



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES**

**AVANZADOS**

**C.I.M.A.V.**

**POSGRADO**

---

---

**“PROTOTIPO DE COLECTOR  
CONCENTRADOR  
SOLAR TIPO FRESNEL”**

**Tesis que como requisito para obtener el Grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**PRESENTA: C. ALEJANDRO HERNÁNDEZ GUERRERO.**

**ASESOR: DR. DANIEL SAUCEDA CARBAJAL**

**CHIHUAHUA, CHI.**

**DICIEMBRE DEL 2012.**



## **RESUMEN**

El alto consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, es la causa indirecta de la contaminación ambiental, lo que da origen de forma fundamental al efecto invernadero y calentamiento global del planeta. Así mismo, la disponibilidad de energía se ha convertido en uno de los problemas más importantes para la humanidad, como consecuencia de las demandas crecientes de energéticos para satisfacer las necesidades de la sociedad moderna. Es necesaria la utilización de tecnologías que a partir de recursos renovables nos permitan emigrar hacia sistemas energéticos limpios y sustentables, mantener el equilibrio ambiental del planeta, con lo que se podrá contrarrestar problemas ambientales, energéticos, económicos y sociales, por lo que es necesario visualizar el uso de tecnologías solares sustentables, ya que se tiene un amplio potencial energético para la operación de sistemas tanto térmicos, como fotovoltaicos, que proporcionen energía para satisfacer sus necesidades de la sociedad.

El objetivo de esta tesis fue diseñar y construir un prototipo didáctico que mediante la captación y concentración de energía solar térmica nos permitiera mostrar a los alumnos de la carrera de Energías Renovables una de las alternativas ante el problema del calentamiento global que nos permite reducir el impacto ambiental. A partir de la experimentación realizada con el prototipo de calentador-concentrador de energía solar tipo Fresnel se demuestra que con esta tecnología es factible captar una mayor cantidad de energía. Así mismo a partir del dimensionamiento del prototipo y la evaluación del recurso solar, se pudo concluir que el colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel es una excelente alternativa ante las condiciones climáticas de la ciudad de Santiago de Querétaro, ya que se logró mejorar la velocidad del incremento de la temperatura en el fluido de trabajo. La implementación de este sistema permitiría abastecer las necesidades energéticas mediante una fuente de energía

renovable eliminando el uso de combustibles fósiles, reducir considerablemente el impacto ambiental y contribuir sustancialmente en la lucha por revertir el calentamiento global cuyas consecuencias catastróficas ya se están verificando en varias partes del planeta.

De igual manera, se alcanzó el objetivo de contar con un prototipo didáctico que nos permitirá mejorar la actividad docente implementando prácticas de laboratorio para que los alumnos puedan hacer significativo su conocimiento.

## INTRODUCCIÓN

En la Universidad Tecnológica de Querétaro, a partir del año 2011, se ofrece el Programa Educativo de TSU en Energía Renovables con la intención de que al cabo de dos años ofrecer la Ingeniería en Energías Renovables y como es normal en nuestro subsistema, actualmente no contamos con infraestructura de laboratorios que nos permita poder realizar prácticas de laboratorio con la finalidad de que los alumnos puedan hacer significativo el conocimiento y de esta manera se puedan apropiar de él más fácil y rápidamente. Por lo tanto, consideré necesario diseñar y construir un prototipo que nos permitiera subsanar en algo esta deficiencia y seleccioné el colector-concentrador tipo Fresnel en virtud de que es una tecnología poco conocida, que hace uso de la energía solar como fuente de abastecimiento de energía, lo que considero una buena alternativa ante la problemática del calentamiento global ya que hace uso de un recurso renovable, limpio y sustentable que permite mantener el equilibrio ambiental.

Se partió de la selección de un tubo evacuado de borosilicato en virtud de su fácil adquisición en el mercado y por economía se seleccionó un tubo de 50 cm de longitud lo que nos proporciona un área de colección de 200 cm<sup>2</sup>.

Como resultado del análisis del recurso solar en Querétaro se llegó a la conclusión de que el prototipo se puede operar con dos sistemas de seguimiento solar, el primero con en tres posiciones fijas durante tres periodos de cuatro meses en el año de 35<sup>0</sup>, 5<sup>0</sup> y 20<sup>0</sup> y el segundo con seguimiento continuo durante el día, con la finalidad de buscar que los rayos solares incidan en forma normal para tener una mejor captación de energía.

El diseño del prototipo permite operarlo en tres condiciones experimentales distintas, la primera usando solamente el tubo colector, la segunda utilizando el tubo colector y los espejos concentradores y finalmente la tercera nos permite operarlo con el tubo colector, los espejos

concentradores y el colector secundario. Estas tres condiciones de operación nos permitieron comparar el comportamiento de la variable de control que fue la temperatura del fluido de trabajo observándose un más rápido incremento en la temperatura en la tercera alternativa, es decir usando el tubo absorbedor, los espejos concentradores y el reflector secundario.

## ÍNDICE

Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas.....	xi
Capítulo I: Aspectos preliminares.....	13
1.2 Objetivo.....	13
1.2.1 Objetivo Principal.....	13
1.2.2 Objetivos Secundarios:.....	13
1.3 Hipótesis:.....	15
Capítulo II: Antecedentes.....	17
2.1 Energía.....	17
2.2 Calentamiento Global.....	19
2.3 Energía Solar.....	21
2.3 Colectores Solares Tipo Fresnel.....	23
Capítulo III: Diseño del Colector-Concentrador Tipo Fresnel.....	33
3.1 Recurso Solar.....	33
3.2 Diseño del Colector.....	38
3.3 Construcción del Colector.....	40
CAPÍTULO IV Resultados.....	51
4.1 Experimentación.....	51
4.2 Resultados.....	52
CAPÍTULO V Conclusiones.....	55
Capítulo VI Bibliografía.....	57
CAPÍTULO VII Anexos.....	59
Apéndice A.....	59





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concentración de CO <sub>2</sub> en la atmósfera.....	20
Figura 2: Radiación solar .....	22
Figura 3: Planta fresnel "Kimberlina", en California (Ausra Inc.).....	26
Figura 4: Comparación entre una lente de Fresnel (1) y una normal (2) .....	27
Figura 5: Esquema simplificado de la trayectoria de los rayos solares.....	29
Figura 6: Reflector primario .....	30
Figura 7: Tabla de características del tubo absorbedor CSP10 Zytech.....	31
Figura 8: Reflector secundario.....	32
Figura No 9. Promedio anual de radiación solar global diaria en el plano horizontal. ....	36
Figura 10: Diseño del colector primario .....	39
Figura 11: Diseño del colector-concentrador tipo Fresnel.....	40
Figura 12: Área asignada para la construcción del Prototipo .....	41
Figura 13: Mecanismo de inclinación.....	42
Figura 14: Bisagra cilíndrica.....	43
Figura 15: Reflector primario .....	44
Figura 16: Base y reflector primario.....	45
Figura 17: Tubo colector.....	46
Figura 18: Colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel.....	47
Figura 19: Colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel.....	48
Figura 20: Colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel.....	49
Figura 21: Colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel.....	49
Figura 22: Comportamiento de la Temperatura del Fluido de trabajo.....	53



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Radiación incidente en Querétaro.....	36
Tabla 2: Evaluación de inclinaciones.....	37
Tabla 3: Inclinación de Espejos .....	39
Tabla 4: Experimentación .....	53



## **Capítulo I: Aspectos preliminares**

En este capítulo se presentan los objetivos, tanto el principal como los secundarios, así como el planteamiento de la hipótesis de trabajo.

### **1.2 Objetivo**

#### **1.2.1 Objetivo Principal**

Diseñar y construir un prototipo didáctico que nos permita enriquecer la práctica docente en el marco de la nueva carrera que se impartirá en la UTEQ “Energías Renovables”.

#### **1.2.2 Objetivos Secundarios:**

- Contribuir al equipamiento del laboratorio de la nueva carrera integrando el uso de energía solar térmica con la técnica de concentración.
- Diseño del colector y concentrador de energía solar.
- Construcción del colector y concentrador solar.



### **1.3 Hipótesis:**

Con la aplicación de técnicas de concentración en el diseño de equipos de colección de energía solar, se obtiene una mayor captación de energía, lo que repercute en una reducción de contaminantes a la atmósfera y como consecuencia, una importante contribución en la disminución del problema del calentamiento global.





## Capítulo II: Antecedentes

A continuación se abordan brevemente algunos antecedentes teóricos que se consideran indispensables para enmarcar el presente trabajo y se toma como referencia el trabajo: Estudio técnico y económico de una instalación solar con colectores lineales Fresnel

Sánchez Tapia, David

Martínez Gracia, Amaya

### 2.1 Energía

Quizás el momento más decisivo para la humanidad haya sido el descubrimiento del fuego, y gracias a él, la humanidad comenzó a ser capaz de controlar y modificar muchos procesos que hasta ese momento dependían únicamente de la naturaleza. Desde entonces la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de necesidades de la sociedad, partiendo de los usos y equipos más elementales como la cocción de alimentos con los fogones de tres piedras, hasta los sofisticados aparatos electrónicos dedicados exclusivamente al ocio y el entretenimiento en la sociedad actual.

El hombre en tanto ente biológico y social depende de la energía, ya sea como la radiación solar indispensable para las funciones biológicas o para los ciclos agrícolas, o como la fuerza motriz del viento o del agua requerida para impulsar los antiguos molinos de granos, o los modernos equipos de generación eléctrica. Las necesidades pasadas, presentes y futuras de energía son determinadas y conducidas por tres factores principales: el crecimiento de la población, el desarrollo económico y el avance tecnológico.

Durante el desarrollo de la humanidad, el suministro energético dependió de los flujos naturales de energía y de la fuerza animal y humana para proveer los servicios energéticos requeridos en forma de calor, luz y trabajo. La única forma de transformación conocida era el de la energía química a energía calorífica y luminosa, mediante la quema de leña o de velas. Fue a partir de la Revolución Industrial cuando el sistema energético mundial pasó por dos transiciones altamente significativas; la primera de ellas fue iniciada por una innovación tecnológica radical: la máquina de vapor alimentada con carbón. Con ella se efectuó la primera conversión e recursos energéticos fósiles en trabajo.

La segunda gran transición fue la creciente diversificación de las tecnologías de uso final energético y de las fuentes de abastecimiento de energía. La introducción de la electricidad fue quizás el factor más importante para que esta transición ocurriera, ya que la energía eléctrica podía ser fácilmente convertida en luz, calor o trabajo en los lugares de uso final. Una segunda innovación que contribuyó a esta segunda gran transición fue el motor de combustión interna, el cual revolucionó el transporte individual y colectivo. Sin embargo, junto con esto se dio una creciente dependencia del petróleo como el energético primario que cubría las necesidades cada vez mayores de combustible para generación eléctrica y para transporte.

A partir de 1850 se da una sustitución paulatina de la biomasa tradicional por combustibles fósiles. El carbón se inició como energético predominante a principios del siglo XX, cubriendo cerca de las dos terceras partes de los requerimientos energéticos mundiales en la época de la Primera Guerra Mundial y a partir de ahí, el carbón ha sido sustituido paulatinamente por petróleo, gas natural, hidroelectricidad y, a partir de la

posguerra, el surgimiento de la energía nuclear. Sin embargo, a pesar del surgimiento de otras fuentes de energía primarias, el suministro de energía está dominado por los recursos fósiles, principalmente por el petróleo, ya que la mayoría de los países del mundo han basado su crecimiento y desarrollo en los combustibles fósiles como si fueran inagotables.

## **2.2 Calentamiento Global**

Un aspecto que ha cobrado gran relevancia a nivel mundial es el referente a las afectaciones que los recursos energéticos fósiles generan sobre el medio ambiente y sobre la salud humana. A este respecto deben señalarse dos sectores que generan emisiones masivas a la atmósfera; el primero de ellos es la generación termoeléctrica, altamente dependiente del carbón, el petróleo y el gas natural, y el segundo sector que más emisiones genera es el transporte, por depender mayoritariamente de combustibles provenientes del petróleo.

La gravedad de esta situación queda manifiesta si se analizan las emisiones de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el principal gas generador del efecto invernadero en la atmósfera, ocasionadas por la producción y el uso de energía de origen fósil. Como se puede observar en la Fig 1, las emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera han venido creciendo y se prevé que siga incrementándose, este aumento provendrá principalmente del consumo energético de los países en desarrollo, dado su crecimiento poblacional, un incremento en el nivel de vida y el aumento del número de industrias que usan energía en forma intensiva.



**Figura 1: Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.**

Fuente NOAA, gráfico original de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

Ante esta problemática, es fundamental que los gobiernos comiencen a visualizar el fin de la era de los combustibles fósiles y el surgimiento de las fuentes renovables como una alternativa idónea.

El progreso científico y tecnológico ha hecho posible la aparición de nuevas formas de aprovechamiento de energías renovables, que ciento cincuenta años antes

hubieran sido impensables, como las celdas solares, los sistemas eólicos, o los biocombustibles.

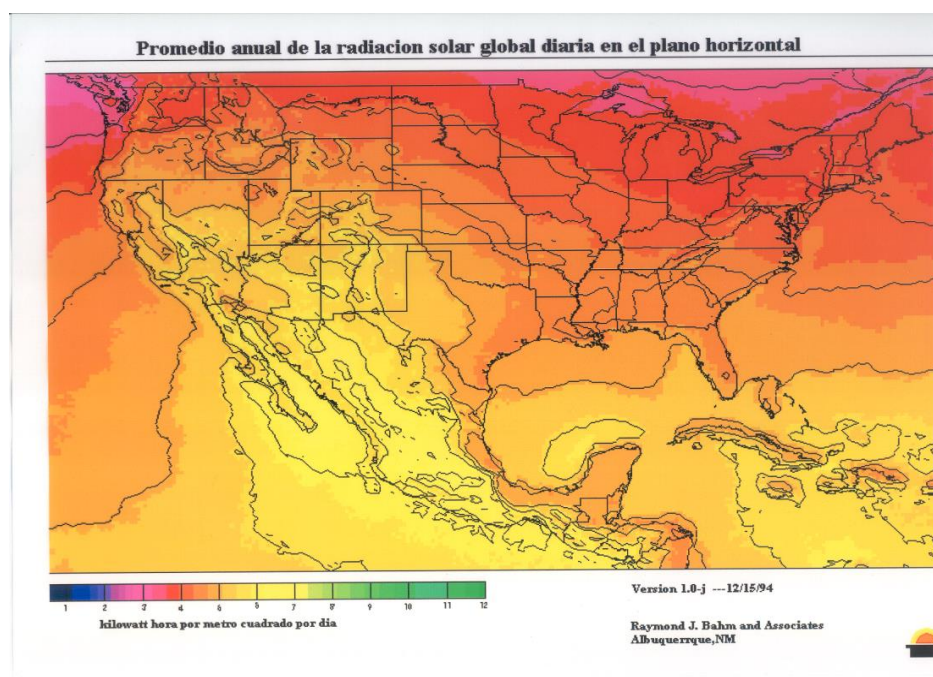
De ahí la necesidad de emprender una gran labor política, educativa y tecnológica a nivel nacional e internacional para lograr el desarrollo de las energías renovables, lo que nos conduzca hacia una nueva transición energética.

### **2.3 Energía Solar**

La radiación solar que se recibe en la superficie terrestre puede convertirse en calor, electricidad o energía mecánica mediante muy diversas tecnologías.

La energía solar es un recurso intermitente astronómica y climatológicamente, su intensidad varía en el transcurso del día debido a la rotación de la Tierra sobre su eje en 24 horas y también a lo largo del año debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol en 365.4 días. La intermitencia climatológica se debe sobre todo a la nubosidad, lo que impide la captación de la radiación solar directa, pero permite la difusa.

Pero no en todo el planeta llega la radiación solar con la misma intensidad, si dividimos el planeta en seis zonas de insolación, como podemos observar en la Fig. 2 casi todo México se encuentra en la segunda zona de mayor insolación.



**Figura 2: Radiación solar**

Raymond J Bahm and Associates

Albuquerque, NM

La energía solar puede utilizarse mediante diversas tecnologías para secado de productos agrícolas, refrigeración de productos perecederos, desalinización de agua y calentamiento de fluidos (agua, aceites, aire, etc.). Según su uso se les clasifica en sistemas activos o pasivos. Los sistemas pasivos son los que no necesitan partes mecánicas móviles para su funcionamiento y se utilizan principalmente en climatización de edificios y viviendas. Los sistemas activos son los que requieren de artefactos o

mecanismos captadores donde se aprovecha la radiación solar para calentar un fluido de trabajo. Dependiendo de la temperatura a la que se necesite calentar el fluido, los sistemas fototérmicos activos pueden concentrar o no la radiación solar. Los sistemas de generación eléctrica solares pueden usar la parte térmica, la parte luminosa o ambas para producir electricidad dependiendo de la tecnología. Los sistemas que aprovechan exclusivamente la energía luminosa son los que utilizan celdas fotovoltaicas para convertir la luz directamente en energía eléctrica. Los sistemas que utilizan exclusivamente la térmica lo hacen a través de concentración óptica de la radiación solar en un punto o en una línea, lo que es el objetivo del presente trabajo, diseñar y construir un prototipo de colector concentrador de radiación solar tipo Fresnel.

### **2.3 Colectores Solares Tipo Fresnel.**

La energía solar térmica consiste en aprovechar el calor que producen los rayos de Sol. Este aprovechamiento puede realizarse de distintas formas a través de diversas tecnologías. Es preciso hacer una diferenciación entre la energía solar térmica de baja, media y alta temperatura. La energía solar térmica de baja temperatura ( $<80^{\circ}\text{C}$ ) tiene su mayor aplicación en el Agua Caliente Sanitaria. Sin embargo, conviene destacar que existen otras posibles aplicaciones tales como calentamiento de piscinas, usos industriales, refrigeración y calefacción que cada vez son más demandadas.

Una instalación de Energía Solar Térmica de baja temperatura consta básicamente de los siguientes elementos, cuya función se describe a continuación:

Sistema de captación: transforma la radiación solar incidente en energía interna del fluido que circula por su interior.

Sistema de acumulación: almacena la energía interna producida en la instalación.

Sistema de intercambio: realiza la transferencia de calor entre fluidos que circulan por circuitos diferentes.

Sistema de transporte o de circulación: formado por tuberías y elementos de impulsión y aislamiento térmico adecuados, diseñados para transportar la energía producida.

La energía solar térmica de media y alta abarca temperaturas del fluido desde 100°C hasta más de 600°C.

Actualmente tenemos dos posibilidades de aprovechamiento de esta energía:

Térmico: El aprovechamiento térmico, consiste en concentrar la radiación solar, aprovechando su energía térmica para calentar un fluido. Dentro de este campo se pueden encontrar los hornos solares, los sistemas de desalación o los colectores que precalientan un fluido para utilizarlo en procesos industriales.

Eléctrico: El aprovechamiento eléctrico de la energía solar se realiza gracias a las turbinas de vapor y da lugar a lo que llamamos la energía solar termoeléctrica. Para el aprovechamiento termoeléctrico de la radiación solar se dispone de varios tipos de colectores que conviene diferenciar. Para ello es preciso hacer referencia al concepto “factor de concentración”.

Dentro del colector se distinguen dos elementos, el receptor y el concentrador, con funcionalidades y ubicaciones distintas. El receptor es el elemento del sistema donde



la radiación se absorbe y se convierte en energía térmica. El concentrador es el encargado de dirigir la radiación sobre el receptor.

Se pueden encontrar en los numerosos estudios sobre el tema, distintas definiciones de factor de concentración, aunque la más habitual es la de factor de concentración superficial, es decir, la razón entre el área de la apertura del concentrador ( $A_o$ ) respecto al área del receptor ( $A_R$ ):

$$C = A_o / A_R$$

Atendiendo a esta razón de concentración distinguimos los siguientes colectores solares:

- 1) Colectores lineales Fresnel (C= 20-60)
- 2) Colectores cilindro-parabólicos (C= 30-90)
- 3) Sistemas de torre central (C=200-1000)
- 4) Discos parabólicos Stirling (C=1000-5000)

Los dos primeros, colectores Fresnel y CCP, usan una tecnología de concentración lineal, esto es, concentran los rayos de Sol en una línea focal.

Los dos siguientes, de torre y disco Stirling, usan tecnología de concentración puntual, es decir, concentran los rayos solares en un solo punto.

La concentración Solar mediante colectores lineales tipo Fresnel utiliza unos espejos cuasi-planos adecuadamente orientados que reflejan la radiación solar hacia un tubo absorbedor, por el que circula agua o algún otro fluido de trabajo, que se calienta hasta altas temperaturas, se convierte en vapor y llega a unas turbinas que producen electricidad.

La característica principal radica en la forma del colector, como se puede ver en la Figura 3. Los colectores lineales fresnel se componen de largas filas de espejos planos (con una ligerísima curvatura) que actúan como lentes fresnel y un tubo absorbedor que se encuentra a una considerable altura (de 7 a 10 m. por encima).

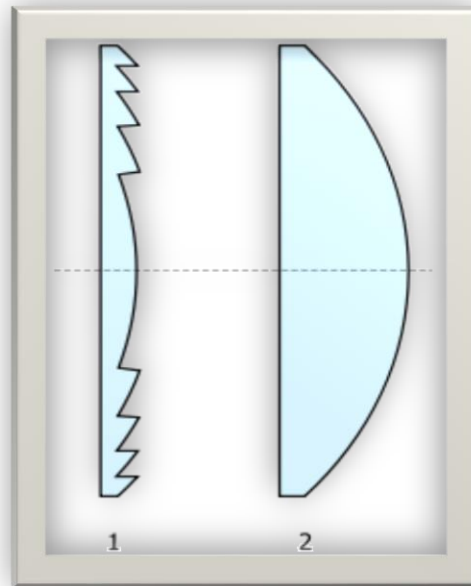


**Figura 3: Planta fresnel "Kimberlina", en California (Ausra Inc.)**

<http://www.rechargenews.com/energy/solar/article205921.ece>

Como se puede apreciar en la Fig. 4 las lentes Fresnel son más delgadas que las convencionales porque en lugar de conseguir la desviación de los rayos mediante la diferencia de grosor del cristal entre los extremos y el centro, lo realiza con diferentes perfiles concéntricos. De esta manera, si en lugar de concentrar los rayos del sol con un

gran espejo curvo lo hacemos con muchos espejos delgados y planos, con diferente orientación, tanto la estructura como los espejos son más fáciles de construir.



**Figura 4: Comparación entre una lente de Fresnel (1) y una normal (2)**

[http://marmorlu.blogspot.mx/2007\\_02\\_01\\_archive.html](http://marmorlu.blogspot.mx/2007_02_01_archive.html)

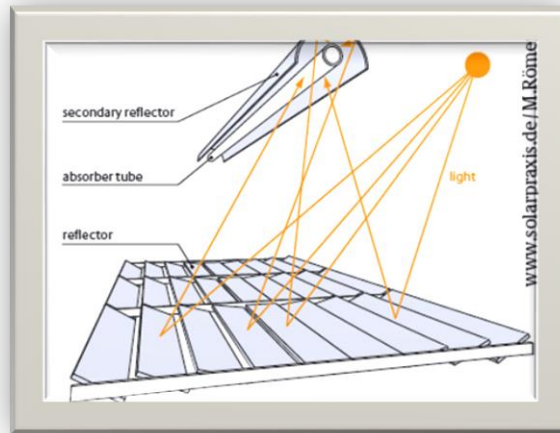
Los muchos espejos alargados que conforman el reflector primario giran durante el día siguiendo al sol, para concentrar la luz en un tubo absorbente que se encuentra encima de ellos. Este tubo está protegido por un cristal delantero y un espejo trasero que ayuda a aprovechar los rayos más oblicuos.

Un colector linear fresnel está formado por los siguientes componentes (Mills y Morrison, 1999).

Cimentación y estructura de soporte: Es simple y ligera, construida mediante perfiles estándar de acero galvanizado. En los sistemas Fresnel, esta estructura, tiene un diseño que disminuye los costos, el trabajo de limpieza y el peligro de avería en condiciones climáticas adversas. Para que el colector esté bien orientado es imprescindible que los cimientos no se muevan y la estructura de metal que lo sujeta esté bien fija. Por eso se excava para tener una base de cemento armado en la que se sujetan los perfiles de acero galvanizado. Tras montar la estructura, que suele tener el reflector primario a 1m de suelo y el secundario a una distancia entre 7 y 10m, se estabiliza con barras y tirantes. Después se montan los espejos y se comprueba que focalizan correctamente.

Sistema de seguimiento solar: Cada línea de espejos tiene una inclinación, pero al realizar el seguimiento del sol a lo largo del día todas realizan el mismo movimiento relativo. Por eso se pueden girar varias filas con un solo motor, que también se accionará cuando hay fuerte viento (espejos horizontales), granizo (verticales) o limpieza (también verticales para poder pasar entre filas). Los cojinetes se hacen asimétricos para que el centro de gravedad del espejo coincida con el eje, y en general todos los engranajes se someten a pruebas de resistencia en ambientes con mucho polvo y arena.

Reflector primario: Los espejos alargados que conforman el reflector primario giran durante el día siguiendo al sol. Son los encargados de reflejar y concentrar la luz del Sol en el tubo absorbente que se encuentra encima de ellos, como se puede ver en las Figuras No. 5 y 6



**Figura 5: Esquema simplificado de la trayectoria de los rayos solares**

<http://ecosaltanacionalypopular.blogspot.mx/2012/03/catamarca-parque-solar-termoelectrico.html>



**Figura 6: Reflector primario**

[http://www.erasolar.es/ERASOLARnet/noticias\\_nacional\\_sep3.html](http://www.erasolar.es/ERASOLARnet/noticias_nacional_sep3.html)

No obstante, investigaciones demuestran que los espejos fresnel funcionan mejor si tienen una ligerísima curvatura.

Tubo absorbedor: El tubo absorbedor está protegido por un cristal delantero y un espejo trasero (reflector secundario) que ayuda a aprovechar los rayos más oblicuos.

Por el interior del tubo circula agua, que entra en estado líquido y atraviesa el colector, evaporándose y llegando a alcanzar los 270°C.

Un tubo absorbedor debe diseñarse atendiendo a los siguientes criterios:

- La transferencia de calor entre el absorbedor y el agua que circula por él debe ser la máxima posible. Esto se consigue gracias a la utilización de un material y un espesor adecuados. Un buen material es el acero 304 (AISI), con alto porcentaje de Cromo y Níquel.
- La distribución de Temperaturas a lo largo del tubo debe ser uniforme. La distribución no uniforme causaría una acelerada degradación del material.

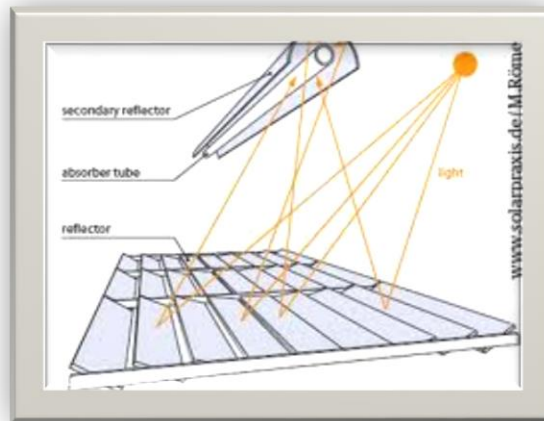
Las características de estos tubos dependen del fabricante. En la figura 7 podemos ver un ejemplo.

CSPR tubo absorción		
Material		304 (AISI) / X5CrNi189 (DIN)
Longitud		1980 ± 2 mm
Diámetro		70.5 + 0.5/-0.0
Espesor del tubo de acero		4 + 0.5/-0.0
Curvatura		≤1 mm/m
Grado de elipse		≤0.40 mm
Plano de las terminaciones		≤0.20 mm
Angulo lateral		45° x 2 mm
Longitud de terminaciones sin recubrimiento		15 mm
Rectitud		2 mm/meter
Recubrimiento	Absorción	93 % ~ 95 %
	Emisión	10 % ~ 13 %
Novatec test de dureza de 300 horas a 350°C		

**Figura 7: Tabla de características del tubo absorbedor CSP10 Zytech**

<http://html.rincondelvago.com/energia-solar-termoelectrica.html>

Reflector secundario: Se trata de un espejo que envuelve al tubo absorbente y trata de aprovechar los rayos más oblicuos para así mejorar el rendimiento del sistema. Se muestra en la Fig. 8



**Figura 8: Reflector secundario**

<http://www.renewables-made-in-germany.com/es/renewables-made-in-germany-pagina-de-inicio/energia-solar/central-solar-termica.html>

La luz pasa por un vidrio de transmitancia cercana al 95%, para lo cual hay que darle tratamiento antirreflejante. Luego puede llegar directamente al tubo o reflejarse en el espejo secundario que es de mejor calidad y está más limpio que el primario, de modo que refleja el 95%. La forma de este reflector trata de que todos los rayos que le lleguen se reflejen hacia el colector.



## **Capítulo III: Diseño del Colector-Concentrador Tipo Fresnel**

En el presente capítulo en primera instancia abordaremos el tema del recurso solar en la ciudad de Querétaro para posteriormente incursionar en el diseño del prototipo de colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel.

### **3.1 Recurso Solar**

El Sol es una estrella, una masa gaseosa que por el efecto gravitacional domina al Sistema Solar, y mediante la radiación aporta directa o indirectamente la energía que mantiene la vida en la Tierra. La función de la energía solar es obvia e insustituible ya que la vida es manifestación de ésta. Sin ella no hubieran aparecido ni vivirían las plantas y, en consecuencia, tampoco existiría la vida animal y humana. El aprovechamiento de fuentes de energía ha dado oportunidad al hombre para dedicarse a tareas intelectuales. Sin embargo, no se percibe que el nivel de bienestar alcanzado por la humanidad, es consecuencia de la creciente cantidad de energía de la que el hombre dispone; y se debe tomar en cuenta que esta energía es finita. En la actualidad la civilización urbana de los seis mil millones de humanos que habitan la tierra, no sería concebible sin el aprovechamiento de fuentes de energía cada vez mayores. De ellas dependen la luz que se utiliza, el calor que hace confortables a los hogares y las fuerzas mecánicas que trabajan para los humanos. Poco a poco se ha tomado conciencia de que la energía se encuentra disponible en todos lados como fuente limpia e inagotable. El sol es una fuente

natural de energía que da luz y calor, modula el clima e impulsa los ciclos que determinan la vida del planeta. El sol envía diez mil veces más energía de la que la humanidad puede utilizar. Hace llegar en 40 minutos el consumo de un año entero. En sólo un día y medio, regala el equivalente a toda la energía fósil que la humanidad ha conseguido hasta ahora. El sol brillará aún dentro de cinco mil millones de años. No hay temor alguno de que se agote, además por sus cualidades no contaminantes sin generación de gases tóxicos y residuos peligrosos, es sin duda alguna la mejor opción energética actual. La energía solar, abundante, no contaminante, y convertible en energía útil en el mismo lugar de captación, tiene algunos inconvenientes: se encuentra dispersa, es intermitente y está sometida a variaciones estacionales. Por lo que es aprovechable si se concentra, acumula y almacena para su uso durante las horas en que no se cuenta con el recurso solar.

La energía luminosa emitida por el sol, se propaga en todas las direcciones del espacio. Una pequeña parte de esa energía llega a la atmósfera; pero no llega en forma térmica, sino bajo la forma de ondas electromagnéticas en longitudes de onda corta. Del total de energía que llega a la atmósfera solamente una parte de la energía solar llega a la superficie terrestre, y esto depende de varios factores tales como las nubes, polvos en suspensión entre otros.

La absorción atmosférica reduce esa intensidad en una medida que depende parcialmente de la longitud del recorrido a través de la atmósfera y parcialmente del estado de la masa de aire (nubosidad, partículas suspendidas). Cuando el sol se encuentra en un ángulo de altitud bajo, la intensidad de la energía que llega a la superficie terrestre es menor.

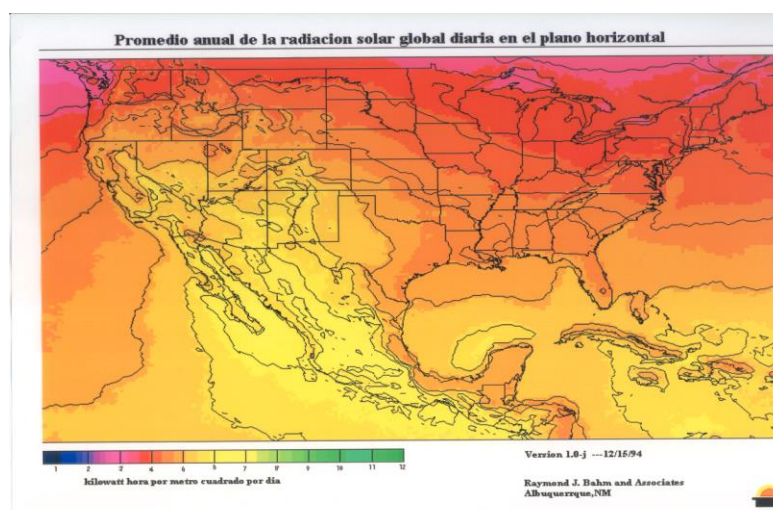
La mayor ó menor transparencia de la atmósfera depende principalmente del grado de humedad, también influyen la presión y la altitud del lugar, y la contaminación.

El espesor de las capas de aire que tiene que atravesar la radiación es variable a lo largo del día y del año. Cuanto más bajo está el sol sobre el horizonte, mayor es la capa de aire que han de atravesar los rayos y menor la energía que llega al suelo.

Por lo tanto, la cantidad de energía recibida por una superficie terrestre depende de la época estacional y de variables ambientales tales como nubosidad, humedad y contaminación.

México está situado entre los paralelos 14 y 32 de latitud norte, se encuentra entre los países latinos más favorecidos por la radiación solar, por lo tanto, con mayores posibilidades de aprovechamiento de esta fuente de energía.

La mayor parte de México cuenta con un potencial considerable de energía para su utilización como energía útil, en la Figura 9, se muestra el potencial de horas pico para las diferentes zonas de México.



**Figura No 9. Promedio anual de radiación solar global diaria en el plano horizontal.**

Raymond J Bahm and Associates

Albuquerque, NM

Utilizando el software de la NASA para evaluar el recurso solar en la Ciudad de Querétaro se obtuvieron los resultados de la tabla 1

Radiación incidente máxima sobre una superficie inclinada (kWh/m <sup>2</sup> /dia)														
Lat	20.5°	Ene	Feb	Mzo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Lon	100.4°													
Promedio de 22 años		4.72	5.51	5.92	6.11	5.48	4.50	4.05	4.04	4.38	4.33	4.19	4.17	4.77

**Tabla 1: Radiación incidente en Querétaro**

Se puede observar que Querétaro es de las zonas con mejor potencia de radiación solar con un promedio anual de 4.77 kwh/m<sup>2</sup>/día

Para una mejor captación de energía es necesario realizar una adecuada orientación del colector solar de acuerdo al movimiento aparente del sol, se busca que la mayor parte del tiempo el sistema de colección reciba los rayos solares en forma perpendicular. Cuando no se cuente con dispositivos de seguimiento solar, se deberá escoger una posición fija que permita al captador obtener el máximo posible de energía.

Utilizando el software de la NASA para evaluar diferentes ángulos de inclinación se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 2.

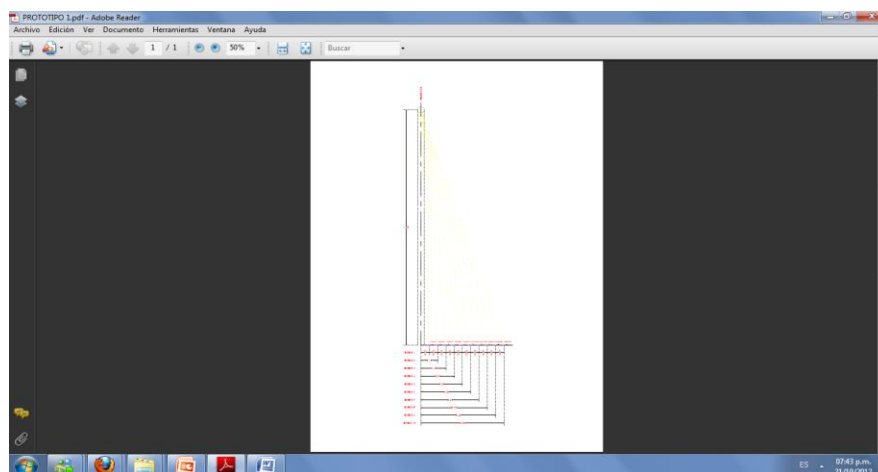
Lat 20.5° Lon 100.4°	Ene	Feb	Mzo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Inclinación 5°	5.41	6.26	6.67	6.60	6.43	5.12	4.47	4.80	4.98	4.89	5.27	4.79	5.47
Inclinación 20°	6.33	6.96	6.95	6.48	6.03	5.06	4.39	4.65	5.02	5.20	6.04	5.58	5.71
Inclinación 35°	6.88	7.26	6.85	6.02	5.34	4.77	4.12	4.30	4.82	5.25	6.47	6.06	5.67
Inclinación 90°	5.49	4.93	3.60	2.27	1.77	2.24	1.96	1.82	2.42	3.31	4.93	4.83	3.29
	Ene	Feb	Mzo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	Inclinación 35°			Inclinación 5°				Inclinación 20°					

**Tabla 2: Evaluación de inclinaciones**

### 3.2 Diseño del Colector

El diseño del colector se inició con la selección del tubo colector y se optó por un tubo evacuado debido a su fácil adquisición, ya que actualmente hay en el mercado una gran cantidad de tubos evacuados de diversas longitudes. A continuación se procedió a seleccionar la longitud del tubo colector y aquí predominó el aspecto económico ya que a mayor longitud del tubo mayor tamaño del prototipo y consecuentemente mayor costo de construcción, es por ello que se decidió utilizar un tubo evacuado de 50 cm de longitud. Igualmente, se determinó colocar el colector a una altura de 1.5 m sobre los espejos y a partir de estos datos se procedió al dimensionamiento del prototipo.

Con ayuda del software Autocad se diseñó el reflector primario y se ubicaron diez espejos de cada lado del colector y se determinaron las inclinaciones de los espejos considerando una incidencia normal sobre los espejos. Así mismo, se determinó que la distancia de centro a centro de los espejos fuera de 5 cm con un claro de 1 cm entre espejo y espejo para evitar sombreado entre ellos. Obteniéndose los resultados que se muestran en la Fig. 10 y en la Tabla 3. Los detalles se pueden consultar en el Apéndice A



**Figura 10: Diseño del colector primario**

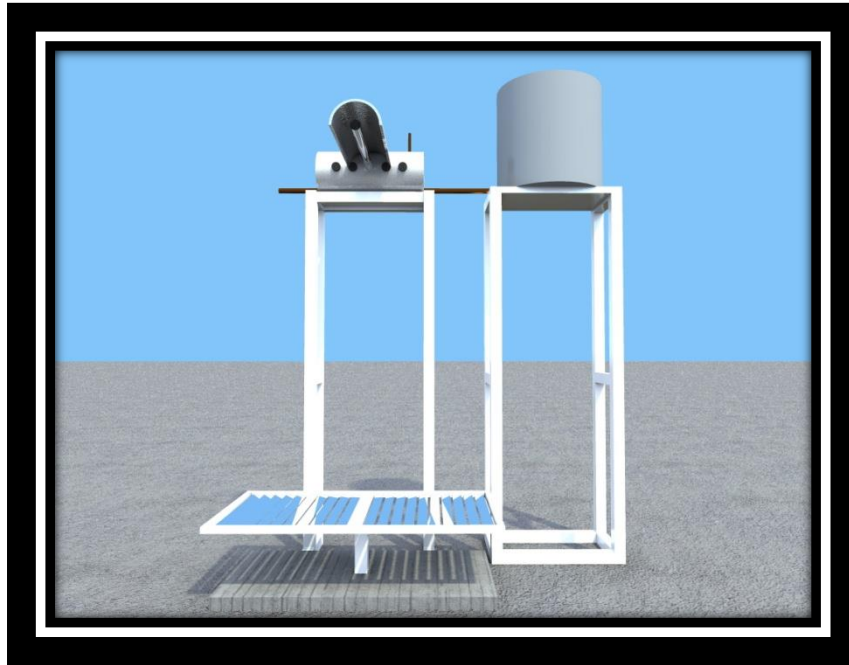
En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

Espejo	1	2	3	4	5
Inclinación	0.955°	1.907°	2.856°	3.797°	4.731°

Espejo	6	7	8	9	10
Inclinación	5.655	6.567	7.463	8.653	9.214

**Tabla 3: Inclinación de Espejos**

Con estos datos de diseño como base se procedió a realizar un bosquejo del prototipo obteniéndose el diseño mostrado en la Figura 11



**Figura 11: Diseño del colector-concentrador tipo Fresnel**

### **3.3 Construcción del Colector**

Se solicitó a las autoridades de la Universidad Tecnológica la asignación de un espacio que reuniera las condiciones necesarias tales como libre de árboles, lejana de edificios y de fácil acceso, para poder proceder a la construcción del colector concentrador asignándonos el área que se muestra en la Fig. 12





**Figura 12: Área asignada para la construcción del Prototipo**

Posteriormente se procedió a la construcción de una plancha de concreto en la cual se ahogó un soporte para el prototipo. Con la finalidad de poder dar seguimiento al movimiento solar se utilizó la estructura de una antena parabólica a fin de poder tener movimiento para dar la inclinación apropiada de acuerdo a análisis realizado con el software de la NASA. Este mecanismo se muestra en la Figura 13.



**Figura 13: Mecanismo de inclinación.**

A continuación se diseñó una bisagra cilíndrica que nos permitiera poder tener movilidad de  $180^\circ$  y de esta manera poder dar seguimiento al sol a lo largo del día, la cual se muestra en la Figura 14.



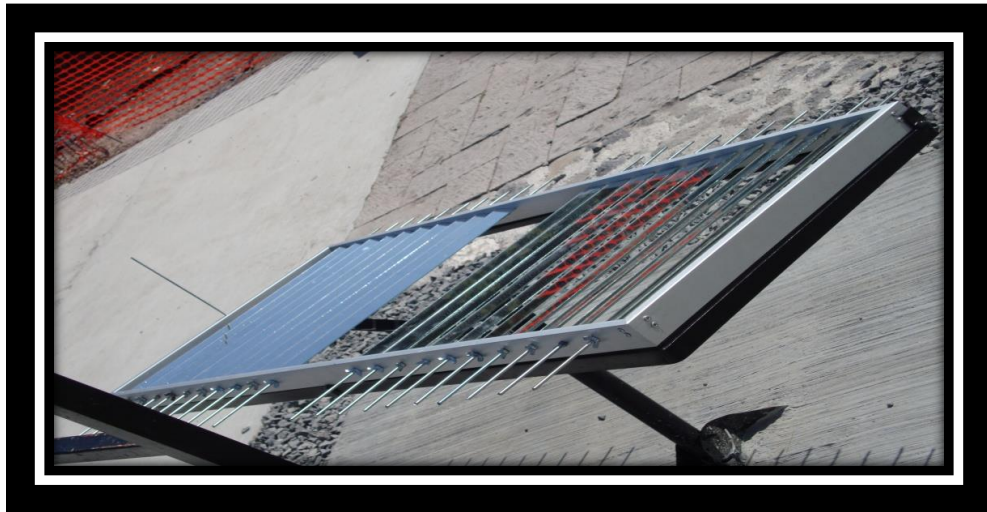
**Figura 14: Bisagra cilíndrica**

Posteriormente se construyó con perfil de aluminio y se fijaron a él los espejos que en conjunto se constituyen como la parrilla o reflector primario el cual se muestra en la Fig. 15



**Figura 15: Reflector primario**

Se construyó una base metálica para soporte del reflector primario la cual tiene los dos movimientos necesarios para el buen funcionamiento del colector, posibilidad de inclinarlo para darle seguimiento al sol durante el año y posibilidad de giro para poder dar seguimiento al sol durante el día. Esta estructura se puede observar en la Fig. 16



**Figura 16: Base y reflector primario.**

Posteriormente se procedió a la construcción de una base metálica para colocar tanto el tanque de alimentación del fluido de trabajo como el termo tanque, al cual se le clausuró cuatro de sus salidas y se le dejó sólo una para colocar el tubo colector, lo cual se muestra en la Fig. 17



**Figura 17: Tubo colector**

Finalmente se realizó la instalación hidráulica y se colocó una lámina de acero inoxidable en forma de media caña como reflector secundario, quedando listo el prototipo de colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel, mostrándose ya terminado en las Figuras 18, 19, 20 y 21.





**Figura 18: Colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel**



**Figura 19: Colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel**





**Figura 20: Colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel**



**Figura 21: Colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel**



## **CAPÍTULO IV Resultados**

Los resultados obtenidos del diseño, construcción y operación del prototipo colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel se muestran en el presente capítulo.

### **4.1 Experimentación**

La parte experimental se desarrollo en tres etapas cada una de las cuales se llevó a cabo en condiciones específicas de experimentación, lo que se detalla a continuación:

- Primera etapa: Se operó el prototipo con los espejos en posición vertical y sin el reflector secundario, lo que nos mostró la colección de energía solar efectuada sólo con el tubo evacuado o colector.
- Segunda etapa: Se operó el prototipo con los espejos colocados con la inclinación determinada, reflector primario, lo que nos mostró la colección de energía solar ya con la concentración efectuada con los espejos pero sin reflector secundario.
- Tercera etapa: Se operó el prototipo con el reflector primario y con el reflector secundario.

## 4.2 Resultados

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en las tres etapas de operación del prototipo colector-concentrador de energía solar tipo Fresnel.

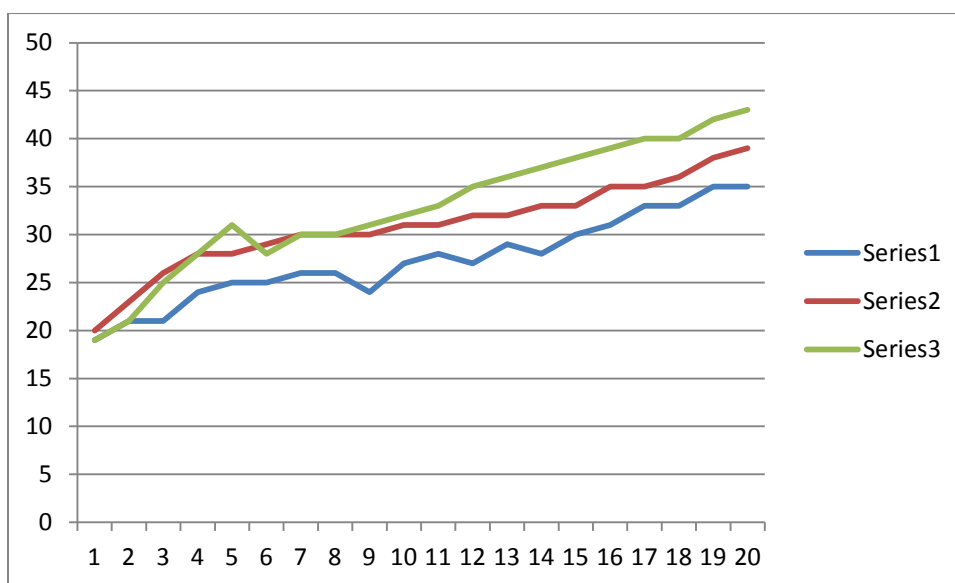
HORA	ETAPA I		ETAPA II		ETAPA II	
	01-DIC-2012		03-DIC-2012		04-DIC-2012	
	TA	TF	TA	TF	TA	TF
11:00	19	19	20	20	19	19
11:15	19	21	20	23	20	21
11:30	19	21	22	26	22	25
11:45	20	24	22	28	22	28
12:00	20	25	23	28	24	31
12:15	21	25	24	29	26	28
12:30	21	26	25	30	29	30
12:45	21	26	25	30	30	30
13:00	22	24	26	30	29	31
13:15	22	27	26	31	29	32
13:30	22	28	26	31	28	33
13:45	23	27	27	32	28	35
14:00	25	29	29	32	28	36
14:15	25	28	26	33	27	37
14:30	25	30	27	33	27	38

14:45	26	31	27	35	28	39
15:00	26	33	27	35	26	40
15:15	26	33	28	36	28	40
15:30	27	35	29	38	28	42
15:45	27	35	29	39	27	43

TA.- Temperatura ambiente

TF.- Temperatura del Fluido de trabajo

**Tabla 4: Experimentación**



**Figura 22: Comportamiento de la Temperatura del Fluido de trabajo**

Como puede observarse en los resultados obtenidos en la experimentación, diciembre no es la mejor época del año para realizar la colecta de energía solar, en virtud

de que es la época en la que el sol está muy abajo y por lo tanto los rayos recorren mayor distancia en la atmósfera, lo que hace que sea menor la radiación que llega a la superficie terrestre. Sin embargo, si se puede apreciar una tendencia clara de un incremento en la cantidad de energía captada, lo que se manifiesta con un incremento en la temperatura del fluido de trabajo, en la etapa II y en la etapa III que en la I por lo que se comprueba la hipótesis planteada de que con la aplicación de técnicas de concentración en el diseño de equipos de colección de energía solar, se obtiene una mayor captación de energía.

## CAPÍTULO V Conclusiones

Las tecnologías de concentración solar se encuentran en pleno desarrollo tecnológico y comercial en la actualidad. La energía solar térmica es una energía con un futuro promisorio y al cabo de unos años va a ser competitiva en costos de producción en comparación con otras energías renovables más usadas actualmente. Hay quien la compara con la eólica pero en el caso de la energía eólica cada megavatio debe tener un respaldo e otro tipo de energía porque no es predecible ni almacenable, dos problemas que la energía termosolar no tiene.

La tecnología solar termoeléctrica sería competitiva económicamente con los ciclos combinados de gas natural a partir del 2020, debido a las mejoras tecnológicas y las economías de escala, así como a la predicción de precios crecientes de los combustibles fósiles.

De esta manera parece evidente que en un país como México, con buenos datos de radiación de solar, hay que apostar por este tipo de energía.

En el abanico de tecnologías que aprovechan la energía solar termoeléctrica los colectores Fresnel son la opción menos estudiada. La menor eficiencia de este tipo de colectores ha hecho que se desarrollen comercialmente otras tecnologías como los colectores cilíndricos parabólicos o los de torre central dejando de lado una opción muy interesante como son los lineales Fresnel.

Es necesario aprovechar al máximo los recursos de los que disponemos, y la clave está en realizarlo de la manera más eficiente posible. Estudios como el presentado en este proyecto pretenden ahondar en la necesidad de aprovechar mejor el mayor recurso del

que disponemos, el Sol. De él nace el gran abanico de energías renovables y de nosotros depende el saber beneficiarnos de este obsequio.

Aun queda mucho camino por recorrer pero los pasos son los adecuados. Cada día se instalan más centrales de energías renovables en el mundo y estas cada vez son más eficientes. La sociedad esta concienciada y los apoyos son necesarios, pues es de vital importancia avanzar hacia un uso energético mundial más sostenible. Este trayecto es largo y difícil pero es la única opción para nuestro futuro.

Ya estamos en el buen camino, ahora hay que seguir caminando.



## Capítulo VI Bibliografía

Barnés de Castro Francisco (2006)  
Las Energías Renovables en México  
México D.F

Fujisol(2009)  
Eficiencia del colector con diferentes ángulos de incidencia de radiación solar.

Inclán Gallardo Ubaldo  
Secretaría de Energía, México (2004)  
Energías Renovables en México, Potenciales de Aprovechamiento e Iniciativas Actuales.

Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República, México (2004)  
Nuevas Energías Renovables: Una Alternativa Energética Sustentable para México.

López- Cozar José Manuel  
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, España (2006)  
Manual de Energías Renovables  
4-Energía Solar Térmica.

M. Gea, L. Sarania, M. Altamirano, C. Placco, H. Bárcenas y M. Hpongn (2010)  
Aspectos ópticos y geométricos de un Concentrador Solar Fresnel lineal para aplicaciones térmicas.  
Avances en Energías renovables y Medio Ambiente Vol. 14, ISSN 0329-5184

Salazar Díez de Sollano Francisco (2006)  
La Regulación de Energías Renovables en México  
Encuentro de Reguladores Iberoamericanos de Energía sobre Cambio Climático.

Estudio técnico y económico de una instalación solar con colectores lineales Fresnel  
Sánchez Tapia, David  
Martínez Gracia, Amaya (dir.)  
Universidad de Zaragoza, E. U. de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza, 2011  
<http://zaguan.unizar.es/record/5928?ln=es>

Colectores concentradores  
<http://www.termosolar.renovetec.com/avanzadoplantafresnel.html>

Gas natural Fenosa  
Manual de eficiencia energética  
[www.gasnaturalfenosa.es](http://www.gasnaturalfenosa.es)

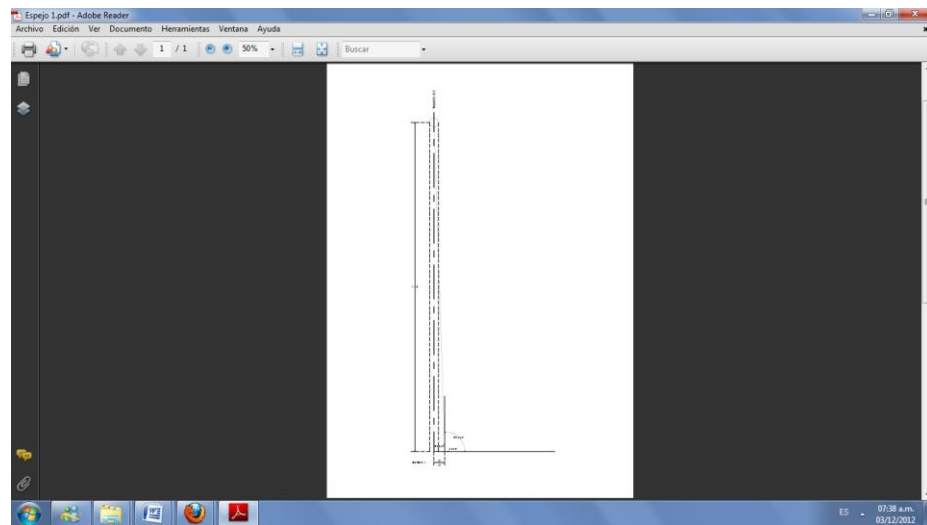
Soleil Energie Eternelle  
Y después del petróleo... qué?  
Las Energías Renovables  
[www.soleilee.com](http://www.soleilee.com)

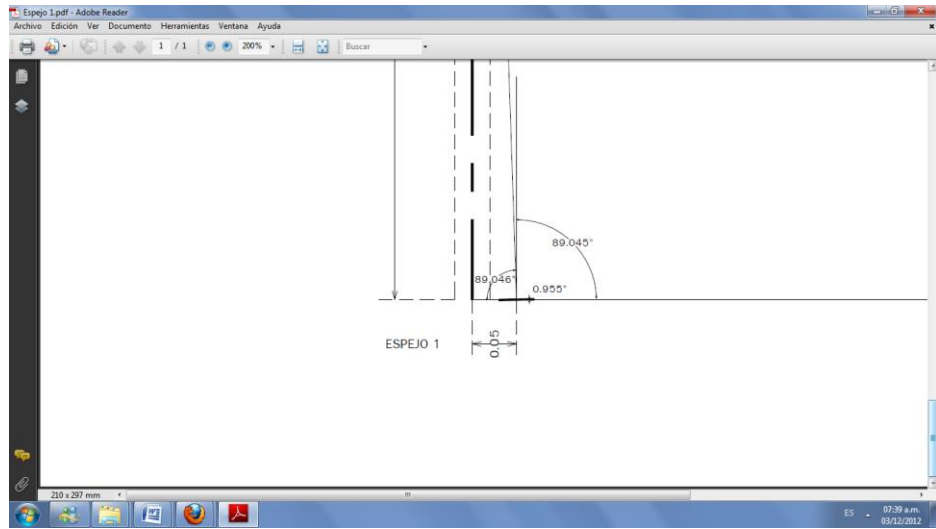
## CAPÍTULO VII Anexos

### Apéndice A

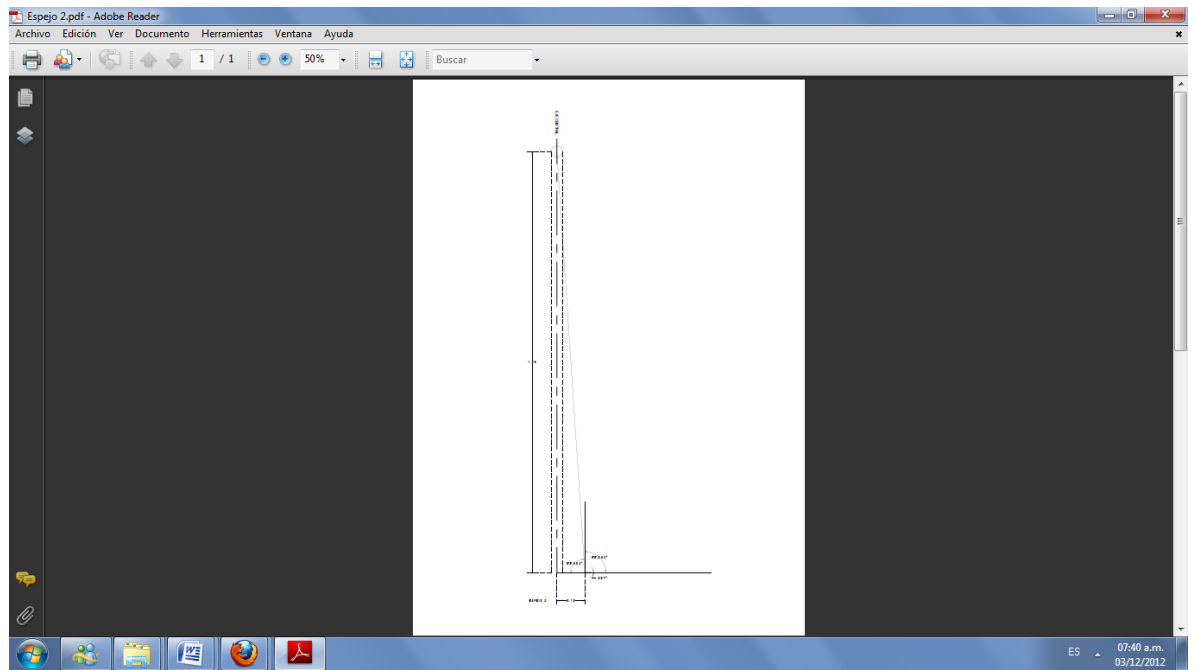
Geometría de los espejos

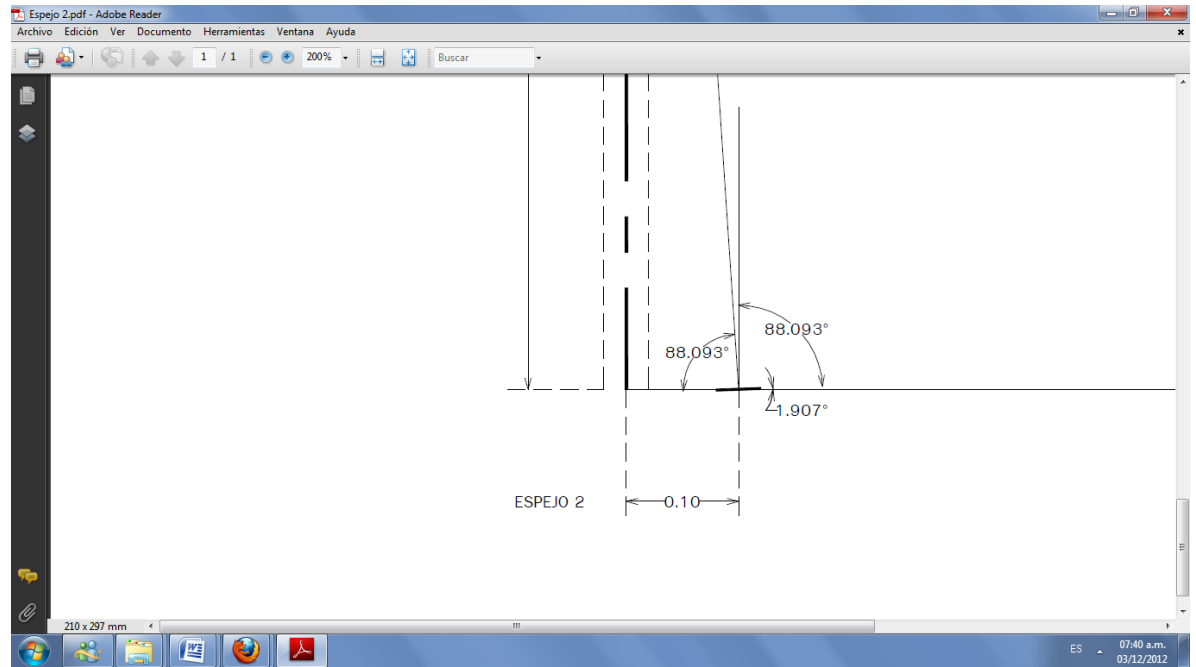
Espejo 1



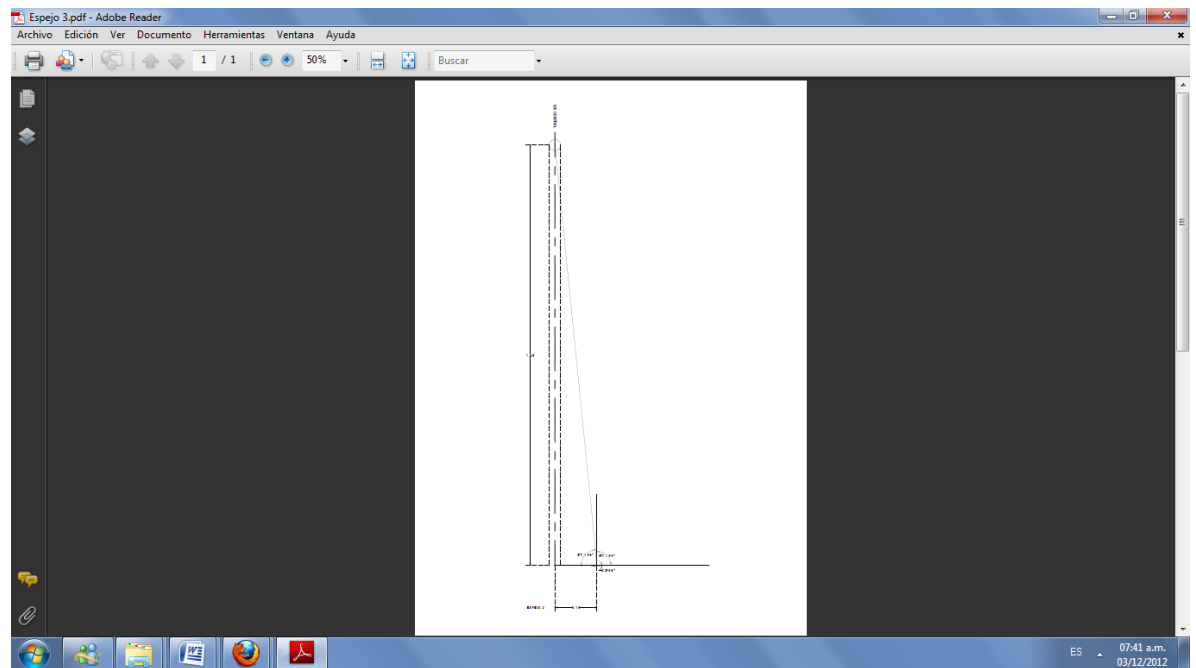


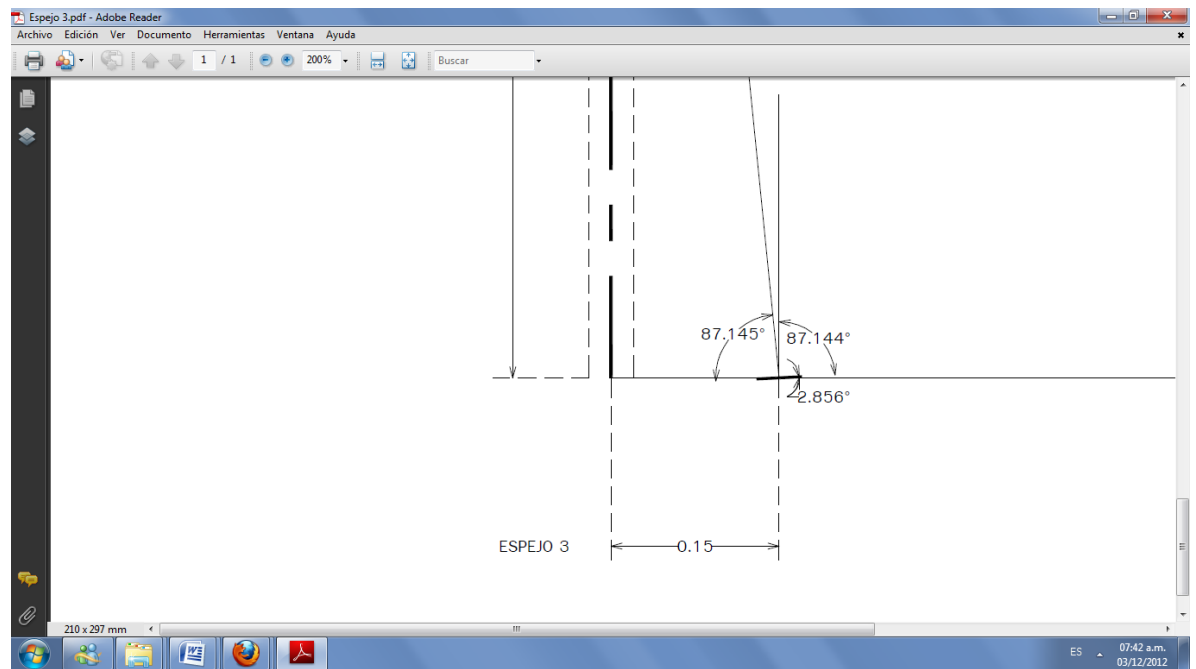
## Espejo 2



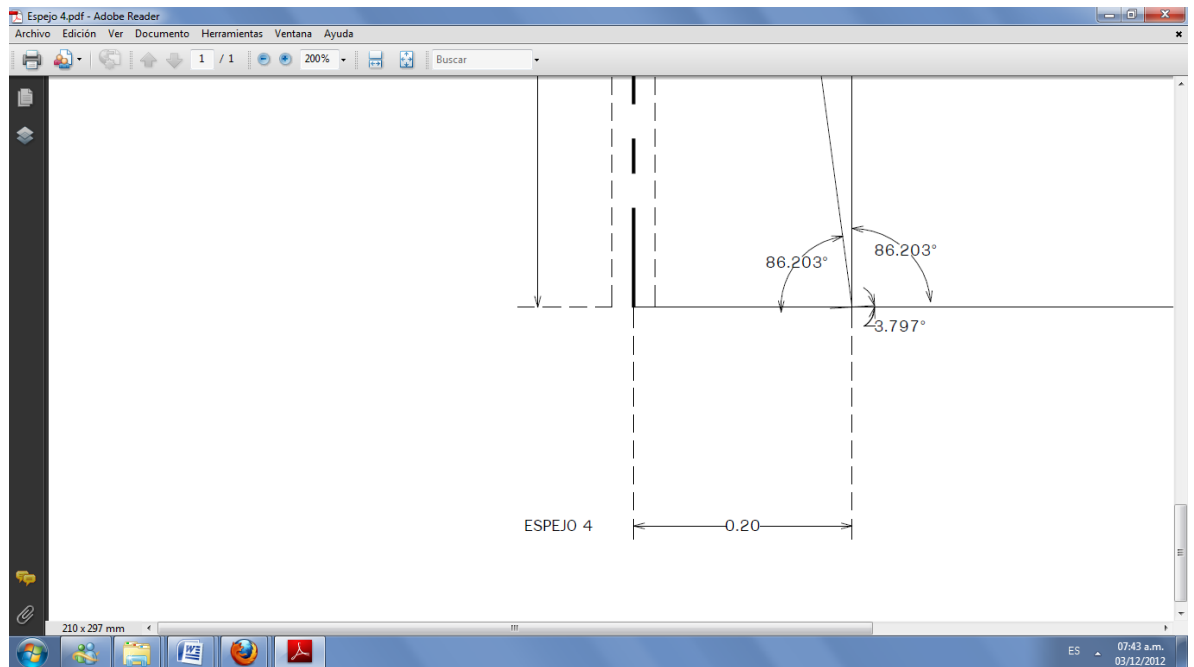
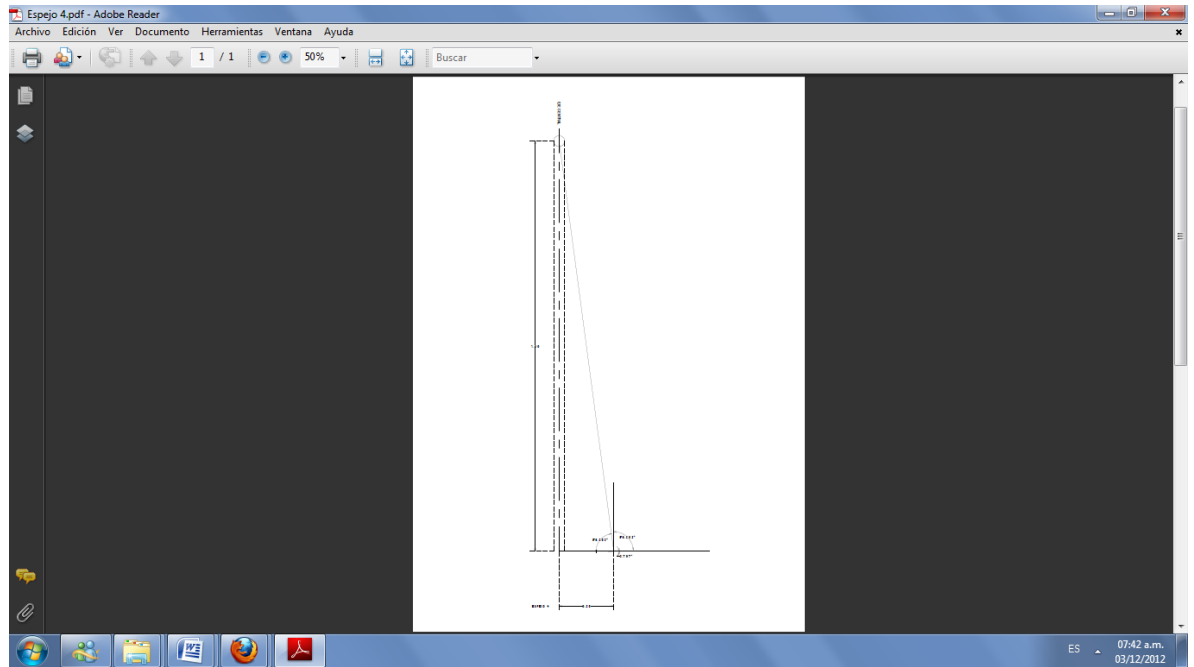


### Espejo 3

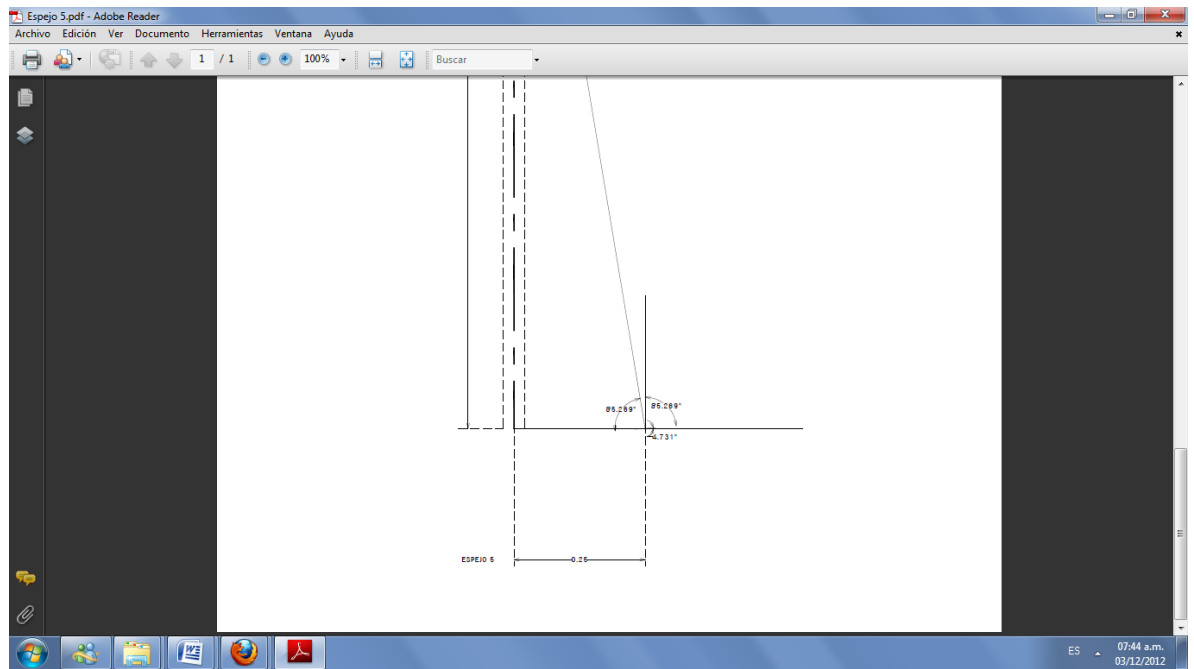
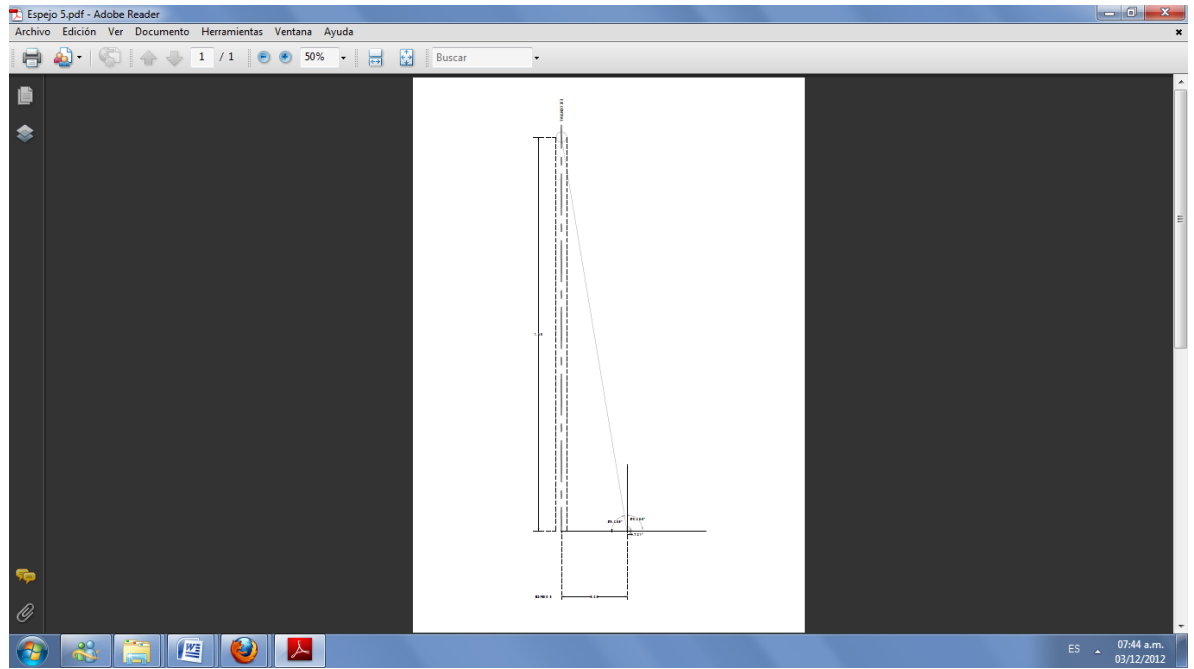




Espejo 4

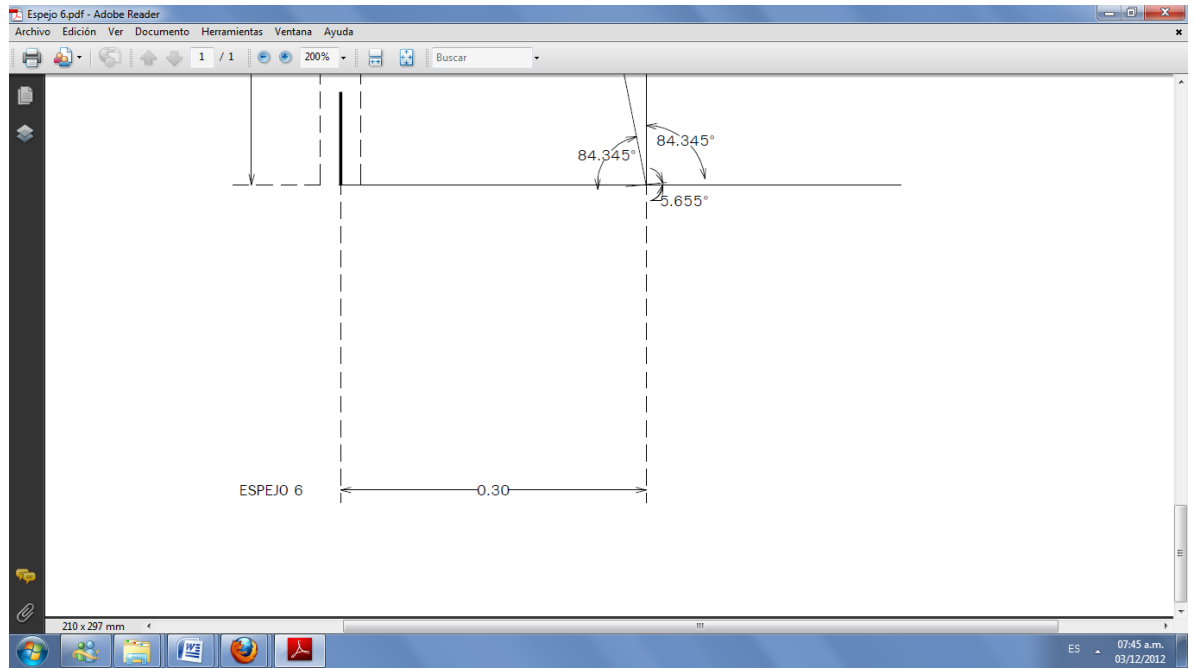
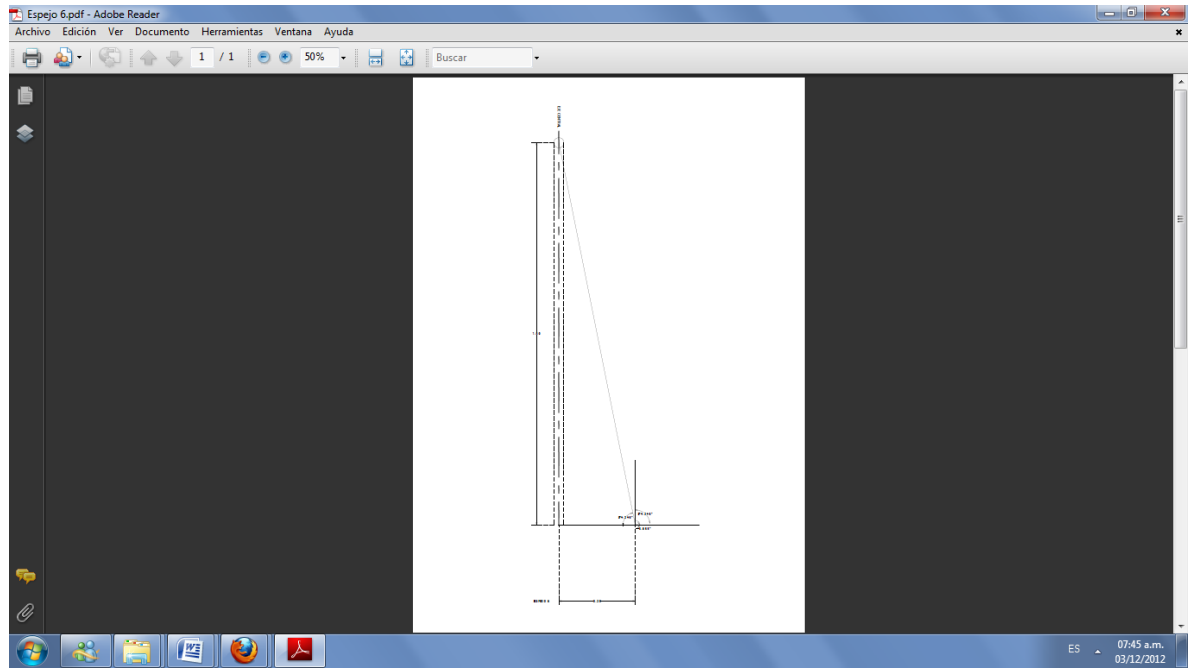


Espejo 5

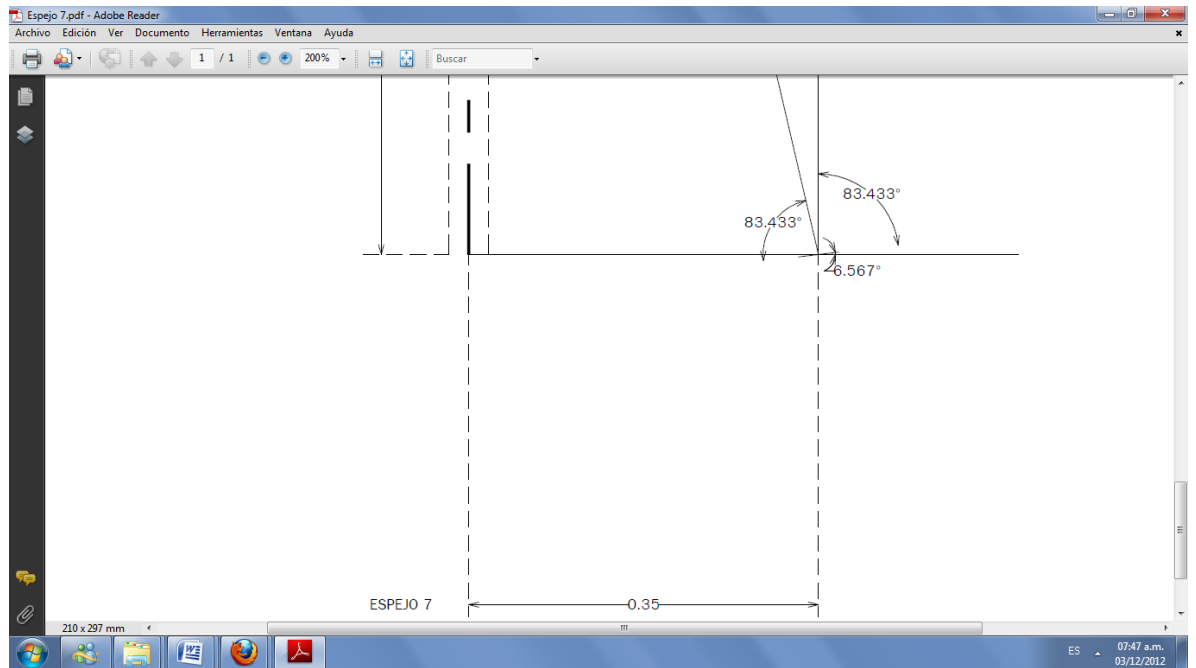
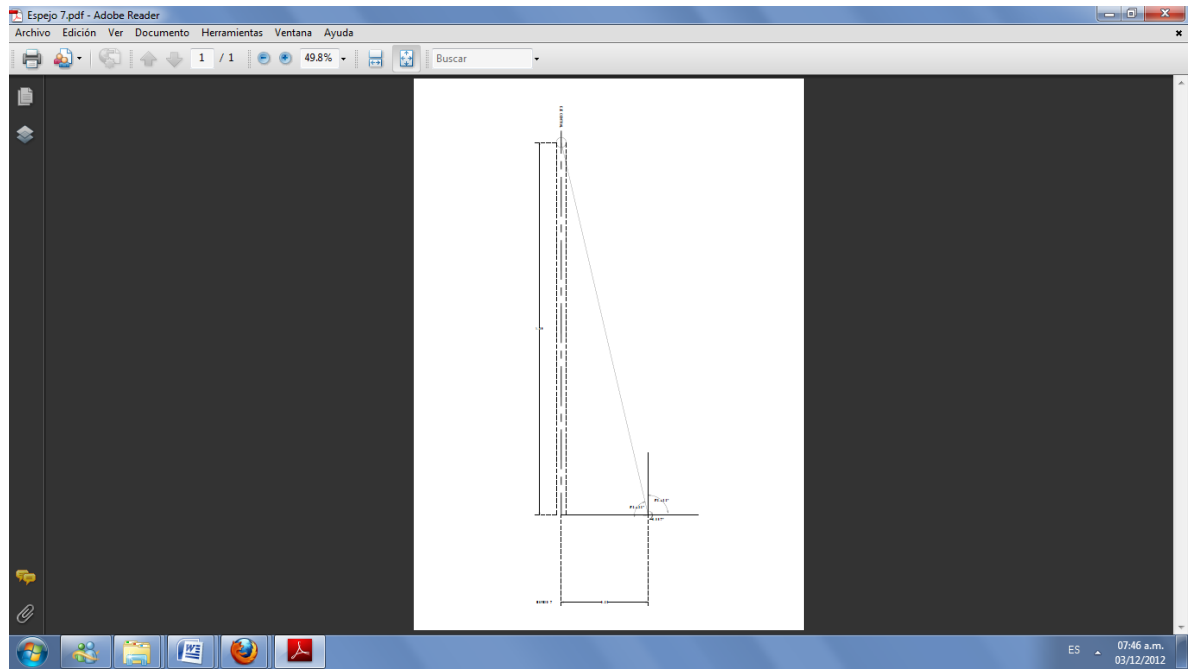


Espejo 6

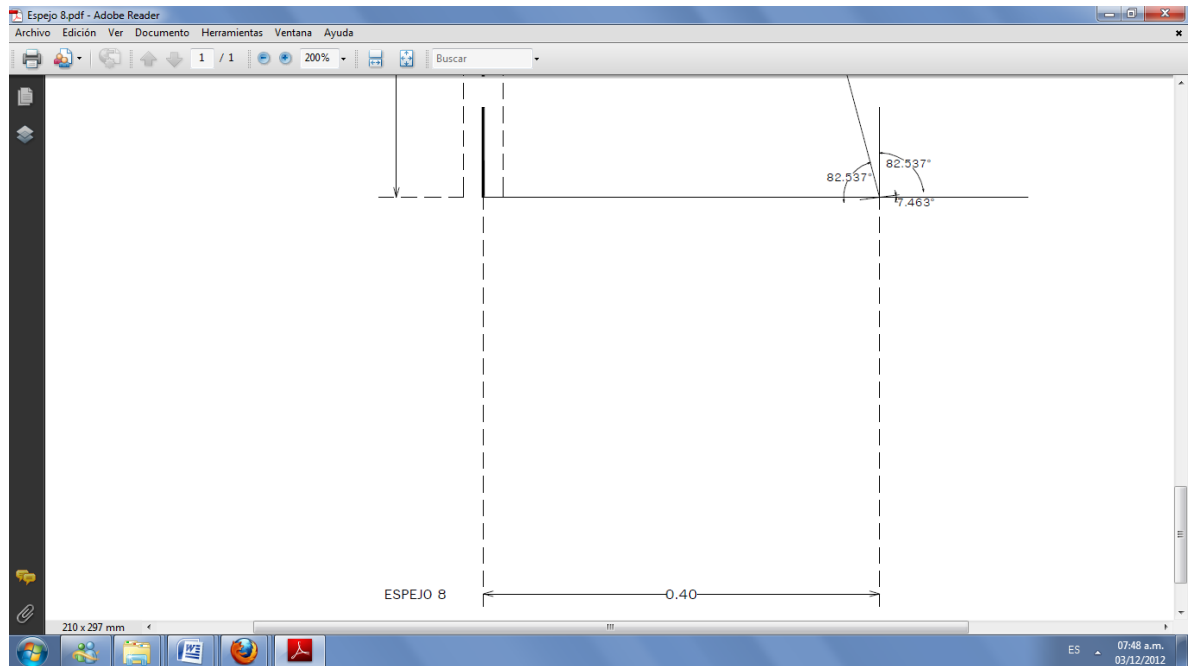
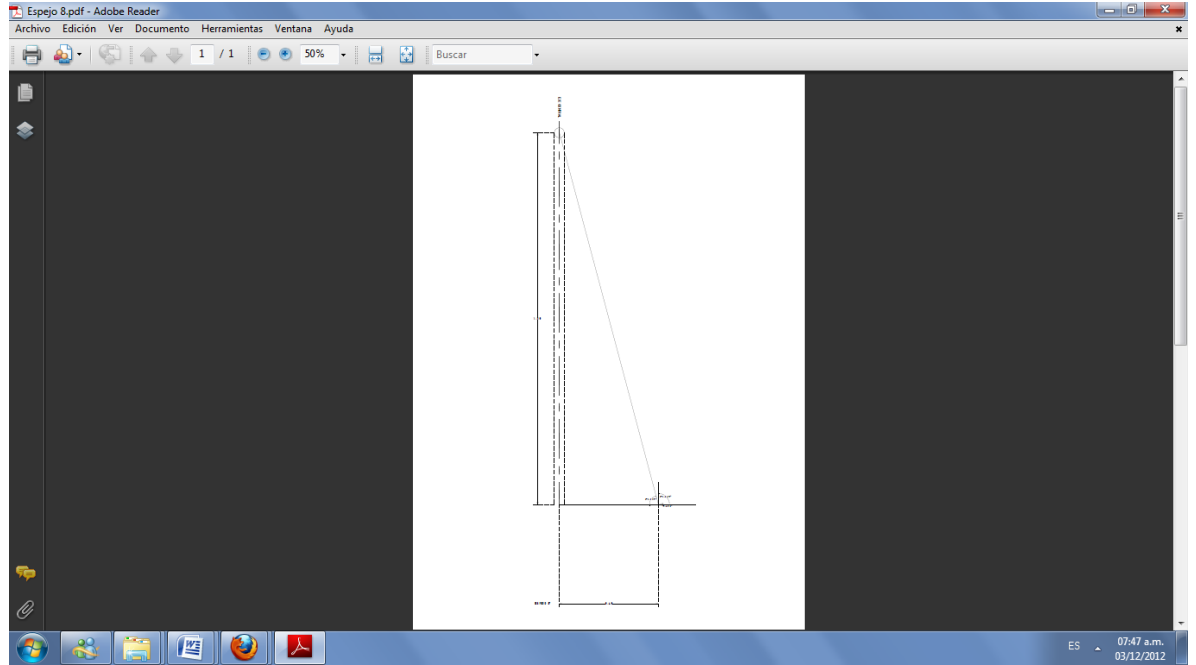




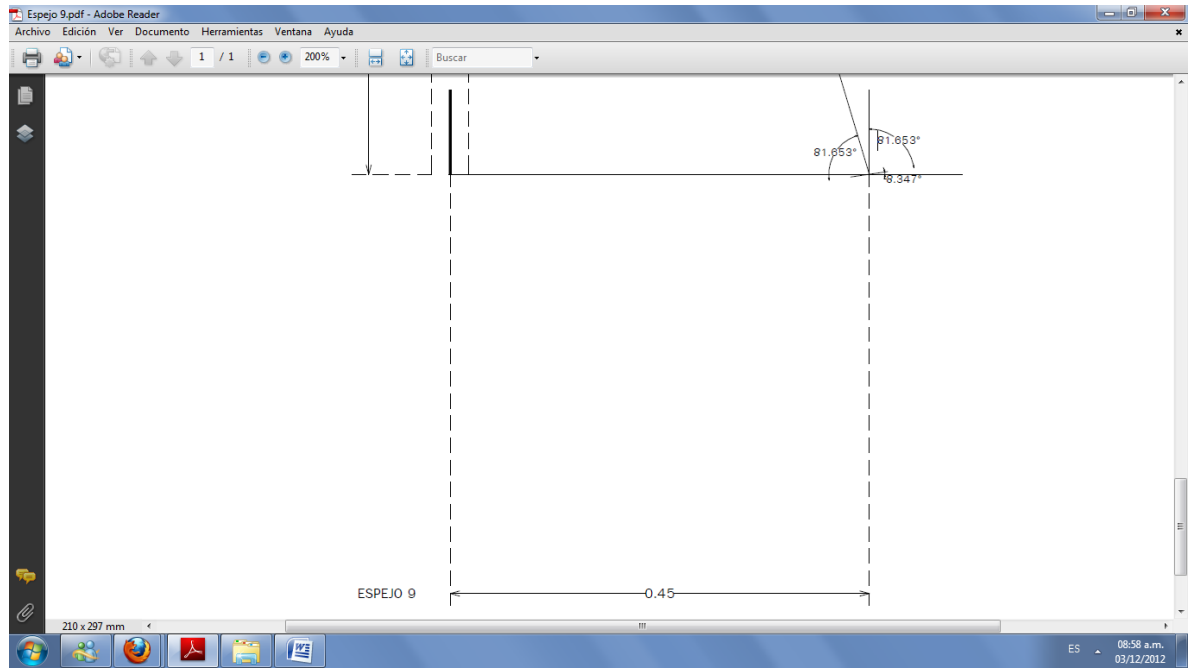
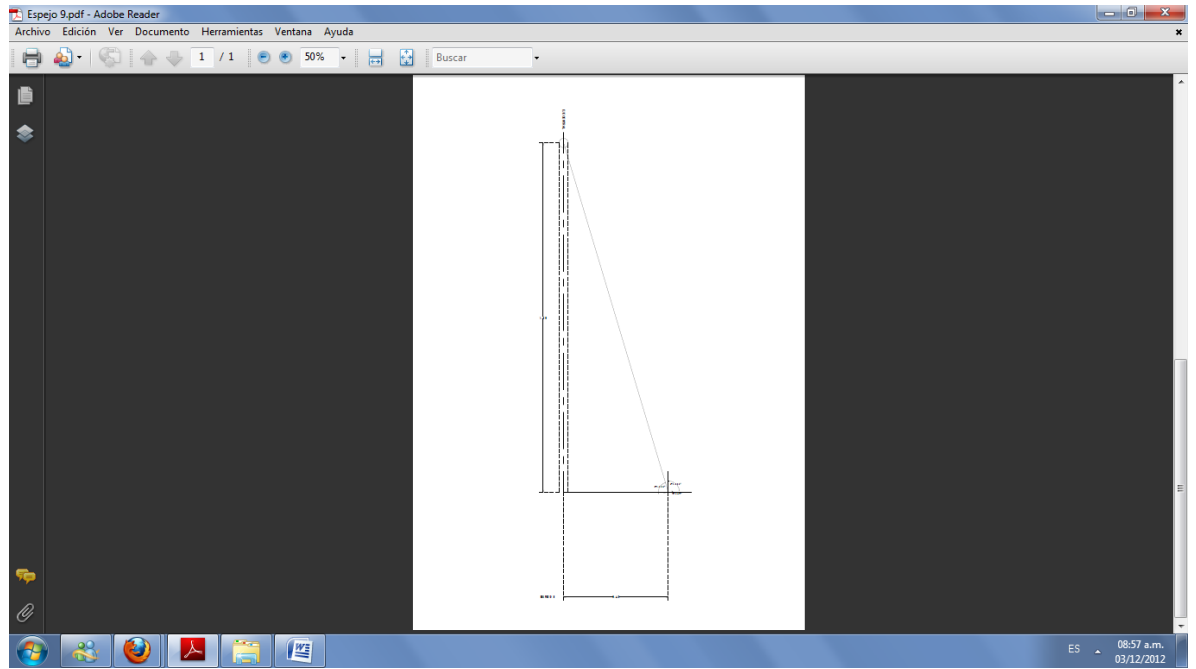
# Espejo 7



### Espejo 8



### Espejo 9



# Espejo 10

