amigos que me brindaron su ayuda y amistad.

### ***FELIX:***

A Dios por su santa voluntad por permitir que mis sueños se conviertan en triunfos.

A mis padres por todo su amor brindado y por la confianza que depositaron en mi creando una motivación de que si se puede.

A Julián por su apoyo incondicional

### ***LUISA Y FELIX:***

A Faber por tener tanta paciencia con nosotros.

A Gerardo por su ayuda y por toda la paciencia que lo caracteriza.

A las ingenieras: María Fernanda Gómez y Doris julio, por esos valiosos aportes dignos de unas mujeres llenas de conocimientos.

A Jorge por estar ahí a pesar de los contratiempos de la naturaleza.

A Marvin y Mauricio por toda su colaboración y apoyo.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
JUSTIFICACIÓN	18
ANTECEDENTES	19
1. COLECTORES SOLARES Y COCINAS SOLARES	21
1.1. ¿Qué es un colector solar?	21
1.2. Tipos de colectores solares	21
1.2.1 Colectores sin concentración	21
1.2.2 Colector con Concentración	22
1.3. Sistemas concentradores	24
1.4. Cocinas Solares	24
1.4.1 Tipos de cocinas solares	25
1.5. Movimiento Relativo Del Sol Y La Tierra	28
2. DISEÑO MECATRONICO	31
2.1. Componente Mecánico	33
2.1.1 Requerimientos de diseño	33
2.1.2 Lluvia de ideas	33
2.1.3 Análisis de transferencia de calor	34

2.1.4 Área del paraboloides	39
2.1.5 Calculo para dimensionar la parábola	40
2.1.6 Diseño en solid Works	41
2.1.7 Análisis con Cosmos	43
2.1.7.1 Introducción	43
2.1.7.2 Materiales	43
2.1.7.3 Información de cargas y restricciones	43
2.1.7.4 Propiedad del estudio	45
2.1.7.5 Resultados de esfuerzos	45
2.1.7.6 Resultados de deformación	46
2.1.7.7 Resultados de verificación de diseño	47
2.1.7.8 Apéndice	48
2.1.8 Diseño detallado	49
2.1.8.1 Concentrador parabólico	49
2.1.8.2 Eje central del concentrador	52
2.1.8.3 Base cuadrada	54
2.1.9 Lista de materiales empleados	57
2.2. Componente Electrónico y de control	58
2.2.1 Requerimientos de diseño	58
2.2.2 Selección de alternativas	58
2.2.2.1 Motor	58
2.2.2.2 Microcontrolador	58
2.2.2.3 Interfaz	59

2.2.2.4 Sensor	59
2.2.3 Diseño detallado	59
2.2.3.1 Dispositivo de posicionamiento	59
2.2.3.2 Características del dispositivo	60
2.2.3.3 Modo de operación y panel de control del dispositivo	62
2.3 PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO	64
3 CONSTRUCCION Y PRUEBAS	66
3.1 Construcción	66
3.2 Pruebas	69
3.3 Resultados obtenidos	70
4. CONCLUSIONES	78
5. RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	81

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Colector concentrador por reflexión y refracción	23
<b>Figura 2.</b> Colector parabólico compuesto	23
<b>Figura 3.</b> Colector parabólico con receptor de foco lineal	23
<b>Figura 4.</b> Colector de plato parabólico con receptor de foco puntual	24
<b>Figura 5.</b> Diferentes modelos de cocinas de concentración y de acumulación Con concentradores.	25
<b>Figura 6.</b> Cocina de acumulación	25
<b>Figura 7.</b> Cocina de concentración	26
<b>Figura 8.</b> La cocina Scheffler	26
<b>Figura 9.</b> Versión de la cocina solar SK14 Conocida como SK98	27
<b>Figura 10.</b> Eclíptica y ángulo que forma el eje de rotación terrestre con el plano de la eclíptica.	29
<b>Figura 11.</b> Ángulo declinación	29
<b>Figura 12.</b> Variación anual del ángulo de declinación	30
<b>Figura 13.</b> Área del paraboloides	39
<b>Figura 14.</b> Dimensiones de la parábola	40
<b>Figura 15.</b> Vista general del concentrador	41
<b>Figura 16.</b> Vista frontal y lateral derecha del concentrador	42
<b>Figura 17.</b> Restricciones para el diseño	44
<b>Figura 18.</b> Cargas Para El Diseño	44



<b>Figura 19.</b> Esfuerzo-Trazado1	46
<b>Figura 20.</b> Deformación-Trazado2	47
<b>Figura 21.</b> Verificación de diseño-Trazado3	47
<b>Figura 22.</b> Concentrador parabólico	49
<b>Figura 23.</b> Arcos seleccionados en color rojo	50
<b>Figura 24.</b> Circunferencia seleccionada en color rojo	51
<b>Figura25.</b> Una sección de la lámina empleada en el concentrador	51
<b>Figura 26.</b> Eje central	52
<b>Figura 27.</b> Eje central (parrilla) seleccionado en color amarillo	53
<b>Figura 28.</b> Buje seleccionado en color amarillo	53
<b>Figura 29.</b> Base cuadrada	54
<b>Figura 30.</b> Detalle plano de la base cuadrada	55
<b>Figura 31.</b> Chumacera	56
<b>Figura 32.</b> Rueda, base con ruedas	56
<b>Figura 33.</b> Panel de control del dispositivo.	63
<b>Figura 34.</b> Eje central	<b>66</b>
<b>Figura 35.</b> Eje central, olla, motor	67
<b>Figura 36.</b> Carcasa	67
<b>Figura 37.</b> Carcasa	68
<b>Figura 38.</b> Base Cuadrada	68
<b>Figura 39.</b> Concentrador solar	69
<b>Figura 40 .</b> Grafica de temperatura vs. Tiempo del agua sin concentrador	71
<b>Figura 41 .</b> Grafica de temperatura vs. Tiempo del agua con concentrador	72

<b>Figura 42.</b> Grafica Temperatura vs. Tiempo (horas)	73
<b>Figura 43.</b> Grafica de radiación vs. Tiempo	74
<b>Figura 44.</b> Grafica de velocidad del viento vs. Hora	75
<b>Figura 45.</b> Grafica de temperatura vs. Tiempo en el concentrador	76

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Cuadro comparativo del uso de las cocinas solares de acumulación y concentración.	27
<b>Tabla 2.</b> Refuerzos de esfuerzos.	45
<b>Tabla 3.</b> Propiedades del análisis.	48
<b>Tabla 4.</b> Relación pasos / grados para el movimiento del motor.	62
<b>Tabla 5.</b> Datos de temperatura de la olla sin concentración vs. hora.	70
<b>Tabla 6.</b> Datos de temperatura de la olla con concentración vs. hora.	71
<b>Tabla 7.</b> Datos de temperatura vs. hora (CDMB).	72
<b>Tabla 8.</b> Datos de radiación vs. Hora (CDMB).	73
<b>Tabla 9.</b> Datos de velocidad del viento vs. hora (CDMB).	74
<b>Tabla 10.</b> Datos de temperatura vs. hora (concentrador).	75

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo A.</b> RODAMIENTOS	82
<b>Anexo B.</b> RADIACIÓN SOLAR	87
<b>Anexo C.</b> PLANOS	98
<b>Anexo D.</b> CNY 70	109
<b>Anexo E.</b> PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES	113
<b>Anexo F.</b> ACERO INOXIDABLE	122
<b>Anexo G.</b> LENTE CONVERGENTE	127
<b>Anexo H.</b> CONTROL	133

## GLOSARIO

**ACIMUT:** Ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.

**AXIAL:** Perteneiente o relativo al eje.

**BUJE:** pieza en que se apoya y gira un eje

**CENIT:** Intersección de la vertical de un lugar con la esfera celeste, por encima de la cabeza del observador

**CENITAL:** Perteneiente o relativo al cenit

**CHAVETA:** Clavija o pasador que se pone en el agujero de una barra e impide que se salgan las piezas que la barra sujeta

**CONCATENACIÓN:** unión o enlazamiento de unas cosas con otras

**CONCÉNTRICOS:** Que tienen un mismo centro

**DESERTIFICACIÓN:** Transformar en desierto amplias extensiones de tierras fértiles

**ECLÍPTICA:** Círculo formado por la intersección del plano de la órbita terrestre con la esfera celeste, y que aparentemente recorre el Sol durante el año

**EEPROM:** Memoria programable y borrable electrónicamente de sólo lectura o EEPROM, acrónimo inglés de Electronic Erasable Programmable Read Only Memory.

**EMISIVIDAD:** Capacidad de un material para emitir energía radiante.

**ENGRANAJE:** sistema mecánico que transmite el movimiento de rotación desde un eje hasta otro mediante el contacto sucesivo de pequeñas levas denominadas dientes. Los dientes de una rueda dentada pueden ser cilíndricos o helicoidales

**EQUINOCCIOS:** Época en que, por hallarse el Sol sobre el Ecuador, los días son iguales a las noches en toda la Tierra, lo cual sucede anualmente del 20 al 21 de marzo y del 22 al 23 de septiembre

**ESMERAR:** Pulir, limpiar.

**ESTATOR:** Parte fija de una máquina dentro de la cual gira un rotor.

**FILETE:** Espiral saliente del tornillo o de la tuerca.

**GALVANIZAR:** Dar un baño de cinc fundido a una superficie metálica, para que no se oxide.

**HELICOIDAL:** en forma de hélice

**HUSILLO:** Tornillo de hierro o madera que se usa para el movimiento de las prensas y otras máquinas

**ISOTÉRMICO:** Se dice del proceso en que la temperatura permanece constante

**LCD:** (Liquid Cristal Display) pantalla de cristal líquido

**MOTOR-REDUCTOR:** reductor de velocidad constituido por un motor asincrónico acoplado a un reductor de engranajes planetarios equilibrados.

**OSCILADOR:** Aparato que produce oscilaciones eléctricas o mecánicas.

**PASO:** En las ruedas dentadas, por analogía, se denomina paso al arco de circunferencia primitiva comprendido entre dos puntos homólogos de dos dientes consecutivos

**PERIFERIA:** Contorno de un círculo, circunferencia

**PROCESADOR:** Unidad central de proceso, formada por uno o dos chips

**RELUCTANCIA:** Resistencia que ofrece un circuito al flujo magnético.

**RODAMIENTO:** Cojinete formado por dos cilindros concéntricos, entre los que se intercala una corona de bolas o rodillos que pueden girar libremente

**ROTOR:** Parte giratoria de una máquina eléctrica o de una turbina.

**SOLSTICIOS:** Época en que el Sol se halla en uno de los dos trópicos, lo cual sucede del 21 al 22 de junio para el de Cáncer, y del 21 al 22 de diciembre para el de Capricornio

## INTRODUCCIÓN

El Sol es la estrella que domina el sistema planetario que incluye a la Tierra, mediante la radiación de su energía electromagnética aporta, directa o indirectamente, toda la energía que mantiene la vida en nuestro planeta.

Se trata de la más atractiva de las fuentes energéticas alternativas del futuro, no solo por ser limpia y gratuita, sino también por su abundancia y su carácter inagotable a escala humana.

Con la implementación de un concentrador solar se busca brindar a las personas otra opción para el calentamiento de agua y alimentos, empleando una fuente de energía ilimitada como lo es el sol, ofreciendo una alternativa segura, eficiente y practica; pues el calentamiento de agua mediante energía solar, más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología económicamente atractiva y competitiva, lo único que hace falta es explotarla.

Se dice que cada treinta minutos se recibe del Sol sobre la Tierra, la energía que se consume en un año y es por esto que en los últimos años se está produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica a causa, por una parte, de la sensibilidad creciente de la sociedad hacia la necesidad de sustituir los combustibles fósiles y, por otra, de los avances en los sistemas (mejora de la calidad y reducción de costes).

Para promover la idea del uso de la energía solar, así como su captación, concentración y conservación, se propone el uso de un concentrador solar que sirva para el calentamiento de agua y alimentos, teniendo en cuenta que la energía solar no es una energía alternativa que provee grandes beneficios.

En el siguiente trabajo se presentan los diferentes pasos tenidos en cuenta a la hora de realizar el diseño y la construcción el prototipo, además se muestra un análisis detallado de cada una de las partes que componen el dispositivo.

El capítulo uno (1), da a conocer al lector sobre los colectores concentradores, como se clasifican, cuales son los mas usados, así como las diferentes aplicaciones que se pueden ofrecer de los mismos.

El capítulo dos (2), presenta una análisis detallado del diseño mecatrónico del dispositivo, separando los aspectos mecánicos, electrónicos y de control tenidos en cuenta en el proceso de diseño y construcción del sistema.

En los siguientes capítulos se encuentran los materiales empleados, así como su costo, posible reemplazo y los resultados obtenidos después de realizar varias pruebas experimentales con el concentrador.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir un prototipo de un concentrador solar con sistema de posicionamiento, para el calentamiento de agua y de alimentos.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar un prototipo de concentrador que capte la energía solar y la utilice como medio de conducción para incrementar la temperatura de un fluido y de alimentos.
- Construir un prototipo de concentrador con una estructura desarmable en su totalidad para facilitar el mantenimiento y transporte del mismo.
- Elaborar un dispositivo que permita obtener el posicionamiento del concentrador emulando la trayectoria diaria del sol.
- Diseñar una interfaz con el usuario que permita el manejo del concentrador.
- Realizar las pruebas necesarias al sistema, efectuando los cambios pertinentes en cada caso, para lograr un mayor ajuste del prototipo.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de los recursos naturales para beneficio del hombre viene desde los inicios de la humanidad, las personas tienen necesidades y para satisfacerlas aprovechan lo que la naturaleza ofrece, pero lo que no tienen en cuenta es que si abusan de ella nunca llegarán a tener un desarrollo sostenible, es decir, emplean estos recursos sin imaginar que en unos años ya no gozarán de sus beneficios ni tampoco las generaciones que los preceden.

Algunos de estos recursos son el agua que genera energía eléctrica, los árboles que producen leña y el gas que permite cocinar o calentar, siendo elementos productivos para las personas; estos servicios se prestan de forma remunerada, por lo tanto no son gratuitos ni baratos.

En las viviendas se tienen calentadores de agua que son usados a diario, estos a su vez generan un incremento en el consumo de energía eléctrica y por consiguiente una disminución de los recursos hídricos. Por esto surge la idea de diseñar un prototipo de concentrador solar que funcione para el calentamiento de agua y de alimentos; este concentrador tiene dos funciones básicas que son: calentador de agua moderno y estufa para calentar ciertos alimentos (ya sean precocidos o que no requieren de la ebullición del agua para su consumo), en el que se usa la energía solar como fuente principal de energía. Este sistema representa menos costos y un buen aprovechamiento de los recursos energéticos renovables que brinda el medio ambiente. Contará con elementos mecánicos y electrónicos, así como un sistema de posicionamiento solar para tener una mejor ubicación con respecto al sol, y una interfase que permitirá una mayor utilidad y un mejor funcionamiento con el usuario.

## JUSTIFICACIÓN

El proyecto surge después de analizar el manejo inadecuado que se da a los recursos naturales y su influencia en la economía de las personas. Las reservas naturales son limitadas, el gas y el petróleo serán escasos en pocos años y de gran costo. Hoy en día a través de la emisión de gases, el clima está sometido a grandes cambios. No solo el medio ambiente, sino también nuestra salud queda seriamente perjudicada. Por estas razones es inevitable un cambio radical en favor de una energía que ponga en armonía nuestro entorno.

Cuando se utilizan los servicios como la energía eléctrica o el gas, o en su defecto leña para poder calentar los alimentos, estamos ayudando a que lentamente se agoten las reservas naturales, y por lo tanto se afecte indirectamente el bienestar de las personas; además se ha visto que el uso de leña para este fin se ha convertido en uno de los mayores problemas de deforestación a nivel mundial.

Con la implementación de un prototipo de concentrador solar para el calentamiento de agua y de alimentos se reducen costos representando un aporte importante en contra de la deforestación, se contribuye a evitar la contaminación ambiental, y se estaría originando una manera fácil y practica de utilizar la energía solar. Este es un instrumento empleado en muchas partes del mundo ya que su inversión es recuperada a corto plazo, debido a que emplea una fuente de materia prima gratuita e inacabable como lo es el sol.

## ANTECEDENTES

Debido a la accidentalidad geográfica que se presenta en nuestro país, es muy difícil hacer que los servicios públicos lleguen a todas las comunidades por igual; a su vez Colombia cuenta con una diversidad de climas y en ciertas regiones se posee un clima cálido la mayor parte del año; con el fin de aprovechar estos cambios climáticos y para reducir los costos en los servicios públicos (principalmente en la energía eléctrica y el gas), se dio la idea de implementar concentradores solares que alternaran el uso de energía eléctrica o gas, aprovechando al máximo un recurso tan poderoso como lo es la energía solar a la hora de calentar agua y alimentos.

La idea de emplear la energía solar ha sido utilizada desde tiempos remotos para secar fruta, calentar agua y cocinar vegetales. Sin embargo, el primer concentrador utilizado como cocina solar que utilizó tecnología moderna se atribuye a Horace de Saussure que, en 1767, fabricó una "caja solar" para cocinar. Hace 20 años un científico en Kenia comenzó la construcción doméstica de estas cocinas que se basan en la luz solar.

Para la construcción del concentrador se tendrán en cuenta los modelos de los concentradores solares parabólicos SK.

Una implementación de estos concentradores son las cocinas solares, la más popular es la llamada de foco profundo. Uno de sus principales investigadores es el Dr. Dieter Siefert de Neutting (Alemania) que desde el año 1984 estudia este tipo de cocina. El primer modelo SK1 era una parábola de aluminio remachado de 120 cm. de diámetro sobre una estructura pesada para poderla orientar al Sol. La SK9 se probó en 1987 en Togo y la parábola estaba hecha con 24 láminas de aluminio ligadas entre ellas, pero el rendimiento era muy bajo. Después de este ensayo, el Dr. Seifert construyó un espejo parabólico más curvado de 140 cm. de diámetro y 28 cm. de distancia focal.

En el año 1990 se inició un proyecto de taller de cocinas solares parabólicas, desde entonces las han extendido por todo el mundo; actualmente existen más de 15.000.

Si bien en Colombia se tienen bases sobre la tecnología solar, ésta no es muy empleada, debido a la falta de incentivos por parte del gobierno, ya que en general los costos son relativamente altos en comparación con otras fuentes energéticas que sí gozan de apoyos o subsidios del gobierno.

Con la implementación del concentrador solar, se busca llevar a diferentes regiones la posibilidad de adquirir un sistema que facilitará el ahorro de dinero y de recursos, ayudando a difundir la tecnología solar en Colombia y todos los beneficios que trae consigo

Esta idea surgió por personas del sector privado, en vista que hay una gran parte del país que no cuenta con recursos económicos, se planteó la posibilidad de crear un sistema capaz de recolectar energía solar, para ser almacenada en forma de calor, el cual puede ser utilizado posteriormente para diferentes usos, reduciendo de cierta forma los gastos en el hogar y supliendo las necesidades de personas de escasos recursos, y aquellos que tienen una difícil ubicación geográfica dentro de los sistemas de distribución de servicios públicos.

El proyecto tiene como fin elaborar un concentrador solar, basándose en el diseño, construcción y funcionamiento del prototipo. Buscando que sea lo más útil posible para que se pueda emplear en diferentes zonas del país sin estar atados a una región en especial, ayudando a promover el uso de los recursos ilimitados y gratuitos que poseemos.

## 1. COLECTORES SOLARES Y COCINAS SOLARES

### 1.1 ¿QUÉ ES UN COLECTOR SOLAR?<sup>1</sup>

Un colector solar es un dispositivo técnico que emplea la energía proveniente del sol para calentar agua. Con ello se reduce la cantidad de energía fósil necesaria normalmente para este fin, reduciéndose, a su vez, la emisión de gases de efecto invernadero. El uso de calentadores solares ayuda a conservar el medio ambiente.

### 1.2 TIPOS DE COLECTORES SOLARES

Existen sistemas de colector solar con y sin concentración. Los que no utilizan concentración reciben el Sol directamente, sin ningún elemento auxiliar, aunque con menor rendimiento, tienen sin embargo la ventaja de su simplicidad, facilidad de construcción y menor mantenimiento, gracias a que su posibilidad de presentar fallos técnicos también es menor.

#### 1.2.1 Colectores Sin Concentración

Los sistemas sin concentración utilizados son del tipo colector plano convencional y colector de vacío.

- **Colector plano convencional**

El colector plano convencional es el de uso más extendido por su sencillez de fabricación. Dispone únicamente de cuatro elementos: un circuito de conducción del agua, la placa de absorción, una cubierta y la caja de protección. La ausencia de partes móviles le da una característica de gran durabilidad.

El panel solar así construido juega un papel análogo al de un radiador de calefacción, pero justamente a la inversa. Así como el radiador tiene una superficie metálica diseñada para emitir el máximo de potencia calorífica a través de sus elementos, el panel solar tiene sus elementos diseñados para captar el máximo de calor y transferirlo a los tubos, los cuales precisamente alimentarán generalmente a sistemas de radiadores de calefacción, u otros servicios de agua caliente.

- **Colector plano de vacío**

Un sistema más avanzado de colector solar sin concentración es el colector plano de vacío. El diseño es muy similar al colector plano convencional, pero

---

<sup>1</sup> CARPIO IBÁÑEZ, J., CASTRO GIL, M., COLMENAR SANTOS, A., GUIRADO TORRES, R., MONOGRAFÍAS TÉCNICAS DE ENERGÍAS RENOVABLES Vol. 6, Energía Solar Térmica De Media Y Alta Temperatura

fabricado con materiales que obtienen altos rendimientos, y que poseen características especiales. Con este sistema pueden alcanzarse temperaturas de hasta 120 grados centígrados. La desventaja de este sistema radica en el empleo de materiales más costosos y el delicado proceso de vacío.

### 1.2.2 Colector Con Concentración

En los sistemas con concentración, como su nombre indica, se concentra la luz solar sobre la zona que se desea calentar. Esto se realiza mediante espejos o lentes apoyados en materiales selectivos, que calientan el líquido que circula por el interior de un tubo, en el que incide la radiación concentrada del Sol, permitiendo un mejor rendimiento que los colectores sin concentración.

Un método de concentración de los rayos solares es a través de una lente. Un pequeño vidrio magnificado concentrará suficiente calor para quemar papel o madera. Para una gran concentración la forma ideal del concentrador, desde un punto de vista óptico, es parabólico; sin embargo, para lograr esta gran concentración el reflector debe permanecer dirigido hacia el sol, y el intercambiador de calor debe estar localizado hacia su foco.

**Los colectores concentradores pueden ser de varios tipos<sup>2</sup>:**

- **Parabólicos (por reflexión)**

El colector está formado por una superficie reflectora (espejo, aluminio anodizado, etc.) de forma parabólica, que recibe los rayos solares y que merced a la propiedad de la parábola que dice que cuando los rayos son paralelos al eje de la misma se concentran en el foco de ella, dichos rayos inciden en un elemento receptor ubicado en el foco, que contiene el fluido a calentar.

- **Parabólicos (por refracción)**

El colector está formado por una lente que recibe los rayos solares paralelos y los refracta concentrándolos en un punto, donde se encuentra el elemento receptor que contiene el fluido a calentar.

- **Parabólico compuesto (C.P.C.)**

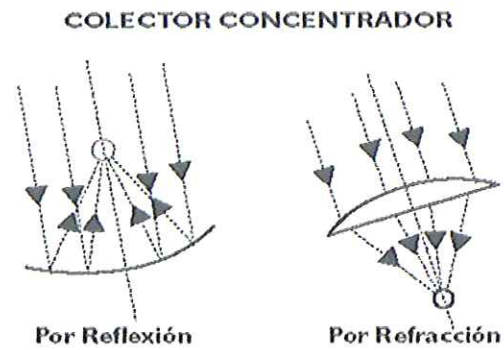
El colector está formado por dos parábolas dispuestas de tal manera que ambos ejes forman con la vertical el mismo ángulo  $\phi$ . Se demuestra que existe una vinculación entre la concentración  $C$  del colector y dicho ángulo, mediante la expresión:

$$C = \frac{1}{\text{SEN}\phi} \quad (1-1)$$

---

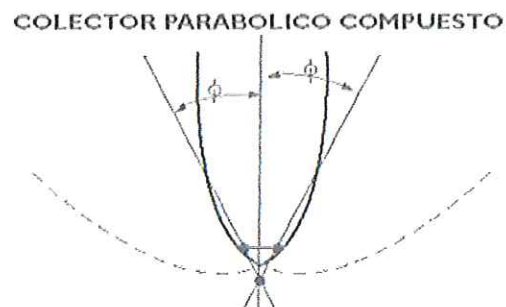
<sup>2</sup> CARPIO IBÁÑEZ, J., CASTRO GIL, M., COLMENAR SANTOS, A., GUIRADO TORRES, R., MONOGRAFÍAS TÉCNICAS DE ENERGÍAS RENOVABLES Vol. 6, Energía Solar Térmica De Media Y Alta Temperatura

Figura 1. Colector concentrador por reflexión y refracción



Tomado de: <http://www.cai.org.ar/revista/sol1064.html>

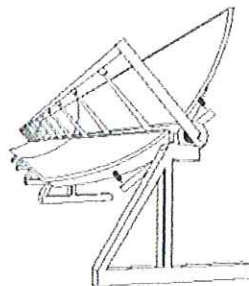
Figura 2. Colector parabólico compuesto



Tomado de: <http://www.cai.org.ar/revista/sol1064.html>

- **Parabólico con receptor de foco lineal**

Figura 3. Colector parabólico con receptor de foco lineal

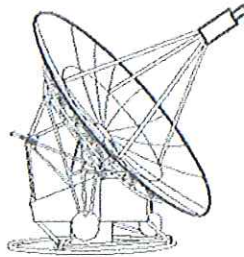


Tomado de: <http://www.cai.org.ar/revista/sol1064.html>

Se trata de un colector formado por un segmento de parábola cilíndrico que tiene su foco constituido por una tubería cilíndrica de metal por la cual circula el líquido a calentar o evaporar.

- **Plato parabólico con receptor de foco puntual**

Figura 4. Colector de plato parabólico con receptor de foco puntual



Tomado de: <http://www.cai.org.ar/revista/sol1064.html>

Se trata de uno de los pocos tipos de colectores concentradores tridimensionales y por lo tanto deben tener seguimiento solar en las dos direcciones. El receptor está en el foco del plato parabólico y es equivalente a un punto.

### 1.3 SISTEMAS CONCENTRADORES

Los concentradores ofrecen grandes ventajas para el calentamiento y enfriamiento de edificaciones:

1. La mayor colección de eficiencias está en colectores más pequeños.
2. Almacenamiento de calor más compacto.
3. Redondeo al año de la colección de calor de altas temperaturas.
4. Operación más eficiente de dispositivos de enfriamiento de absorción.

### 1.4 LAS COCINAS SOLARES<sup>3</sup>

Calentar con la energía solar es una idea que ha sido utilizada desde tiempos remotos para secar fruta, calentar agua y cocinar vegetales. Sin embargo, la primera cocina solar que utilizó tecnología moderna se atribuye a Horace de Saussure que, en 1767, fabricó una "caja solar" para cocinar.

Su popularidad ha crecido a finales del siglo XX como resultado de la desertificación<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Tomado de *magazín perspectiva ambiental*, edición número 25

<sup>4</sup> ver glosario



## Ventajas

- Estas cocinas no necesitan madera, carbón, diesel, queroseno, parafina, ni electricidad., por lo tanto son muy económicas
- La cocina siempre es segura y fácil de usar. La construcción es sencilla y estable.
- La comida no se quema y no necesita continua supervisión, permitiendo dedicar tiempo a otras tareas, y permanece caliente varias horas después de haber sido cocinada.

## Inconvenientes

- No funciona sin sol.
- Las cocinas solares del tipo de caja necesitan más tiempo para cocinar.
- No se puede freír la comida en las cajas solares.

### 1.4.1 Tipos de cocinas solares.

Figura 5. Diferentes modelos de cocinas de concentración y de acumulación

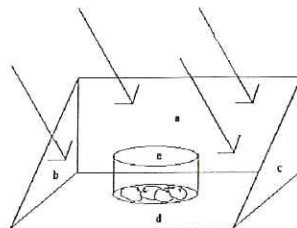


Tomado de: *Perspectiva ambiental. Pdf*

Existen dos sistemas de cocinas solares: los basados en el principio de acumulación y en el de concentración.

- **Cocina de acumulación**

Figura 6. Cocina de acumulación



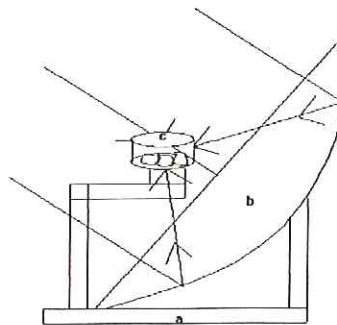
Tomado de: *La Cocina solar: El nuevo arte de cocinar de modo saludable y ecológico*, GARCIA, J.

Un recinto aislado térmicamente por todas partes, menos por la cara orientada hacia el Sol cubierta con un material transparente a la radiación solar, por lo general vidrio o plástico, nos permite recibir la energía radiante solar y almacenarla en su interior gracias al efecto invernadero.

- **Cocina parabólica de concentración**

En el segundo caso, un sistema de concentración por lo general de naturaleza parabólica intercepta también la energía radiante solar llevándola a su zona focal. De este modo se logra un elevado aprovechamiento térmico en la olla donde se concentra la energía solar.

Figura 7. Cocina de concentración

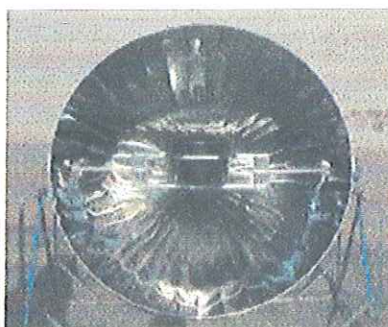


Tomado de: GARCIA, J. *La Cocina solar: El nuevo arte de cocinar de modo saludable y ecológico*

Figura 8. La cocina Scheffler



Figura 9. Versión de la cocina solar SK14 Conocida como SK98



Tomado de: *Perspectiva ambiental. Pdf*

### Ventajas y desventajas de los tipos de cocinas solares<sup>5</sup>

Cada una de estos dos sistemas ofrece ventajas e inconvenientes respecto al otro. Así, si bien la cocina de acumulación (llamada también horno solar) no alcanza las temperaturas tan altas logradas en las de concentración, no obstante facilita una cocción más suave y por ello nunca presenta el peligro de que se quemen los alimentos. A su vez, no necesita tanto cuidado en mantener una correcta orientación en la dirección del Sol. A continuación se presenta un cuadro comparativo de los dos sistemas

Tabla 1. Cuadro comparativo del uso de las cocinas solares de acumulación y concentración

<b>Valoración del uso de las cocinas solares de acumulación y de concentración</b>		
<b>Características</b>	<b>Cocina de acumulación</b>	<b>Cocina de concentración</b>
Necesidad de reorientación	Media	Alta
Facilidad de manejo	Sencilla	Regular
Estabilidad frente al viento	Buena	Baja
Temperaturas alcanzables	Regulares	Altas
Velocidad de cocción	Baja	Alta
Necesidad de vigilancia	Reducida	Elevada
Riesgo de incendio	Nulo	Posible
Precio	Bajo	Mas elevado

<sup>5</sup> Tomado de *magazín perspectiva ambiental, edición numero 25*

Mantenimiento	Muy reducido	Regular
Auto construcción	Fácil	Más complicada
Limpieza de las ollas	Sencilla	Normal
Facilidad de almacenaje	Buena	Regular

### 1.5 MOVIMIENTO RELATIVO DEL SOL Y LA TIERRA<sup>6</sup>

La tierra, además, da vueltas sobre sí misma, presenta un movimiento de rotación, con un eje de giro norte-sur que está inclinado respecto del plano de la eclíptica<sup>7</sup> un ángulo constante, es decir: en su movimiento de traslación el eje de rotación terrestre forma siempre el mismo ángulo con la perpendicular al plano de la eclíptica. Este ángulo vale 23,45°. (figura5)

Se considera que los rayos del sol, una vez en la atmósfera terrestre viajan paralelos entre sí, pues su divergencia<sup>8</sup> es muy pequeña. Cada día, a las 12 hora solar (nuestros relojes van adelantados una o dos horas respecto del horario solar) los rayos del sol forman un ángulo con el radio terrestre producto de la intersección del plano meridiano (el que contiene al eje norte-sur y al rayo solar en ese momento) con el plano del ecuador. Este ángulo es el llamado declinación (y varía entre -23,45 o para el solsticio de invierno y +23,45o para el solsticio de verano. En los equinoccios el valor del ángulo declinación es 0°. El ángulo declinación puede obtenerse por la fórmula muy aproximada de Cooper:

$$\delta = 23.45 \text{sen} \left[ \frac{284 + n}{365} \right] \quad (1-2)$$

En la que n es el día del año del 1al 365.

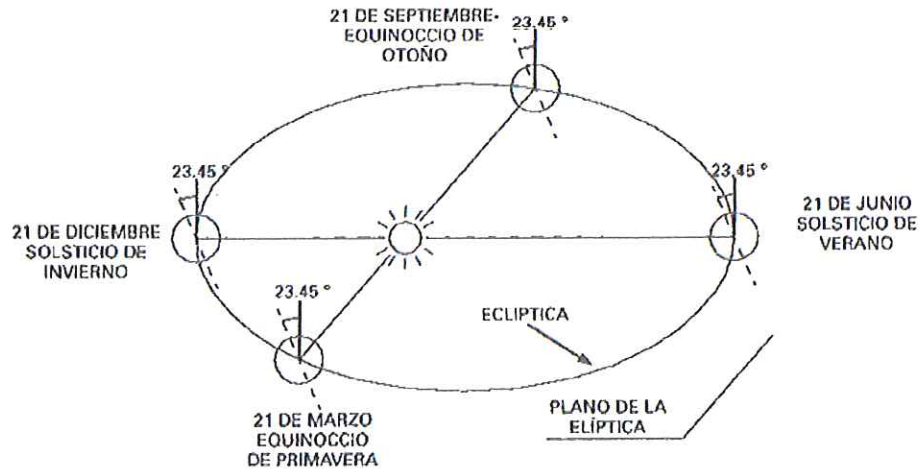
---

<sup>6</sup> Tomado de: "Energías renovables, Mario Ortega Rodríguez"

<sup>7</sup> Ver Glosario

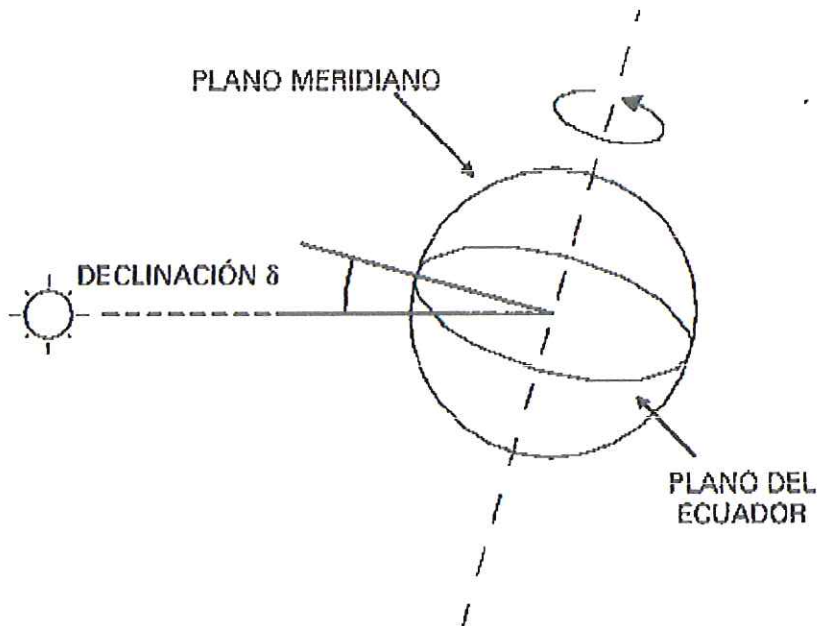
<sup>8</sup> Ver Glosario

Figura 10. Eclíptica y ángulo que forma el eje de rotación terrestre con el plano de la eclíptica.



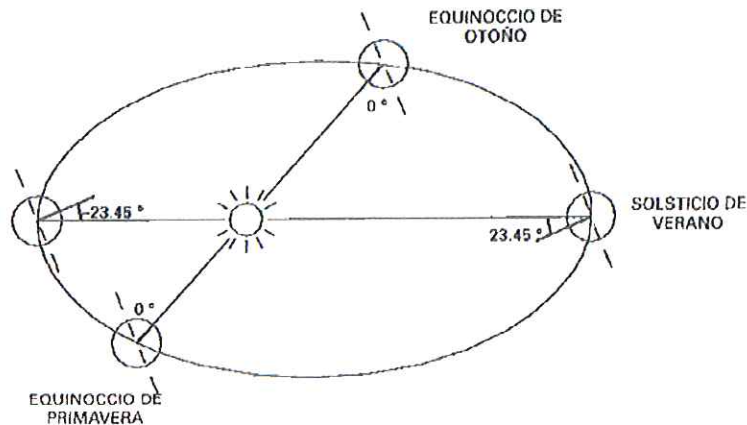
Tomado de: "Energías renovables, Mario Ortega Rodríguez"

Figura 11. Ángulo declinación



Tomado de: "Energías renovables, Mario Ortega Rodríguez"

Figura 12. Variación anual del ángulo de declinación



Tomado de: "Energías renovables, Mario Ortega Rodríguez"

El clima de la tierra está condicionado por la inclinación de su eje de giro que provoca la variación anual del ángulo de declinación. Lo anterior implica que, según la época del año, y según la latitud del lugar en que nos encontremos, el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre (sobre el plano tangente a la superficie terrestre) será mayor o menor. Los rayos inciden con menos perpendicularidad a medida que aumenta, en valor absoluto, la latitud del lugar. Un punto en el ecuador está a latitud 0°, un punto en el trópico de cáncer a +23,45°, en el de capricornio a -23,45°, en el polo norte a 90°, y en el sur a -90°.

Al estudiar la posición solar, se ve que éste es el llamado ángulo cenital<sup>9</sup> (z). Podemos observar que este ángulo varía a lo largo del año, en términos absolutos, 46,90° para cualquier lugar sobre la superficie terrestre. A las 12 hora solar el ángulo cenital (z, viene definido por la siguiente expresión:

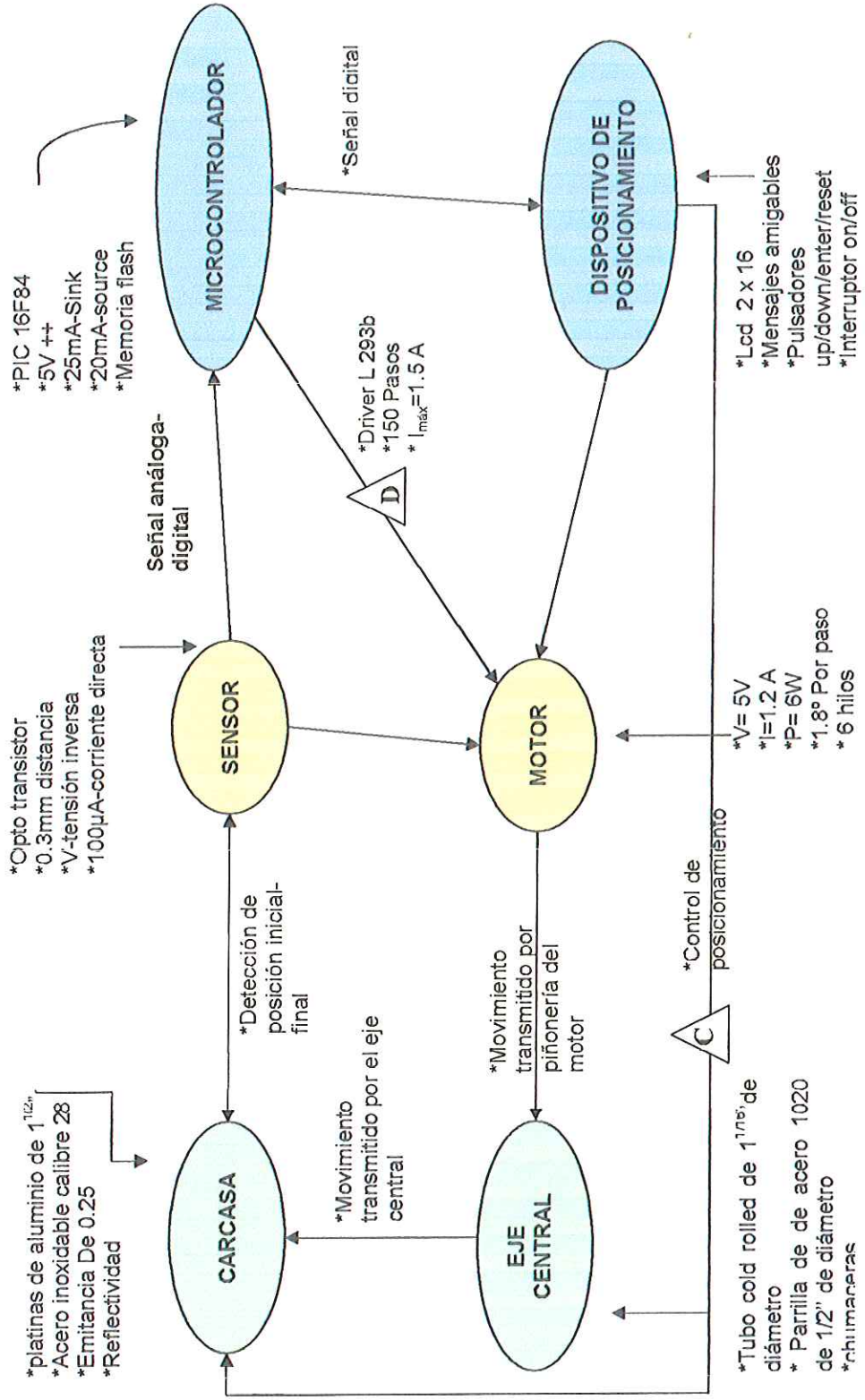
$$\theta_z = L - \delta \quad (1-3)$$

Donde L es la latitud del lugar, que se define como el ángulo que forma el radio de la tierra, que pasa por ese lugar, con el plano del ecuador.

Los valores de la tabla superiores en valor absoluto a 90° significan que no hay radiación incidente. Sabemos que en los polos hay temporadas en las que no sale el sol.

<sup>9</sup> Ver Glosario

## 2. DISEÑO MECATRONICO



El diseño mecatrónico del concentrador se realizó teniendo en cuenta tres componentes principales:

- Componente Mecánico
- Componente Electrónico
- componente de Control

Para elaborar el diseño se tuvieron en cuenta las partes que componen un concentrador solar, las cuales son:

- El concentrador parabólico: es la parte principal del sistema. En él se realiza la concentración de calor, la cual aumenta la temperatura del agua; es de forma parabólica y se compone de una circunferencia, cuatro semiarcos, y la carcasa reflectiva.
- Eje central: es el eje que soporta el concentrador, en él se ubica la olla a calentar, además, se sitúa el motor que sirve para realizar el movimiento. Se compone de un eje, una parrilla y un buje.
- Base principal: es de forma cuadrada, permite dar estabilidad al sistema ante cualquier aumento de los vientos, sobre ella se sostiene el carcasa y por medio de unas chumaceras permite el movimiento del mismo. Se compone de dos chumaceras, cuatro ruedas con freno y la base como tal.
- se eligieron los elementos necesarios para realizar el sistema de posicionamiento del concentrador, el cual se compone de un motor paso a paso, dos microcontroladores PIC 16f84, y un sensor (opto transistor), el cual permite dar la posición inicial y final del plato.



## 2.1 Componente Mecánico

### PROCESO GENERAL DE DISEÑO

#### 2.1.1 Requerimientos de diseño

A continuación se describen los parámetros básicos a tener en cuenta para la construcción de la estructura.

- El eje del concentrador parabólico puede estar situado con orientación este-oeste, norte-sur o paralelo al eje de rotación de la Tierra, pero en todo caso, necesita un sistema de seguimiento al Sol, ya sea manual o automático, para que pueda concentrar los rayos solares en el receptor.
- El concentrador está formado por un paraboloides que concentra los rayos solares en un punto donde va situado el recipiente, que capta directamente dichos rayos solares, debido a su forma parabólica, ayuda a reflejar mejor los rayos del sol que caen durante el tiempo de exposición ofreciendo un incremento en la temperatura del líquido o los alimentos a calentar.
- Los concentradores de foco lineal o puntual, utilizan solamente la radiación directa, o sea, los rayos que vienen directamente del Sol sin desviarse, pero no aprovechan la radiación difusa, debido a que estos rayos son los que se sirven en el rango de concentración
- El delta de temperatura mínimo que se desea obtener es de 50°C, teniendo en cuenta que la temperatura ambiente es de más o menos 24°C en los días soleados.  
El delta de temperatura ideal sería de 70°C, ya que con esto se obtendrían 100° C en la temperatura de salida del agua, alcanzando un alto de nivel de calentamiento.

#### 2.1.2 Lluvia de ideas

- Espejos en la zona de concentración para mayor reflexión, debido a que el espejo o vidrio posee un alto grado de reflectividad permitiendo un aumento constante de la temperatura durante cierto tiempo de exposición, la desventaja de este material es su elevado costo.
- Base en "y" para soportar la estructura, este tipo de base es similar a la base que poseen las antenas parabólicas, el inconveniente es que por su diseño no dejaba desplazar libremente el eje de calentamiento, por lo tanto este quedaba sujeto o fijo a la estructura bloqueando su movimiento.

- Láminas de acero inoxidable como segunda opción para la zona de concentración en caso de no utilizar espejos; este tipo de material posee una reflectividad y características similares a las de los espejos, y brindan mayor facilidad en cuanto a su bajo costo, su mantenimiento, y transporte.
- Movimientos de este a oeste para emular la trayectoria diaria del sol, como ya se mencionó anteriormente, es necesario tener los movimientos de desplazamiento diario del sol para poder obtener la mayor captación de energía solar posible.
- Estructura completamente desarmable; al pensar en una estructura de este tipo, lo que se busca es facilitarle al usuario el mantenimiento, transporte y cambio de piezas de la estructura, además, cada pieza que forma la estructura se elabora con materiales de fácil adquisición y costo moderado.
- Materiales livianos, se emplean para poder transportar el concentrador a diferentes partes.
- Dispositivo de control de posicionamiento; permite ubicar el sistema o concentrador de acuerdo a la trayectoria que va teniendo el sol
- Captador (olla negra, para mayor absorción), se ha comprobado que un cuerpo negro tiene mayor poder de absorción de calor, por lo tanto, el uso de una olla de color negro ayuda a conservar e incrementar la temperatura de los alimentos/líquido que se encuentren en el concentrador.
- Interfaz para permitir mayor interacción con el usuario; esta interfaz permite que el usuario digite la hora de inicio y fin de posicionamiento del sistema
- Encoder de posicionamiento; proporciona la señal necesaria para dar al dispositivo de posicionamiento la orden hasta donde debe ir o desde donde debe empezar a moverse.

### 2.1.3 Análisis de transferencia de calor

#### Capacidad Calorífica:

Se llama caloría a la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua.

$$Q = mC_e\Delta T^\circ \quad (2-1)$$

#### Donde

Q= capacidad calorífica o calor útil

M= masa del cuerpo

Ce= calor específico

$\Delta t$  = variación de temperatura ( $\Delta t^\circ = t^\circ_{\text{final}} - t^\circ_{\text{inicial}}$ )

**Por lo tanto:**

$$Q = 1Kg * 42.182KJ(Kg * ^\circ C) * (74.4 - 24.4) \quad (2-2)$$

$$Q = 2109.1kJ$$

Teniendo Q (calor útil) podemos hallar la eficiencia del concentrador:

$$\eta = \frac{Q_u}{IA} \quad (2-3)$$

**Donde:**

$\eta$  = eficiencia del concentrador

$Q_u$  = flujo de calor (Q/t)

t = tiempo necesario (seg.)

I = radiación solar

A = área del concentrador

Pd = potencia disponible (I\*A)

**Por lo tanto:**

$$Q_u = \frac{2109.1}{14400} = 0.14645833 \quad (2-4)$$

$$Pd = 0.9 * 0.52 = 0.468 \quad (2-5)$$

$$\eta = \frac{0.14645833}{0.468} = 0.3192 \quad (2-6)$$

$$\eta = 0.3192$$

**Coefficiente de pérdidas:**

$$U_L = h_w + h_r + U_{cond} \quad (2-7)$$

$$h_r = 4\sigma \bar{E}^{\delta} \quad (2-8)$$

$$U_L = \left[ \frac{A_r}{(h_w + h_{r,c-a})A_c} + \frac{1}{h_{r,r-c}} \right]^{-1}$$

**Para calcular el coeficiente de perdidas global hay que tener en cuenta:**

- Receptor cilíndrico de 200 mm de diámetro (20 cm), en este caso la olla o recipiente. Área de 0.047 m<sup>2</sup>
- Concentrador parabólico de 700 mm de diámetro (70 cm), en este caso es el absorbedor o superficie absorbente. Área de 0.52 m<sup>2</sup>
- Velocidad del viento: 1.31 m/s
- Temperatura máxima del receptor: 74C o 347 K.
- Temperatura del ambiente: 24 C o 297 K
- Emitancia de la superficie absorbente, en este caso acero inoxidable:  
 $\varepsilon = 0.25$
- Emitancia de la superficie receptora, en este caso aluminio:  
 $\varepsilon = 0.03$

**Pasos para hallar el coeficiente de pérdidas:**

1. Se supone una temperatura en el concentrador de 35 C / 308 K al ponerse al sol por primera vez T<sub>c</sub>.
2. para estimar el coeficiente de transferencia de calor del viento, es necesario encontrar el numero de Reynolds para una temperatura del aire que es el promedio entre la temperatura del concentrador y el ambiente, en este caso es de 29.5 C o 302.5 K.

$$R_e = \frac{\rho V D}{\nu} = \frac{1.16 * 1.31 * 0.7}{1.86 * 10^{-5}} = 5718 \quad (2-9)$$

**Donde**

$\rho$ : es la densidad del aire a 303K o 29.5 C  $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

D: diámetro del concentrador (m)

V: velocidad del aire  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$\mu$ : viscosidad dinámica  $\left(\frac{kg}{ms}\right)$

3. Se halla el numero de Nusselt:

$$N_u = 0.30 R_e^{0.6} \quad \text{Para } 1000 < Re < 50000 \quad (2-10)$$

$$h_w = N_u * \frac{K}{D} \quad \text{Donde K = conductividad térmica } \left(\frac{W}{mk}\right) \quad (2-11)$$

$$N_u = 0.30(5718)^{0.6} = 54$$

$$h_w = 54 * \frac{0.0265}{0.7} = 2.04 \frac{W}{m^2} \quad (2-12)$$

4. El coeficiente de radiación desde el concentrador hacia el ambiente es:

$$h_r = 4\sigma\epsilon T^3$$

Donde:

$\epsilon$  = emitancia de la superficie absorbadora 0.255

$\sigma$  = constante de Stefan Boltzmann  $5.67 \cdot 10^{-8}$

$T = 29.5 \text{ C o } 302.5 \text{ K}$

$$h_{r, c-a} = 4 * 5.67 * 10^{-8} * 0.25 * 303^3$$

$$h_{r, c-a} = 15.77 \left(\frac{W}{m^2k}\right)$$

5. El coeficiente de transferencia de calor por radiación entre el receptor y el concentrador es hallado así:

$$H_r = \frac{\sigma(T_2^2 + T_1^2)(T_2 + T_1)}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{(1 - \epsilon_2)A_1}{\epsilon_2 A_2}} \quad (2-13)$$

$$H_r = \frac{5.67 * 10^{-8} (347^2 + 308^2)(347 + 308)}{\frac{1 - 0.03}{0.03} + 1 + \frac{1 - 0.25}{0.25} + \frac{0.047}{0.52}} = 2.19$$

6. no hay transferencia por convección desde el receptor al concentrador, por lo tanto el coeficiente de perdidas global  $U_L$  basado en el área absorbida se calcula así:

$$U_L = \left[ \frac{A_r}{(h_w + h_{r, c-a})A_c} + \frac{1}{h_{r, r-c}} \right]^{-1}$$

$$U_L = \left[ \frac{0.2}{(4.54 + 15.77)0.7} + \frac{1}{2.52} \right]^{-1}$$

$$U_L = \left[ \frac{0.047}{(2.04 + 15.77)0.52} + \frac{1}{2.19} \right]^{-1}$$

$$U_L = 2.16 \left( \frac{W}{m^2K} \right)$$

7. Es necesario revisar el valor de la temperatura asumida de 35C, por lo tanto:

$$T_c = \frac{A_{rhr,r-c} + A_c (h_{r,c-a} + h_w) T_a}{A_{rhr,r-c} + A_c (h_{r,c-a} + h_w)} \quad (2-14)$$

$$T_c = \frac{2.19 * 74 + \frac{0.52}{0.047} (15.77 + 2.04) 29.5}{2.19 + \frac{0.52}{0.047} + (15.77 + 2.04)}$$

$$T_c = 30C$$

**Después de hallar el coeficiente de perdidas podemos encontrar el flujo de calor Qu teórico:**

$$Q_u = U_L * A * \Delta T \quad (2-15)$$

**Donde**

U<sub>L</sub>: coeficiente de perdidas (W/m<sup>2</sup>K)

A: área del concentrador (m<sup>2</sup>)

ΔT: delta de temperatura (C o K)

**Reemplazando:**

$$Q_u = 2.16 * 0.52 * 50$$

$$Q_u = 362.7936 \text{ W}$$

Dividiendo entre 1000

$$Q_u = 0.3627 \text{ Kwatts}$$

Teniendo el Qu teórico, podemos hallar la eficiencia térmica total del sistema

$$\eta = \frac{Q_{empririco}}{Q_{teorico}} = \frac{0.14645833}{0.3627} * 100 \quad (2-16)$$

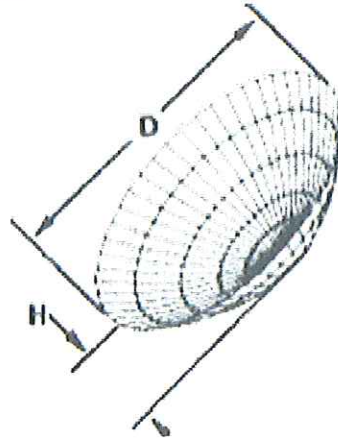
$$\eta = 40.38$$

Por lo tanto la eficiencia térmica del concentrador es **40.38%**

### 2.1.4 Área Del Paraboloides

El área del paraboloides se halla de la siguiente manera:

Figura 13. Área del paraboloides



**D = diámetro de la parábola**

**H = altura o profundidad de la parábola**

**Datos:**

$$D = 70 \text{ cm.}$$

$$H = 23 \text{ cm.}$$

**Tenemos:**

$$D^2 = 4900 \text{ cm}^2$$

$$p = 4900 \div (8 \cdot 23) = 26.63 \text{ cm.}$$

$$p^2 = 709.1569 \text{ cm}^2$$

$$p^3 = 18884.85 \text{ cm}^3$$

$$2 \cdot \pi / 3p = 0.07865 \text{ cm.}$$

$$\{(D^2 / 4) + p^2\}^3 = 7235609232, 4 \text{ cm}^6$$

$$\sqrt{7235609232, 4} = 85062.38 \text{ cm}^3$$

$$A = \frac{2 \cdot \pi}{3p} \left( \sqrt{\left( \frac{D^2}{4} + p^2 \right)^3} - p^3 \right) \quad (2-17)$$

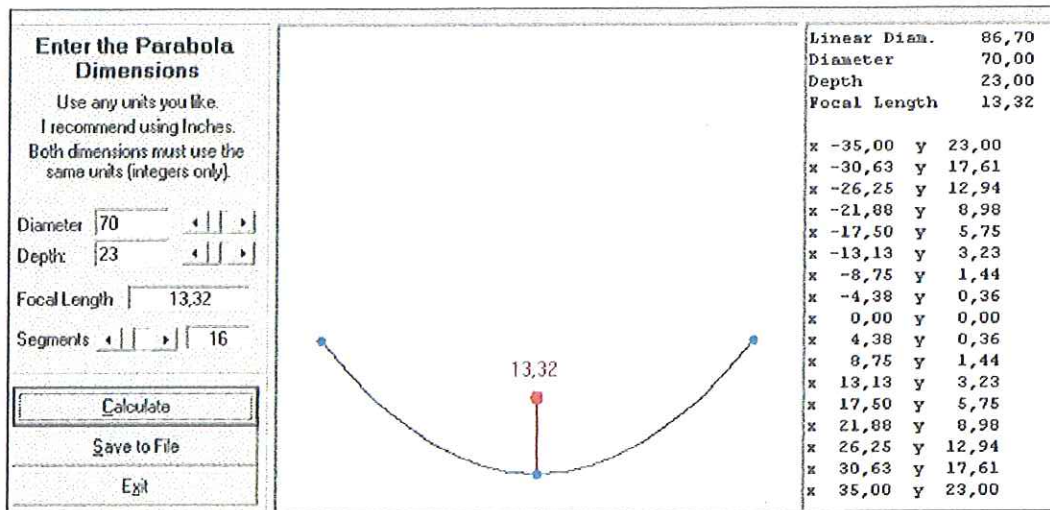
$$A = 0.07865 (85062, 38 - 18884.85)$$

$$A = 5204,86 \text{ cm}^2 = 0,5204 \text{ m}^2$$

### 2.1.5 calculo para dimensionar la parábola

Como su nombre lo indica, el concentrador parabólico fue hecho basándose en los principios geométricos de la figura conocida como parábola. Además teniendo en cuenta los modelos de concentradores solares existentes se simuló una parábola adecuada a nuestros propósitos por medio del software PARABOLA CALCULATORV1.0

Figura 14. Dimensiones de la parábola



En la gráfica se puede apreciar una ventana del programa, en este software con solo introducir el diámetro, y la profundidad de la parábola se obtiene la distancia focal de la misma, así como las coordenadas y el número de segmentos que se deseen trabajar.

Por otro lado también deja ver la ecuación para una parábola la cual es:

$$Y = a(x^2) + b(x) + c \quad (2-18)$$

Y los coeficientes para la ecuación son:

$$a = 1.87755102040816 \text{ E } -02 \quad b = 0$$

$$c = 4.75628606794516 \text{ E } -16$$



Por lo tanto la ecuación de la parábola es:

$$Y = 1.87755102040816 \text{ E } -02 (x^2) + 0 (x) + 4.75628606794516\text{E}-16$$

Después de realizar la simulación de diferentes parábolas, se seleccionó una parábola de las siguientes dimensiones.

Sus tres dimensiones principales son:

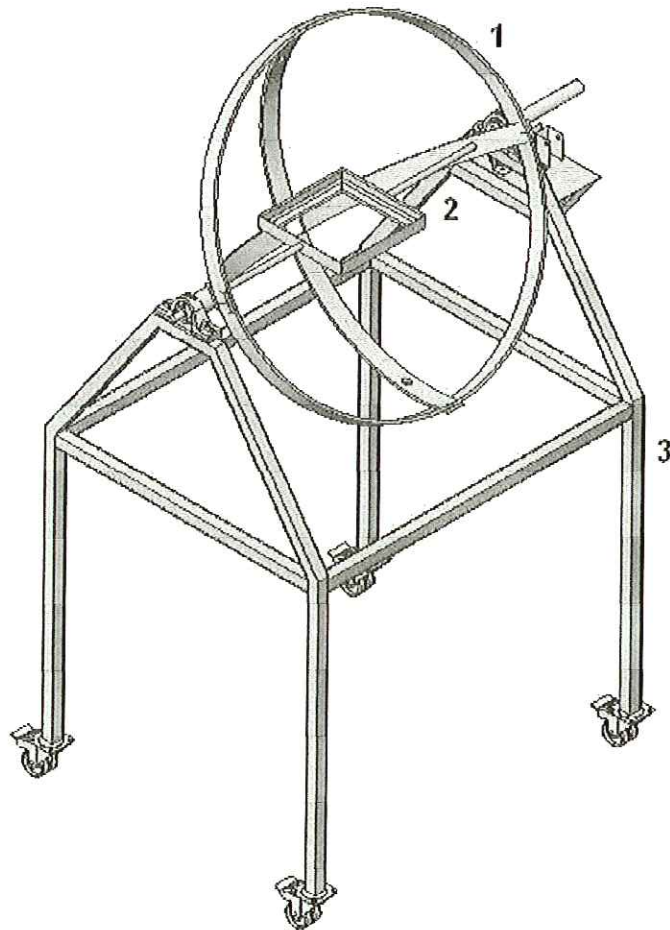
Diámetro: 70 cms

Profundidad: 23 cms

Distancia focal: 14 cms (medidos desde la parte baja hacia el diámetro de la parábola).

### 2.1.6 Diseño en Solid Works

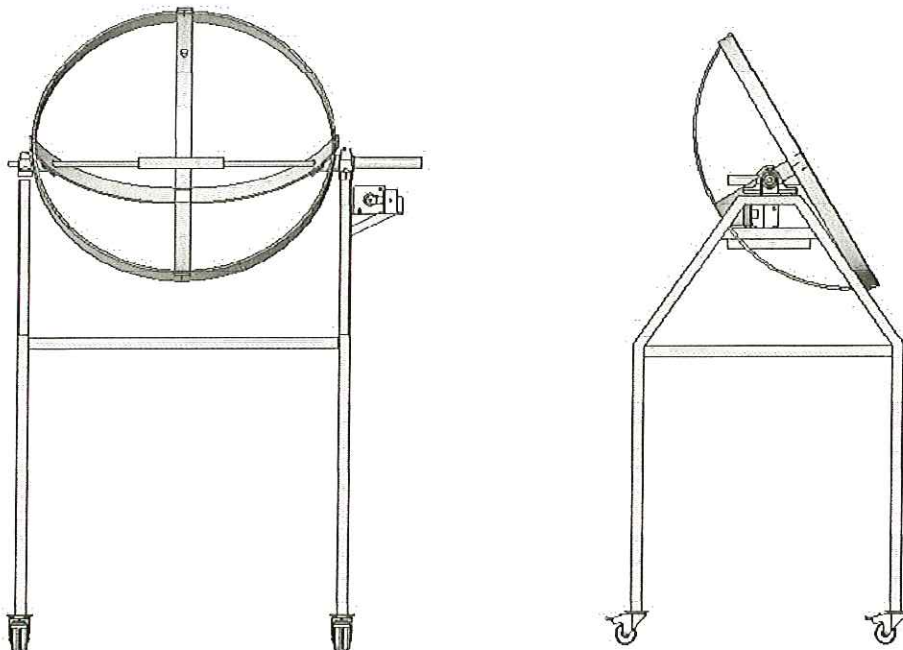
Figura 15. Vista general del concentrador



El diseño consta de tres partes importantes que se encuentran numeradas en la anterior figura:

1. El concentrador parabólico
  2. El eje central
  3. Base cuadrada.
- El concentrador es de forma parabólica y su foco es interno, es decir, que los rayos reflejados en la superficie se dirigen a un punto o foco dentro del mismo concentrador, que es donde está situada la olla de calentamiento. Se diseñó de manera que cada uno de sus componentes se pueda montar y desmontar fácilmente.
  - El eje central se dividió en dos partes, permitiendo situar la parrilla para la olla en el foco del concentrador; se diseñó de  $\frac{1}{2}$ " , pero fue necesario realizar un buje de 1" a un lado del eje, para efectuar el movimiento del cascaron por medio del motor, de esta manera, se separó el eje central del carcasa evitando que la parrilla se moviera.

Figura 16. Vista frontal y lateral derecha del concentrador



- La base de forma cuadrada brinda mayor estabilidad al sistema en caso de presentarse fuertes vientos, y también para poder ubicar el dispositivo en cualquier tipo de terreno sin correr el riesgo de que se caiga. Se elaboró con un tubo cuadrado de acero cold rolled de 1", de manera que se ajustara con facilidad al resto del prototipo.

Su estructura permite que el concentrador descansa sobre ella y a la vez realice los movimientos necesarios para posicionar el sistema. A su vez posee una platina situada a un costado, la cual permite ubicar el motor que maneja el movimiento del prototipo.

En la parte baja de la base posee dos pares de ruedas con frenos, que permiten asegurar el concentrador después de desplazarlo.

## 2.1.7 Análisis con cosmos

### ANALISIS DE ESFUERZOS DEL EJE CENTRAL (PARRILLA)

#### 2.1.7.1. Introducción

En todo tipo de estructura, como fase de diseño se estudiará las fuerzas y cargas aplicadas al eje central de la estructura del concentrador solar, a través de imágenes y datos del software.

#### 2.1.7.2 materiales

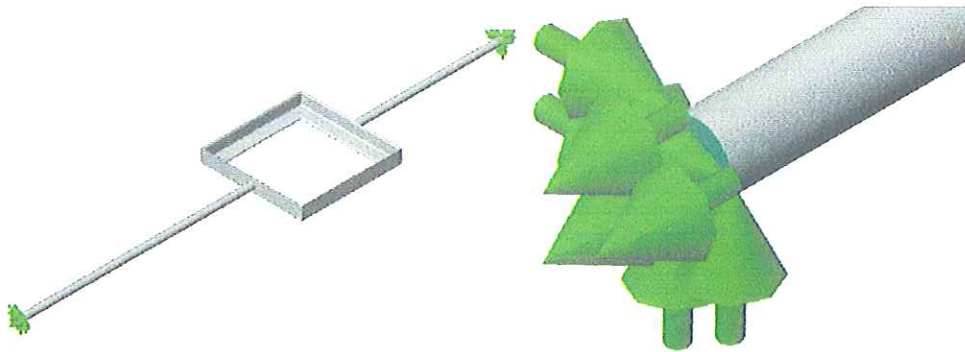
Nº	Nombre de pieza	Material	Masa	Volumen
1	EJE PARRILLA	[SW]AIS1020	1.58874 Kg.	0.000201106 m <sup>3</sup>

#### 2.1.7.3 Información de cargas y restricciones

##### RESTRICCIONES

<b>Restricción1 &lt;&gt;</b>	Activar <b>2 Cara(s)</b> inmóvil (sin traslación).
<b>Descripción:</b>	En la figura se observa las dos caras seleccionadas para las restricciones.

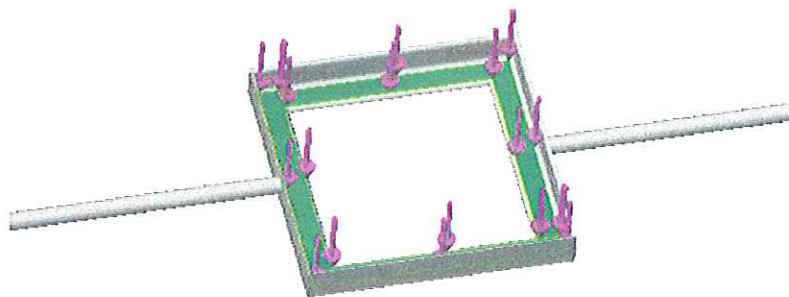
Figura 17. Restricciones para el diseño



## CARGAS

<b>Carga1 &lt;&gt;</b>	activar <b>2 Cara(s)</b> aplicar fuerza normal <b>40 N</b> utilizando distribución uniforme
<b>Descripción:</b>	Las cargas que soporta el eje, se aplican en su parte central donde encontramos la parrilla que soporta el peso de la olla.

Figura 18. Cargas Para El Diseño



#### 2.1.7.4 Propiedad del estudio

Información de malla	
<b>Tipo de malla:</b>	<b>Malla de sólido</b>
<b>Mallador utilizado:</b>	<b>Estándar</b>
<b>Transición automática:</b>	<b>Desactivar</b>
<b>Superficie lisa:</b>	<b>Activar</b>
<b>Verificación jacobiana:</b>	<b>4 Points</b>
<b>Tamaño de elementos:</b>	<b>5.8605 mm</b>
<b>Tolerancia:</b>	<b>0.29302 mm</b>
<b>Calidad:</b>	<b>Alta</b>
<b>Número de elementos:</b>	<b>11667</b>
<b>Número de nodos:</b>	<b>23525</b>

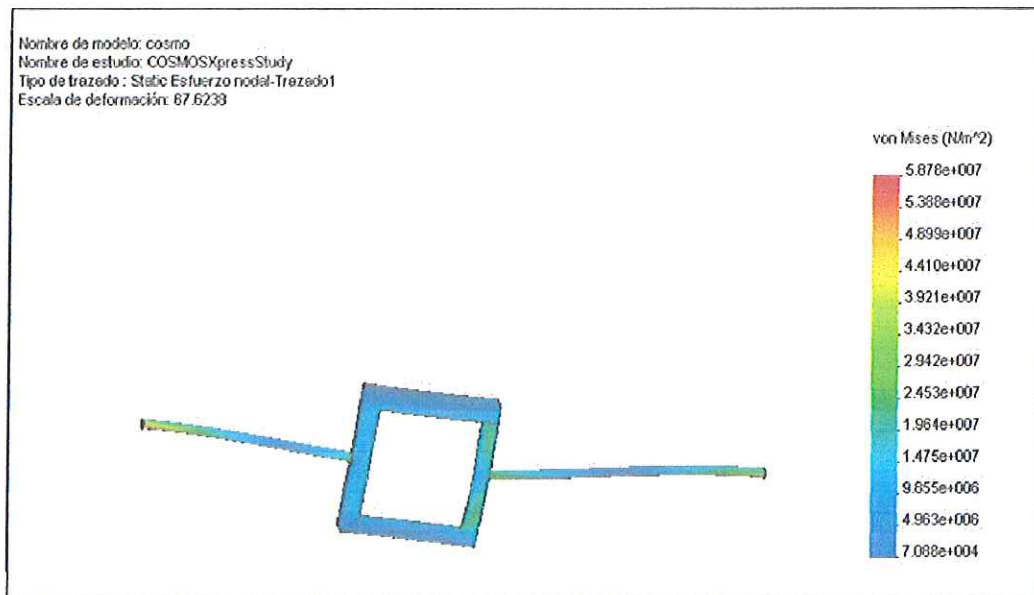
Información del solver	
<b>Calidad:</b>	<b>Alta</b>
<b>Tipo de solver:</b>	<b>Solver tipo FFE</b>

#### 2.1.7.5 Resultados de esfuerzos

Tabla 2. Refuerzos de esfuerzos

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Trazado1	VON: Esfuerzo de von Mises	70884.1 N/m <sup>2</sup>	14.4541 mm, 154.304 mm)	5.87771e+007 N/m <sup>2</sup>	(104.622 mm, 6.6761 mm, -3 mm)

Figura 19. Esfuerzo-Trazado1

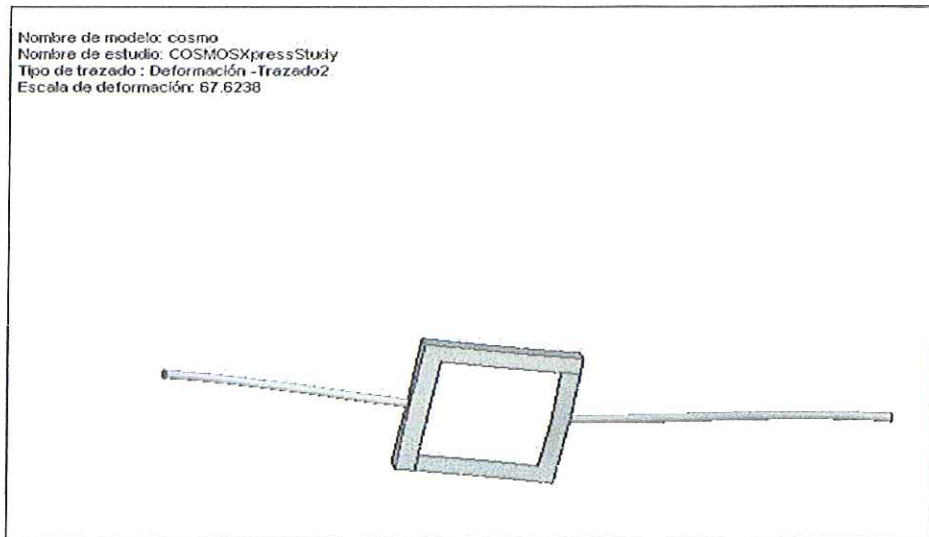


En la parte derecha de la figura se muestra que el esfuerzo máximo esta en rojo y el esfuerzo mínimo en azul, y si se observa el eje parrilla, se nota que la estructura no llega a estar en rojo, y que sus esfuerzos son mínimos, sin presentar grandes deformaciones.

#### 2.1.7.6 Resultados de deformación

Nº de trazado	Factor de escala
1	67.624

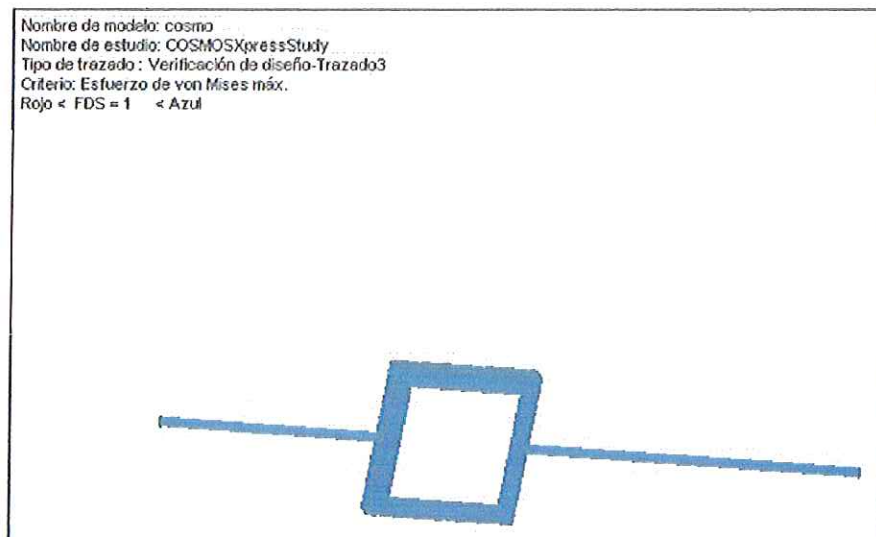
Figura 20. Deformación-Trazado2



La figura representa la escala que se manejó para dar a conocer al usuario la deformación y observándose que a mayor escala, su deformación es mínima.

### 2.1.7.7 Resultados de verificación de diseño

Figura 21. Verificación de diseño-Trazado3



En la figura se ve que el color esta totalmente azul (esfuerzo mínimo), lo que determina un factor de seguridad alto (5.9) , debido a que sobrepasa el factor propuesto para el análisis.

#### 2.1.7.8. Apéndice

<b>Nombre del material:</b>	[SW]AISI 1020
<b>Descripción:</b>	
<b>Origen del material:</b>	Utilizar material de SolidWorks
<b>Nombre de biblioteca de materiales:</b>	
<b>Tipo de modelo del material:</b>	Isotrópico elástico lineal
<b>Sistema de unidades:</b>	SI

**Tabla 3. Propiedades del análisis**

<b>Nombre de propiedad</b>	<b>Valor</b>
Módulo elástico	2e+011 N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29
Límite elástico	3.5157e+008 N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	7900 kg/m <sup>3</sup>

#### NOTA

Los resultados del análisis de diseño están basados en un análisis estático lineal y se asume que el material es isotrópico.

El análisis estático lineal presupone que:

- 1) el comportamiento del material es lineal, en consonancia con la ley de Hooke,
- 2) los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para pasar por alto los cambios en la rigidez debidos a las cargas
- 3) las cargas se aplican lentamente para pasar por alto los efectos dinámicos.



### 2.1.8 Diseño detallado

Para seleccionar los diferentes componentes del prototipo se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Funcionabilidad
- Materiales
- Peso

El diseño de la estructura<sup>10</sup> se dividió en:

- Concentrador parabólico
- Eje central
- Base cuadrada

#### 2.1.8.1 Concentrador parabólico

Figura 22. Concentrador parabólico



Debido a que el sistema requería tener ciertas divisiones para poder implementar las laminas de acero inoxidable<sup>11</sup>, se optó por seccionar la carcasa

---

<sup>10</sup> Ver anexo E

<sup>11</sup> Ver anexo F

en cuatro semi- arcos, que se unieron a una circunferencia dando la forma de la parábola requerida, como se observa en la figura 22.

El cascaron esta formado por:

- Semi-arcos
- Circunferencia
- Carcasa

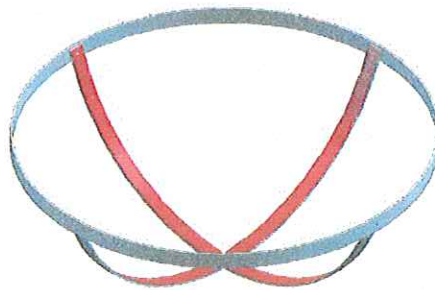
- **Semi-arcos**

Para la elaboración de cada uno de los semi-arcos se emplearon platinas de aluminio de 1<sup>1/2</sup>" (pulgada y media) de ancho x 1/8" de grosor y 23.720472 "de largo.

Para remachar los semi arcos a la circunferencia se emplearon 8 tornillos de 3/16" por 1/2 "con tuerca.

Se seleccionó aluminio debido a que este es un material sumamente liviano, ayudando a que la carcasa lo sea también, además, las platinas son de 1<sup>1/2</sup>" de ancho para poder acoplar libremente los ejes y bujes<sup>12</sup> que la atraviesan. A su vez estos semi-arcos se encuentran unidos entre si por medio de una platina cuadrada de tres por tres cms, ubicada en la parte inferior del cascaron, para unirlos se emplearon cuatro tornillos de 3/16 "por 1/2" con tuerca. Ver figura 23.

Figura 23. Arcos seleccionados en color rojo



- **Circunferencia**

Para la elaboración de la circunferencia se utilizó una platina de aluminio de 1" de ancho x 1/8" de grosor y 63,09 "de largo, dando así un diámetro de 27,55" después de realizar los dobleces necesarios.

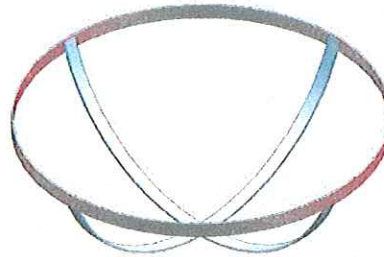
Se optó por una platina de aluminio de 1" de ancho ya que en este caso se necesitaba remachar los semi arcos en ella para dar forma al concentrador parabólico.

---

<sup>12</sup> ver glosario

La circunferencia se elaboro con dos semi-círculos unidos entre si por medio de 4 tornillos de 3/16" por 1/2 ", dos por cada lado, este diseño se hizo de esta forma para facilitar el montaje de la estructura o su desmontaje en caso de ser necesario. Ver figura 24

Figura 24. Circunferencia seleccionada en color rojo



- **Carcasa del concentrador**

La carcasa del concentrador hace referencia al material que recubre los semi-arcos y que le dan el relleno al concentrador, en este caso se empleó una lamina de acero inoxidable de 39.37 por 47.24 ", calibre 28 de espesor, dividida en 4 secciones correspondiendo cada una a un semi arco, creando así una estructura cuya reflexión semeja el funcionamiento brindado por un espejo.

Para el proyecto se emplearon las láminas de acero inoxidable debido a que la elaboración de los espejos adecuados para la estructura elevaban los costos a un nivel tal que no justificaba realizar dicha inversión, debido a que el vidrio es un material sumamente frágil y costoso.

Después de realizar una serie de pruebas se decidió remachar cada una de las secciones de la siguiente manera:

- Para unir las secciones con la circunferencia se emplearon 20 tornillos de 1/8" por 1/2" de diámetro con tuerca, es decir, 5 tornillos por sección.
- Para unir las secciones con los semi-arcos se emplearon 8 tornillos de 1/8" o 1/2" de diámetro con tuerca por cada sección, es decir 32 tornillos en total.

Ver figura 25

Figura 25. Una sección de la lámina empleada en el concentrador



### 2.1.8.2 Eje central del concentrador

Figura 26. Eje central



Debido a que el concentrador será utilizado para calentar agua y alimentos, fue necesario implementar un eje central que atravesara el cascaron, y sobre el cual va montada la parrilla para el recipiente. Este eje permitirá el libre movimiento del sistema quedando fijo para evitar que se vierta el contenido de la olla.

Para realizar el movimiento, se implementó un buje en cuyo interior pasará el eje central.

- **Eje central (parrilla)**

Se elaboró con una varilla de acero 1020 de 1/2" de diámetro por 1 m de largo, este eje se divide en dos partes que se encuentran unidas por medio de la parrilla para la olla.

El eje se dividió en dos partes:

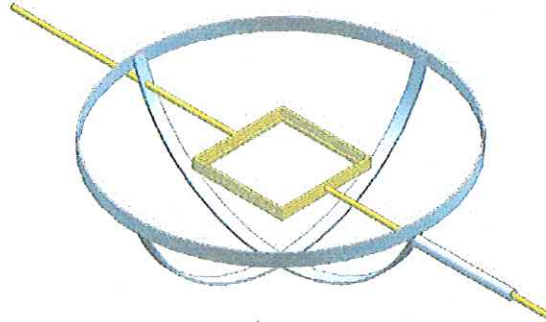
- 11.81" de varilla al lado izquierdo
- 19.68" al lado derecho
- 7.87" en el centro donde se ubica la parrilla.

Los 19.68" del lado derecho son para permitir colocar un buje sobre el cual va el mecanismo del motor.

En este caso el material seleccionado fue acero inoxidable, pero por su costo y por ser tan pequeño el diámetro fue de difícil adquisición, por lo tanto se le hizo

un revestimiento de galvanizado<sup>13</sup> para evitar su daño con el contacto del medio ambiente. Ver figura 27

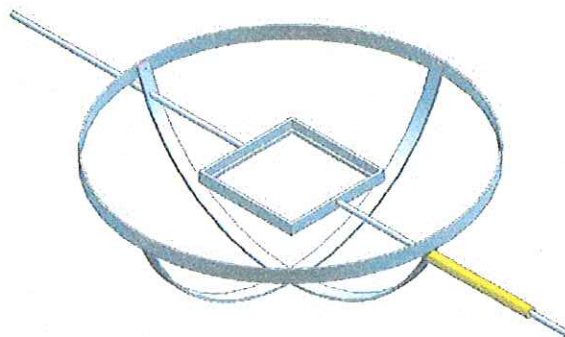
Figura 27. Eje central (parrilla) seleccionado en color amarillo



- **Buje**

Se elaboró con un tubo cold rolled de  $1^{1/16}$ " de diámetro y 5.51" de largo, se soldó a una platina cuadrada de 1.57 X 1.57", y esta a su vez, se sujetó a uno de los semi-arcos por medio de dos tornillos  $1/8$ " por  $1/2$ " con tuerca, con el fin de sujetar el cascaron y así poder realizarle el movimiento por medio de un rodamiento de bola de 0.86" de diámetro exterior por 0.34" de diámetro interior Ver Fig. 28

Figura 28. Buje seleccionado en color amarillo



---

<sup>13</sup> ver glosario

### 2.1.8.3 BASE CUADRADA

Figura 29. Base cuadrada



La base se elaboro en tubo cuadrado de acero cold rolled de 1", de manera que se acoplara con facilidad al resto del prototipo.

En la parte superior posee un par de chumaceras, que permiten el libre movimiento del concentrador, sin perder el movimiento que se desea.

En la parte inferior cuenta con dos pares de ruedas con su respectivo freno para asegurar el concentrador y moverlo con mayor facilidad, siendo esto útil, sobretodo para lugares donde el terreno no brinda las mayores condiciones como para desplazar el prototipo.

A un costado de la base, va soldada una platina que permite ubicar el motor que realiza el movimiento del sistema.

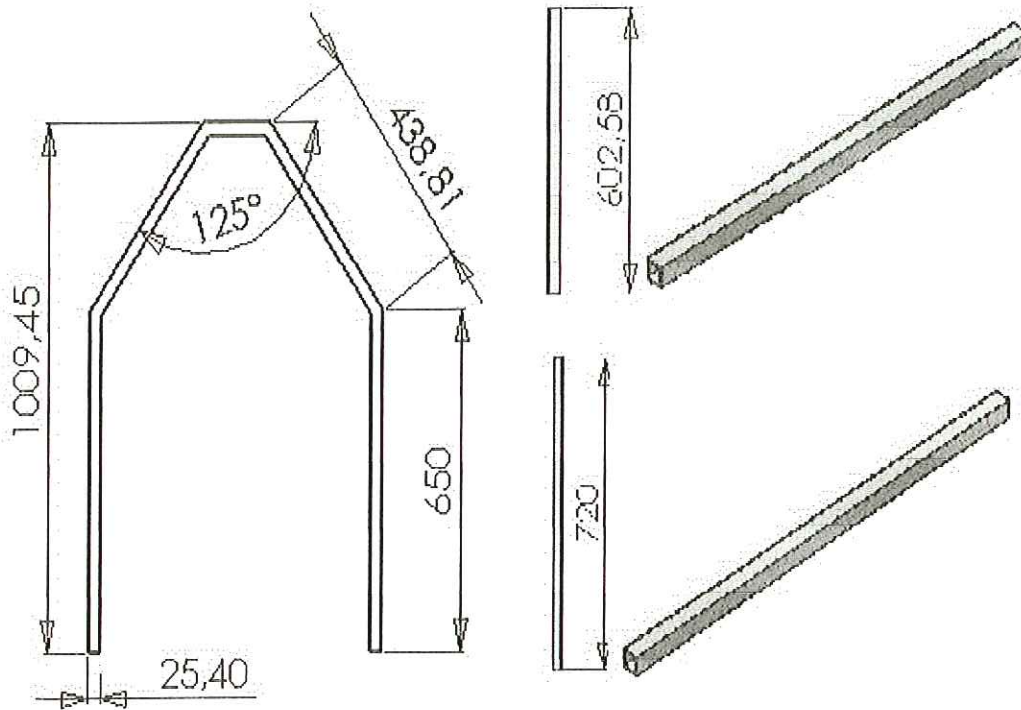
Su diseño se dividió en:

- Base cuadrada
- Chumaceras
- Ruedas para soporte

- **BASE CUADRADA**

Las medidas de la base se presentan en el siguiente plano<sup>14</sup>

Figura 30. Detalle plano de la base cuadrada



Los materiales empleados para la base son los siguientes:

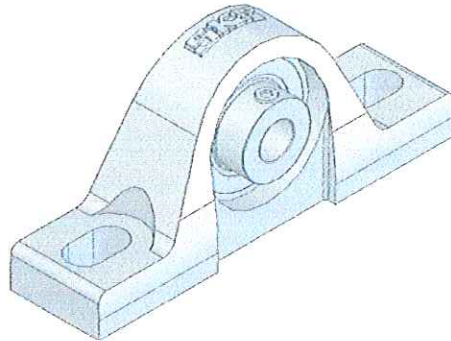
Un tramo de 6 metros de tubo cuadrado cold rolled de 1" Soldadura.

- **Chumaceras**

Las chumaceras se usaron para soportar el eje central del concentrador, permitiendo el movimiento del plato, dejando quieta la parrilla de calentamiento.

<sup>14</sup> Ver plano completo en el ANEXO C

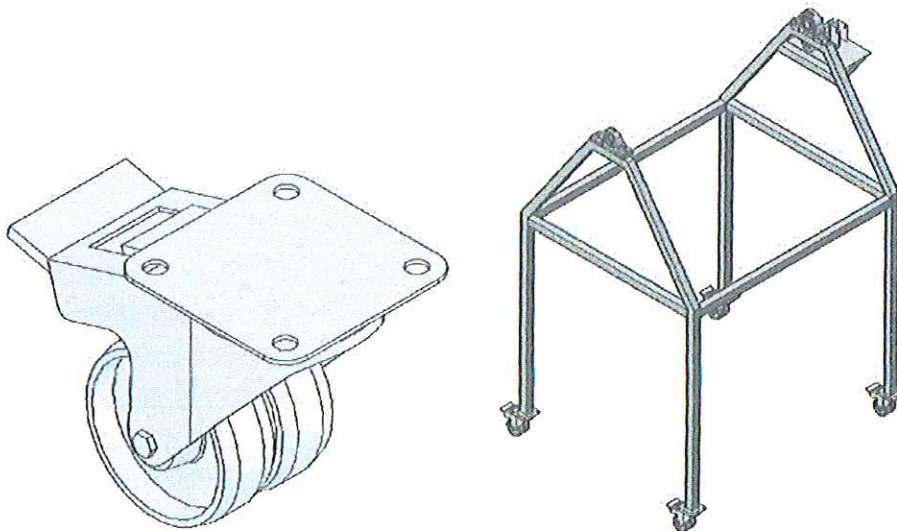
Figura 31. Chumacera



Para la base se emplearon 2 tipos de chumaceras, una de  $\frac{1}{2}$ " y la otra de 1", la de  $\frac{1}{2}$ " se uso para sostener el eje central, y la de 1" para soportar el buje que permite encajar el motor con el concentrador.

- **Ruedas para el soporte de la base**

Figura 32. Rueda, base con ruedas



Como se observa en la figura anterior, se utilizaron 4 ruedas de 1.18" (3cm) de diámetro con su respectivo freno.

El uso de estas ruedas hace más cómodo el transporte del prototipo, y el freno ofrece al usuario confianza, debido a que se puede ubicar en todo tipo de terreno, sin el riesgo de que se rueda o se caiga.

Las cuatro patas de la base, llevan soldadas unas platinas de 2\*2 cm, que permitieron unir las ruedas al dispositivo por medio de unos puntos de soldadura.



**Pesos de cada componente:**

- Cascaron: tres (3.25) kilogramos
- Eje central: 1 kilogramo
- Parrilla: 1 kilogramo
- Base cuadrada: 3 kilogramos

**Peso total del concentrador: 8.5 kilogramos.**

**2.1.9 Lista De Materiales Empleados**

- Platina de aluminio  
Medidas: 1 ½" por 1/8" y 602.25cms de largo  
Cantidad: 1  
Medidas: 1" por 1/8" y 160cms de largo  
Cantidad: 1
- Lamina de acero inoxidable<sup>15</sup>  
Calibre: 28  
Medidas: 1m por 1.20cms
- Varilla de acero 1045  
Medidas: 3/8" de diámetro y 1m de largo  
Cantidad: 1
- Tubo cold rolled  
Medidas: 1 1/16" de diámetro y 14cms de largo  
Cantidad: 1
- Tornillos  
Medidas: 1/8" por 1/2" con tuerca  
Cantidad: 30
- Tubo cuadrado  
Medidas: tramo de 6 metros de 1"  
Cantidad: 1
- Chumaceras:  
Medidas: ½" y 1"  
Cantidad: una de cada una
- Ruedas con freno:  
Medidas: 1.18" (3cm)  
Cantidad: 4

---

<sup>15</sup> Ver anexo F

## **2.2 Componente Electrónico y de control**

### **PROCESO GENERAL DE DISEÑO**

#### **2.2.1 Requerimientos de diseño**

- El concentrador necesita un sistema de seguimiento del Sol, ya sea manual o automático, para que pueda concentrar los rayos solares en el tubo o captador.
- Interfaz grafica para un mejor manejo del concentrador y facilidad para el usuario.
- Movimiento de este a oeste, para posicionar el concentrador.

#### **2.2.2 Selección de alternativas**

Para seleccionar los diferentes componentes del diseño electrónico se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Funcionabilidad
- Materiales
- Peso

Los componentes seleccionados fueron los siguientes:

##### **2.2.2.1 Motor**

Para lograr el movimiento necesario para la perfecta ubicación del colector, se necesitó un motor el cual se encuentra en la platina de la base soporte del carcasa, generando el movimiento este a oeste simulando así la salida del sol y su ubicación diaria hasta la puesta del mismo. Para este caso se empleo un motor paso a paso con reducción de engranajes par obtener una mayor precisión.

##### **2.2.2.2 Microcontrolador**

Es el dispositivo que nos permite controlar el funcionamiento del colector. Se seleccionó el PIC 16f84 para manejar el motor y con otro de los mismos se maneja el LCD; lo que se hace es enviar un bit del PIC del motor al PIC del LCD para que este sepa cuando debe mostrar los mensajes en la pantalla.

### 2.2.2.3 Interfaz

Esta conformada por un visualizador, en este caso un LCD de 2 líneas x 16 caracteres, en el cual se irán observando mensajes para que el usuario realice los pasos de funcionamiento correctamente y así se pueda poner a funcionar el dispositivo, esto por medio de una serie de botones que permiten al usuario cuadrar las horas de inicio y de fin del dispositivo, así como los botones de reset e inicio.

### 2.2.2.4 Sensor

En este caso se selecciono un opto transistor parecido al CNY 70<sup>16</sup> cuyo objetivo principal es poder dar la pauta para iniciar y terminar el ciclo de posicionamiento, es decir, permite dar la posición de inicio y fin del concentrador, trabajando en conjunto con un encoder para poder terminar el ciclo.

## 2.2.3 Diseño detallado

Los anteriores elementos mencionados conforman el dispositivo de posicionamiento que funciona de la siguiente manera:

### 2.2.3.1 Dispositivo de posicionamiento

El funcionamiento es el siguiente: Por medio del microcontrolador se genera un programa que contiene los ángulos necesarios para determinar la posición solar diaria.

Para realizar esto se tuvo en cuenta que el sol tiene máximo 12 horas de luz en un día y se desplaza 180° del este al oeste, es decir desde el amanecer hasta el anochecer, por lo tanto si se tienen 180° de desplazamiento divididos en las 12 horas de iluminación, nos da un desplazamiento de 15° por hora.

Todo esto está fundamentado en los principios de la dirección de emisión de radiación<sup>17</sup> que dice:

Las relaciones geométricas entre un plano de cualquier orientación relativa en particular hacia la tierra a cualquier hora, y la emisión de radiación solar entrante, que es, la posición del sol relativa a este plano, puede ser descrita en términos de varios ángulos. Estos ángulos y las relaciones entre ellos son a continuación:

- Latitud ( $\Phi$ ): es la locación angular al norte o al sur del ecuador. al norte positivo,  $-90^\circ \leq \Phi \leq$
- Declinación ( $\delta$ ): es la posición angular del sol al mediodía solar con respecto al plano del ecuador.  $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$

---

<sup>16</sup> Ver anexo D

<sup>17</sup> tomado de DUFFIE John A., BECKMAN William A., *Solar Engineering of Thermal Processes*

- Pendiente ( $\beta$ ): es el ángulo entre la superficie del plano en cuestión y la horizontal.  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ .
- Angulo horario ( $\omega$ ) : es el desplazamiento angular del sol de este a oeste del meridiano local debido a la rotación de la tierra en su eje esto es  $15^\circ$  por hora, en la mañana negativo y en la tarde positivo.
- Angulo de incidencia ( $\theta$ ): es el ángulo entre la emisión de radiación en una superficie y la normal a la superficie.

Para el concentrador se utilizó el ángulo horario  $\omega$ , debido a que Colombia se encuentra cerca de la línea del ecuador y por lo tanto la latitud es casi despreciable.

En caso de ubicar el concentrador en otro lugar que se encuentre lejos del ecuador se tiene que tener en cuenta la latitud para poder dar la inclinación necesaria al concentrador, logrando una mayor recepción de la luz solar.

### 2.2.3.2 Características del dispositivo

Para lograr un posicionamiento del dispositivo con respecto al sol, se empleó un motor paso a paso con un sistema de engranes, los cuales permiten dar fuerza y resistencia al movimiento del colector.

Los datos del motor son los siguientes:

- 5.0 v
- 1.0 A
- $1.8^\circ$  por paso.

La relación de transmisión consta de 4 piñones y un tornillo sin fin, que actúan como un reductor. La reducción es de 9:1 vueltas, es decir que el piñón de entrada da 9 vueltas por una del piñón de salida.

Para realizar la programación del microcontrolador se ejecutaron las siguientes relaciones:

- Si el motor da una vuelta a la salida por cada nueve vueltas que da a la entrada tenemos que:

$$9\text{ventrada} \rightarrow 1\text{vsalida}$$

$$9\text{ven} \rightarrow 360^\circ$$

$$\text{Por lo tanto } 3240^\circ \text{ entrada} \rightarrow 360^\circ \text{ salida}$$

$$1\text{ven} \rightarrow x$$

$$x = 3240^\circ$$

Si un paso del motor es  $1.8^\circ$ , averiguaremos cuantos pasos son  $3240^\circ$ :

$$1p \rightarrow 1.8^\circ \text{ entrada}$$

$$X \rightarrow 3240^\circ \text{ entrada} \quad \text{Por lo tanto } 9\text{ventrada} \rightarrow 1800\text{pasosentrada}$$

$$X = 1800\text{pasos}$$

Si 3240° a la entrada equivalen a 360° a la salida, averiguaremos cuantos grados a la entrada equivalen 15° a la salida:

$$3240^\circ \rightarrow 360^\circ$$

$$X \rightarrow 15^\circ \quad \text{Por lo tanto } 15^\circ \text{ a la salida equivalen a } 135^\circ \text{ a la entrada}$$

$$X = 135^\circ$$

Estos son los grados necesarios para darle la ubicación al concentrador de 15° con respecto al sol cada hora.

Ahora se hará lo mismo pero para saber la equivalencia de estos grados con los pasos que dará el motor.

$$150 \text{pasos} \rightarrow 135^\circ \text{ salida}$$

$$1 \text{paso} \rightarrow X$$

$$X = 0.9$$

Por lo tanto:

$$0.9^\circ \rightarrow 1 \text{paso}$$

$$3240^\circ \rightarrow X$$

$$X = 3600 \text{pasos}$$

Si 3600 pasos son una vuelta se tiene que:

$$3600 \text{pentr} \rightarrow 360^\circ \text{ salida}$$

$$X \rightarrow 1^\circ \text{ salida}$$

$$X = 10 \text{pasos}$$

$$1^\circ \text{ salida} \rightarrow 10 \text{pent}$$

$$15^\circ \text{ salida} \rightarrow X$$

$$X = 150 \text{pasos}$$

Por lo tanto el PIC da 150 pasos para obtener a la salida el desplazamiento del concentrador de 15 ° necesarios para emular la trayectoria del sol diaria.

A continuación se muestra una tabla con las relaciones obtenidas:

Tabla 4. Relación pasos / grados para el movimiento del motor

HORA AM/PM	Grados de desplazamiento del sol por hora	Grados del motor entrada	Grados motor salida	PASOS PIC
7 AM	15°	0°	0°	0
8 AM	30°	135°	15°	150
9 AM	45°	270°	30°	300
10 AM	60°	405°	45°	450
11 AM	75°	540°	60°	600
12 M	90°	675°	75°	750
1 PM	105°	810°	90°	900
2 PM	120°	945°	105°	1050
3 PM	135°	1080°	120°	1200
4 PM	150°	1215°	135°	1350

### 2.2.3.3 Modo de operación y panel de control del dispositivo

El dispositivo se controla por medio de un programa de temporización, donde se especifica cuantos pasos se debe mover el motor cada hora para obtener los 15° de desplazamiento. El programa fue hecho basándose en las relaciones matemáticas mostradas anteriormente, realizando el control sobre el motor paso a paso, es decir, teniendo en cuenta un sistema en lazo abierto.

En este caso el control del sistema es muy simple, debido a que no se trabajo con dispositivos externos, es decir, el sistema no depende de ciertos factores (tales como foto celdas o temperatura) para realizar su trabajo.

Se puede utilizar un sensor que capte la intensidad de luz, permitiendo el desplazamiento del dispositivo hacia el lugar donde este sensor indique que hay mayor concentración de luz solar, o un motor de corriente continua para el dispositivo de posicionamiento, en cualquiera de los casos anteriores, el control del dispositivo seria un poco mas complejo ya que seria en lazo cerrado<sup>18</sup>.

El panel de control del dispositivo (ver figura 33), trabaja de la siguiente manera:

Para iniciar el sistema de posicionamiento del motor, se energiza el sistema, inmediatamente se enciende el led 1 el cual nos indica que hay que configurar la hora de inicio. Con los pulsadores UP o DOWN se desplaza el cursor dentro del rango de 7 a 16 (7:00 AM a 4:00 PM), rango dentro del cual se puede escoger la hora de inicio del sistema; escogida esta hora, se pulsa el botón ENTER para registrar el dato ingresado anteriormente; enseguida se enciende el led 2 el cual nos indica que hay que configurar la hora final, para esto se

<sup>18</sup> Ver Anexo H

procede de la misma manera que con la hora de inicio, por último se encenderá el led de motor en marcha y el sistema empieza a operar.

El dispositivo de posicionamiento presenta la opción de mover el plato por medio de los pulsadores, sin tener que manipular el motor, evitando que se pueda dañar.

Este movimiento se realiza oprimiendo reset, y pulsando los botones up o down según la posición que se requiera.

Figura 33. Panel de control del dispositivo.



Como se observa en la figura, el panel de control se construirá de manera que cualquier persona sea capaz de manejarlo sin dificultad.

En él se ven los botones de up, down y enter que son los que sirven para digitar las horas de inicio y fin, las cuales se observaran por medio de los leds ubicados en la parte baja.

Los leds 1,2 y motor en marcha, indican que ya se digito la hora de inicio de fin y que el sistema se encuentra trabajando.

El LCD crea un entorno amigable, ya que permite visualizar en la pantalla una serie de mensajes que guían al usuario en el funcionamiento del sistema:

"BUENOS DIAS"  
"SITUE EL PLATO"  
"DIGITE LA HORA DE INICIO"  
"DIGITE LA HORA FINAL"  
"TRABAJANDO"

El mensaje sitúe el plato, indica que el plato no se encuentra en la posición inicial y por lo tanto es necesario posicionarlo. Esto es en caso de que el concentrador haya sido desarmado o no se hubiera calibrado bien el sensor en la posición de inicio.

### 2.3 PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO

MECÁNICA			
CANTIDAD	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN	COSTO
1	Lamina brillante de acero inoxidable	Calibre 28. 1m por 120cm	34.000
2	Platinas de aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ½" Por 1/8" y 23.72" de largo</li> <li>• 1" por 1/8" y 63,09" de largo</li> </ul>	25.000
44	Tornillos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3/16" por 1/2" con tuerca</li> <li>• 1/8" por 1/2" con tuerca</li> <li>• 1/4" por 1/2" con tuerca</li> <li>• Prisioneros</li> </ul>	10.000
1	Varilla de acero 1045	3/8" de diámetro y 39.37 "de largo	7.000
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo de 1 1/16" de diámetro y 5.51" de largo</li> <li>• Tubo macizo de 1 3/8" de diámetro y 19.68" de largo</li> </ul>	15.000
1	Platina col rol	• 7.87" de ancho por 7.87" de largo calibre 22.	5.000
2	Chumaceras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chumacera de ½"</li> <li>• Chumacera de 1"</li> </ul>	30.000
1	Olla	En aluminio	8.000
1	Estufa	En hierro	15.000
1	Motor	Paso a paso	20.000
2	Bandas	5,59" dentadas y 5,906"	10.000
2	Piñones	Juego de rueda y piñón en aluminio	10.000
	Mano de obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doblez y corte de las platinas de aluminio.</li> <li>• Torno</li> <li>• Taladrado</li> </ul>	150.000
	Galvanizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tornillos</li> <li>• Platinas de col rol.</li> <li>• Base</li> <li>• Ejes</li> <li>• Estufa</li> </ul>	70.000
2	Tubo cuadrado	• Tramos de 6 mts	36.000
4	Ruedas	• Rueda con seguro	20.000



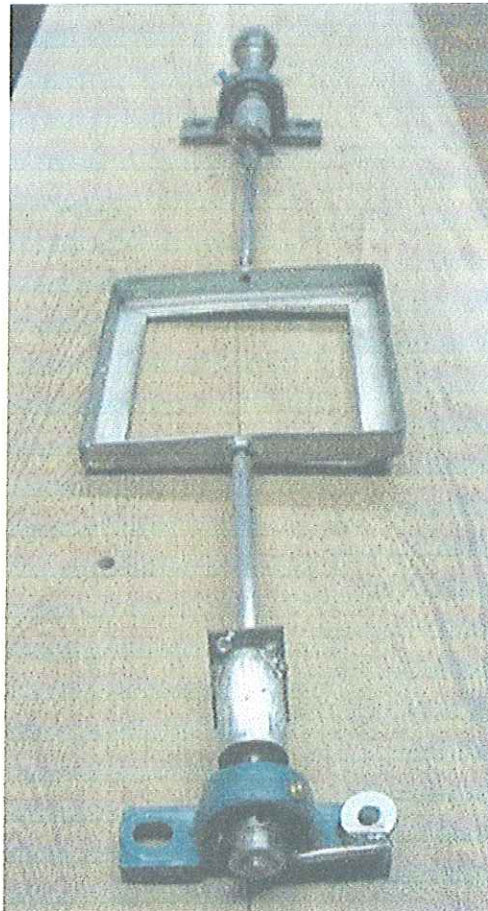
	Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pintura</li> <li>• Tiner</li> <li>• Brilla metal</li> </ul>	25.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 490.000</b>
<b>ELECTRÓNICA</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>COSTO</b>
2	Protoboard	Color Blanco	30.000
2	Microcontrolador	PIC 16F84	24000
	Interruptores, leds, cables, etc.		20.000
1	LCD	2 por 16	25.000
1	Integrado	L293b	10.000
	Otros	Compuertas, cable, etc.	15.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 124.000</b>
<b>PAPELERÍA</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>COSTO</b>
1	Resma	Papel tamaño carta para imprimir	12.000
	Trabajo escrito	A color, empastado, y material fotocopiado.	140.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 152.000</b>
<b>GRAN TOTAL</b>			<b>\$766.000</b>

### 3. CONSTRUCCION Y PRUEBAS

#### 3.1 CONSTRUCCION

A continuación se presentan las graficas, que son el resultado de la construcción del diseño del prototipo de un concentrador solar para el calentamiento de agua y de alimentos.

Figura 34. Eje central



En la gráfica se aprecia el eje central, con la parrilla de calentamiento, así como el soporte para el eje (parte debajo de la grafica) y el buje para el motor (parte superior de la grafica).

Asimismo se pueden ver las chumaceras de  $\frac{1}{2}$ " y de 1" que sirven para soportar el eje.

Figura 35. Eje central, olla, motor



En la grafica se observa otra imagen del eje central, desarmado y unido al soporte y al buje respectivamente (imagen de la izquierda).

En la otra imagen derecha se tiene un pequeño despiece del eje junto a la olla de calentamiento y el motor.

Figura 36. Carcasa



La grafica muestra una vista general de la carcasa del concentrador, en esta imagen se observa la superficie reflectora<sup>19</sup> y los cuatro semiarcos en los que se dividió el concentrador, a su vez se observan los remaches realizados para unir la superficie con los semiarcos.

---

<sup>19</sup> Ver Anexo F

Figura 37. Carcasa



En esta fotografía se puede apreciar una parte de la circunferencia y los remaches para unirla con los semiarcos.

Figura 38. Base Cuadrada



En la imagen se muestra la base cuadrada, con la base para el motor (parte superior izquierda), las cuatro ruedas con frenos.

Figura 39. Concentrador solar



En las dos imágenes se observa el concentrador solar después de su construcción, en ellas se puede apreciar el concentrador parabólico, el eje central y la base cuadrada, así como la olla en la cual se va calentar el agua, la parrilla para el motor y las ruedas que aportan seguridad al prototipo.

### 3.2 PRUEBAS

Se realizaron dos pruebas principales para determinar el funcionamiento del prototipo

- **Prueba numero 1**

Para esta prueba, se utilizaron dos recipientes con agua, uno se colocó directamente al rayo del sol, y el otro se puso dentro del concentrador. Esta prueba se realizó para comparar la concentración de calor en los recipientes, aclarando que el líquido que se encontraba dentro de los recipientes estaba a temperatura ambiente.

- **Prueba numero 2**

Para esta etapa se trabajó solo con el recipiente ubicado dentro del concentrador, se procedió a introducir un litro de agua a temperatura ambiente dentro de la olla, y pasado un rato se le fueron adicionando alimentos para ver que tanto incrementaba la temperatura del agua y a su vez como se calentaban los alimentos.

### 3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

#### Resultados de las primeras pruebas

- La temperatura inicial del agua sin concentración fue de 23.6 °C y la del agua en el concentrador fue de 24.8
- Se realizaron pruebas entre las 9:00am y las 12 m, observando que la temperatura del agua en el concentrador aumentó 35 grados en un rango de 40 minutos (paso de 24.8°C a 59.1°C); por otro lado la temperatura del agua sin concentración aumento 8 grados en un rango de 30 minutos.
- La temperatura inicial del agua en el concentrador era de 24.8° c y la temperatura final fue de 74.7° C, siendo estas la temperatura mínima y máxima durante la prueba.
- Después de una hora de pruebas, el agua que se encontraba sin concentración subió su temperatura 14°, manteniéndose así hasta el final de las pruebas.

Tabla 5. Datos de temperatura de la olla sin concentración vs. Hora

HORA	TEMPERATURA OLLA SOLA
09:30	23,6
09:45	28
10:00	31,7
10:15	33,4
10:30	37,8
10:45	37,1
11:00	37,8
11:15	37,8
11:30	38,2

Figura 40 .Grafica de temperatura vs. Tiempo del agua sin concentrador

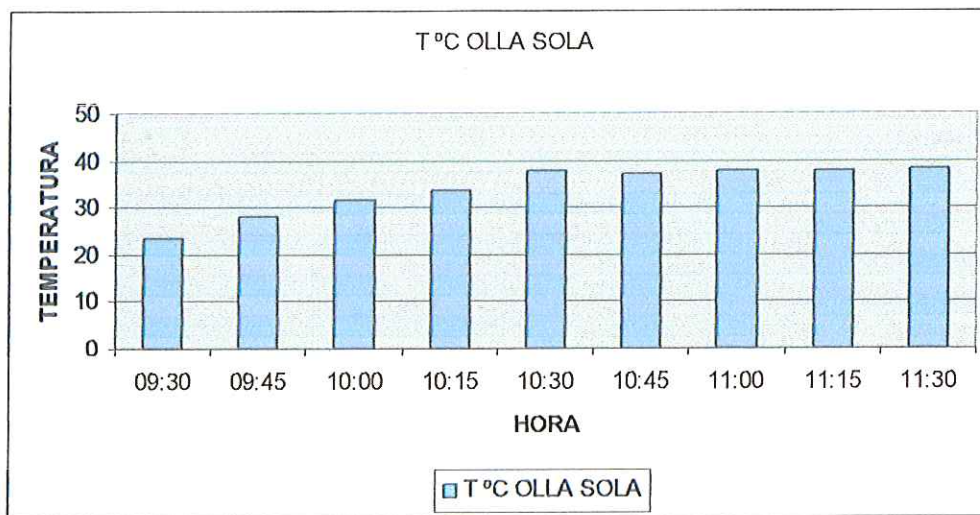
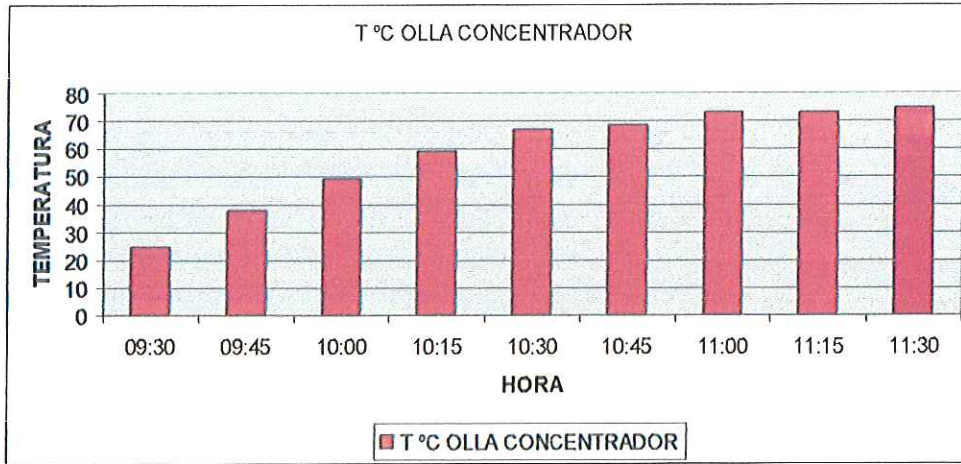


Tabla 6. Datos de temperatura de la olla con concentración vs hora

HORA	T °C OLLA CONCENTRADOR
09:30	24,8
09:45	37,7
10:00	49,1
10:15	59,1
10:30	67
10:45	68,3
11:00	73,3
11:15	73,3
11:30	74,7

Figura 41 .grafica de temperatura vs. Tiempo del agua con concentrador



### Resultados de las segunda prueba

A continuación se presentan las graficas con los datos empleados para realizar los análisis de las segundas pruebas; todos estos datos son de el mes de julio y son proporcionados por la corporación de la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB<sup>20</sup>

- **Temperatura vs. Tiempo(horas)**

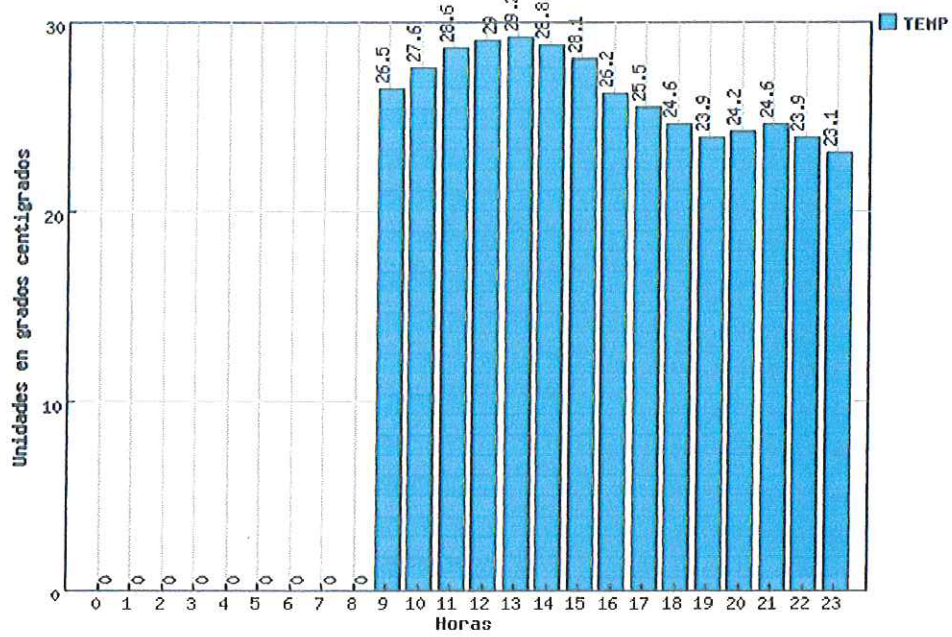
Tabla 7. Datos de temperatura vs hora (CDMB)

HORAS	UNIDADES EN GRADOS CENTIGRADOS
9	26,5
10	27,6
11	28,6
12	29
13	29,2
14	28,8
15	28,1
16	26,2
17	25,5
18	24,6
19	23,9
20	24,2
21	24,6
22	23,9
23	23,1

<sup>20</sup> Ver anexo B



Figura 42. Grafica Temperatura vs. Tiempo (horas)

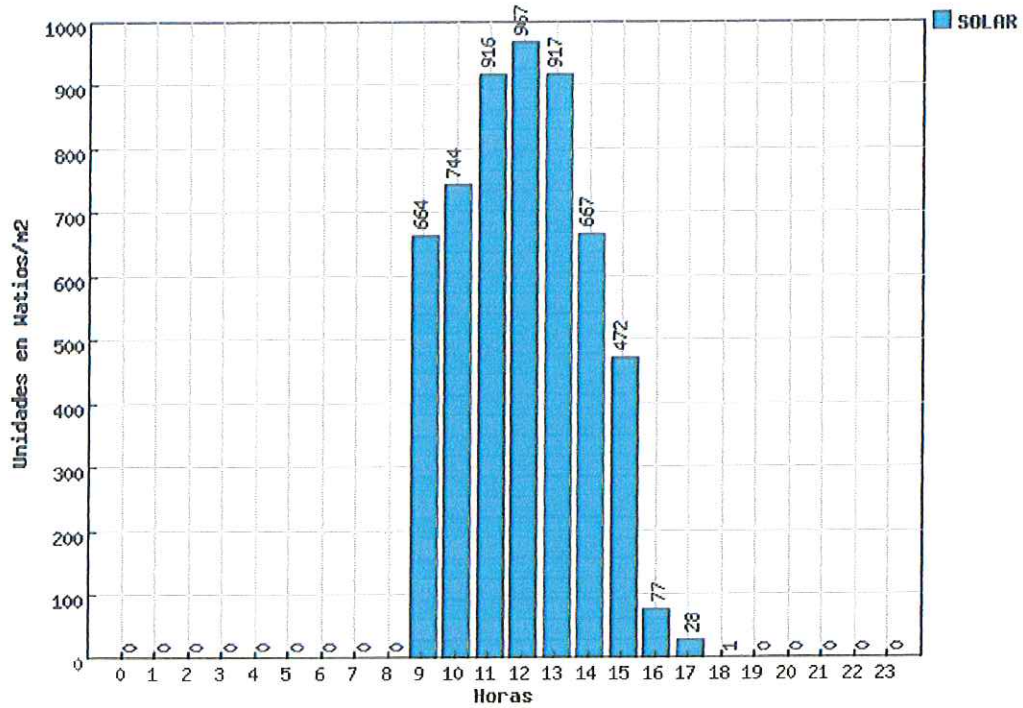


- **Radiación vs tiempo (horas)**

Tabla 8. Datos de radiación vs hora (CDBM)

HORAS	UNIDADES EN WATIOS/M2
9	664
10	744
11	916
12	967
13	917
14	667
15	472
16	77
17	28

Figura 43. Grafica de radiación vs tiempo

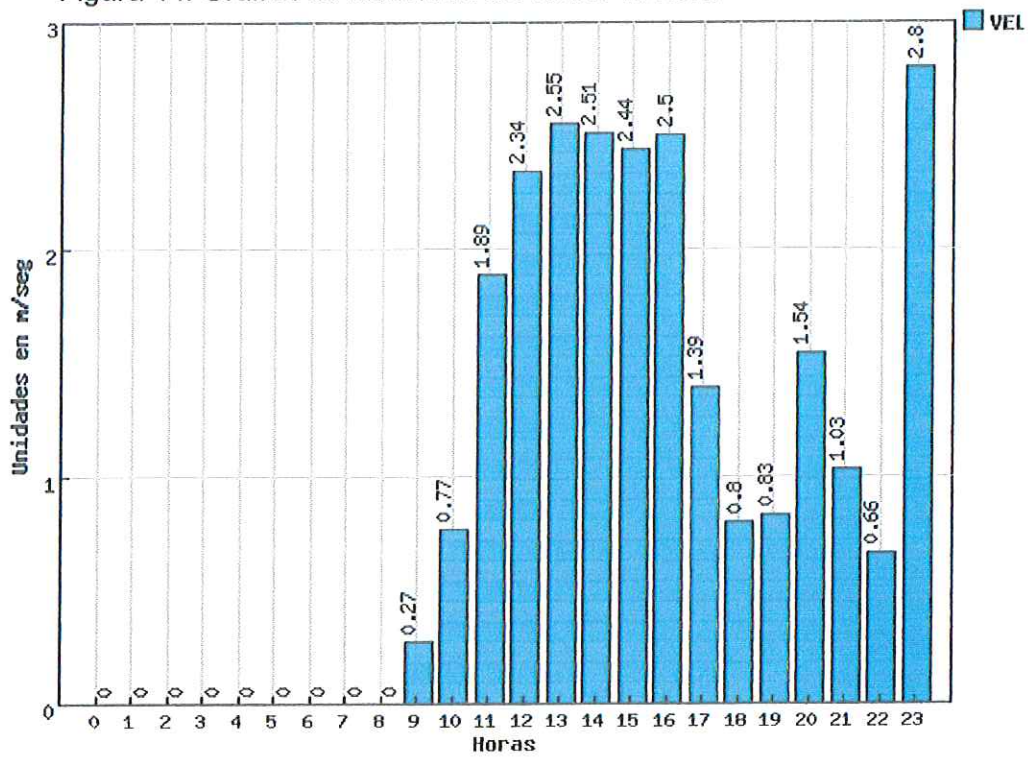


- **Velocidad del viento vs hora**

Tabla 9. Datos de velocidad el viento vs hora (CDMB)

HORAS	UNIDADES EN M/SEG
9	0,27
10	0,77
11	1,89
12	2,34
13	2,55
14	2,51
15	2,44
16	2,5
17	1,39
18	0,8
19	0,83
20	1,54
21	1,03
22	0,66
23	2,8

Figura 44. Grafica de velocidad del viento vs hora

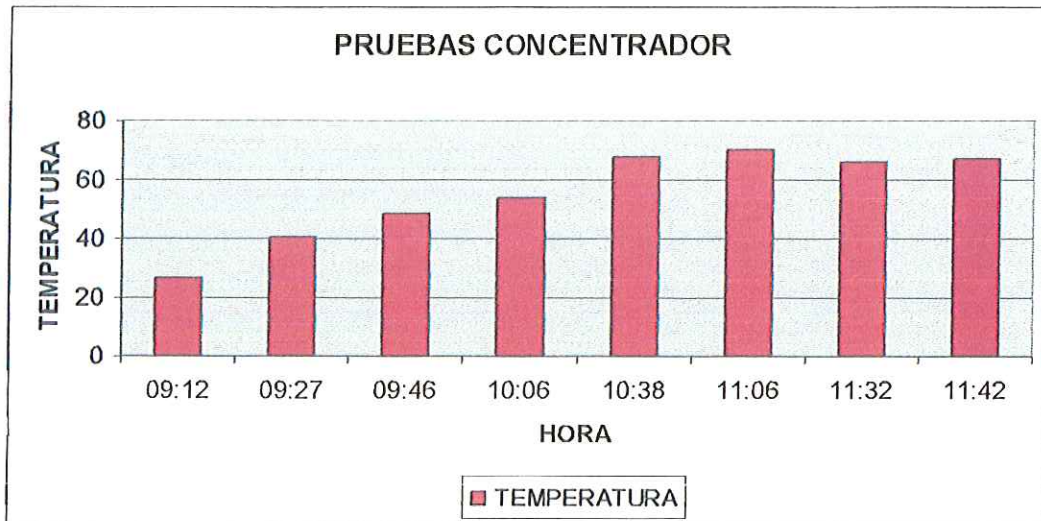


- **Temperatura de la olla vs tiempo (horas)**

Tabla 10. Datos de temperatura vs hora (concentrador)

HORA	TEMPERATURA
09:12	26,7
09:27	40,4
09:46	48,6
10:06	53,8
10:38	67,9
11:06	70,4
11:32	65,9
11:42	67,5

Figura 45. Grafica de temperatura vs tiempo en el concentrador



- Se realizaron pruebas entre las 9:00am y las 12 m, observando que la temperatura del agua aumento 44°C en dos horas
- La temperatura inicial del agua en el concentrador era de 26.7° c y la temperatura final fue de 67.5° c, teniendo un punto máximo de 70.4° casi a las 2 horas de de haber comenzado las pruebas.
- Después de una hora de pruebas, se deposito una salchicha para ver que tan rápido se doraba, encontrando resultados treinta minutos después de iniciada la prueba.
- Con una temperatura de 70 °, se coloco otra salchicha dentro de la olla, y esta estuvo lista 20 minutos después, un resultado muy bueno considerando los altibajos del clima durante el día de las pruebas.

#### **Eficiencia que proporciona el concentrador hora por hora.**

- **Datos de 9:00 am a 10:00 am**

Delta T: 27.1 °C

Radiación solar de 0.704 KW/m<sup>2</sup>

Tenemos una eficiencia de: 0,86

- **Datos de 10:00 am a 11:00 am**

Delta T: 42.18 °C

Radiación solar de 0.83 KW/m<sup>2</sup>

Tenemos una eficiencia de: 0,45

- **Datos de 11:00 am a 12:00 am**

Delta T: 2.9 °C

Radiación solar de 0.942 KW/m<sup>2</sup>

Tenemos una eficiencia de: 0,069

#### 4. CONCLUSIONES

- Se construyó un prototipo de concentrador solar que incrementó la temperatura de alimentos y de un fluido, alcanzando el delta de temperatura propuesto para el diseño.
- Se elaboró un dispositivo de posicionamiento que trabajaba en conjunto con una serie de elementos, y servía para emular la trayectoria diaria del sol, creando un sistema fácil y rápido de manejar.
- Se diseñó una interfaz que sirve de ayuda al usuario durante el proceso de funcionamiento del dispositivo, siendo esta un apoyo para obtener un buen funcionamiento al concentrador solar.
- En la carcasa del concentrador (la parábola) se escogió lámina brillante de acero inoxidable, y se observó que las propiedades de reflexión se asemejan a la del espejo.
- Con la realización de pruebas del concentrador, se vio que el sistema es útil, debido a que funciona de acuerdo a las bases consultadas para su diseño.
- En la construcción de un primer prototipo se observó inestabilidad en la base del concentrador, lo que conllevó a cambios para realizar una base que representara seguridad y a la vez confianza en cuanto a uso se refiere.
- Se analizó por medio del software Cosmos las deformaciones y esfuerzos que podía tener el eje central, encontrando que es muy seguro debido a que tiene un factor de seguridad alto de 5.9 y sus deformaciones son mínimas.
- Se realizó un análisis encontrando que la eficiencia del colector en funcionamiento es de 0.32, y a su vez la eficiencia térmica es de 40.36%, siendo estos datos favorables para el sistema.

## 5. RECOMENDACIONES

- Para obtener una mayor eficiencia en el colector, se recomienda usar para la carcasa, segmentos de espejos en lugar de láminas de acero inoxidable, esto con el fin de lograr una mayor reflexión del sol y a su vez mayor concentración.
- Si se desea darle otro uso al concentrador, se puede instalar una foto celda que capte la energía solar, para ser utilizada como cargador de la batería utilizada para el funcionamiento del dispositivo, es decir, lograr un sistema que se auto cargue así mismo.
- Para mayor concentración de calor, se puede implementar una cesta aislante o caja de heno, con el fin de conservar el calor. El sistema más sencillo es la cesta de mimbre rodeada de heno, lana, cartón o aserrín.
- Se puede emplear una lente<sup>21</sup> cóncava cuya función sea divergir los rayos de luz, es decir, expandir los rayos concentrados en la lente a una zona más amplia que abarque la zona de concentración donde se encuentra el recipiente.

---

<sup>21</sup> Ver Anexo G

## BIBLIOGRAFÍA

1. ORTEGA RODRÍGUEZ, Mario, Energías renovables, ED. Paraninfo Thompson Learning, 2002, 323 p.
2. CARPIO IBÁÑEZ, J., CASTRO GIL, M., COLMENAR SANTOS, A., GUIRADO TORRES, R., MONOGRAFÍAS TÉCNICAS DE ENERGÍAS RENOVABLES Vol. 6, Energía Solar Térmica De Media Y Alta Temperatura, ED. Progensa, 2000, 69 p.
3. ROJAS G, Hernando, Rodamientos, Universidad Industrial de Santander, departamento de Ingeniería Mecánica, 1984, 264 p.
4. BEATY, H. Wayne, KIRTLEY, James L., Manual del motor eléctrico, Ed Mc Graw Hill, 2000, 404 p.
5. DUFFIE John A., BECKMAN William A., Solar Engineering of Thermal Processes, Ed. John Wiley & sons, 1980, 762 p.
6. MILLS, Anthony f, Transferencia de calor, ED. Mc Graw Hill, Madrid, 1994, 932p.
7. ANGULO Usategui, José Maria, Microcontroladores "PIC": diseño practico de aplicaciones: segunda parte PIC 16f87X, ED. Mc Graw Hill, Madrid, 2000, 232p
8. TAVERNIER, Cristian, microcontroladores PIC, ED. International Thompson editores, Madrid, 2 ED, 2001, 175p.
9. KUO, Benjamín C., Sistemas de control digital, ED CECSA, México, 1997,751p.

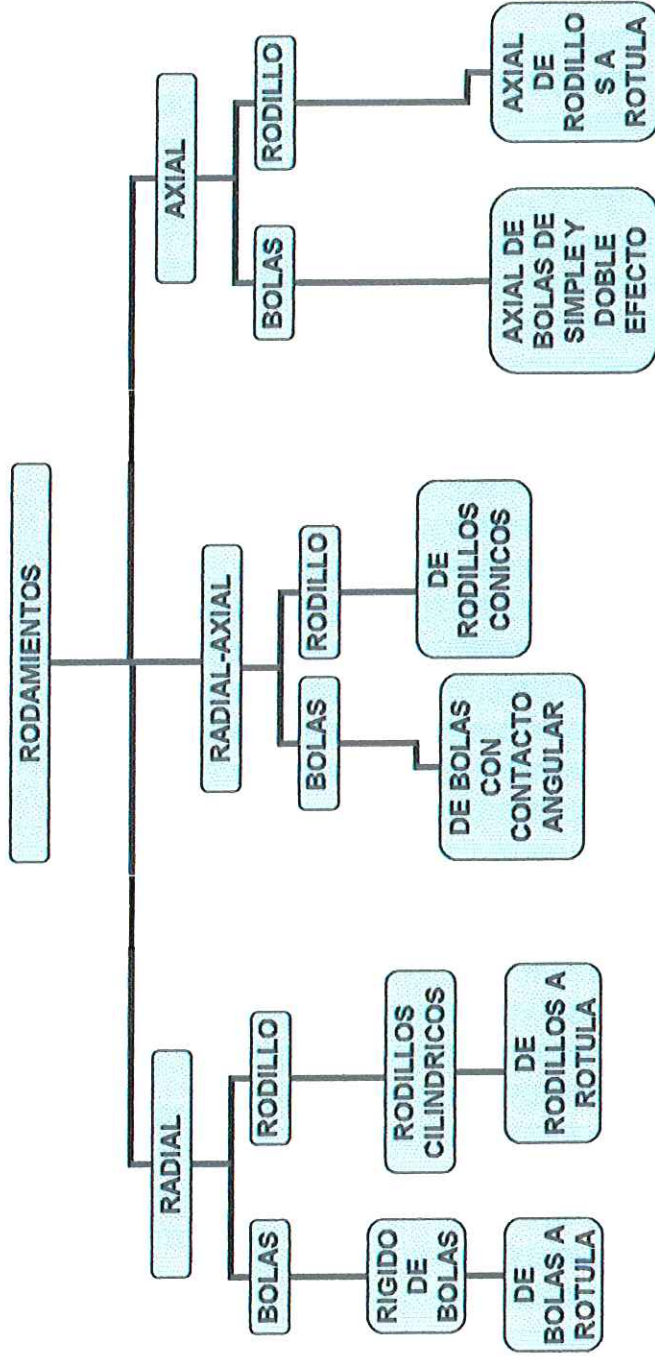


## **ANEXOS**

## **ANEXO A.**

# RODAMIENTOS

DIAGRAMA GENERAL DE RODAMIENTOS



## SEGURIDAD DE CARGA C/P PARA DIFERENTES DURACIONES EXPRESADAS EN MILLONES DE REVOLUCIONES

### RODAMIENTOS DE BOLAS

Duración en millones de revoluciones $L$	$\frac{C}{P}$	Duración en millones de revoluciones $L$	$\frac{C}{P}$
0,5	0,791	600	8,41
0,75	0,909	650	8,65
1	1	700	8,85
1,5	1,14	750	9,09
2	1,25	800	9,28
3	1,41	850	9,47
4	1,59	900	9,65
5	1,71	950	9,83
6	1,82	1000	10
8	2	1100	10,1
10	2,15	1200	10,6
12	2,29	1300	10,9
14	2,41	1400	11,2
16	2,52	1500	11,4
18	2,62	1600	11,7
20	2,71	1700	11,9
25	2,92	1800	12,2
30	3,11	1900	12,4
35	3,27	2000	12,6
40	3,42	2200	13
45	3,56	2400	13,4
50	3,68	2600	13,8
60	3,91	2800	14,1
70	4,12	3000	14,4
80	4,31	3200	14,7
90	4,48	3400	15
100	4,64	3600	15,3
120	4,93	3800	15,6
140	5,19	4000	15,9
160	5,43	4500	16,5
180	5,65	5000	17,1
200	5,85	5500	17,7
220	6,04	6000	18,2
240	6,21	6500	18,7
260	6,38	7000	19,1
280	6,54	7500	19,6
300	6,69	8000	20
320	6,84	8500	20,4
340	6,98	9000	20,8
360	7,11	9500	21,2
380	7,24	10000	21,5
400	7,37	12000	22,9

### RODAMIENTOS DE RODILLOS

Duración en millones de revoluciones $L$	$\frac{C}{P}$	Duración en millones de revoluciones $L$	$\frac{C}{P}$
0,5	0,812	600	6,81
0,75	0,917	650	6,98
1	1	700	7,14
1,5	1,13	750	7,29
2	1,24	800	7,43
3	1,39	850	7,56
4	1,52	900	7,70
5	1,62	950	7,82
6	1,71	1000	7,94
8	1,87	1100	8,17
10	2	1200	8,39
12	2,11	1300	8,59
14	2,21	1400	8,79
16	2,30	1500	8,97
18	2,38	1600	9,15
20	2,46	1700	9,31
25	2,63	1800	9,48
30	2,77	1900	9,63
35	2,91	2000	9,78
40	3,02	2200	10,1
45	3,13	2400	10,3
50	3,23	2600	10,6
60	3,42	2800	10,8
70	3,58	3000	11
80	3,72	3200	11,3
90	3,85	3400	11,5
100	3,98	3600	11,7
120	4,20	3800	11,9
140	4,40	4000	12
160	4,58	4500	12,5
180	4,75	5000	12,9
200	4,90	5500	13,2
220	5,04	6000	13,6
240	5,18	6500	13,9
260	5,30	7000	14,2
280	5,42	7500	14,5
300	5,54	8000	14,8
320	5,64	8500	15,1
340	5,75	9000	15,4
360	5,85	9500	15,6
380	5,94	10000	15,8
400	6,03	12000	16,7

## COEFICIENTES X e Y

### RODAMIENTOS DE BOLAS

Tipos de rodamientos	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e
	X	Y	X	Y	
<b>Rodamientos rígidos de bolas</b> Series EL, R, 160, 60, 62, 63, 64 $\frac{F_a}{C_0} = 0,025$ $= 0,04$ $= 0,07$ $= 0,13$ $= 0,25$ $= 0,5$					
	1	0	0,56	2	0,22
				1,8	0,24
				1,6	0,27
				1,4	0,31
				1,2	0,37
				1	0,44
<b>Rodamientos de bolas a rótula</b> 135, 126, 127, 108, 129 1200-1203 04-05 06-07 08-09 10-12 13-22 24-30 2200-2204 05-07 08-09 10-13 14-20 21-22 1300-1303 04-05 06-09 10-22 2301 2302-2304 05-10 11-18	1	1,8	0,65	2,8	0,34
				2	0,31
				2,3	0,27
				2,7	0,23
	1	2,9	0,65	4,5	0,21
				3,4	0,19
				3,6	0,17
				3,3	0,2
				1,3	0,5
				1,7	0,37
				2	0,31
	1	2,3	0,65	3,5	0,28
				2,4	0,26
				2,3	0,23
				1,8	0,34
	1	2,2	0,65	3,4	0,29
				2,5	0,25
				2,8	0,23
				1	0,63
	1	1,2	0,65	1,9	0,52
				1,5	0,43
				1,6	0,39
<b>Rodamientos de bolas con contacto angular</b> Series 72 B, 73 B Series 72 BG, 73 BG Un par de rodamientos en montaje en el mismo sentido Un par de rodamientos en montaje O o X Series 32 A, 33 A	1	0	0,35	0,57	1,14
	1	0	0,35	0,57	1,14
	1	0,55	0,57	0,93	1,14
	1	0,73	0,62	1,17	0,86

### RODAMIENTOS DE RODILLOS

Tipos de rodamientos	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e
	X	Y	X	Y	
<b>Rodamientos de rodillos a rótula</b> 23944-239/670 239/710-239/950 23024 C-23068 CA 23072 CA-230/500 CA 24024 C-24080 CA 24084 CA-240/500 CA 23120 C-23128 C 23130 C-231/500 CA 24122 C-24128 C 24130 C-24172 CA 24176 CA-241/500 CA 22205 C-22207 C 08 C-09 C 10 C-20 C 22 C-44 C 48-64 23218 C-23220 C 22 C-64 CA 21304-21305 06-10 11-19 20-22 22308 C-22310 C 11 C-15 C 16 C-40 C 44-56					
	1	3,7	0,67	5,5	0,18
		4		6	0,17
	1	2,9	0,67	4,4	0,23
		3,3		4,9	0,21
	1	2,3	0,67	3,5	0,29
		2,4		3,6	0,28
	1	2,4	0,67	3,6	0,23
		2,3		3,5	0,29
	1	1,9	0,67	2,9	0,35
		1,8		2,7	0,37
		1,9		2,9	0,35
		2,1		3,1	0,32
		2,5		3,7	0,27
	1	2,9	0,67	4,4	0,23
		2,6		3,9	0,26
		2,4		3,6	0,28
	1	2,2	0,67	3,3	0,31
		2		3	0,34
		2,8		4,2	0,24
	1	3,2	0,67	4,8	0,21
		3,4		5	0,2
		3,7		5,5	0,18
	1	1,8	0,67	2,7	0,37
		1,9		2,9	0,35
		2		3	0,34
		1,9		2,9	0,35
<b>Rodamientos de rodillos cónicos</b> 30203-30204 05-08 09-22 24-30 32206-32208 09-22 24-30 30302-30303 04-07 08-24 31305-31318 32303 32304-32307 08-24					
	1	0	0,4	1,75	0,34
				1,6	0,37
				1,45	0,41
				1,35	0,44
				1,6	0,37
	1	0	0,4	1,45	0,41
				1,35	0,44
				2,1	0,28
	1	0	0,4	1,85	0,31
				1,75	0,34
	1	0	0,4	0,73	0,82
				2,1	0,23
	1	0	0,4	1,95	0,31
				1,75	0,34

## **ANEXO B.**

# **RADIACIÓN SOLAR**



**POSICIÓN GPS DE DIFERENTES ESTACIONES EN BUCARAMANGA  
DE LA CDMB**

ESTACION	LATITUD (N)	LONGITUD (W)	ALTITUD (m)	Tipo de estacion
Centro "El Faro"	*	*	971,43	Quimica y meteorologica
Ciudadela	7°06'21.57"	73°07'25.29"	950,02	Quimica
Florida	7°04'19.90"	73°06'21.93"	868,02	Quimica
Chimita	7°05'53.83"	73°10'00.14"	659,12	Quimica y meteorologica
PTAR	7°03'53.44"	73°07'43.07"	768,00	Meteorologica
UIS	7°08'26.37"	73°07'19.77"	1002,50	Meteorologica
Norte	7°06'57.41"	73°06'04.36"	819,51	Quimica

\* no esta en el otro tipo de coordenadas

ESTACION	N	E	ALTITUD (m)	Tipo de estacion
Centro "El Faro"	1.279.145,600	1.104.976,110	971,43	Quimica y meteorologica
Ciudadela	1.277.654,280	1.105.370,946	937,36	Quimica
Florida	1.273.922,590	1.107.323,280	854,85	Quimica
Chimita	1.276.795,850	1.100.617,850	685,84	Quimica y meteorologica
PTAR	1.273.104,761	1.104.883,226	764,00	Meteorologica
UIS	1.281.493,520	1.105.534,110	995,28	Meteorologica
Norte	1.282.442,876	1.104.162,631	806,29	Quimica

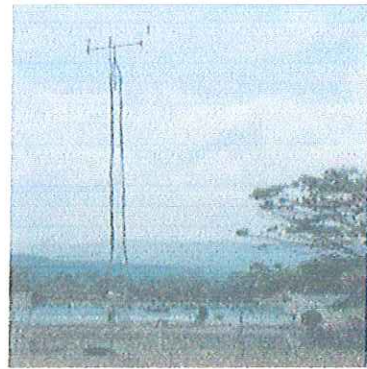
## UBICACIÓN DE LAS DIFERENTES ESTACIONES METEOROLOGICAS DE LA CDMB EN BUCARAMANGA



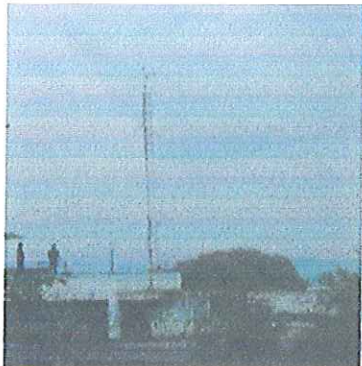
### UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS



**CENTRO**



**PLANTA DE TRATAMIENTO PTAR**



**UIS**



**CHIMITA**

## RADIACIÓN SOLAR, ESTACIÓN UIS AÑO 2005

001H                      W/m2  
01/01/0501.31/05

0604001HSOLAR

Day	Hour							
		0	1	2	3	4	5	6
01/01/2005		0	0	0	0	0	0	28
02/01/2005		0	0	0	0	0	0	23
03/01/2005		0	0	0	0	0	0	22
04/01/2005		0	0	0	0	0	0	19
05/01/2005		0	0	0	0	0	0	22
06/01/2005		0	0	0	0	0		
07/01/2005		0	0	0	0	0	0	36
08/01/2005		0	0	0	0	0	0	38
09/01/2005		0	0	0	0	0	0	14
10/01/2005		0	0	0	0	0	0	29
11/01/2005		0	0	0	0	0	0	13
12/01/2005		0	0	0	0	0	0	21
13/01/2005		0	0	0	0	0	0	31
14/01/2005		0	0	0	0	0	0	8
15/01/2005		0	1	2	2	2	2	6
16/01/2005		0	0	1	1	1	1	19
17/01/2005		1	1	1	1	1	1	17
18/01/2005		1	1	1	1	0	0	14
19/01/2005								
20/01/2005								
21/01/2005		0	1	2	1	0	0	13
22/01/2005		0	0	0	0	0	0	30
23/01/2005		0	0	0	0	0	0	16
24/01/2005		0	0	0	0	0	0	60
25/01/2005		0	0	0	0	0	0	24
26/01/2005		0	0	0	0	0	0	19
27/01/2005		0	0	0	0	0	0	28
28/01/2005		0	0	0	0	0	0	18
29/01/2005		0	0	0	0	0	0	32
30/01/2005		0	0	0	0	0	0	18
31/01/2005		0	0	0	0	0	0	34

PROMEDIOS DE RADIACIÓN SOLAR ESTACIÓN CHIMITA AÑO 2002

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	2	4
6	30	28	49	64	78	
7	212	168	230	222	257	
8	483	443	490	485	491	
9	744	686	737	701	722	
10	927	868	863	809	805	
11	891	913	869	782	827	
12	886	807	590	887	843	
13	441	468	636	787	728	
14	248	520	671	583	577	
15	242	410	501	367	392	
16	130	246	231	164	207	
17	36	58	56	41	43	
18	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	



## TABLAS DE BRILLO SOLAR EN DIFERENTES MUNICIPIOS Y ESTACIONES DE BUCARAMANGA

Código Estación: 9204

Div Política: SANTANDER Municipio: LEBRIJA Estación: APTO. PALONEGRO

Latitud = 7° 6' Longitud = -73°-12' Altitud = 1189 m

RADIACION GLOBAL Ho, H, Hb Y Hd EN kWh/m<sup>2</sup>/día So Y S EN horas/día

INFORMACION PRIMARIA: BRILLO SOLAR PERIODO 71-80

Coefficientes de Ångström empleados: a = 0.24 b = 0.55

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>Ho</b>	9.3	9.8	10.3	10.5	10.2	10	10.1	10.3	10.3	9.9	9.3	9	10.2
<b>H</b>	5.34	5.1	4.89	4.91	4.88	4.68	5.02	5.07	5.09	4.87	4.67	4.85	4.95
<b>H/Ho</b>	0.58	0.52	0.47	0.47	0.48	0.47	0.5	0.49	0.49	0.49	0.5	0.54	0.5
<b>Hb</b>	3.41	3.05	2.74	2.71	2.7	2.55	2.86	2.88	2.91	2.81	2.74	2.98	2.86
<b>Hb/H</b>	0.64	0.6	0.56	0.55	0.55	0.54	0.57	0.57	0.57	0.58	0.59	0.61	0.58
<b>Hd</b>	1.93	2.05	2.15	2.2	2.18	2.14	2.17	2.19	2.17	2.06	1.93	1.87	2.09
<b>Hd/H</b>	0.36	0.4	0.44	0.45	0.45	0.46	0.43	0.43	0.43	0.42	0.41	0.39	0.42
<b>So</b>	11.6	11.8	12	12.2	12.3	12.4	12.4	12.2	12	11.8	11.7	11.6	12
<b>S</b>	7.13	5.96	5.06	5.07	5.32	5.13	5.81	5.61	5.53	5.39	5.5	6.28	5.65
<b>S/So</b>	0.61	0.51	0.42	0.42	0.43	0.41	0.47	0.46	0.46	0.46	0.47	0.54	0.47

## TABLAS DE BRILLO SOLAR EN DIFERENTES MUNICIPIOS Y ESTACIONES DE BUCARAMANGA

Código Estación: 9236

Div Política: SANTANDER Municipio: BUCARAMANGA Estación: U.I.S.

Latitud = 7° 8' Longitud = -73° 6' Altitud = 1018 m

RADIACION GLOBAL Ho, H, Hb Y Hd EN kWh/m<sup>2</sup>/día So Y S EN horas/día

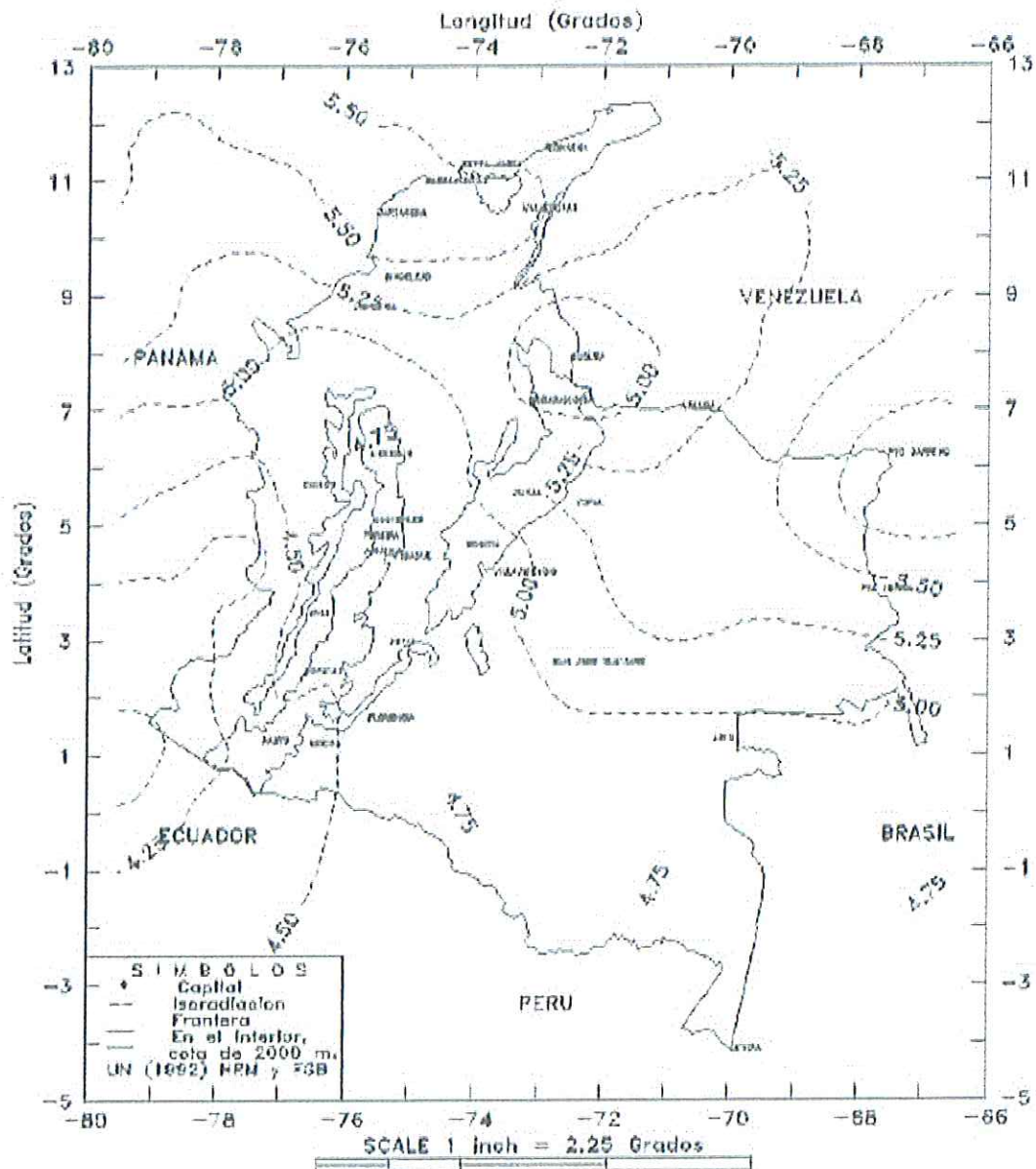
INFORMACION PRIMARIA: BRILLO SOLAR PERIODO 71-80.

Coefficientes de Ångström empleados: a = 0.24 b = 0.55

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>Ho</b>	9.2	9.8	10.3	10.5	10.2	10	10.1	10.3	10.3	9.9	9.3	9	10.2
<b>H</b>	4.8	4.34	4.09	4.29	4.44	4.03	4.34	4.45	4.33	4.22	4.24	4.44	4.33
<b>H/Ho</b>	0.52	0.44	0.4	0.41	0.43	0.4	0.43	0.43	0.42	0.42	0.45	0.49	0.44
<b>Hb</b>	2.88	2.35	2.04	2.16	2.31	1.98	2.24	2.31	2.23	2.21	2.34	2.59	2.3
<b>Hb/H</b>	0.6	0.54	0.5	0.5	0.52	0.49	0.52	0.52	0.52	0.53	0.55	0.58	0.53
<b>Hd</b>	1.91	1.99	2.06	2.13	2.14	2.06	2.11	2.13	2.1	2	1.89	1.85	2.03
<b>Hd/H</b>	0.4	0.46	0.5	0.5	0.48	0.51	0.48	0.48	0.48	0.47	0.45	0.42	0.47
<b>So</b>	11.6	11.8	12	12.2	12.3	12.4	12.4	12.2	12	11.8	11.7	11.6	12
<b>S</b>	5.9	4.32	3.39	3.77	4.35	3.67	4.29	4.26	3.93	3.97	4.53	5.32	4.31
<b>S/So</b>	0.51	0.37	0.28	0.31	0.35	0.3	0.35	0.35	0.33	0.34	0.39	0.46	0.36

# MAPA DE RADIACIÓN SOLAR, MES DE ENERO

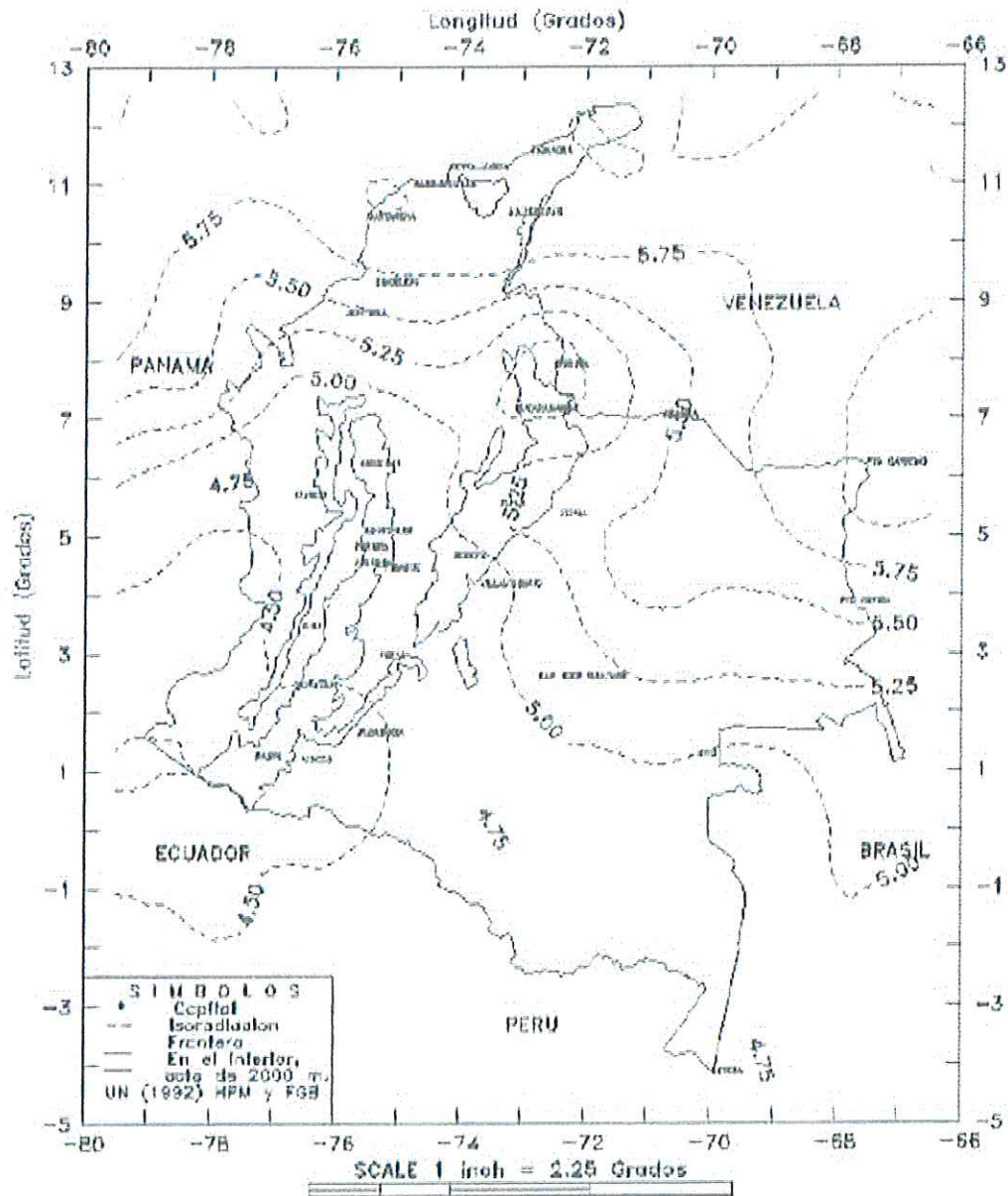
## RADIACION SOLAR GLOBAL ENERO (kWh/m<sup>2</sup>/dia)





# MAPA DE RADIACIÓN SOLAR, MES DE FEBRERO.

## RADIACION SOLAR GLOBAL FEBRERO (kWh/m<sup>2</sup>/día)



## **ANEXO C.**

## **PLANOS**

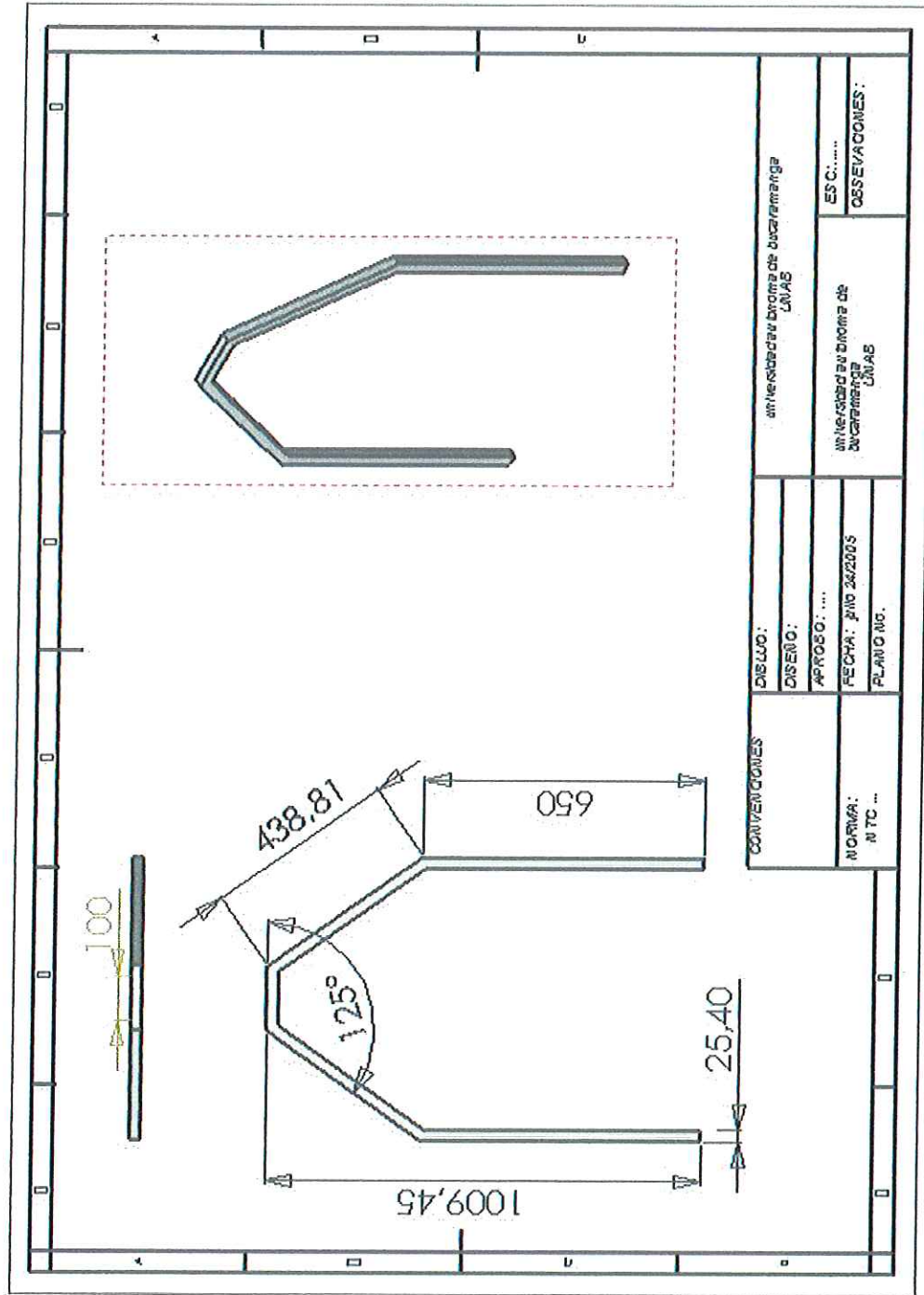
# CONCENTRADOR SOLAR

Nº DE ELEMENTO	DETALLE DE PIEZA	CANTIDAD
1	base	2
2	refuerzo1	2
3	refuerzo2	2
4	chumacera	1
5	patilla	4
6	eje2	1
7	eje	1
8	chumacera de 25	3
9	Assem 1 nuevo	1
10	base motor 2	1
11	base motor 5	1
12	motor	1
13	rueda	4
14	rueda_0940050-774	4

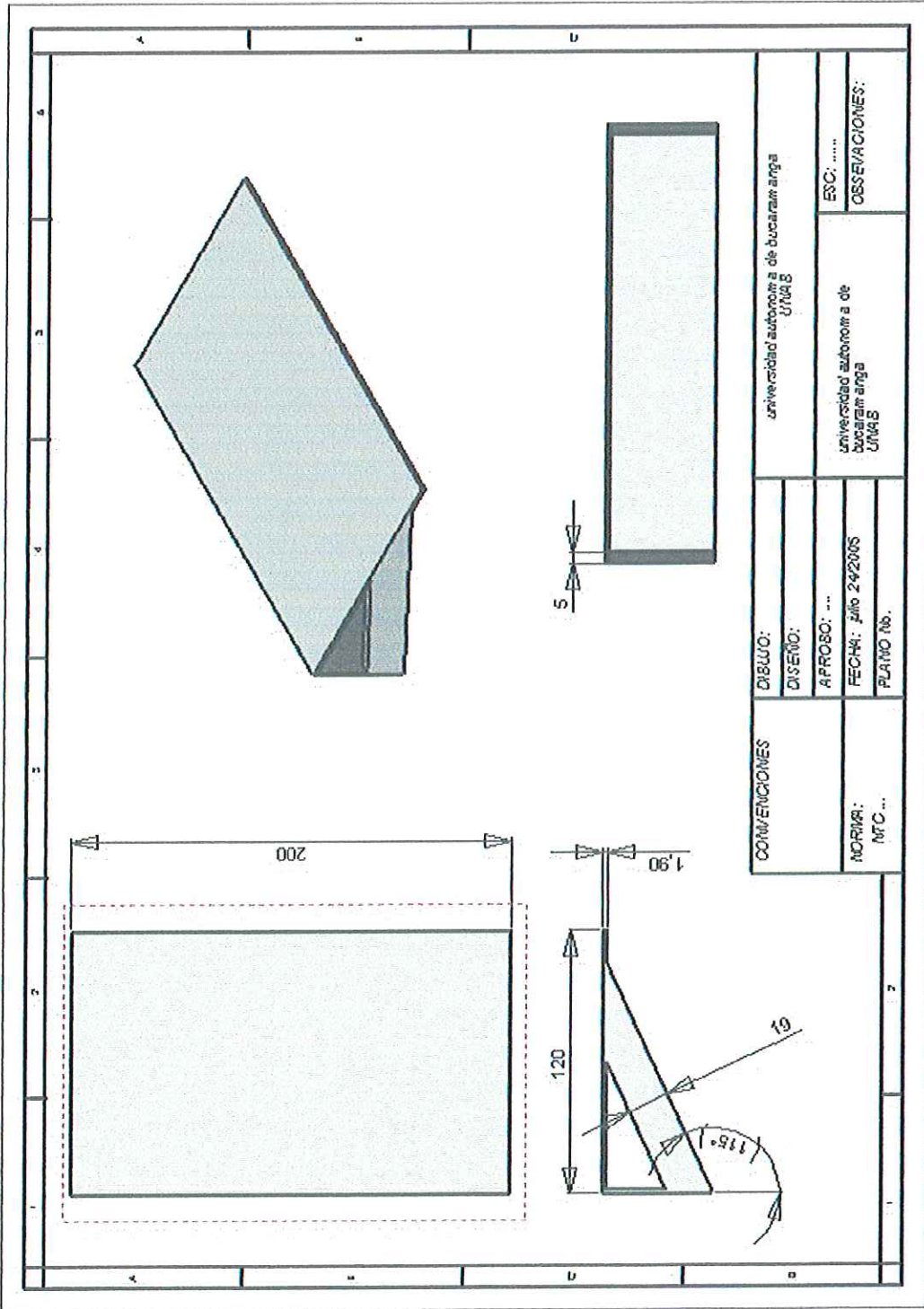
  
  

CONVENCIONES	
DIBUJO:	universidad autónoma de Bucaramanga
DISEÑO:	UNAB
APROBADO:	...
NORMA:	universidad autónoma de Bucaramanga
MTC ...	UNAB
FECHA:	julio 24/2005
PLANO N°:	...
ESC: .....	
OBSERVACIONES:	

# PLANO BASE CUADRADA

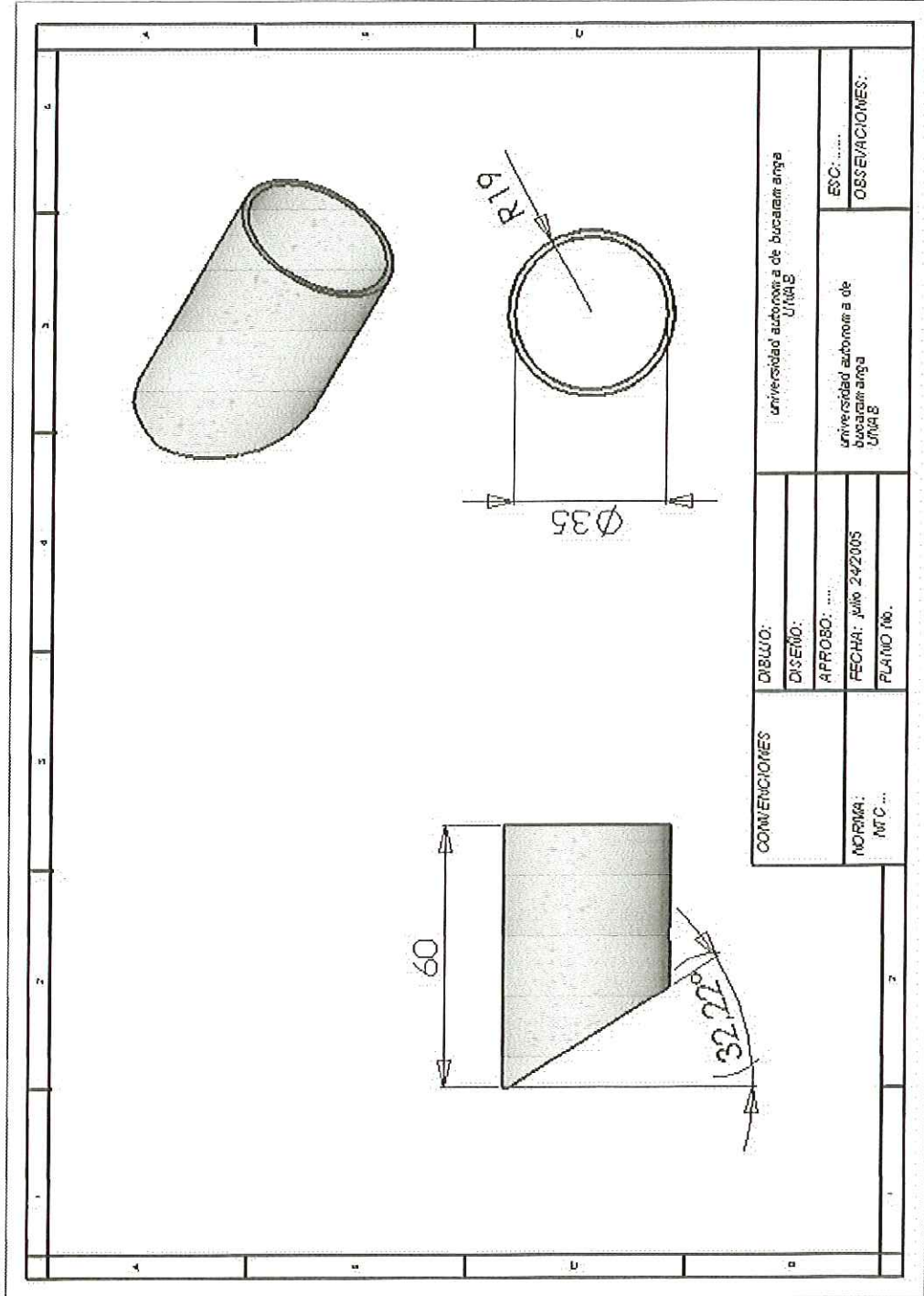


# PLANO BASE MOTOR

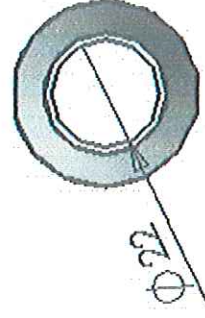
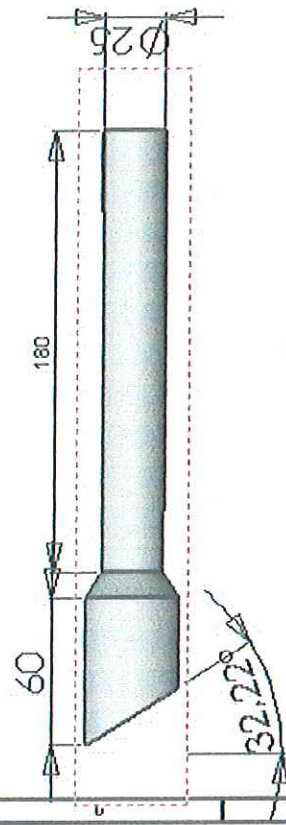
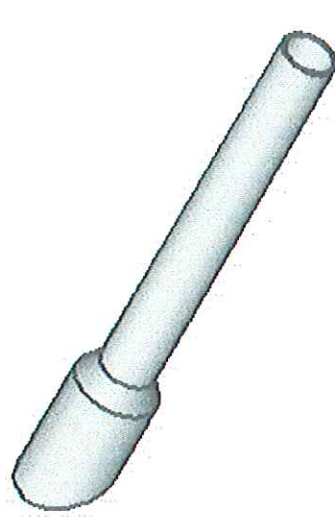


CONVENIENCIAS	DIBUJO:	universidad autónoma de bucaran anga
	DISEÑO:	UNAB
	APROBADO: ...	
	FECHA: #/10 24/2005	
	PLANO No.	
NORMA:		
MTC ...		
		ESC: .....
		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUARAN ANGA
		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUARAN ANGA

# SOPORTE EJE



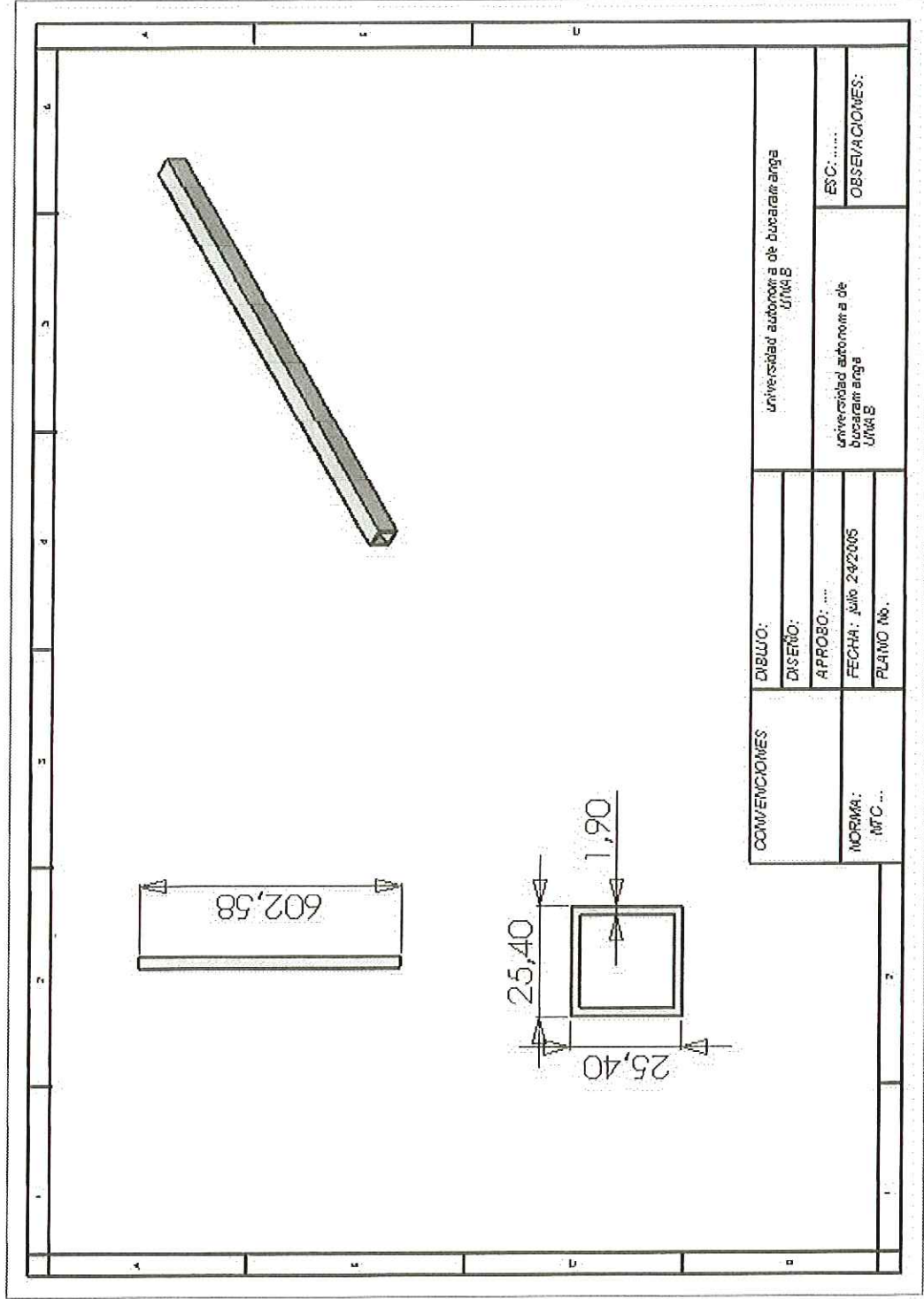
# BUJE PARA EL MOTOR



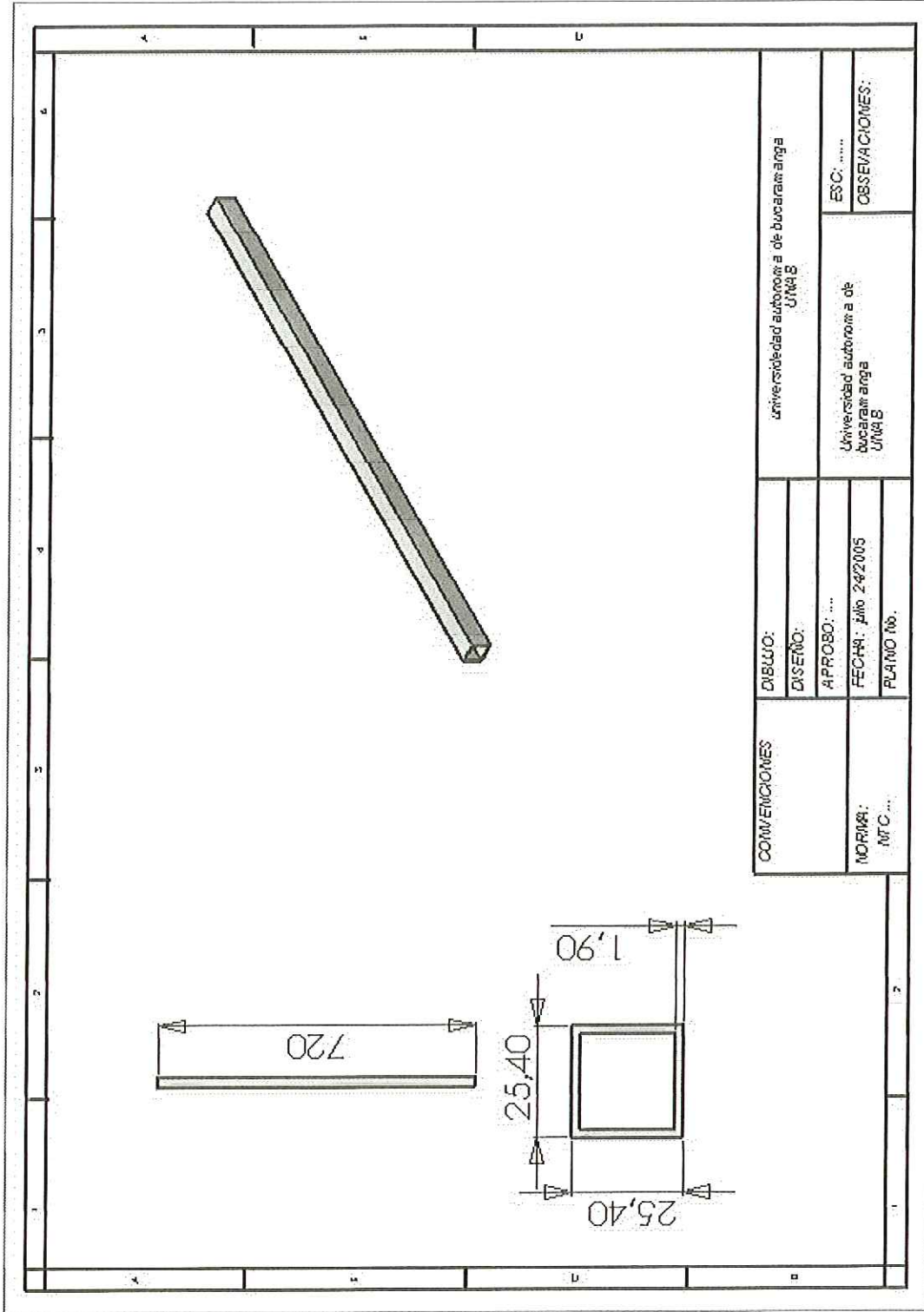
COMVENCIONES	DIBUJO:	Universidad autónoma de Bucaramanga UTUA B
	DISEÑO:	
NORMA: MTC ...	APROBADO: ...	ESC: .....
	FECHA: julio 24/2005	
	PLANO No.	
		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA OBSERVACIONES:



# REFUERZO DE LA BASE

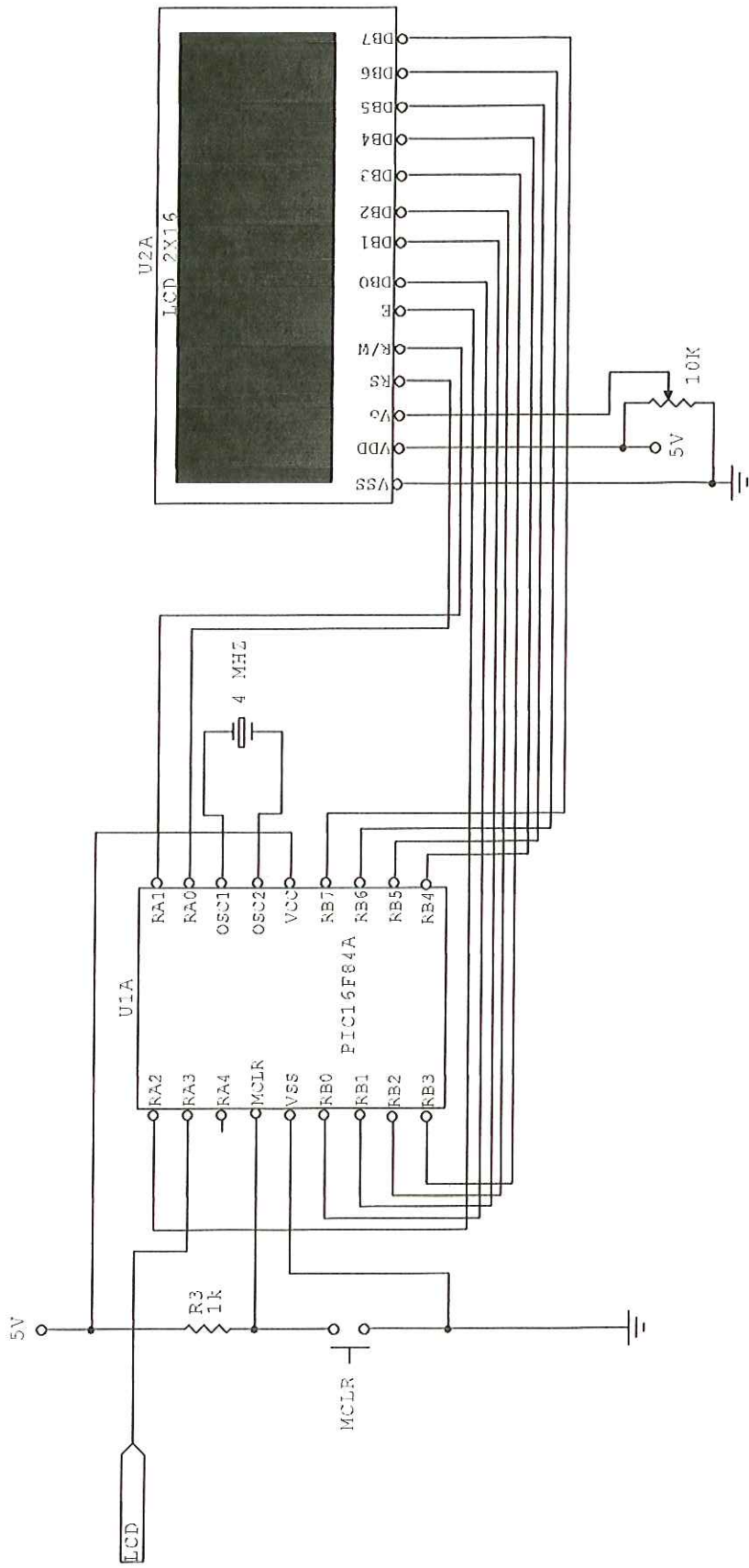


# REFUERZO DE LA BASE

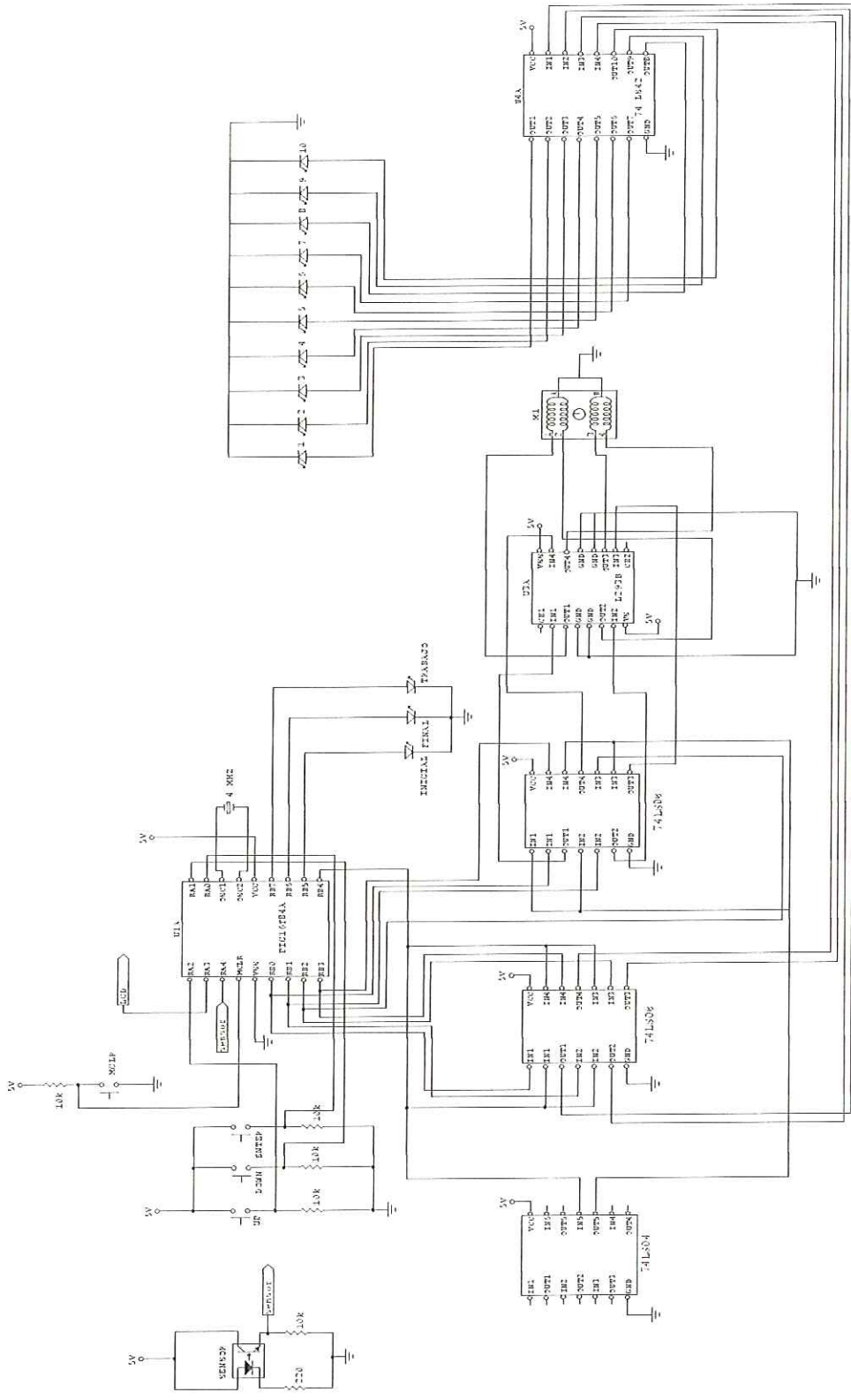


COMVENCIONES	DIBUJO:	Universidad autónoma de Bucaramanga UNAB
	DISEÑO:	
NORMA: MTC ...	APROBADO: ...	Universidad autónoma de Bucaramanga UNAB
	FECHA: julio 24/2005	
	PLANO No.	
		ESC: .....
		OBSEVACIONES:

# PLANO DEL PIC 16F84 CON LCD



# PLANO DEL PIC 16F84 PARA EL DISPOSITIVO DE POSICIONAMIENTO



## **ANEXOS D.**

**CNY 70**

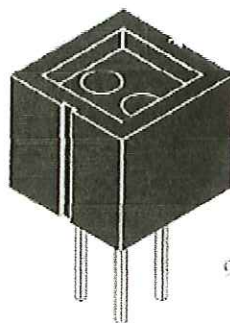


## El Sensor Óptico reflexivo con salida a Transistor

### Descripción

El CNY70 es un sensor óptico reflexivo que tiene una construcción compacta donde el emisor de luz y el receptor se colocan en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto utilizando la reflexión del infrarrojo sobre el objeto.

La longitud de onda de trabajo es 950nm. El detector consiste en un fototransistor.



94 9320

### Aplicaciones

Escáner optoelectrónico y detector de movimiento de objetos es decir, sensor de índice, lectura de discos codificados etc., (codificador optoelectrónico montado como sensor de cambio de marcha)

### Características

La construcción compacta con distancia de del centro-a-centro de 0.1 "

(pulgadas) entre emisor y receptor

No necesita ningún ambiente especial

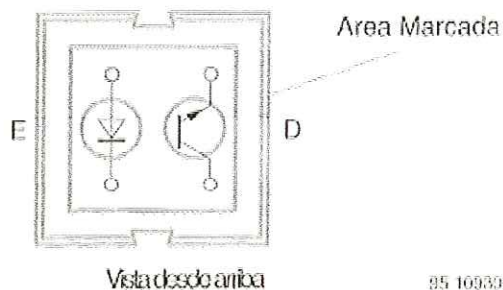
Señal de salida alta

El coeficiente de temperatura bajo

Detector provista de filtro óptico

El ratio de corriente de transferencia

(CTR) típico es del 5%



95 10930

### Indicaciones de Medida

Código	Distancia del sensor	Comentarios
CNY70	0,3 mm	

## Valores máximos absolutos

### Entrada ( Emisor)

Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Valor	Unidades
Tensión Inversa		$V_R$	5	V
Corriente Directa		$I_F$	50	mA
Corriente directa de Sobretensión	$T_p < 10 \mu s$	$I_{FSM}$	3	A
disipación de Potencia	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	$P_V$	100	mW
Temperatura de la unión		$T_j$	100	$^\circ C$

### Salida (Detector)

Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Valor	Unidades
Tensión Colector Emisor		$V_{CEO}$	32	V
Tensión Colector Emisor		$V_{ECO}$	7	V
Corriente de Colector		$I_C$	50	mA
Disipación de Potencia	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	$P_V$	100	mW
Temperatura de la unión		$T_j$	100	$^\circ C$

### Acoplamiento

Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Valor	Unidades
Disipación total del potencia	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	$P_{tot}$	200	mW
Rango de temperatura ambiente		$T_{amb}$	-55 a +85	$^\circ C$
Rango de temperatura de almacenamiento		$T_{stg}$	-55 a + 100	$^\circ C$
Temperatura de soldadura		$T_{sd}$	260	$^\circ C$

## Características Eléctricas ( $T_{amb} = 25^\circ C$ )

### Entrada ( Emisor)

Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Min	Typ	Max	Unidades
Corriente Directa	$I_F = 50 \text{ mA}$	$V_F$		1.25	1.6	V

### Salida ( Detector)

Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Min	Typ	Max	Unidades
Tensión Colector Emisor	$I_C = 1 \text{ mA}$	$V_{CEO}$	32			V
Tensión Colector Emisor	$I_E = 100 \mu A$	$V_{ECO}$	5			V
Corriente de fuga	$V_{CE} = 20 \text{ V}$ , $I_F = 0$ , $E = 0$	$I_{CEO}$			200	nA

### Acoplamiento

Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Min	Typ	Max	Unidades
Corriente de Colector	$V_{CE} = 5 \text{ V}$ , $I_F = 20 \text{ mA}$ , $D = 0.3 \text{ mm}$ (figura 1)	$I_C^{(1)}$	0.3	1.0		mA
Corriente cruzada de	$V_{CE} = 5 \text{ V}$ , $I_F = 20$ (figura 1)	$I_{CX}^{(2)}$			600	nA
Tensión Colector Emisor de saturación	$I_F = 20 \text{ mA}$ , $I_C = 0,1$ $\text{mA}$ , $d = 0.3 \text{ mm}$ (figura 1)	$V_{Cesat}^{(1)}$			0.3	V

(1) Medido con 'la tarjeta de prueba neutra de Kodak' el lado blanco con 90% de difusor reflectante

(2) Medido sin medio reflector



## **ANEXO E.**

## **PROPIEDADES FISICAS DE LAS PIEZAS**

## PROPIEDADES FÍSICAS DE CIRCUNFERENCIA (ARO)

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 125.35 gramos

Volumen = 125349.55 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 48836.53 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

X = -222.82

Y = 222.82

Z = -19.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>)  
Medido desde el centro de masa.

lx = (0.71, 0.71, 0.00) Px = 134253.84

ly = (-0.71, 0.71, 0.00) Py = 2805198.45

lz = (0.00, 0.00, 1.00) Pz = 2909284.83

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 1469726.15 Lxy = 1335472.30 Lxz = 0.00

Lyx = 1335472.30 Lyy = 1469726.15 Lyz = 0.00

Lzx = 0.00 Lzy = 0.00 Lzz = 2909284.83

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 7738558.73 lxy = -4888109.10 lxz = 530683.00

lyx = -4888109.10 lyy = 7738558.73 lyz = -530683.00

lzx = 530683.00 lzy = -530683.00 lzz = 15356447.64

## PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SEMI-ARCOS

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 99.86 gramos

Volumen = 99858.22 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 39426.99 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

X = 147.47

Y = 298.37

Z = 19.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>).  
Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned} I_x &= (0.90, -0.44, 0.00) & P_x &= 53134.30 \\ I_y &= (0.44, 0.90, -0.00) & P_y &= 1532807.08 \\ I_z &= (0.00, 0.00, 1.00) & P_z &= 1561628.16 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el centro de masa y  
alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 338001.83 & L_{xy} &= -583404.86 & L_{xz} &= -0.42 \\ L_{yx} &= -583404.86 & L_{yy} &= 1247939.54 & L_{yz} &= 0.11 \\ L_{zx} &= -0.42 & L_{zy} &= 0.11 & L_{zz} &= 1561628.16 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de  
coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 9263936.10 & I_{xy} &= 3810533.52 & I_{xz} &= 279802.28 \\ I_{yx} &= 3810533.52 & I_{yy} &= 3455748.11 & I_{yz} &= 566101.34 \\ I_{zx} &= 279802.28 & I_{zy} &= 566101.34 & I_{zz} &= 12623273.20 \end{aligned}$$

## PROPIEDADES FÍSICAS DE PARRILLA

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 28.15 gramos

Volumen = 28153.26 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 18293.18 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

$$X = 6.64$$

$$Y = 7.58$$

$$Z = 100.00$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>).  
Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned} I_x &= (0.00, 0.00, 1.00) & P_x &= 3021.64 \\ I_y &= (0.67, -0.74, 0.00) & P_y &= 82915.54 \\ I_z &= (0.74, 0.67, 0.00) & P_z &= 84650.13 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y  
alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 83864.84 & L_{xy} &= -863.41 & L_{xz} &= -0.02 \\ L_{yx} &= -863.41 & L_{yy} &= 83700.83 & L_{yz} &= -0.01 \\ L_{zx} &= -0.02 & L_{zy} &= -0.01 & L_{zz} &= 3021.64 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 367015.96 & I_{xy} &= 554.35 & I_{xz} &= 18694.27 \\ I_{yx} &= 554.35 & I_{yy} &= 366474.04 & I_{yz} &= 21351.10 \\ I_{zx} &= 18694.27 & I_{zy} &= 21351.10 & I_{zz} &= 5882.22 \end{aligned}$$

## PROPIEDADES FÍSICAS DE EJE1

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 33.93 gramos

Volumen = 33929.20 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 11535.93 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

$$X = 0.00$$

$$Y = 0.00$$

$$Z = -150.00$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>)  
Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned} I_x &= (0.00, 0.00, 1.00) & P_x &= 610.73 \\ I_y &= (0.00, -1.00, 0.00) & P_y &= 254774.37 \\ I_z &= (1.00, 0.00, 0.00) & P_z &= 254774.37 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 254774.37 & L_{xy} &= 0.00 & L_{xz} &= 0.00 \\ L_{yx} &= 0.00 & L_{yy} &= 254774.37 & L_{yz} &= 0.00 \\ L_{zx} &= 0.00 & L_{zy} &= 0.00 & L_{zz} &= 610.73 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 1018181.38 & I_{xy} &= 0.00 & I_{xz} &= 0.00 \\ I_{yx} &= 0.00 & I_{yy} &= 1018181.38 & I_{yz} &= 0.00 \\ I_{zx} &= 0.00 & I_{zy} &= 0.00 & I_{zz} &= 610.73 \end{aligned}$$

## PROPIEDADES FÍSICAS DE EJE2

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 52.02 gramos

Volumen = 52024.77 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 17567.79 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

$$X = 0.00$$

$$Y = 0.00$$

$$Z = -230.00$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>)  
Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_x = 936.45$$

$$I_y = (0.00, -1.00, 0.00) \quad P_y = 917838.41$$

$$I_z = (1.00, 0.00, 0.00) \quad P_z = 917838.41$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$$L_{xx} = 917838.41 \quad L_{xy} = 0.00 \quad L_{xz} = 0.00$$

$$L_{yx} = 0.00 \quad L_{yy} = 917838.41 \quad L_{yz} = 0.00$$

$$L_{zx} = 0.00 \quad L_{zy} = 0.00 \quad L_{zz} = 936.45$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$I_{xx} = 3669948.97 \quad I_{xy} = 0.00 \quad I_{xz} = 0.00$$

$$I_{yx} = 0.00 \quad I_{yy} = 3669948.97 \quad I_{yz} = 0.00$$

$$I_{zx} = 0.00 \quad I_{zy} = 0.00 \quad I_{zz} = 936.45$$

## PROPIEDADES FÍSICAS DE EJE MOTOR CON PLATINA PARA EL EJE

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 47.36 gramos

Volumen = 47362.39 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 44953.38 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

$$X = 63.35$$

$$Y = 16.78$$

$$Z = -13.35$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>)  
Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (1.00, -0.01, 0.00) \quad P_x = 10443.26$$

$$I_y = (0.01, 1.00, 0.00) \quad P_y = 255095.35$$

$$I_z = (-0.00, -0.00, 1.00) \quad P_z = 255242.86$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$$L_{xx} = 10458.30 \quad L_{xy} = -1918.42 \quad L_{xz} = 0.11$$

$$\begin{aligned} L_{yx} &= -1918.42 & L_{yy} &= 255080.31 & L_{yz} &= 0.02 \\ L_{zx} &= 0.11 & L_{zy} &= 0.02 & L_{zz} &= 255242.86 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 32239.22 & I_{xy} &= 48429.17 & I_{xz} &= -40070.24 \\ I_{yx} &= 48429.17 & I_{yy} &= 453624.80 & I_{yz} &= -10612.63 \\ I_{zx} &= -40070.24 & I_{zy} &= -10612.63 & I_{zz} &= 458675.60 \end{aligned}$$

### PROPIEDADES FÍSICAS DE SOPORTE EJE

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 8.40 gramos

Volumen = 8404.57 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 11576.67 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

$$X = 6.42$$

$$Y = 2.14$$

$$Z = -0.00$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>)  
Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (0.88, -0.47, 0.00) \quad P_x = 2539.26$$

$$I_y = (0.00, -0.00, -1.00) \quad P_y = 3306.82$$

$$I_z = (0.47, 0.88, -0.00) \quad P_z = 3572.80$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$$L_{xx} = 2765.31 \quad L_{xy} = -427.24 \quad L_{xz} = 0.02$$

$$L_{yx} = -427.24 \quad L_{yy} = 3346.75 \quad L_{yz} = -0.01$$

$$L_{zx} = 0.02 \quad L_{zy} = -0.01 \quad L_{zz} = 3306.82$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$I_{xx} = 2803.87 \quad I_{xy} = -311.75 \quad I_{xz} = 0.01$$

$$I_{yx} = -311.75 \quad I_{yy} = 3692.63 \quad I_{yz} = -0.01$$

$$I_{zx} = 0.01 \quad I_{zy} = -0.01 \quad I_{zz} = 3691.26$$

### PROPIEDADES FÍSICAS DE BASE CUADRADA (SOPORTES DE LOS LADOS)

Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 2095.63 gramos

Volumen = 266959.27 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 445146.34 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

X = 326.69

Y = 552.73

Z = -12.70

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>)  
Medido desde el centro de masa.

I<sub>x</sub> = (0.00, 1.00, -0.00)    P<sub>x</sub> = 149294835.15

I<sub>y</sub> = (-1.00, 0.00, 0.00)    P<sub>y</sub> = 194840567.67

I<sub>z</sub> = (0.00, 0.00, 1.00)    P<sub>z</sub> = 343727234.28

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

L<sub>xx</sub> = 194840567.67    L<sub>xy</sub> = -0.00    L<sub>xz</sub> = 0.00

L<sub>yx</sub> = -0.00    L<sub>yy</sub> = 149294835.17    L<sub>yz</sub> = -2031.95

L<sub>zx</sub> = 0.00    L<sub>zy</sub> = -2031.95    L<sub>zz</sub> = 343727234.26

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

I<sub>xx</sub> = 835411085.46 I<sub>xy</sub> = 378410716.34 I<sub>xz</sub> = -8696216.13

I<sub>yx</sub> = 378410716.34 I<sub>yy</sub> = 373293412.10 I<sub>yz</sub> = -14715144.07

I<sub>zx</sub> = -8696216.13    I<sub>zy</sub> = -14715144.07    I<sub>zz</sub> = 1207620088.07

## **PROPIEDADES FÍSICAS DE REFUERZO1 PARA LA BASE (PARTE DE ENFRENTÉ Y ATRÁS)**

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 128.59 gramos

Volumen = 128592.00 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 135717.20 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

X = 12.70

Y = 12.70

Z = -360.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>)  
Medido desde el centro de masa.

I<sub>x</sub> = (0.00, 0.00, 1.00)    P<sub>x</sub> = 23826.38

I<sub>y</sub> = (0.00, -1.00, 0.00)    P<sub>y</sub> = 5567087.59

I<sub>z</sub> = (1.00, 0.00, 0.00)    P<sub>z</sub> = 5567087.59



Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$$\begin{aligned}L_{xx} &= 5567087.59 & L_{xy} &= 0.00 & L_{xz} &= 0.00 \\L_{yx} &= 0.00 & L_{yy} &= 5567087.59 & L_{yz} &= 0.00 \\L_{zx} &= 0.00 & L_{zy} &= 0.00 & L_{zz} &= 23826.38\end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned}I_{xx} &= 22253351.40 & I_{xy} &= 20740.60 & I_{xz} &= -587922.62 \\I_{yx} &= 20740.60 & I_{yy} &= 22253351.40 & I_{yz} &= -587922.62 \\I_{zx} &= -587922.62 & I_{zy} &= -587922.62 & I_{zz} &= 65307.59\end{aligned}$$

## PROPIEDADES FÍSICAS DE REFUERZO2 PARA LA BASE (LADOS)

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 107.62 gramos

Volumen = 107620.79 mm<sup>3</sup>

Área de superficie = 113642.24 mm<sup>2</sup>

Centro de masa: (mm)

$$X = 12.70$$

$$Y = 12.70$$

$$Z = -301.29$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>)  
Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned}I_x &= (0.00, 0.00, 1.00) & P_x &= 19940.70 \\I_y &= (0.00, -1.00, 0.00) & P_y &= 3266419.85 \\I_z &= (1.00, 0.00, 0.00) & P_z &= 3266419.85\end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). (Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$$\begin{aligned}L_{xx} &= 3266419.85 & L_{xy} &= 0.00 & L_{xz} &= 0.00 \\L_{yx} &= 0.00 & L_{yy} &= 3266419.85 & L_{yz} &= 0.00 \\L_{zx} &= 0.00 & L_{zy} &= 0.00 & L_{zz} &= 19940.70\end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos \* mm<sup>2</sup>). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned}I_{xx} &= 13053126.51 & I_{xy} &= 17358.16 & I_{xz} &= -411798.35 \\I_{yx} &= 17358.16 & I_{yy} &= 13053126.51 & I_{yz} &= -411798.35 \\I_{zx} &= -411798.35 & I_{zy} &= -411798.35 & I_{zz} &= 54657.01\end{aligned}$$

## **ANEXO F**

## **ACERO INOXIDABLE**

## LAMINA DE ACERO INOXIDABLE

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable es debida a una delgada película de óxido de cromo que se forma en la superficie del acero; como consecuencia del agregado de los elementos cromo, níquel, molibdeno, titanio, niobio y otros se producen distintos tipos de acero inoxidable, cada uno con diferentes propiedades.

A pesar de ser sumamente delgada, ésta película invisible fuertemente adherida al metal, lo protege contra los distintos tipos de corrosión, renovándose inmediatamente cuando es dañada por abrasión, corte, maquinado, etc.

En la actualidad se cuenta con un gran número de tipos y grados de acero inoxidable en diversas presentaciones, y con una gran variedad de acabados, dimensiones, tratamientos, etc. Atendiendo a la estructura predominante de cada tipo, los aceros pueden ser clasificados en tres grupos:

- \*Austeníticos
- \*Martensíticos
- \*Ferríticos

La lámina de acero inoxidable escogida es de calibre 28, de la serie 400, es decir, acero inoxidable ferrítico.

Se selecciono este tipo de lámina, debido a que tienen un contenido de cromo que varia de 12 a 18%, pero el contenido de Carbono es bajo <0.2%. Los tipos más comunes son el AISI 430, 409 y 434 Poseen buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico.

Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

Debido a que el concentrador va a estar expuesto al sol y se manejan temperaturas relativamente altas, se encontró que este tipo de material era perfecto para ser empleado en la carcasa del concentrador; además, por su facilidad de transformación, se podía adaptar fácilmente a los semiarcos del concentrador.

**TABLA DE CARACTERISTICAS TECNICAS DEL ACERO INOXIDABLE**

		SERIE 400 FERRITICO	
		ACERO AL CROMO	
DESIGNACION	TIPO A.I.S.I.	430	
	COMPOSICIÓN QUIMICA	C% 0,15 Máx. Mn% 1,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,00-18,00	
PRIORIDADES FÍSICAS	PESO ESPECIFICO (g/cm <sup>3</sup> )		7,7
	MODULO DE ESLASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )		200.000
	ESTRUCTURA		FERRITICO
	COLOR ESPECIFICO A 20°C (J/Kg°K)		460
	CONDUCTIBILIDAD TERMICA (W/M°k)	a	26
		a	27
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (*10 <sup>6</sup> °C <sup>-1</sup> )	0-100°C 0-300°C 0-500°C 0-700°C	10,- 10,5 11,- 11,9
	INTERVALO DE FUSION (°C)		1427-1510
PRIORIDADES ELECTRICAS	PERMEBEALIDAD TERMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	Ferromagnético	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELECTRICA A 20°C	0,60	
PRIORIDADES MECANICAS A 20°C	DUREZA RECOCIDO HB BRINELL CON DEFORMACIÓN EN FRIO HB	130-180	
	DUREZA RECOCIDO HRB ROCKWELL CON DEFORMACIÓN EN FRIO HRB	75-80	
	RESISTENCIA A RECOCIDO LA TRACCIÓN	490-685	
	CON DEFORMACIÓN EN FRIO Rm (N/mm <sup>2</sup> )	-	
	ELASTICIDAD RECOCIDO CON DERFORMACION EN FRIO Rp(0,2) (N/mm <sup>2</sup> )	275-420	
	RECOCIDO Rp (1)(N/mm <sup>2</sup> ) Mfínimo	-	
	ALARGAMIENTO A(%) 50mm	290	
		30-20	
	ESTRICCION RECOCIDO Z(%)	70-60	
		50 65	
RESILENCIA	KCUL(J/cm <sup>2</sup> ) KVL(J/cm <sup>2</sup> )		

<b>PRIORIDADES MECANICAS EN CALIENTE</b>	<b>ELASTICIDAD DIFERENTES TEMPERATURAS</b>	<b>Rp(0,2) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	a 300°C	260
			a 400°C	228
			a 500°C	164
		<b>Rp(1) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	a 300°C	-
			a 400°C	-
			a 500°C	-
<b>TRATAMIENTOS TERMICOS</b>	RECOCIDO COMPLETO (°C)	ENFR. AL AIRE		
	RECOCIDO INDUSTRIAL (°)	785-840		
	TEMPLE	NO COGE		
	INTERVALO DE FORJA T° INIC. T° FIN.	TEMPLE 1050		
<b>OTRAS PROPIEDADES</b>	TEMPERATURA FORMA- SERVICIO CONTINUO	840		
	CION CASCARILLA SERVICIO INTERMITENTE	840		
		890		
<b>OTRAS PROPIEDADES</b>	SOLDABILIDAD	BUENA UNION		
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a B 1112	FRÁGIL 55%		
	EMBUTICION	SUFICIENTE		

## **ANEXO G.**

## **LENTE CONVERGENTE**



## RECOMENDACIÓN PARA CREAR UN LENTE

De acuerdo al análisis que se dio con la parábola, se observa que los rayos solares convergen a un punto el cual se le conoce como foco; ahora se pretende expandir ese punto focal con una lente que diverja ese punto focal.

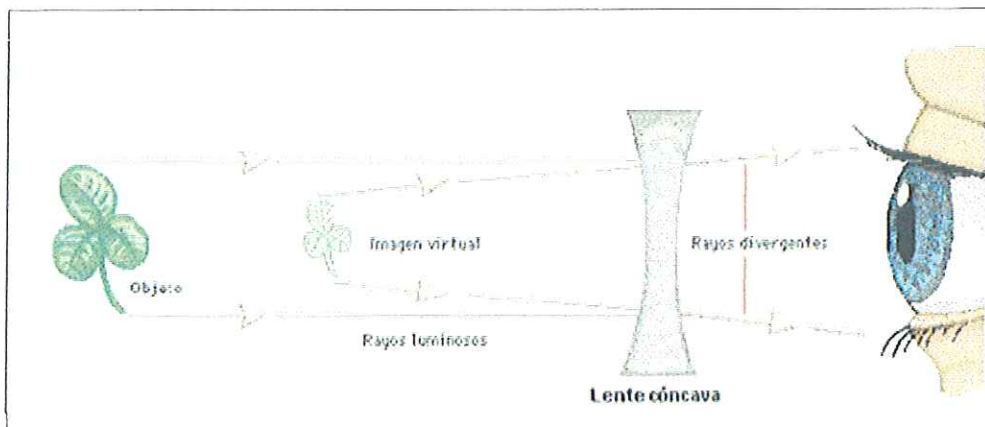
La función de un sistema óptico es colectar y cambiar la forma de una porción del frente de onda incidente, a menudo con la intención final de formar una imagen (área receptora) del objeto (haz de luz).

### Selección del sistema óptico:

Se entiende por lente un sistema óptico formado por dos o más superficies refractoras, siendo al menos una de ellas curva.

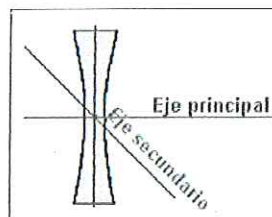
Se selecciona una lente de tipo cóncava (del latín concavus que significa hueco), por ser una lente de tipo divergente o negativa y porque son más delgadas en el centro y tienden a que la onda sea más divergente conforme pasa a través de la lente.

También es de tipo delgada, esto despreciando el grosor de la lente.



### Elementos de las lentes:

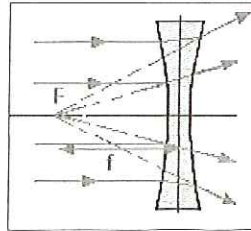
Una lente está compuesta por dos superficies esféricas, cada una con su centro de curvatura. La línea que une los centros de curvatura se llama eje principal.



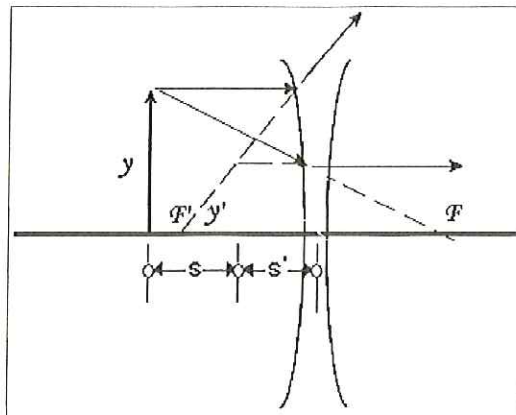
El centro geométrico de la lente es el Centro óptico, O.  
 Centro de curvatura, C y C', son los centros de las superficies que forman sus caras.

Todas las rectas que pasan por el Centro óptico son ejes secundarios.

Foco principal imagen es el punto del eje del que parecen divergir los rayos que vienen del infinito después de atravesarla.



### Ecuación de las lentes delgadas:



$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Y si  $R_1 = R_2 = R$  entonces se simplifica =

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n - 1) = \frac{1}{f} \quad \text{Donde } f = 1/2 \quad (2)$$

En esta expresión n es el índice de refracción del material que compone la lente,  $R_1$  y  $R_2$  los radios de curvatura de las dos interfases que forman la lente, y f la distancia focal (que, en el caso de lentes delgadas, es la misma para objeto e imagen); s y s' son las distancias frontales objeto e imagen, respectivamente, y f' es la distancia focal imagen de la lente. Todas estas distancias se miden desde los planos principales correspondientes.

Por otra parte, la relación entre el tamaño del objeto y el tamaño de la imagen se denomina aumento lateral,  $M_T$ , y viene dado por:

$$M_T = y'/y = -s'/s \quad (3)$$

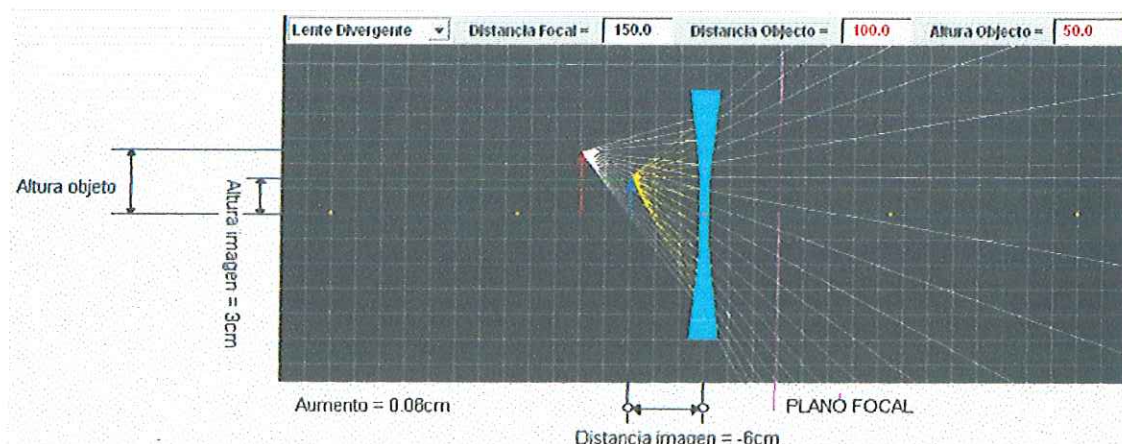
Análogamente, la potencia dióptrica de la lente se define como la inversa de la distancia focal:

$$\frac{1}{f} \quad (4)$$

y se mide en dioptrías si la distancia focal se mide en metros.

### Dimensiones de la lente cóncava:

Suponiendo un haz de luz de altura de 5cm, y a una distancia del vértice de la lente de 10cm, y un foco a 15 cm.



### Explicación de la grafica:

Se ve en la grafica la flecha de color rojo como el objeto(haz de luz) y su emisión de rayos hacia la lente con una altura de 5cm y a una distancia del vértice de 10cm; la flecha en azul es la imagen virtual con un aumento del 0.06cm y a una distancia de -6cm; la línea morada indica un plano focal donde puede ir el recipiente para que ocupe todos esos rayos y a una distancia de 6cm, dando así mayor distribución en el recipiente que es el objetivo; y la ubicación del foco de la lente a una distancia del vértice de 15cm.

### **NOTAS ACLARATORIAS:**

- A mayor radio de curvatura de la lente el foco se encontrará más cerca del vértice, dependiendo del índice de refracción de la lente, ya que a menor índice de refracción el foco se alejara del vértice.
- La imagen siempre es virtual.
- Cuanto mas se aleja el foco del vértice, la lente diverge menos.
- La imagen virtual siempre es más pequeña.

## **ANEXO H.**

# CONTROL

## 1. Función de transferencia de la planta:

### 1.1 Concentrador

$$\text{Concentrador} = Q_e - Q_{\text{sal}} = Q_{\text{acum}} \quad \text{ó} \quad IA(\tau\alpha) - U_L A \Delta T = \rho C_p \frac{V dT}{dt} \quad (1)$$

Por lo tanto:

$$Q_R - K_{\text{calor}} T = K_{\text{acum}} \frac{dT}{dt}$$

$$\text{Donde: } Q_R = K_{\text{acum}} \frac{dT}{dt} + K_{\text{calor}} T \Rightarrow \frac{1}{K_{\text{calor}}} Q_R = \frac{K_{\text{acum}}}{K_{\text{calor}}} \frac{dT}{dt} + \frac{K_{\text{calor}}}{K_{\text{calor}}} T$$

Después de realizar operaciones tenemos:

$$L\left(\frac{1}{K_{\text{calor}}} Q_R\right) = L\left(\frac{K_{\text{acum}}}{K_{\text{calor}}} \frac{dT}{dt}\right) + L(T) \quad \text{Aplicamos transformada de LAPLACE}$$

obteniendo:

$$K_{\text{calor}} Q_R(s) = ST(s) + T(s) \quad \text{Realizando operaciones matemáticas y ordenando:}$$

$$\frac{T(s)}{Q_R(s)} = \frac{K_{\text{calor}}}{(s+1)}$$

Por lo tanto la función de transferencia del concentrador es igual a:

$$\frac{T(s)}{Q_R(s)} = \frac{K_{\text{calor}}}{(s+1)} \quad (2)$$

Siendo una ecuación de primer orden.

### 1.2 Planta

Multiplicando por las respectivas funciones de los otros componentes de la planta:

Actuador: motor: Km

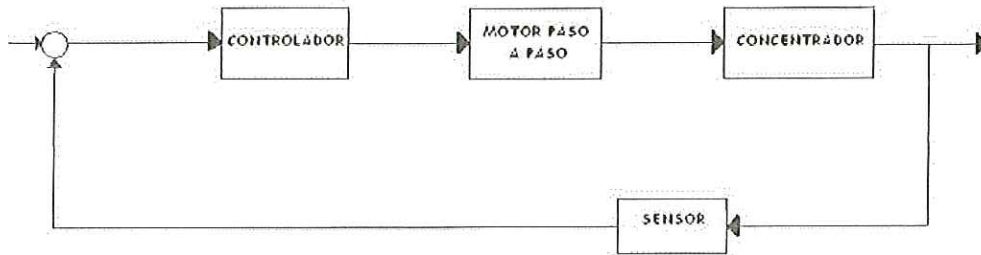
Sensor: Ks

Son de tipo constante, debido a que siempre varían un mismo valor

$$Gp(s) = \frac{Km * Kc * Ks}{(s+1)} = \frac{Kp}{(s+1)} \quad (3)$$

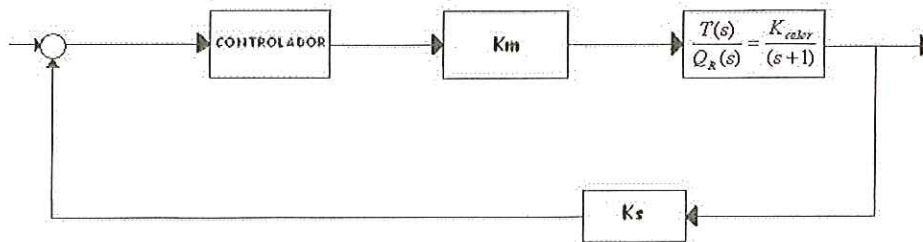
### 1.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE TODO EL SISTEMA

Figura 1. Diagrama de bloques del sistema



### FUNCION DE TRANSFERENCIA DE CADA COMPONENTE

Figura 2. Diagrama de las funciones de transferencia de los componentes del sistema



## 2 RETENEDOR DE ORDEN CERO

Se conoce mas como retenedor de orden cero (ROC), debido a que mantiene el valor de  $f(kT)$  en el intervalo  $kT \leq t < (k+1)T$  hasta que llegue la siguiente muestra,  $f[(k+1)T]$ .

El retenedor de orden cero (ROC) es un dispositivo lineal, ya que satisface el principio de superposición.

Para obtener la función de transferencia del ROC, se considera la respuesta al impulso unitario, la cual es respuesta a la ecuación:  $f_k(t) = f(kT)$ . La respuesta al impulso puede expresarse como:

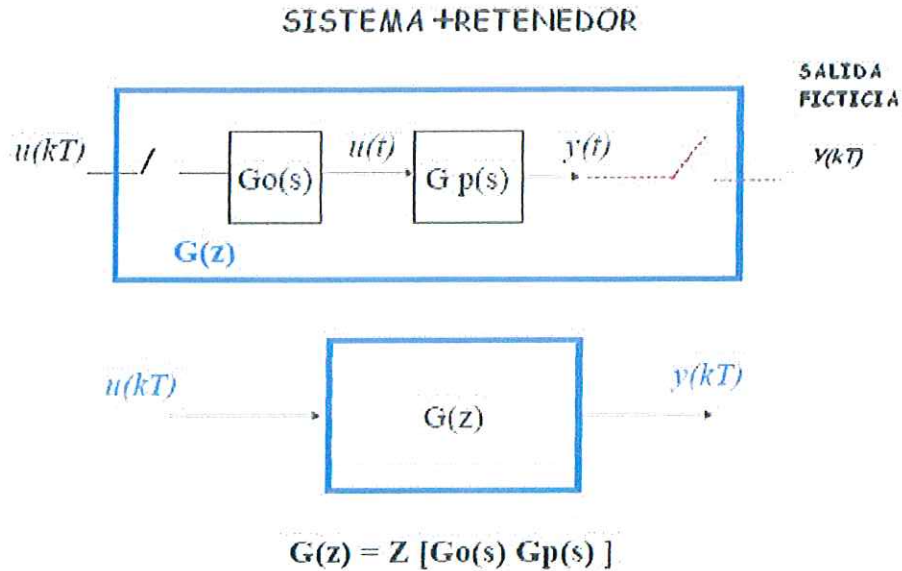
$$g_{ho}(t) = u_s(t-T)$$



Donde  $u_s(t)$  es la función escalón unitario. La función de transferencia del ROC se obtiene tomando la transformada de Laplace de la ecuación anterior. El resultado es:

$$G_{ROC}(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s}$$

Figura 3. Diagrama del sistema aplicándole el retenedor cero



**Para nuestro sistema tenemos que:**

$$G_p(s) = \frac{K_m * K_c * K_s}{(s+1)} = \frac{K_p}{(s+1)} \quad \text{Función de transferencia de la planta} \quad (4)$$

$$G_{ROC} = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \quad \text{Función de transferencia del retenedor de orden cero} \quad (5)$$

Aplicando transformada Z en la planta precedida por el retenedor de orden cero tenemos:

$$G_{ROC} = Z \left( \frac{1 - e^{-Ts}}{s} * \frac{K_p}{(s+1)} \right) \Rightarrow (1 - z^{-1}) z \left( \frac{K_p}{s(s+1)} \right)$$

Donde:

$$z \left( \frac{Kp}{s(s+1)} \right) = \frac{z(1-e^{-aT})}{(z-1)(z-e^{-aT})} \quad \text{Donde } T=1 \text{ seg. Y } a=1 \quad \text{por lo tanto:}$$

$$z \left( \frac{Kp}{s(s+1)} \right) = \frac{z(1-e^{-1})}{(z-1)(z-e^{-1})} \Rightarrow \frac{z(1-0.3678)}{(z-1)(z-0.3678)} = \frac{z-0.3678z}{(z-1)(z-0.3678)} = \frac{0.6322z}{(z-1)(z-0.3678)}$$

Dividimos entre z t tenemos que:

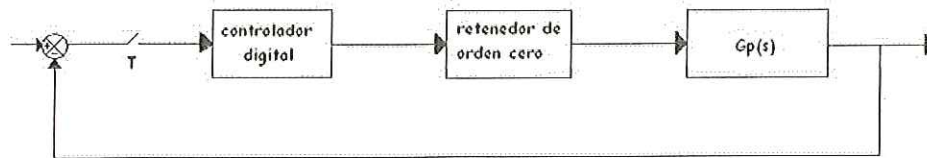
$$z \left( \frac{Kp}{s(s+1)} \right) = \frac{0.6322}{(1-z^{-1})(1-0.3678z^{-1})}$$

Multiplicando por el ROC:

$$G_{ROC} = (1-z^{-1}) \left( \frac{0.6322}{(1-z^{-1})(1-0.3678z^{-1})} \right) = \frac{0.6322(1-z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-0.3678z^{-1})} \quad (6)$$

$$G_{ROC} = \frac{0.6322 - 0.6322z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-0.3678z^{-1})}$$

Figura 4. Diagrama del retenedor aplicado a la planta



### 3 Controlador Proporcional Integral (PI)

Empleado de manera apropiada, el controlador PI mejora el desempeño de estado estacionario al aumentar el tipo del sistema y, al mismo tiempo, mejora la estabilidad relativa. Estas características se alcanzan con el principio de atraso de fase bipolar.

En este caso la Función de Transferencia del controlador es:

$$G_C(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right) = K_p \left( \frac{s + \frac{1}{T_i}}{s} \right) \quad (7)$$

Como se puede apreciar este tipo de controlador introduce, además de una proporcional, un polo en el origen y un cero en el eje real. Su efecto sobre la transitoria es relativamente negativo, pues desmejora la estabilidad relativa del sistema cerrado, en tanto que, su efecto sobre la respuesta transitoria es una mejora radical, debido a la introducción de un cero en el origen, lo que aumenta el tipo del sistema.

Debido a que el sistema es de primer orden, el controlador es un PI, por lo tanto:

$$W_{CPI}(z) = K_{pd} + \frac{k_{id}}{1 - z^{-1}} \quad (8)$$

$$K_{pd} = K_{pc} - \frac{K_{id}}{2} \Rightarrow K_{pc} = \frac{\tau}{K\tau_c}$$

Donde

$$K_{id} = \frac{KT}{T_i}$$

Con  $T=0.05$  (tiempo de muestreo)

$$K=0.01667$$

$$T_i=0.05$$



valores tomados de la planta

$$T_i = \tau$$

$$t_0 = 0.01$$

$$a_1 = 1.305$$



valores para hallar  $K_c = \frac{\tau}{K\tau_c}$

$$a_2 = 0.492$$

$$b_1 = -0.959$$

$$b_2 = 0.739$$

Por lo tanto tenemos que:

$$K_c = \frac{a_1}{K} \left( \frac{t_0}{\tau} \right)^{b1} = \frac{1.305}{0.01667} \left( \frac{0.01}{0.05} \right)^{-0.959} \quad K_c = 366.43$$

$$\tau_i = \frac{\tau}{a_2} \left( \frac{t_0}{\tau} \right)^{b2} = \left( \frac{0.05}{0.492} \right) \left( \frac{0.01}{0.05} \right)^{0.739} \quad \tau_i = 0.030$$

$$K_{pc} = \frac{\tau}{K \tau_c} \text{ despejando } \tau_c \text{ tenemos: } \tau_c = \frac{\tau}{K_{pc} K}$$

$$\tau_c = \frac{0.05}{366.43(0.01667)} = 0.0081$$

$$K_{id} = \frac{KT'}{T_i} = \frac{0.01667 * 0.05}{0.05} = 0.01667$$

$$K_{pid} = K_{pc} - \frac{K_{id}}{2} = 366.43 - \frac{0.01667}{2} \Rightarrow K_{pid} = 366.42$$

Por lo tanto tenemos:

$$W_{CPI}(z) = 366.42 + \frac{0.01667}{1 - z^{-1}}$$

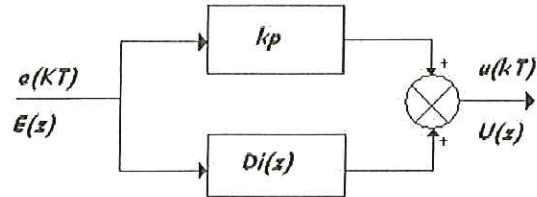
$$W_{CPI}(z) = \frac{366.42(1 - z^{-1}) + 0.01667}{1 - z^{-1}}$$

Por lo tanto la transformada del controlador es igual a:

$$W_{CPI}(z) = \frac{366.42(1 - z^{-1}) + 0.01667}{1 - z^{-1}} \quad (9)$$

## DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL CONTROLADOR PI

Figura 5. Diagrama de bloques para un controlador PI



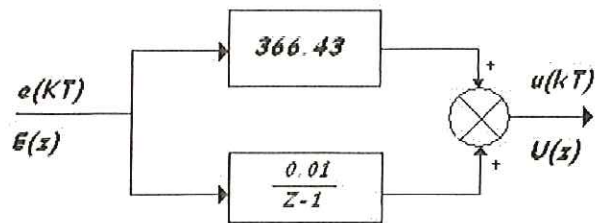
Donde:

$$K_P: 366.43 \quad \text{y} \quad D_I(z) = K_I \frac{T}{z-1} \quad (10)$$

$$K_I = 0.20 \quad D_I(z) = 0.20 \frac{0.05}{z-1} = \frac{0.01}{z-1}$$

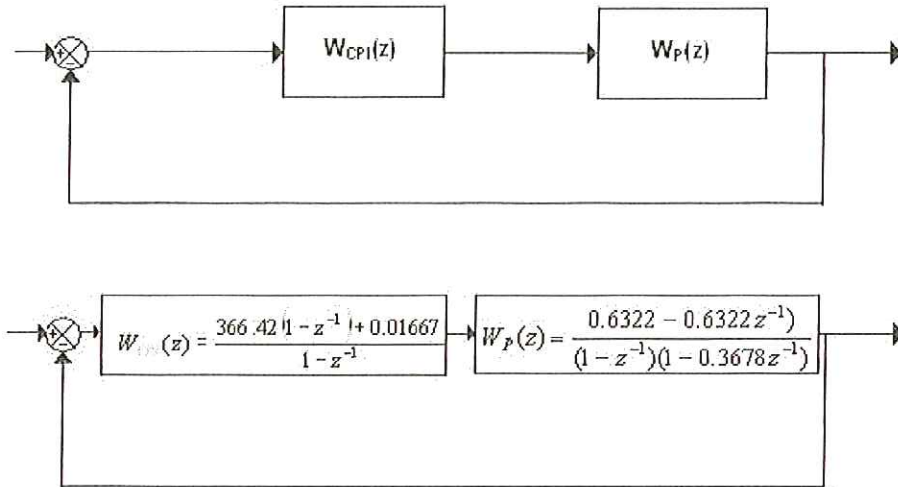
Por lo tanto, el diagrama de bloques queda así:

Figura 6. Diagrama del controlador PI



**Para utilizar los criterios de estabilidad se hace lo siguiente:**

Figura 7. Diagramas de análisis para criterios de estabilidad



$$W_{c_{LC}}(z) = \frac{W_c(z)W_p(z)}{1 + W_c(z)W_p(z)}$$

Por lo tanto:

$$W_{c_{LC}}(z) = \frac{\left( \frac{366.42(1-z^{-1}) + 0.01667}{1-z^{-1}} \right) \left( \frac{0.6322 - 0.6322z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-0.3678z^{-1})} \right)}{1 + \left( \frac{366.42(1-z^{-1}) + 0.01667}{1-z^{-1}} \right) \left( \frac{0.6322 - 0.6322z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-0.3678z^{-1})} \right)}$$

Resolviendo la ecuación tenemos como resultado:

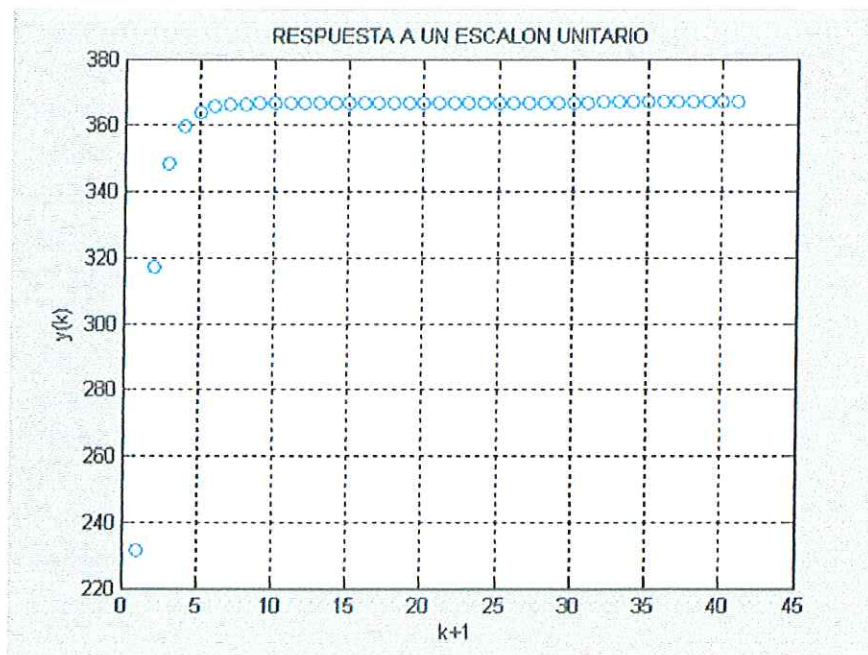
$$W_{c_{LC}}(z) = \frac{231.66 - 463.31z^{-1} + 231.65z^{-2}}{1 - 2.3678z^{-1} + 1.7365z^{-2} - 0.3678z^{-3}} \quad (11)$$

Teniendo la ecuación del sistema en lazo cerrado se procede a analizar la estabilidad del sistema y su respuesta a un escalón unitario:

## Respuesta a un escalón unitario

```
num= [231.66 -463.31 231.65 0];  
den= [1 -2.3678 1.7356 -0.3678];  
u= ones (1,41);  
v= [0 40 0 1.6];  
axis (v);  
y=filter (num, den, u);  
Plot (y, 'o')  
grid  
title ('Respuesta a un escalón unitario')  
xlabel ('k+1')  
ylabel ('y (k)')
```

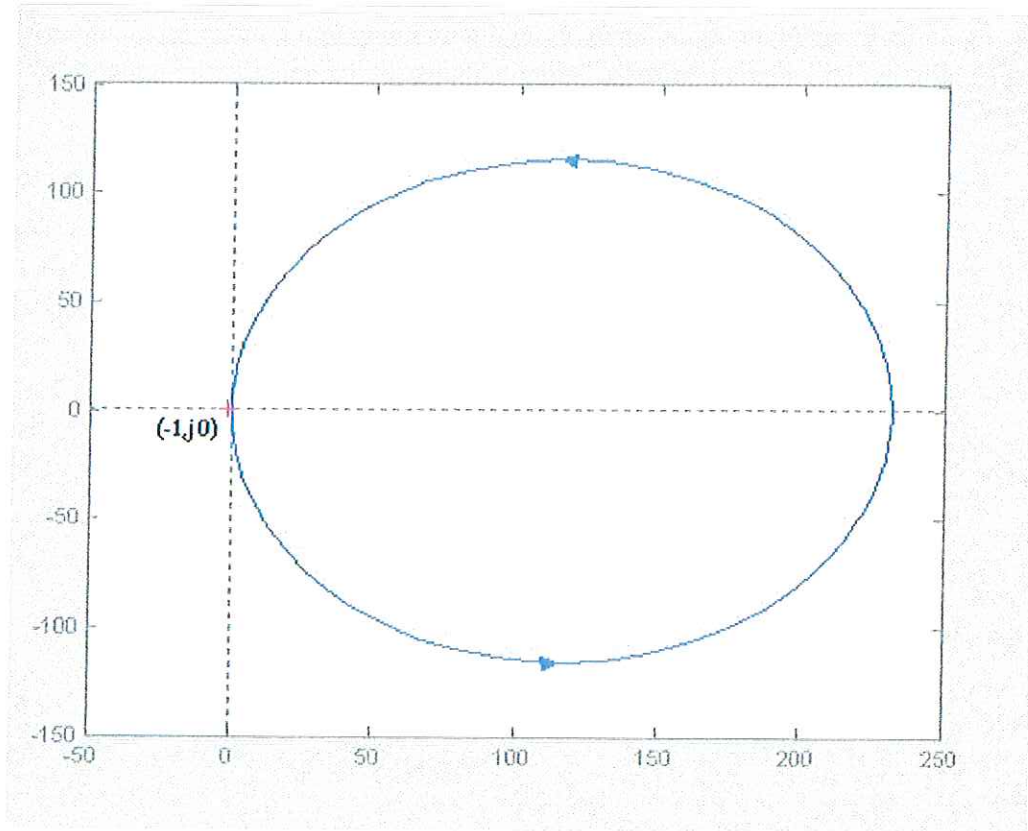
Figura 8. Respuesta a un escalón unitario



Como se observa en la grafica el sistema se estabiliza después de un tiempo manteniéndose de esta forma.

## Criterio de NYQUIST

Figura 9. Diagrama de NYQUIST



En la grafica se ve que el sistema no abarca el punto  $(-1, j0)$ , demostrando que el sistema se encuentra dentro del limite de la estabilidad, según los criterios de análisis de nyquist.