



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL, MENCIÓN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**ESTUDIO DIRIGIDO HACIA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ALTERNATIVA COMO MEDIDA PARA
REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE
MILAGRO**

**Autores: ASTUDILLO ASSEF FREDDY ORLANDO
MONGON ROMERO ENITH YADIRA**

Tutor: Dr. Miguel Ángel Reinoso

Milagro, 23 de Mayo 2013

ECUADOR

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Proyecto de investigación, nombrado por el Consejo Directivo de la Unidad Académica de Ciencias de la ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro:

CERTIFICO

Que he analizado el proyecto de grado presentado por los egresados **Astudillo Assef Freddy Orlando y Mongón Romero Enith Yadira**, para optar al título de **INGENIERO (A) INDUSTRIAL, MENCIÓN MANTENIMIENTO**. El proyecto de grado tiene como tema **“ESTUDIO DIRIGIDO HACIA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ALTERNATIVA COMO MEDIDA PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO”**, el mismo que considero debe ser aceptado por reunir los requisitos legales y por la importancia del tema.

Dr. Miguel Ángel Reinoso

C.I. 0602914327

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Los autores de esta investigación declaran ante el Consejo Universitario de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de nuestra propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que esta referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro diploma de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 23 días del mes de Mayo del 2013

Freddy Orlando Astudillo Assef
C.I. 0922666953

Enith Yadira Mongón Romero
C.I. 0922750765

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El **TRIBUNAL CALIFICADOR** previo a la obtención del título de **INGENIERO (A) INDUSTRIAL, MENCIÓN EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**, otorga al presente proyecto de investigación las siguientes calificaciones:

MEMORIA CIENTÍFICA
DEFENSA ORAL
TOTAL
EQUIVALENTE

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

PROFESOR DELEGADO

PROFESOR SECRETARIO

DEDICATORIA

Este trabajo queremos dedicarlo a nuestros queridos y abnegados padres Orlando Astudillo y Elena Assef, Guillermo Mongón y Rosa Romero quienes siempre nos brindan en todo momento su apoyo, pero sobre todo a DIOS que siempre ha estado con nosotros y ha hecho posible que este gran día llegue.

A todos los amigos que nos brindaron su apoyo incondicional para cumplir con los objetivos propuestos.

Freddy Orlando Astudillo Assef
Enith Yadira Mongón Romero

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera especial a nuestro Tutor el Dr. Miguel Ángel Reinoso, por su valioso apoyo durante el proyecto, quien siempre estuvo dispuesto a apoyarnos, y transmitir sus conocimientos, a su paciencia y colaboración.

También al colaborador Geovanny Alemán con su equipo de trabajo, quien nos brindó su apoyo y sus conocimientos para sacar adelante nuestra nuestro proyecto de tesis.

Además nos gustaría agradecer a la Universidad Estatal de Milagro, a los profesores de la carrera Ingeniería Industrial, quienes se encargaron de impartir sus conocimientos durante nuestros estudios.

Freddy Orlando Astudillo Assef
Enith Yadira Mongón Romero

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

MSc.

JAIME OROZCO HERNÁNDEZ

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derechos del Autor del Trabajo realizado como requisito previo para la obtención del Título de Tercer Nivel, cuyo tema es **“ESTUDIO DIRIGIDO HACIA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ALTERNATIVA COMO MEDIDA PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO”** y que corresponde a la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería.

Milagro, 23 de Mayo 2013

Freddy Orlando Astudillo Assef

C.I. 0922666953

Enith Yadira Mongón Romero

C.I. 0922750765

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1.1 Problematización.....	3
1.1.2 Delimitación del problema	6
1.1.3 Formulación del problema.....	6
1.1.4 Sistematización del problema	7
1.1.5 Determinación de tema	8
1.2 OBJETIVOS.....	8
1.2.1 Objetivo General	8
1.2.2 Objetivos Específicos.....	8
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	9
 CAPÍTULO II	
MARCO REFERENCIAL.....	12
2.1 MARCO TEÓRICO	12
2.1.1 Antecedentes Históricos.....	12
2.1.2 Antecedentes Referenciales	17
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	23
2.2.1 Características de un perfil de carga.....	23
2.2.2 Motor Stirling	32
2.2.3 Sistema Híbrido de abastecimiento Disco Parabólico Stirling	41
2.3 MARCO CONCEPTUAL	46
2.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES	50
2.4.1 Hipótesis General.....	50
2.4.2 Hipótesis Particulares.....	50
2.4.3 Declaración de Variables	50
2.4.4 Operacionalización de las variables.....	51

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO	52
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	52
3.1.1 Diseño y construcción del colector Solar.....	53
3.1.2 Diseño y construcción del motor Stirling	53
3.1.3 Sistema de adaptación del sistema de generación eléctrica.....	54
3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS	56
3.2.1 Variables a medir.	56
3.2.2 TRATAMIENTO DE DATOS	59

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	60
4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	60
4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO	63
4.2.1 Datos meteorológicos de radiación solar	64
4.2.2 Datos meteorológicos en los días de insolación	65
4.3 RESULTADOS	66
4.3.1 Análisis de radiación solar en Milagro.....	66
4.3.2 Análisis de insolación solar en Milagro	67
4.3.3 Análisis del perfil de cargas.....	71

CAPÍTULO V

PROPUESTA.....	72
5.1 TEMA.....	72
5.2 FUNDAMENTACIÓN	72
5.3 JUSTIFICACIÓN.....	73
5.4 OBJETIVOS.....	74
5.4.1 Objetivo General de la propuesta.....	74
5.4.2 Objetivos Específicos de la propuesta	74
5.5 UBICACIÓN.....	74
5.6 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	76
5.6.1 Colector parabólico	76
5.6.2 Motor Stirling y sistema generación	77
5.6.3 Análisis Financiero	80

5.7	DISEÑO DE UN MOTOR STIRLING EXPERIMENTAL.....	80
5.7.1	Datos para la generación eléctrica.....	96
5.7.2	Pruebas.....	98
5.7.3	Verificación de hipótesis.....	101
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES	108
	BIBLIOGRAFÍA	110
	ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Oferta energética nacional	14
Tabla 2. Comportamiento de la demanda energética	19
Tabla 3. Generación renovable en Ecuador según FEDETA	20
Tabla 4. Generación renovable existente en Ecuador	22
Tabla 5. Sistemas concentradores	26
Tabla 6. Reflectancias de algunos materiales	27
Tabla 7. Componentes de radiación solar en la superficie terrestre	28
Tabla 8. Cálculos basados en la inclinación solar	31
Tabla 9. Instrumentos para medir radiación solar	32
Tabla 10. Clasificación de motores	34
Tabla 11. Clasificación de motores Stirling	35
Tabla 12. Ciclos Stirling	37
Tabla 13. Fases del motor Stirling	39
Tabla 14. Instrumentos para medir variables del motor Stirling	40
Tabla 15. Variables Independientes y Dependientes	50
Tabla 16. Variables Vs Indicadores	51

Tabla 17. Equipos para medir variables eléctricas	56
Tabla 18. Cálculo de luminarias edificio "T"	63
Tabla 19. Radiación solar en Milagro	64
Tabla 20. Insolación por hora	65
Tabla 21. Porcentajes de radiación e insolación solar	70
Tabla 22. Promedios generales	70
Tabla 23. Análisis de radiación e insolación.	70
Tabla 24. Costos de construcción	80
Tabla 25. Datos del motor Stirling tipo gama	84
Tabla 26. Partes y Presupuesto de construcción del motor Stirling tipo gamma	90
Tabla 27. Fluidos para el motor Stirling tipo gamma	92
Tabla 28. Prueba con el mechero Disco Stirling	98
Tabla 29. Prueba con el mechero motor Stirling	99
Tabla 30. Comportamiento del voltaje y amperaje en el movimiento	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de las energías	13
Figura 2. Origen de fuentes energética en el 2030	14
Figura 3. Demanda energética	15
Figura 4. Demanda doméstica	15
Figura 5. Tipos de energías alternativas	16
Figura 6. Características de los concentradores solares	24
Figura 7. Sistemas concentradores	25
Figura 8. Radiación solar en la Tierra	28
Figura 9. Componentes de la radiación solar	29
Figura 10. Parámetros con respecto a la radiación solar	29
Figura 11. Zenit y azimut solar	30
Figura 12. Inclinación del sol en épocas del año	30
Figura 13. Robert Stirling	33
Figura 14. Características del motor Stirling	36
Figura 15. Motor Stirling en la actualidad	38

Figura 16. Sistemas de seguimiento	43
Figura 17. Motores para generación eléctrica	55
Figura 18. Datos de la demanda energética en el bloque "T"	61
Figura 19. Datos de la demanda energética en el bloque "J"	62
Figura 20. Comportamiento de la radiación solar en Milagro	64
Figura 21. Radiación solar & insolación solar	68
Figura 22. Radiación Vs insolación	69
Figura 23. Perfil de cargas del edificio "T"	71
Figura 24. Mapa de Milagro	75
Figura 25. Colector parabólico	77
Figura 26. Diseño motor Stirling propuesta	78
Figura 27. Motor Stirling experimental	82
Figura 28. Bloque de montaje	85
Figura 29. Cilindro pistón y camisa de fuego	86
Figura 30. Cigüeñal	87
Figura 31. Manzana y volante	88
Figura 32. Partes del motor Stirling	89

Figura 33. Motor de casetera	97
Figura 34. Tendencia de funcionamiento del moto Stirling	98
Figura 35. Generación eléctrica	101
Figura 36. Comportamiento del amperaje	102
Figura 37. Comportamiento del voltaje	103
Figura 38. Potencia	103
Figura 39. Prueba con el motor generador actual	104
Figura 40. Prueba con el anterior prototipo del motor Stirling	105

RESUMEN

Considerando la necesidad de obtener energía limpia y pura que no produzca contaminación al medio ambiente queremos implementar un sistema de generación eléctrica mediante un sistema de motor Stirling con un colector solar, motivo por el cual este trabajo de investigación aborda uno de los temas más importantes en la actualidad que ha generado una auténtica revolución en los últimos años en conceptos tales como: Ahorro energético y Energías Alternativas las cuales están orientadas a minimizar el impacto Ambiental que se produce con la quema y uso de combustibles contaminantes. El proyecto aporta a la implementación de tecnologías para el cuidado del medio Ambiente mediante la Generación Eléctrica a través de energías renovables, en este caso energía solar. Se basa fundamentalmente en un Sistema Disco – Stirling, el cual se encuentra formado por un colector solar y un motor Stirling; este sistema aprovecha la radiación solar para transformar la energía térmica en mecánica y posteriormente generar energía eléctrica. Para el diseño y construcción del proyecto se tomaran datos relevantes de tesis y publicaciones con respecto al tema a desarrollarse, ya que con toda esta información recopilada se busca obtener un sistema eficiente para la aplicación. Los lectores de este trabajo logran comprender e implementar la metodología detallada para este proyecto, también estarán en capacidad de plantear nuevas alternativas para resolver los problemas por abuso de consumo eléctrico. Se pretende mejorar los conocimientos técnicos, personalizándolos para los diferentes bienes de capital y servicios, con el fin de optimizar los diferentes recursos, en especial el económico.

Palabras claves: Motor Stirling, Colector Solar, Generación Eléctrica.

ABSTRACT

Considering the need for pure, clean energy that does not cause pollution to the environment leads to the implementation of a power generation system using a Stirling engine system with a solar collector, which is why this research addresses one of the most important issues today that it has generated a revolution in recent years concepts such as energy saving and alternative energies which are aimed at minimizing the environmental impact that is produced by burning fuels and contaminants. This project contributes to the implementation of technologies for the care of the environment by generating electricity through renewable energy, solar energy in our case. Our project is based primarily on a System Disk - Stirling, which is composed of a solar collector and a Stirling engine, this system uses sunlight to convert thermal energy into mechanical and then generate electricity. The design and construction of the project will take relevant data from theses and publications on the subject to develop, because with all this information collected is looking to get an efficient system for our application. Readers of this work fail to realize and implement the detailed methodology for this project also will develop new alternatives for solving the problems of abuse of power consumption. This is intended to improve skills, customized for different capital goods and services, in order to optimize the various resources, especially economic.

Keywords: Stirling Engine, Solar Collector, Electricity Generation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un notable incremento en la demanda de energía eléctrica debido a diferentes factores como; aumento de la población, desarrollo industrial y baja capacidad de producción instalada, por lo cual la intención de este proyecto es presentar una propuesta alternativa para la obtención de energía eléctrica a partir de la utilización de energías renovables.

Todas las Instituciones están en la búsqueda de nuevas tendencias en investigación asegurando el manejo óptimo de los recursos disponibles, por la crisis ambiental que atraviesa el planeta se hace necesaria la sustitución del suministro eléctrico por energías renovables.

El proyecto pretende aportar la utilización de energías renovables a través de la implementación de un sistema de Disco-Stirling, el cual consiste en un concentrador parabólico que refleja la radiación solar en un punto concéntrico que tiene por nombre foco, en dicho punto se acopla un mecanismo de conversión de la energía calorífica a energía mecánica (motor Stirling), finalmente con la adaptación de un sistema convencional en este caso un dínamo para obtener energía eléctrica.

Los sistemas para obtención de energía eléctrica a través de concentradores solares son muy importantes en la actualidad ya que, se encuentran en desarrollo a nivel mundial con la finalidad de preservar el medio ambiente, mediante fuentes de energía renovable.

La investigación contribuye con la comunidad, aunque al principio su costo es elevado a largo plazo es muy conveniente, desde el punto de vista económico, y uno de los factores más importantes es apoyar a la preservación de la flora y fauna del país y el planeta.

El objetivo del proyecto es proveer a la Universidad de un sistema para obtención de energía, independiente de la explotación de recursos no renovables a través de la implementación de un concentrador solar con un Motor Stirling aprovechando la radiación Solar y por ende utilizando la transferencia de calor, obtendremos energía eléctrica limpia mediante un alternador eléctrico.

Es novedoso para la comunidad universitaria dado, que estos sistemas son nuevos en el país, y aportan con iniciativas de investigación para contribuir con sistemas basados en la utilización de energías renovables. En países desarrollados como Europa y parte de América estos proyectos se encuentran en plena aplicación y desarrollo constante para la obtención de energías limpias, que salvaguarden la naturaleza del planeta.

La metodología que se aplica en el proyecto es científica y experimental, ya que se desarrollan a partir de investigación en cuanto a diseños y materiales apropiados para hacer al Motor Stirling óptimo en su funcionamiento. La parte experimental se la desarrolla en el campo a partir de pruebas que den como resultado un sistema eficiente acorde a las necesidades de la comunidad.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Problematicación

La opinión consensuada de los organismos dedicados al estudio de la energía coincide en señalar que los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) continuarán siendo en las próximas décadas la fuente dominante de energía primaria, a nivel global según la Agencia Internacional de Energía (AIE), contribuirán en un 83% al incremento total de la demanda de energía entre 2004 y 2030. El petróleo continuará representado más de 30% de la matriz energética mundial, seguido por el carbón y el gas.

La matriz energética a nivel mundial describe un considerable aumento en el consumo de energía durante los últimos 25 años, producto del acrecentamiento en la producción industrial y aumento de la población.

En los próximos años, los países en desarrollo serán los que demanden mayor consumo energético, debido al constante desarrollo industrial y a su economía, dando como resultado un mayor crecimiento energético.

El consumo doméstico de energía no es equitativo en todo el planeta, ya que en la actualidad existen lugares que no cuentan con electricidad y recurren a diferentes

métodos como el carbón, biomasa, excrementos de animales, entre otros, para la obtención de energía a fin de satisfacer sus necesidades¹.

Latinoamérica tiene fuentes convencionales para obtener energía (petróleo, carbón, gas natural e hidroelectricidad a gran escala), por el atraso tecnológico en algunas regiones, principalmente en el sector residencial, utilizan leña como fuente de energía, y no acceden a otras fuentes energéticas, dado el costo que representa, o distancia de las redes eléctricas, provocando deforestación y contaminación atmosférica. Actualmente en su mayoría los países de Latinoamérica dependen de combustibles fósiles (petróleo y gas natural) y a su vez se exportan a mercados europeos, asiáticos y principalmente a Estados Unidos. La utilización de estos combustibles generan graves amenazas para la subsistencia, hábitat y medios de vida, por esta razón la Organización de Naciones Unidas (ONU) enmarca su ayuda con respecto a la protección del medio ambiente.

El Ecuador presenta característica de país exportador de bienes primarios de bajo valor agregado e importador de bienes industrializados. La producción nacional, que constituye el 90% de la oferta energética total está concentrada en el petróleo

En el cantón Milagro existe la Empresa ECOELECTRIC S.A. tiene como actividad principal la cogeneración de electricidad y vapor en el INGENIO AZUCARERO VALDEZ. ECOELECTRIC S.A. tiene una capacidad de generación de 6 MW de electricidad. Además, cuenta con el licenciamiento ambiental otorgado por el Consejo Ecuatoriano de Electricidad (CONELEC) en el 2006, para la ampliación de su infraestructura y capacidad de cogeneración, de 6 MW a 36,5 MW, la cual incluyó la instalación y operación de un nuevo caldero (Caldera 12) y equipo turbogenerador (Turbogenerador 7). Consideran el uso de biomasa de los tipos de bagazo de caña de azúcar y caña guadua, así como también, la operación de la capacidad de generación instalada de 36.5 MW (6MW inicial alquilada + 3MW alquilada + 27.5MW construida).

¹ CEFIR INTEGRACION REGIONAL, *Atlas de energías renovables del Mercosur, Matriz energética Mundial*, tomado del sitio www.cefir.org.uy/atlas, extraído el 04 Abril del 2011.

ECOLECTRIC S. A. ha planificado a mediano plazo una nueva ampliación de su capacidad operativa con nuevos tipos de biomasa, diferentes al bagazo o caña guadua. Estas actividades requieren su respectiva evaluación de impacto ambiental, así como del licenciamiento para su operación, por parte del CONELEC.

La Universidad Estatal de Milagro cuenta con una línea de investigación que se encuentra en la búsqueda, análisis y desarrollo de proyectos basados en energías renovables, para lo cual han elaborado proyectos de grado orientados a la utilización de energías renovables, entre los cuales se mencionan: La "MÁQUINA PICADORA DE BANANO PARA ABONO ORGÁNICO". Este proyecto es de mucha utilidad ya que gracias a la producción de abono, las haciendas bananeras tienen la oportunidad de abastecerse de su propio abono sin necesidad de tener que comprar químico fertilizantes que a largo plazo destruyen el suelo. La obtención de Biodiesel mediante la producción de aceite casero es más cara que la de combustibles fósiles, por lo tanto, es factible este proyecto si Milagro proporcionara esta materia prima en grandes masas. Además ofrece grandes ventajas como la producción de energía, el reciclaje, y no contamina el medio ambiente. Biodigestor: consiste en almacenar desechos orgánicos en este caso gas metano en un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales, humanos, vegetales no se incluyen cítrico ya que se acidifican) para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, además se disminuye el potencial contaminante de los excrementos.

El sistema Disco Motor Stirling, funciona con energía solar, la primera propuesta experimental desarrollada en la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería alcanzo una potencia de 0.91W con lo cual lograron encender un diodo led, y comprobar que este tipo de motores colaboran con la generación de energía limpia. El sistema promete grandes beneficios y contribuye al desarrollo de la línea de investigación de energías alternativas en la UNEMI.

1.1.2 Delimitación del problema

La Universidad Estatal de Milagro cuenta con un motor Disco Stirling experimental cuya potencia es de 0.91W, la meta de este proyecto experimental es mejorar la potencia del motor aumentando la eficiencia, para lo cual se cambiaron los diseños y materiales para de esta manera optimizar el motor, y así se lo pueda utilizar para el abastecimiento de energía eléctrica, el mismo que estará acompañado de dos baterías para el almacenamiento de energía y utilizarlas en los períodos de ausencia solar.

Se realiza un estudio del consumo de energía para seleccionar el bloque en el cual se va a trabajar con respecto a la iluminación del bloque correspondiente a la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería; para ello se realiza un protocolo de medición que estadísticamente nos da el porcentaje estimado de consumo de los edificios. Con los resultados obtenidos se selecciona el Bloque J, además se realizan mejoras al colector parabólico con la finalidad de mejorar su capacidad reflectiva, el sistema Motor Disco Stirling estará funcionando para el abastecimiento de baterías de 7:00 – 17:00 y de 18:00 – 22:00 el edificio se abastecerá con la carga almacenada por las baterías de manera autónoma.

1.1.3 Formulación del problema

En vista de que a nivel mundial existe la problemática de un considerable aumento en la producción industrial, el consumo energético en los hogares, la indiscriminada explotación de petróleo y a su vez el agotamiento de estos recursos no renovables, después de algunos años dejará de existir el denominado oro negro (Petróleo) y por ende haciéndose necesario todo tipo de combustible derivado del mismo, desarrollar proyectos para abastecimiento de energía eléctrica mediante energía alternativa.

En la actualidad existen una diversidad de sistemas para la obtención de energía eléctrica limpia y éstos a su vez tienen una amplia aplicación en el área doméstica, industrial, comercial, entre otros, dando la oportunidad de mejorar la calidad de vida.

En el presente proyecto se realiza un estudio para la obtención de energía eléctrica mediante la explotación de recursos renovables en este caso Energía Solar, para lo cual se construye un sistema experimental mejorado del Sistema Disco-Stirling el cual proveerá de energía eléctrica al bloque T primera planta de la UNACCI.

¿Qué se puede hacer ante la falta de estudios dirigidos hacia la implementación de Sistemas de abastecimiento de energía Alternativa como medida para reducir el consumo energético de la UNEMI?

1.1.4 Sistematización del problema

Para comprender el significado de este proyecto y la importancia del mismo, se realizan una serie de preguntas que contribuyen al desarrollo y ejecución del proyecto.

1. ¿De qué manera se puede realizar un estudio de perfil de carga de los diferentes edificios que conforman la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería?
2. ¿Es posible construir un Motor Stirling, que alcance una mayor eficiencia con respecto al diseñado en el proyecto anterior "Desarrollo Experimental y Construcción del Sistema Disco Stirling"?
3. ¿En qué medida se puede reducir el consumo energético que tiene la Universidad Estatal de Milagro con la implementación de un Sistema Híbrido de abastecimiento?

1.1.5 Determinación de tema

La búsqueda por nuevos sistemas para la producción de energía limpia conlleva a investigar y desarrollar el siguiente proyecto:

ESTUDIO DIRIGIDO HACIA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ALTERNATIVA COMO MEDIDA PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un estudio de perfiles de carga, para determinar el margen de reducción del consumo energético mediante la implementación del sistema híbrido de abastecimiento de energía alternativa (colector - motor Stirling – baterías) en un bloque de aulas de la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería en la Universidad Estatal de Milagro.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Establecer las características del diseño experimental para realizar el estudio de perfil de carga de los edificios que conforman la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería.
2. Diseñar y construir un motor Stirling de mayor eficiencia para integrarlo a un Sistema híbrido de abastecimiento eléctrico.
3. Determinar el margen en que se reduce el costo por consumo eléctrico una vez implementado el sistema híbrido de abastecimiento en el edificio seleccionado para realizar el estudio.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Se prevé en los siguientes años un gran crecimiento en la utilización de energías renovables e hidroelectricidad beneficiando los costos por mantenimiento, con respecto a los elevados precios de los combustibles fósiles. Actualmente los gobiernos implementan políticas que fomenten el uso de energías renovables, incluso en situaciones en las que no podrían competir con los combustibles fósiles debido a su rentabilidad.

América Latina se está preocupando por obtener y usar energías renovables, en primera instancia existen una gran cantidad de recursos renovables que pueden aprovecharse, para no depender de energías no renovables.

La ventaja que presentan las energías renovables es que son una fuente que no se agota, lo que permite aprovechar toda la energía que ofrece la naturaleza. De entre todos los tipos de energía renovable la hidroelectricidad es una de las que más se suelen usar desde hace tiempo y es perfecta para muchos países de Latinoamérica, donde empiezan a darle una gran importancia a la energía renovable en especial desde el punto de vista ecológico, pero también como una importante inversión para el futuro, ya que en pocos años la energía renovable cobrará una mayor importancia. En estos momentos se están comenzando a desarrollar una serie de proyectos relacionados con la energía renovable para que se pueda producir una mayor cantidad de energía verde y limpia, algo fundamental para que el crecimiento de la demanda de energía se pueda llevar a cabo de una forma sostenible en todo momento.

El crecimiento económico y social del Ecuador, el avance y desarrollo de la industria, la tecnología y la evolución de los estilos de vida de la población hacen indispensable la planificación estratégica permanente del sector energético. Los hidrocarburos, la electricidad y las energías renovables requieren ser tratadas íntegramente bajo una política que estimule el uso eficiente de los recursos y el ahorro. Todo, con el objetivo de garantizar el abastecimiento de energía en el corto, mediano y largo plazo que permita satisfacer la demanda de las presentes y futuras generaciones.

De acuerdo al Plan del Buen Vivir desde la óptica de la planificación, el período 2009-2013 es el más importante pues corresponde a la fase de implantación de los cimientos para el desarrollo de los grandes proyectos necesarios para reorientar al sistema energético nacional hacia un sistema eficaz, eficiente y amigable con el medio ambiente; este periodo es el de realización de estudios, análisis de factibilidad, evaluación de alternativas, ingeniería de detalle, definición del financiamiento, entre otros.

El Ecuador está entrando en un período de cambio, la cultura por cuidar el medio ambiente cada vez es más fuerte. El gobierno establece y apoya las diferentes iniciativas por utilizar energías renovables, a su vez se ejecutan proyectos a nivel nacional como el programa de sustitución de focos incandescentes por focos ahorradores; con la importación de electrodomésticos eficientes energéticamente penalizando fuertemente a aquellos que sean de consumo ineficiente; con el desarrollo de proyectos de biocombustibles (de segunda y tercera generación) que no aumenten la frontera agrícola, es decir, en zonas degradadas o semidesérticas, cuidando sobre todo de no poner en riesgo la soberanía alimentaria; la producción de biocombustibles a partir de biomasa de desecho podría ser una alternativa importante

En las ciudades del país se promueven proyectos de tratamiento integral de desechos, orientados al reciclaje, a la generación de abonos orgánicos y energía. La exploración del gas en la costa ecuatoriana debe continuar así como los proyectos de aprovechamiento del gas natural del Golfo de Guayaquil.

Finalmente, la soberanía integral contempla también la soberanía energética, por lo que es importante desarrollar las capacidades productivas que permitan el autoabastecimiento energético, en particular, de electricidad. Una vez alcanzado este objetivo, la interconexión entre vecinos puede servir para impulsar procesos de reducción del precio de generación, mediante la optimización del despacho de energía eléctrica.

En Milagro existe la Compañía Azucarera Valdez S.A, ésta lleva a cabo el proyecto de cogeneración con bagazo consistente en generar electricidad mediante el

proceso de biomasa con la finalidad de contrarrestar el depender de la red eléctrica para el funcionamiento de sus instalaciones, es decir de cierta manera se encuentran en un proceso de abastecimiento independiente

La Universidad Estatal de Milagro actualmente cuenta con una línea de investigación, que se encuentra en un esfuerzo constante por desarrollar proyectos que preserven el medio ambiente.

Además, el proyecto tiene gran acogida por parte de las autoridades de la Universidad Estatal de Milagro dado que ellos justifican la aceptación de la implementación de proyectos que preserven el medio ambiente y al estatus de la Universidad como ente de investigación y desarrollo en la aplicación de nuevas tecnologías.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Antecedentes Históricos

A partir de la Revolución Industrial en el siglo XIX se incrementó el estado económico e industrial en todo el planeta, lo cual conllevó al desarrollo de energías que satisfagan las necesidades de la población. En primera instancia la revolución industrial se cimentó en las máquinas a vapor las cuales funcionaban con la combustión del carbón de origen mineral.

A continuación se observa la evolución de las diferentes formas en que el ser humano ha tratado de proveerse de energía para sus diversas necesidades hasta la actualidad.

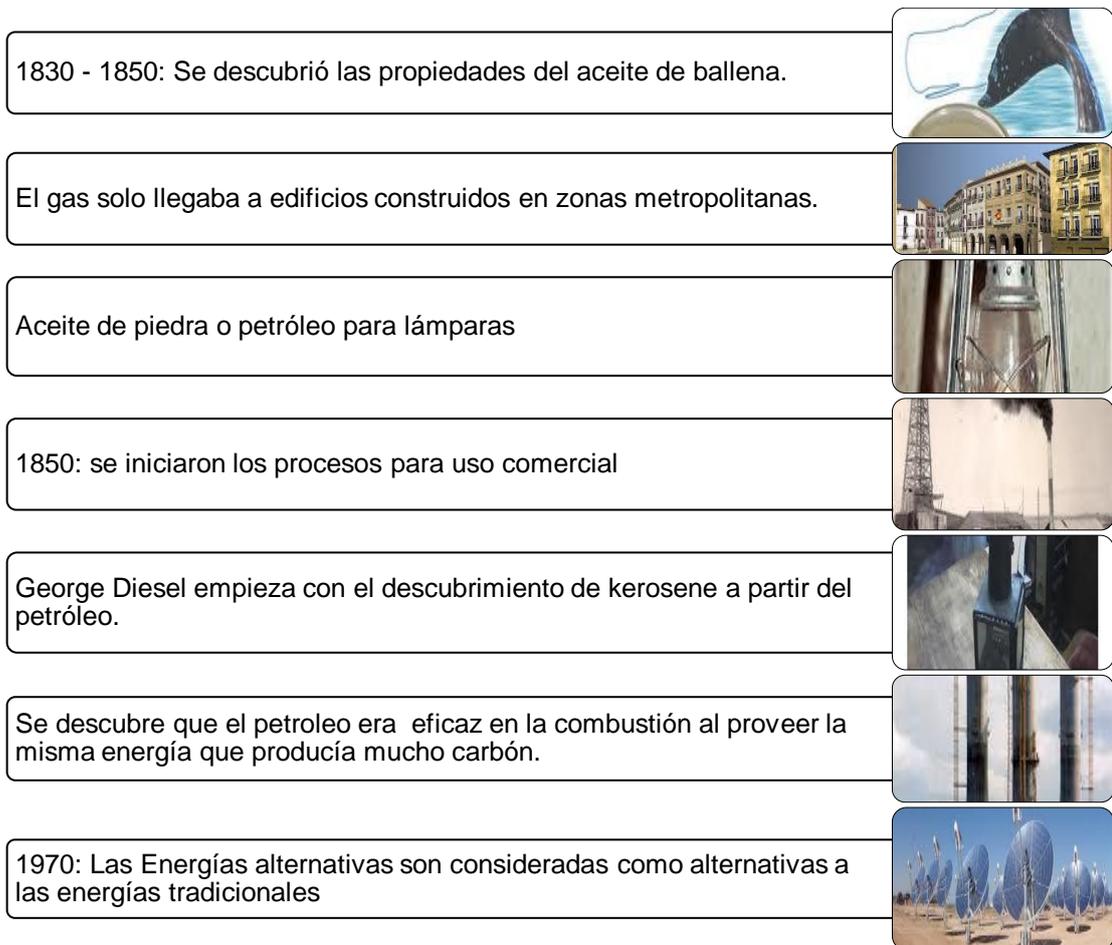


Figura 1. Evolución de las energías

La constante necesidad del hombre por hacer de la energía un recurso transportable dio paso a la actual era del petróleo que perdura hasta el día de hoy².

Según el informe presentado por Agencia Internacional de la Energía (AIE) “World Energy Outlook”, en el VIII Foro Internacional de la Energía, en donde se analizaron las predicciones del consumo de energías en el período 2000-2030, si en la actualidad los combustibles fósiles ocupan el 90% solo descenderá en un 2% su utilización, mientras que las energías renovables aumentarán en un 7%, dejando un 5% para la energía nuclear hasta el 2030.

² REVISTA FUTUROS: *Nuevas energías alternativas*, tomado del sitio <http://www.fideliranzo.com/nuevasenergias/historia.htm>, extraído el 04/02/2013



Figura 2. Origen de fuentes energéticas en el 2030³.

Por otra parte, el empleo de las fuentes de energía actuales tales como el petróleo, gas natural o carbón acarrea consigo problemas como la progresiva contaminación, o el aumento de los gases invernaderos.

Tabla 1. Oferta energética nacional

Oferta energética	Producción
Petróleo, crudo y gas natural	96%
Energías renovables (hidroelectricidad y biomasa)	4%
Segundo componente de la oferta energética, las importaciones	10%
Restante de la oferta energética (derivados de petróleo (GLP, diésel, nafta de alto octano y otros)	90%
De acuerdo a las necesidades se importa electricidad y otros productos no energéticos (lubricantes, entre otros.).	----

A continuación se presentan las gráficas de distribución en la demanda energética.

³ MARTINEZ GOMEZ, Javier, MORA SEGUES, Joan: *Política Industrial y Tecnológica*, p. 33.

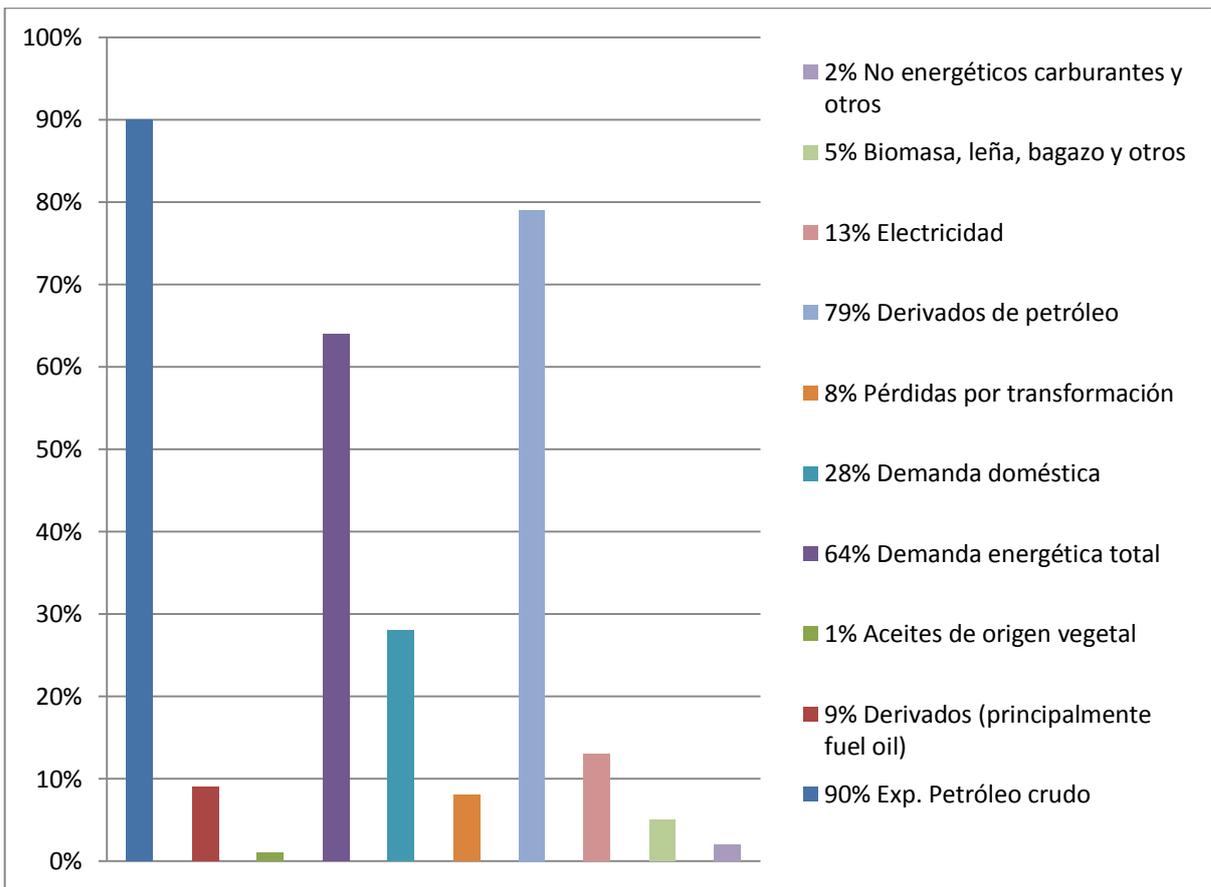


Figura 3. Demanda energética

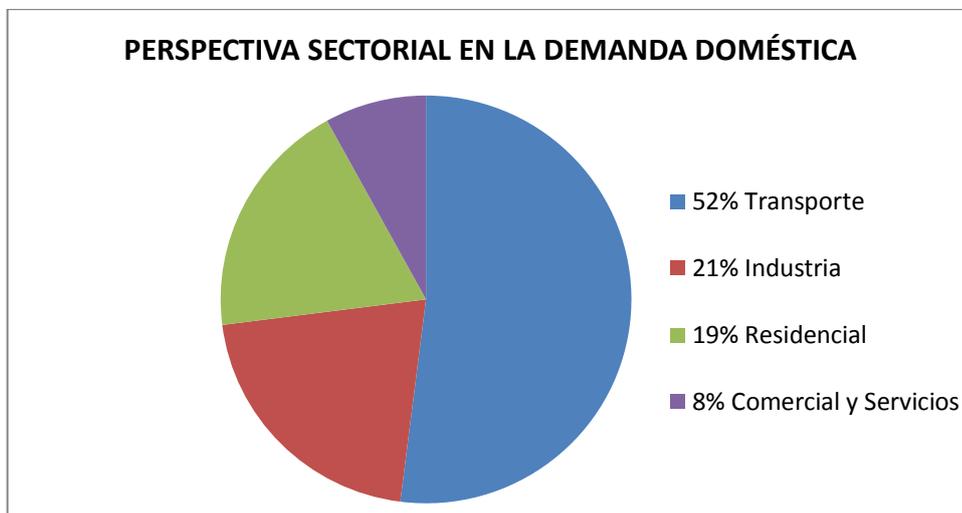


Figura 4. Demanda doméstica

A nivel mundial hablan de la utilización de energías renovables que constituyen una parte importante de la energía utilizada por los seres humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad, cuando las

fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan se empieza un proceso denominado “crisis energética”, dado que en la actualidad el continuo crecimiento a nivel industrial y económico, exige también una demanda creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen nuevos métodos de obtención de energía, éstas serían las energías alternativas.

La discusión energía alternativa/convencional no es una mera clasificación de las fuentes de energía, por tanto, incluso aunque podamos realizar la transición a estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo. Es por ello por lo que surge el concepto del **Desarrollo Sostenible**, para lo cual se mencionan algunas maneras para la obtención de energía renovable:

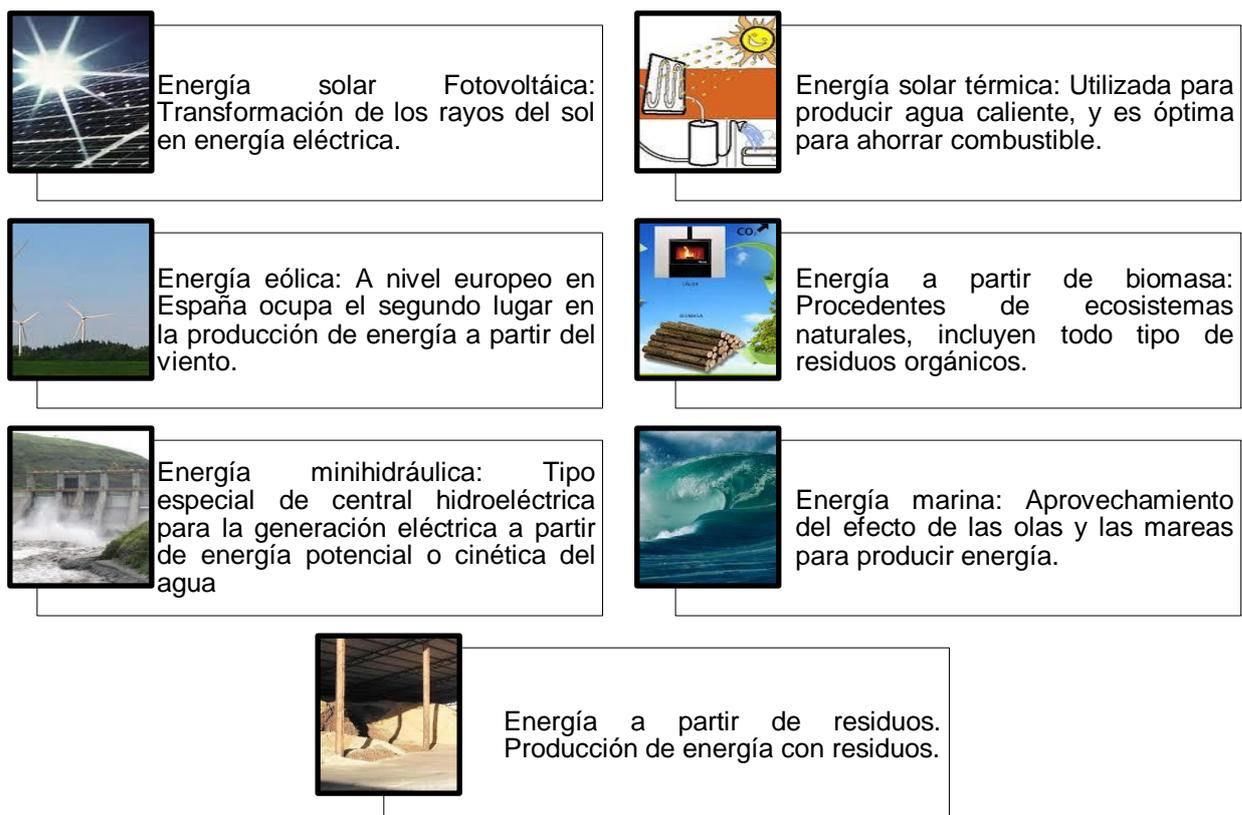


Figura 5. Tipos de energías alternativas⁴.

⁴ SEOANEZ CALVO, MARIANO: *Tratado de Gestión del Medio Ambiente Urbano*, p. 284.

El motor Stirling o "motor de aire caliente" surgen como una forma de aprovechamiento de la energía termosolar; fue inventado por Robert Stirling. La patente fue presentada el 27 de septiembre de 1816 y entró en vigencia el 20 de enero de 1817. Se diseñó con la finalidad de tener un motor menos peligroso que la máquina de vapor; es conocido también como economizador de calor o regenerador, dispositivo para mejorar el rendimiento térmico y que a diferencia de otros inventos anteriores, este motor no explotaba a causa del vapor, ya que su medio de trabajo era aire a presión atmosférica y por lo tanto mucho más seguro.

El motor de Stirling realizaba los mismos procesos de calentamiento y enfriamiento de un gas, pero todo dentro del motor y el gas era aire en vez de vapor de agua, por lo que el motor no necesitaba caldera. Un tipo de motor bastante común en su época, sobre todo para pequeñas máquinas de uso doméstico tales como ventiladores, bombas de agua etc. su potencia específica no era muy elevada pero su sencillez y silencio eran magníficos.

2.1.2 Antecedentes Referenciales

Existen dos experiencias en el mundo en cuanto a la utilización de motores Stirling, la primera es a través de los estudios efectuados por la Universidad de Saitama, en este caso no se logró mayores avances hasta 1998, y las aplicaciones solo fueron pruebas de laboratorio. La otra experiencia fue en Croacia, donde se construyó una central geotérmica con motores Stirling que llegó a producir 5 MW⁵.

Actualmente una de las aplicaciones más evidentes es la plataforma solar de Almería, perteneciente al Centro de Investigaciones Energética Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), es el mayor centro de investigación, desarrollo y ensayos de Europa dedicado a las tecnologías solares de concentración, este centro de investigación se encuentra perfeccionando distintos diseños y sistemas de captación y transformación de energía solar, han construido equipos conocidos como Distal y EuroDISH formados por grandes discos parabólicos que reflejan y concentran el sol

⁵ NAVARRETE RAGGA, Carlos Gherardelli: *Diseño de motor Stirling para generación eléctrica con fuentes geotérmicas*, p. 15.

hacia un motor Stirling, el cual produce energía mecánica que mediante un alternador es transformada en energía eléctrica, aunque se trabajan de manera experimental han llegado a obtener resultados que prueban un gran rendimiento

La investigación continúa debido a la versatilidad de fuentes de energía utilizables para su funcionamiento, ya que al necesitar solamente una fuente de calor externa al cilindro, es posible usar una gran variedad de fuentes energéticas (energía solar térmica, todo tipo de combustibles, uso de la biomasa, energía geotérmica, entre otros). Este tipo de tecnologías serán de gran aplicación para regiones donde hay gran número de pobladores dispersos, a los cuales sería muy costoso llegar con red eléctrica.

Potencias económicas como China, India y Brasil realizan inversiones en energías renovables, disminuyendo en un 5% su margen de contaminación después de que el año pasado crecieran un 44%. Pero lejos de que la tendencia sea negativa, este cambio se dio porque las mismas se dieron en fusiones y adquisiciones y no en nuevos proyectos.

América Latina también está preocupándose por invertir más en energías renovables, como se describe a continuación: En el 2010, las inversiones en energías renovables crecieron un 39% en Latinoamérica, haciendo un total de 13,1 mil millones de dólares convirtiéndola en la región de mayor crecimiento en el mundo en vías de desarrollo, de acuerdo a un informe del Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas (UNEP) publicado recientemente.

Los números del informe de la UNEP demuestran una tendencia positiva en la región, aunque en paralelo países como Argentina y Brasil llevan a cabo proyectos de energía nuclear, que es considerada "limpia" por no generar emisiones de carbono, pero no es considerada renovable. Tampoco disciernen entre aquellas fuentes de energía renovables y que no generan impactos ambientales negativos con otras más controversiales, como la producción hidroeléctrica que en Brasil y en Chile generan gran debate. Aun así, las metas anunciadas por los países son señales positivas para la región.

Tabla 2. Comportamiento de la demanda energética

	Inversiones	Aumento	Energías renovables	Proyección para cumplir objetivos	Proyectos
México		34.80%	7.60%	2012	Energías renovables
Argentina	740,000,000.00	56.80%	8%	2016	Eólicos y plantas para producción de etanol, biodiesel y biomasa.
Perú	480,000,000.00		5%	2013	Plantas hidroeléctricas, de etanol y biomasa
Chile	960,000,000.00	21%	10%	2025	Hidroeléctricas, eólicos y biomasa ⁶ .

En el Ecuador existen proyectos de generación eléctrica solar aislada que son las fotovoltaicas, pero es necesario impulsar la tecnología termosolar en el cual se necesita un modelo energético sostenible para este tipo de sistemas. En la actualidad se realizan estudios de eficiencia energética y desarrollan modelos meteorológicos, los cuales nos presentan gran viabilidad tecnológica y económica que aportan a la preservación del medio ambiente.

Además, se han realizado proyectos dirigidos mayoritariamente a comunidades rurales, donde se presentan bajos y en algunos casos nulos coeficientes de electrificación, altos índices de necesidades básicas insatisfechas, un aislamiento marcado con respecto a los centros poblados y una alta dispersión geográfica de sus familias. Poblaciones que por su aislamiento y dispersión no son consideradas como futuros beneficiarios de proyectos de ampliación de redes, debido al alto costo económico, social y ambiental que significaba este tipo de alternativa.

La Fundación Ecuatoriana de Tecnología Apropriada “FEDETA” ha instalado más de 721 sistemas solares fotovoltaicos en las provincias de Manabí, Sucumbíos y Esmeraldas, beneficiando a 4038 personas en 18 comunidades de la región amazónica y 5 de la región costa. Todos los sistemas instalados son manejados mediante un modelo propio de sostenibilidad, a través de Unidades de Operación y Gestión Energética Sostenible denominados “UOPGES”⁷.

⁶ ANONIMO: “Inversión en energías renovables en América Latina” Programa Local de Adaptación al Cambio Climático.

⁷ FEDETA: *Energía fotovoltaica en desarrollo de las comunidades indígenas*, Ecuador, 2013.

Tabla 3. Generación renovable en Ecuador según FEDETA.

Localidades	Comunidades	Dotación de energía eléctrica	Beneficios	Sistemas fotovoltaicos individuales
Ribera baja del Río Aguarico	Secoyas, Sionas Cofanes, Kitchwas.	115 Familias 630 personas	Uso domiciliario, salud, educación, casas comunales y cabañas turísticas.	106 Wp
Ribera baja del Río Aguarico	Secoyas y Kitchwas	112 familias 650 personas	Uso domiciliario, servicios de salud, educación y casas comunales.	100 Wp
Ribera del Río Aguarico, Río San Miguel en los Cantones de Putumayo y Lago Agrio en la Provincia de Sucumbíos	Kitchwas	200 familias 1200 personas	Uso domiciliario	100 Wp
Comunidad aislada del Cantón Muisne, Provincia de Esmeraldas.	Comunidad de la Colorada	23 familias 112 personas	Uso domiciliario y escolar, además de la implementación de un programa de sostenibilidad con participación de la comunidad y de la Empresa Eléctrica.	100 Wp
Cantón Cuyabeno y en la reserva faunística del Cuyabeno.	Secoyas	71 familias y 3 escuelas 300 personas	Uso domiciliario y de educación así como el desarrollo de un modelo de sostenibilidad con la participación de los beneficiarios y la Empresa Eléctrica como dueña de los activos.	100 y 130 Wp
Ribera del río Putumayo frontera con Colombia y Perú	Kitchwas	45 familias 180 personas	Uso domiciliario y de educación así como la implementación de un modelo de sostenibilidad con la participación de los beneficiarios y de la Empresa Eléctrica como dueña de los activos	100 Wp
Cantón Pichincha, Provincia de Manabí	Pescadillo, betilla, mata de cacao y dos esteros.	107 familias y 3 escuelas 500 personas	Uso domiciliario y de educación así como el desarrollo de un modelo de sostenibilidad en manos de sus pobladores con la participación de la Empresa Eléctrica.	100

Tabla 4. Generación renovable existente en el Ecuador

Generación 2009 - 2020	Incremento
Hídrica	61%
Biomasa	1%
Eólica	0.2%
Solar	0.0002%
Termoeléctrica	31%
Interconexión	7%

Este cuadro proporcionado por el CONELEC describe el comportamiento del Ecuador con respecto a su matriz energética. Además cabe mencionar que los sistemas fotovoltaicos se encuentran en su apogeo de utilización en el Ecuador, ya que se están implementando en sectores de difícil acceso a la red pública.

En cuanto a los sistemas de generación de electricidad por Biomasa se está desarrollando satisfactoriamente a nivel industrial, en el caso de los ingenios azucareros del Ecuador aprovechando el bagazo de la caña como combustible de abastecimiento, e incluso está siendo utilizado por el sector agrícola.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral contribuye con el cuidado al medio ambiente ya que desarrolló un proyecto Híbrido Eólico-Solar: Paneles Solares y un aerogenerador, que se encuentra en la terraza del Rectorado en el Campus Gustavo Galindo⁸.

La producción de energías limpias alternativas y renovables no es por tanto una cultura o un intento de mejorar el medio ambiente, sino una necesidad a la que el ser humano se va a ver abocado, independientemente de opiniones, gustos o creencias.

⁸LEONES VEGA, Wilson: *Estudio tecnológico viabilidad Energética y Económico para la Generación Eléctrica Sostenible a través de la Energía Solar, con Aporte al Medio Ambiente.*

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Características de un perfil de carga

Es el método más eficaz para determinar las demandas, especialmente en las instalaciones de transformadores, tradicionalmente, el eslabón débil de la red eléctrica. Lectura de la demanda máxima de los transformadores en los intervalos especificados, así como la correlación de los tipos de consumidores y de las necesidades, es la base de un perfil de carga exacta.

Antes de profundizar en este punto, se debe tener claro qué es un perfil de carga. “El perfil carga es una prueba de carga o de esfuerzo, puede ser constante o incrementarse dinámicamente mediante la ejecución paso a paso”.

Para estudios se realizan análisis con la finalidad de obtener datos específicos del consumo eléctrico en los diferentes edificios que conforman la UNACCI, este trabajo se lo lleva a cabo durante una semana, período en el cual el equipo analizador de redes eléctricas rota en las instalaciones.

A continuación se plantea un procedimiento de fácil ejecución para obtener los datos del consumo eléctrico en la UNACCI:

- ❖ Verificación del equipo de medición (memoria disponible)
- ❖ Colocar transformadores de núcleo partido a las fases I II III
- ❖ Colocar los cables de voltaje
- ❖ Revisar los valores de Voltaje, Corriente, Factor de Potencia.
- ❖ Dejar que el equipo empiece a grabar.(Tiempo x)
- ❖ Descargar información almacenada en la memoria del equipo.
- ❖ Realizar análisis de las muestras descargadas del equipo
- ❖ Elaborar informe final de Calidad del Producto Eléctrico en las instalaciones.

2.2.1.1 Colectores solares

Los colectores solares son dispositivos diseñados para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica.

Para obtener temperaturas elevadas es necesario recurrir a colectores especiales, ya que con los planos es imposible. Estos colectores son los de concentración, cuya filosofía no es más que aumentar la radiación por unidad de superficie, esto se puede lograr disminuyendo el área por donde ocurren las pérdidas de calor e interponiendo un dispositivo óptico entre la fuente de radiación (sol) y la superficie absorbente, que debe ser pequeña comparada con la del dispositivo óptico. De esta manera, en el absorbedor, se pueden tener densidades de energía que van desde 1.5 hasta varios miles de veces de radiación solar que llega al sistema óptico.

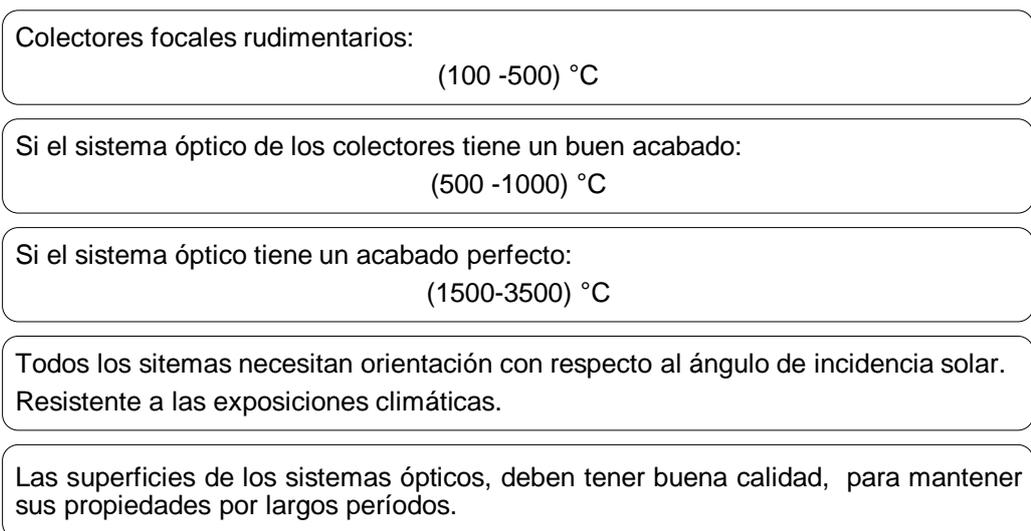


Figura 6. Características de los concentradores solares

Existen básicamente dos tipos de colectores solares:

- ❖ **No concentradores de imagen o estacionarios:** No concentra imagen, tiene usualmente un área de absorción (zona focal) cercana al área de intercepción.
- ❖ **Concentradores de imagen:** Usualmente tiene una superficie reflectante cóncava y focaliza la radiación incidente en un área pequeña, incrementando el flujo radiactivo.

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

$$CR = \frac{A_{ac}}{A_f} \quad (1)$$

Existe una gran variedad de colectores concentradores, pero podemos decir que todos ellos pueden clasificarse en tres categorías básicas:

A continuación se pueden observar diferentes maneras de aprovechar la energía solar para transformarla en electricidad:

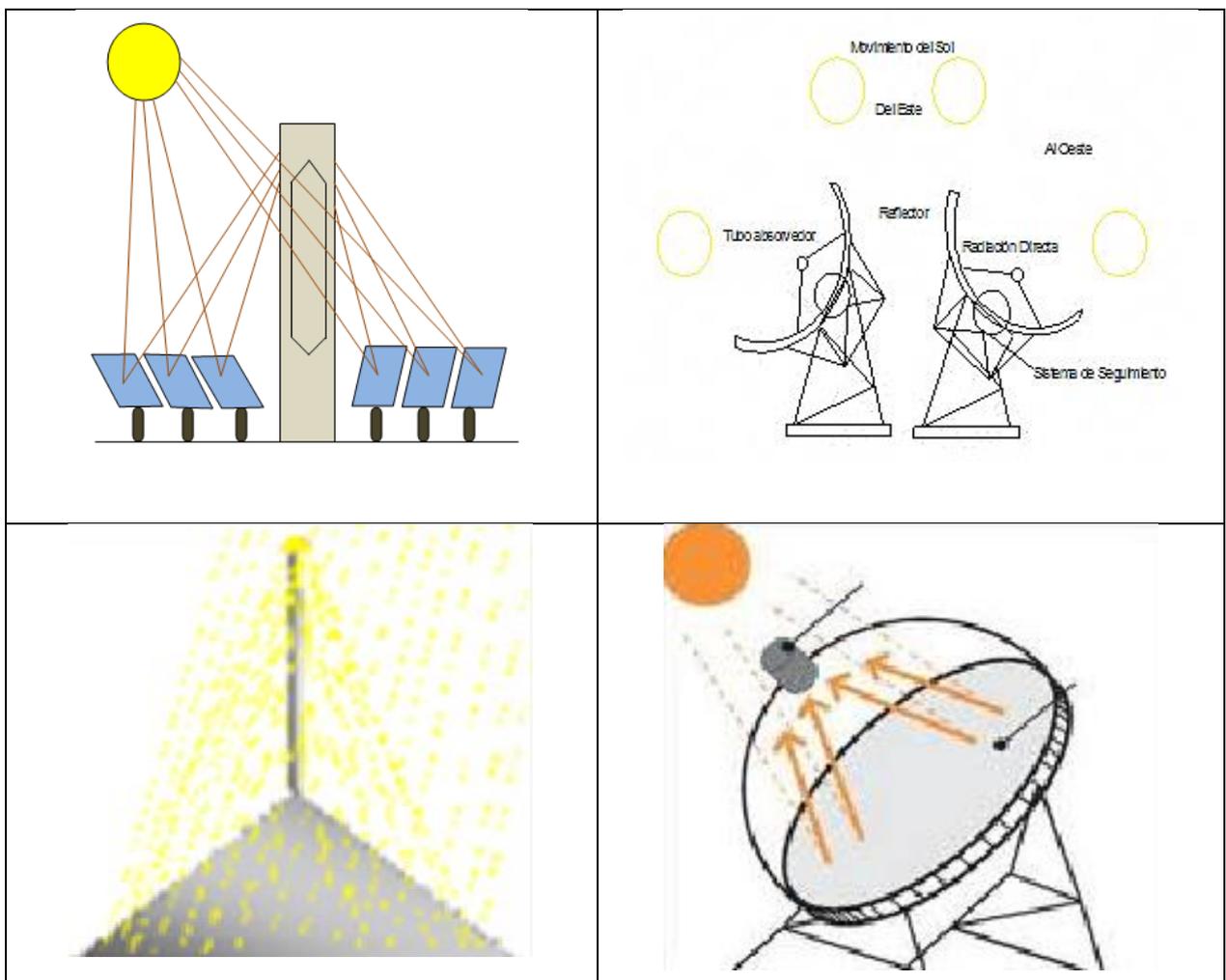


Figura 7. Sistemas concentradores

Tabla 5. Sistemas centradores

Sistemas	Componentes del Sistema	Definición	Observaciones
Sistema de Torre o Receptor Central.	Campo de heliostatos.	Convertir energía radiante en energía térmica.	Potencia 10 - 200 MW, probados hasta 11 MW
Sistema Cilíndrico Parabólico.	Espejos de forma cilindro parabólico. Se diferencia por el modo de recolectar la energía del Sol.	Una vez calentado el fluido del proceso es el mismo que el de las centrales de torre.	Alcanza temperaturas próximas a 400 C.
Sistema Disco Motor.	Compuesto por un colector, receptor y motor.	Receptar radiación solar para transformar en potencia mecánica a eléctrica por un generador eléctrico o alternador.	La eficiencia de este sistema es de 30% - 25% para generar de 7 a 25 Kw.
Sistemas Lineales Fresnel.	Reflectores planos, se construye con espejos de vidrio normales, materia prima barata.	Se destaca por la sencillez de su construcción y por su bajo costo.	15% más eficientes por la forma curvada de los espejos cilíndricos parabólicos ⁹ .

De todos los sistemas descritos se opta por: Sistemas disco motor por sus ventajas en términos de rendimiento y aplicabilidad a este proyecto en particular. El receptor de este sistema absorbe la radiación solar reflejada por el concentrador, transformando energía solar en mecánica y por consiguiente se puede generar electricidad.

Materiales reflectivos para concentradores solares

El elegir una superficie de gran reflectancia es una propiedad que determina la fracción de la radiación incidente reflejada por una superficie. Esta propiedad es inherentemente bidireccional, es decir, además de depender de la radiación incidente, también depende de la dirección que presente la radiación reflejada. Al estudiar los casos de colectores de concentración se recalca que la concentración de radiación solar únicamente actúa sobre la radiación térmica directa, rechazando la radiación solar por lo tanto, el estudio sólo tendrá en cuenta la reflexión de la radiación térmica directa¹⁰.

⁹ PEÑA DIAZ, Alfredo: *Sistemas de concentración de Energía solar*, tomado del sitio <http://es.scribd.com/doc/32573728/Concentradores-solares>, extraído el 10/02/2013

¹⁰ LEONES VEGA, Wilson: *Estudio tecnológico viabilidad Energética y Económico para la Generación Eléctrica Sostenible a través de la Energía Solar, con Aporte al Medio Ambiente*.

Tabla 6. Reflectancias de algunos materiales

Material	Eficiencia	Material	Eficiencia
Papel Aluminio	0.799%	Fibra de vidrio pintada de blanco	0.709%
Mylar	0.833%	Chapa pintada de blanco envejecida	0.656%
Acero Inoxidable	0.572%	Chapa pintada de blanco nueva	0.582%
Espejo de vidrio de 4mm	0.712%	Chapa galvanizada	0.588%
Espejo de vidrio de 3mm	0.754%	Chapadura pre pintada blanca	0.741%
Espejo de vidrio de 2mm	0.795%	Aluminio de alta reflectividad (Celeste)	0.820%

El material escogido para cubrir el área del disco parabólico es el espejo de vidrio de 2mm, ya que es fácil de conseguir y las características que ofrece son favorables para el desarrollo del proyecto.

La energía que vierte el sol diariamente sobre la Tierra es diez mil veces mayor que la que se consume al día en todo el Planeta, según reporta la empresa española CENSOLAR. Ecuador está favorecido por su situación geográfica y climatológica para aprovechar este tipo de energía, en particular, en la región Interandina ecuatoriana, la radiación media es del orden de 1,600 Kwh. /m²año.

La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra **a nivel del mar**. Como se puede observar, la parte con mayor aporte de energía del espectro solar se ubica en una longitud de onda entre los 0.28 a los 3 micrómetros.

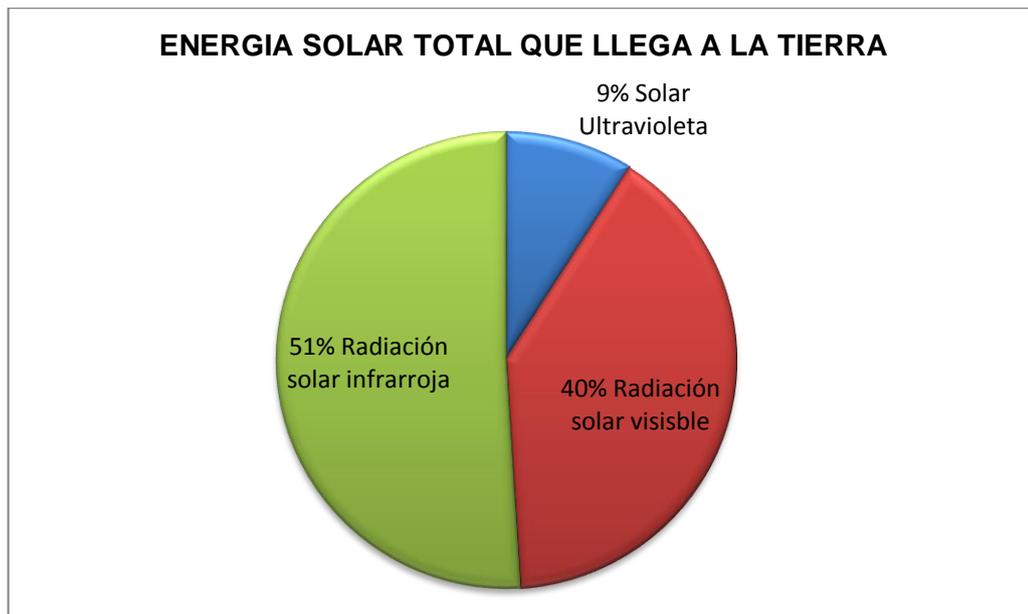


Figura 8. Radiación solar en la tierra

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

Tabla 7. Componentes de radiación solar en la superficie terrestre

Radiación.	Definición	Observación
Componente Directa	Llega tierra sin cambiar de dirección.	Proyecta una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan
Componente Difusa	Pierde su dirección original.	No produce sombra.
Radiación Reflejada	Es la reflejada por la superficie terrestre.	Superficies horizontales no reciben radiación reflejada, no ven ninguna superficie terrestre. Superficies verticales reciben más radiación reflejada
Radiación Global	Es la radiación total, la suma de las tres radiaciones.	La exposición de radiación que llega directo a la tierra es preponderante sobre la radiación difusa. En un día nublado no hay componente directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa, la irradiancia directa proveniente del sol se mide en W/m^2 .

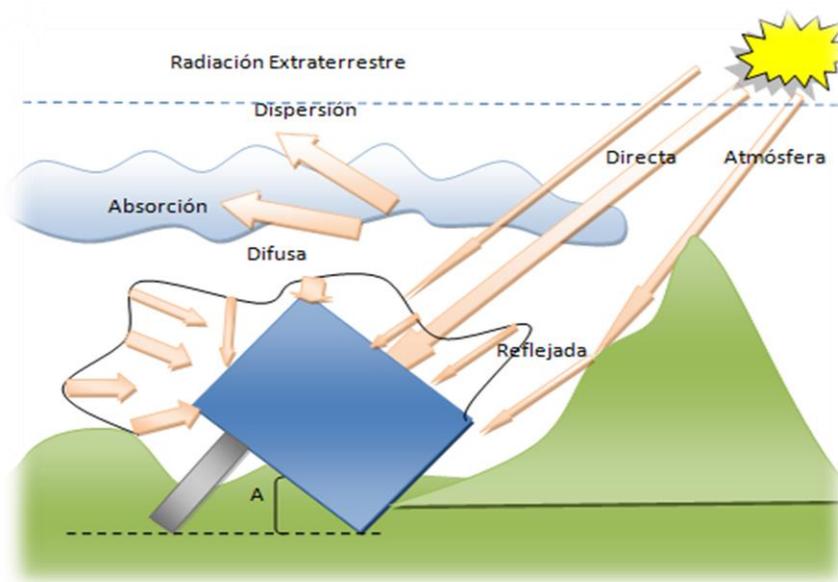


Figura 9. Componentes de radiación solar

La Organización Meteorológica Mundial define la luz solar como la irradiación directa proveniente, del sol medida en el suelo da al menos 120 W m^{-2} .

Se consideran algunos parámetros con respecto a la radiación solar para la ubicación del disco Stirling, entre los se mencionaran a continuación:

	Paralelos de Latitud	<ul style="list-style-type: none"> • Positiva norte ($0 \pm 90^\circ$) • Negativo sur (0 y 90°)
	Meridianos de Longitud	<ul style="list-style-type: none"> • Greenwich Inglaterra: 0° Ecuador terrestre. • Este (0 180°) • Oeste (0 180°)
	Angulo de azimut	<ul style="list-style-type: none"> • Angulo formado por el sol y el eje Sur además se encuentra complementado por el ángulo del cenit.

Figura 10. Parámetros con respecto a la radiación solar

Los ángulos de zenit, inclinación, azimut solar de la superficie se pueden observar en la Figura 7.

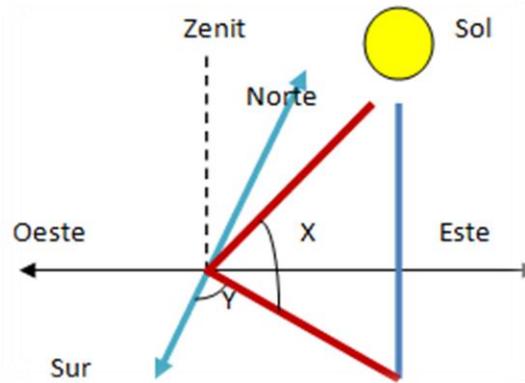


Figura 11. Zenit y azimut solar

La altura es la distancia entre la superficie de la horizontal con respecto al sol, la cual va variando de acuerdo a las diferentes estaciones del año. De este fenómeno físico dependerá la cantidad de energía que asimile el concentrador.

El sistema de seguimiento solar, considera los siguientes ángulos de 180° que se generan por el paso del sol diario de norte a sur y los $23,5^\circ$ que se producen de ángulo en dos épocas del año 21-22 de Junio y 21-22 de Diciembre respectivamente:

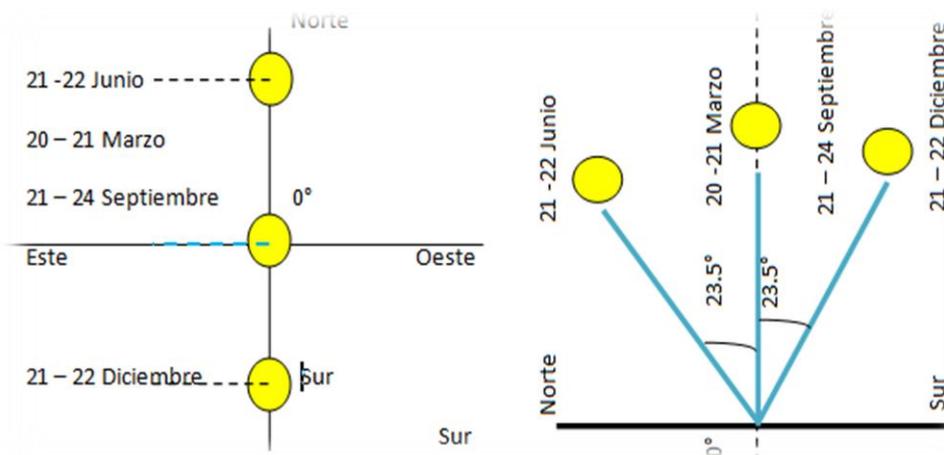


Figura 12. Inclinación del sol en épocas del año

Con los siguientes datos presentados se procede al análisis del proyecto, para corregir la inclinación de la Parábola con respecto al plano horizontal de inclinación.

Tabla 8. Cálculos basados en la inclinación solar

Pregunta	Cálculo
Presencia del sol en el día es 12 horas, por lo tanto se considerara de las 6:00 am a las 17:00 pm respectivamente:	6:00 am: 0° y 18:00 pm: 180°
¿Si el sol recorre 180° en 12 horas, cuantos grados recorre el sol por hora?	$\frac{180^{\circ}}{12h} = 15^{\circ}h$
¿Si el sol recorre 15° en 8 horas de concentración, cuantos grados recorrerá el sol?	$15^{\circ} \times 8h = 120h$

Lo ideal para obtener la mayor eficiencia del sistema es el ejercicio realizado anteriormente, sin embargo, por estadísticas que serán detallada en el capítulo 4, en un día totalmente despejado sólo se realizan cálculos matemáticos en el rango de 8:00 am – 17:00 pm, lo cual da sólo 9 horas de radiación solar para el Sistema Disco – Stirling.

Estos cálculos servirán para el sistema de seguimiento del sol en el proyecto Disco – Stirling.

La cantidad de energía solar que puede recogerse, depende de la orientación del dispositivo receptor; la cercanía a superficies reflectantes claras y ambiente despejados para que el concentrador absorba la mayor cantidad posible de radiación directa.

Instrumentos para medición

Para realizar las mediciones de radiación solar en la superficie, donde se implementa el sistema Disco – Stirling se utilizan instrumentos de medición que proporcionan las variables necesarias a aplicar en el sistema. Ver Tabla 9.

Tabla 9. Instrumentos para medir radiación solar

Gráfica	Instrumento	Definición
	Solarímetro o Piranómetro.	Mide la radiación solar total, es decir radiación global, radiación directa, radiación difusa.
	Heliógrafo	Mide la insolación, que son las horas de sol brillante que tiene el día.
	Actinómetro, Solarímetro o Pirheliómetro	Mide radiación directa

2.2.2 Motor Stirling

a. Historia

Robert Stirling nació el 25 de octubre 1790 en Gloag condado de Perthshire, Escocia. Murió el 06 de junio 1878 en Galston, un pueblo a unos 30 km al sur de Glasgow.

Fue un brillante estudiante en la Universidad de Edimburgo desde 1805 hasta 1808. Luego estudió teología en la Universidad de Glasgow. La vida de Robert Stirling tiene lugar durante el siglo XIX, vio muchos descubrimientos científicos y técnicos, esto probablemente fermentó de ideas su curiosidad natural y el pragmatismo que hizo a Robert Stirling inventar "el motor de aire caliente". La patente fue presentada 27 de septiembre 1816 y entró en vigencia el 20 de enero 1817.

Con la finalidad de tener un motor menos peligroso que la máquina de vapor, desarrolló el motor debido a la preocupación que causaba las frecuentes explosiones de la máquina de vapor de principios de 1800 construida a base de hierro dulce, causando muertes o graves quemaduras a las personas cercanas, así en 1816 patentó el **Motor de aire caliente** junto con lo que él llamó **Economizador de calor** (en la actualidad llamado **Regenerador**), dispositivo para mejorar el rendimiento térmico y que diferencia este motor de otros inventos anteriores, este motor no explotaba a causa del vapor, ya que su medio de trabajo era aire a presión atmosférica y por lo tanto mucho más seguro.

Estos motores realizaban los mismos procesos de calentamiento y enfriamiento de un gas, pero todo dentro del motor y el gas era aire en vez de vapor de agua, por lo que el motor no necesitaba caldera. Fue un motor muy común en su época, sobre todo para pequeñas máquinas de uso doméstico tales como ventiladores, bombas de agua, entre otros; su capacidad de potencia no era elevada pero su sencillez y silencio eran magníficos.

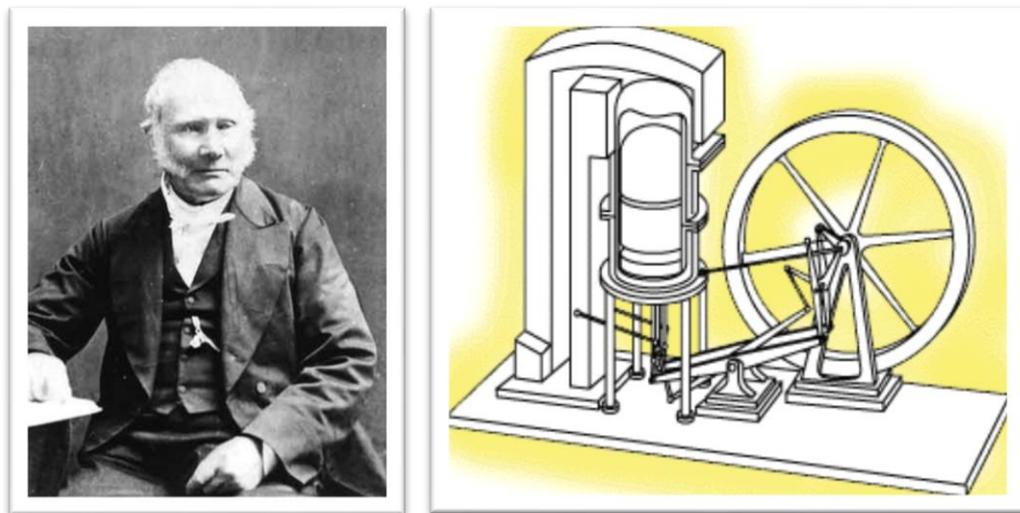


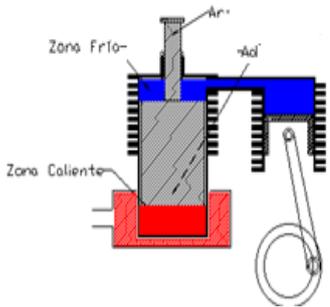
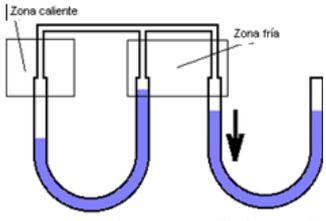
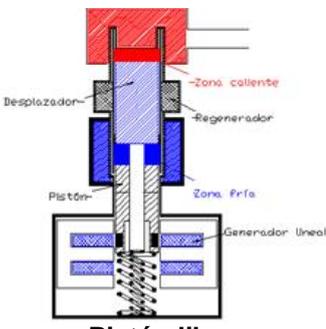
Figura 13. Robert Stirling

Continúa la investigación con respecto al desarrollo de estos motores debido a la versatilidad de fuentes de energía utilizables para su funcionamiento, ya que al necesitar solamente una fuente de calor externa al cilindro, es posible usar una gran variedad de fuentes energéticas (energía solar térmica, todo tipo de combustibles,

uso de la biomasa, energía geotérmica, etcétera). Esta tecnología es considerada de gran aplicación para regiones donde existe un gran número de pobladores dispersos, a quienes les sería muy costoso satisfacer sus necesidades con la red eléctrica¹¹.

b. Clasificación de motores

Tabla 10. Clasificación de motores

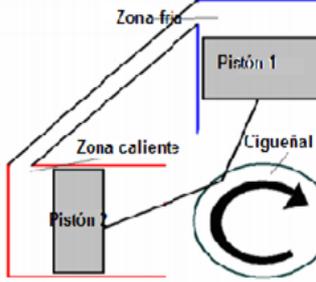
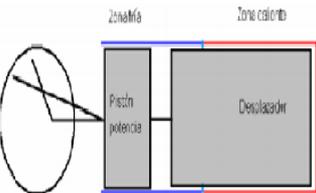
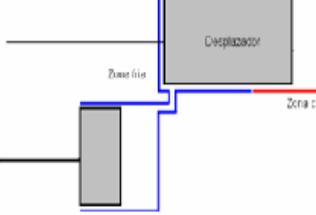
Motor	Observación
 <p>Ringbom</p>	<p>De acuerdo a las variaciones internas de la presión en el motor, se moverá el desplazador.</p>
 <p>Pistón líquido</p>	<p>Este motor es una variante del motor Stirling en la que el pistón y el desplazador han sido sustituidos por un líquido.</p>
 <p>Pistón libre</p>	<p>Además del desplazador, también el pistón se mueve sin estar ligado mecánicamente a ningún eje giratorio</p> <p>Si no es necesario obtener la potencia en un eje giratorio el motor de ciclo Stirling se puede simplificar mucho.</p>

¹¹ MEIRO MARTINEZ, Gerardo: *MCN Biografías*, tomado del sitio <http://www.mcnbiografias.com>

c. Clasificación de motores Stirling

Según la forma en que los componentes de un motor Stirling están interrelacionados, éstos se pueden clasificar en diferentes tipos: Alfa, Beta, Gamma que se explicarán a continuación:

Tabla 11. Clasificación de motores Stirling

Motor	Observación
 <p>Alfa</p>	<p>Tiene dos cilindros independientes conectados por un tubo, y una cámara que almacena y cede el calor, en cada uno de los cilindros, pistón que se mueve 90 grados desfasado respecto al otro.</p> <p>Alta relación potencia, volumen sencillez de mecanismos.</p> <p>Dificultad para sellar las cámaras</p>
 <p>Beta</p>	<p>Tiene un sólo pistón y un desplazador, que pasa el fluido de la zona caliente a la fría cuyo movimiento está desplazado del pistón lo que permite generar trabajo.</p> <p>Recrea el diseño original de Stirling.</p> <p>Mecanismos complejos y voluminosos.</p>
 <p>Gamma</p>	<p>El pistón de potencia se encuentra en cilindros separados. Si los cilindros se posicionan a 90° uno con respecto del otro en (V), se pueden montar sobre el mismo pasador del cigüeñal haciéndolos aún más simples.</p> <p>Sencillez de mecanismos y facilidad de sellado.</p> <p>Relación de compresión baja.</p>

El motor factible para el proyecto es el motor Stirling Gamma dado que sus características lo hace de fácil construcción. A pesar de que este tipo de motores perdieron interés después del desarrollo del motor de combustión interna, ha retomado interés en los últimos años por varias características muy favorables que tiene en particular:

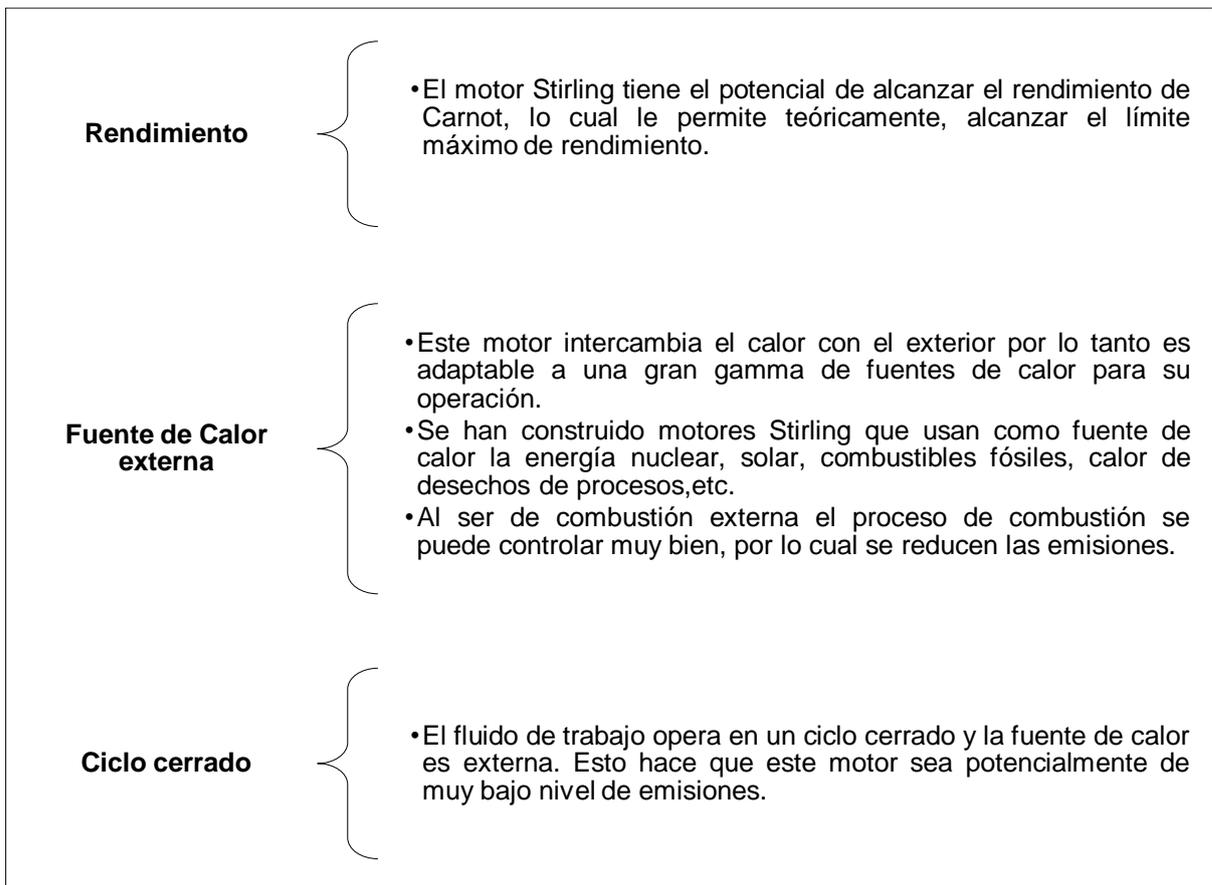
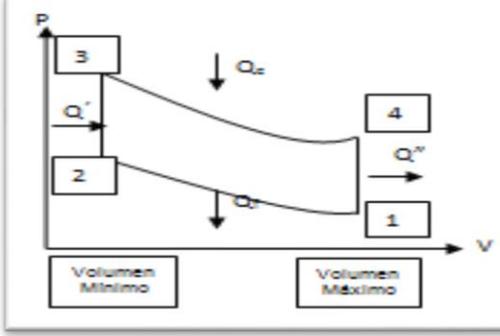
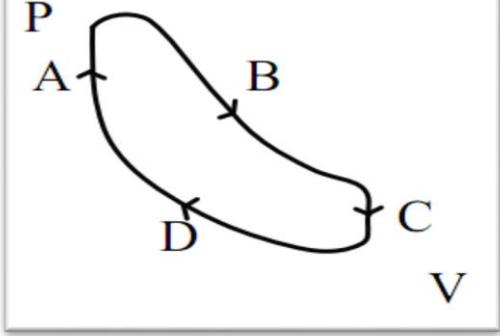


Figura 14. Características del Motor Stirling.

d. Ciclos Stirling

El ciclo Stirling teórico está compuesto por dos procesos isotermas ($P \times V = \text{Constante}$) y dos evoluciones a volumen constante. En las cuatro evoluciones hay intercambio de calor, pero la magnitud del calor absorbido en el calentamiento a volumen constante es igual a la magnitud del calor cedido en el enfriamiento a volumen constante.

Tabla 12. Ciclos Stirling

Ciclo	Descripción	Evolución
<div style="text-align: center;">  <p>Teórico</p> <p>Almacenar el calor en forma intermedia en un regenerador, la teoría demuestra que es posible alcanzar el rendimiento de Carnot</p> </div>	<p>La función de este regenerador es almacenar en forma reversible.</p> <p>Si el regenerador está compuesto de un material poroso capaz de almacenar y ceder calor, que permita el paso del fluido de trabajo y que tenga conductividad térmica axial despreciable.</p>	<p>Evolución 4-1: Calor cedido al exterior en el enfriamiento a volumen constante</p> <p>Evolución 3-4: Entregar al ciclo en el calentamiento a volumen constante</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Real</p> <p>El motor Stirling difícilmente llegará a trabajar a la igualdad del ciclo teórico.</p> </div>	<p>La cinemática del mecanismo o elementos que transforma la energía térmica a mecánica impide reproducir totalmente los procesos del ciclo teórico. Existen pérdidas por fricción en el movimiento del gas. Las expansiones y compresiones no son exactamente isotérmicas</p>	<p>Existen pérdidas por conducción a través del regenerador.</p> <p>Mecánicamente no es posible reproducir exactamente las variaciones de volumen que exige el ciclo.</p>

e. Funcionamiento del motor Stirling gamma

El motor de aire caliente Stirling, utiliza una fuente de calor fija, para calentar aire en su cilindro. Se le puede considerar de combustión externa y proceso adiabático ($P \times V = \text{Constante}$), no requiere quemar combustible en su interior y al operar no transfiere calor al entorno. El movimiento se genera a partir de las diferencias de presión de aire, entre la porción más caliente y la fría. El mecanismo central de un motor Stirling consiste de dos pistones/cilindros, uno para disipar calor y desplazar aire caliente hacia la sección fría (viceversa). El motor Stirling posee un elemento, llamado regenerador, que, aunque no es indispensable, permite alcanzar mayores rendimientos. Esta cámara de refrigeración tiene la función de absorber y ceder calor en las evoluciones a volumen constante del ciclo. El regenerador consiste en un

medio que aísla el calor que contiene un fluido, donde existen dos zonas: una zona caliente y otra zona fría. El fluido se desplaza de la zona caliente a la fría durante los diversos ciclos de trabajo, atravesando el regenerador.

En el motor Stirling un gas está confinado en una cámara cerrada, no sale al ambiente. El gas se desplaza de un extremo a otro de la cámara, cuando está en un extremo, una fuente de calor externa lo calienta; esto hace que se expanda y así se produce la fuerza del motor. Una vez que alcanza su máxima expansión, el gas se traslada al otro extremo de la cámara, donde se enfría, lo que provoca que se comprima. Después se lleva nuevamente al extremo caliente para iniciar un nuevo ciclo. Un tambor desplazador mueve el gas entre los dos extremos de la cámara y otro dispositivo, el pistón de potencia, aprovecha la expansión para producir la fuerza del motor.

En la actualidad este motor se encuentra en investigación constante, ya que al necesitar solamente una fuente de calor externa al cilindro, es posible usar una gran variedad de fuentes energéticas (energía solar térmica, todo tipo de combustibles, uso de la biomasa, energía geotérmica, etc.), facilitando nuevas opciones para generación eléctrica.

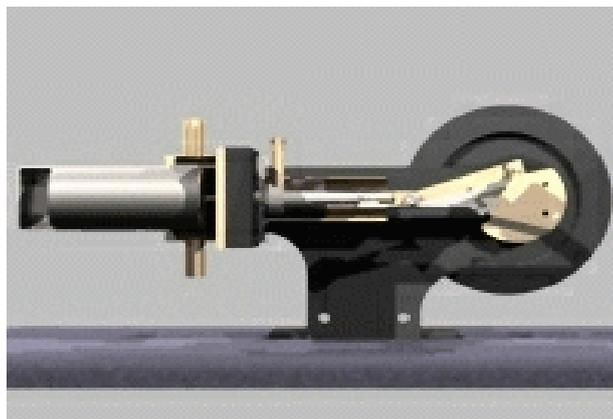
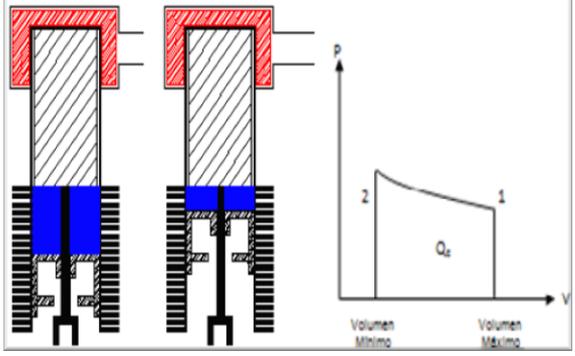
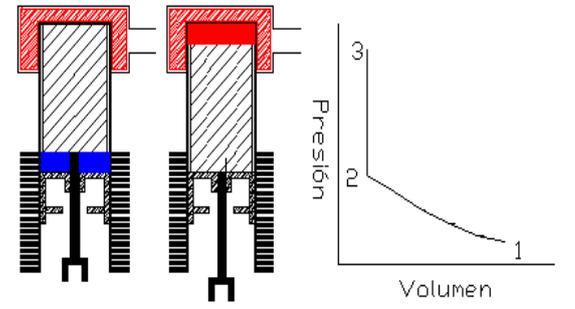
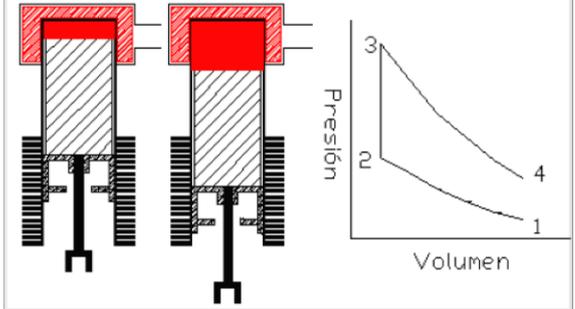
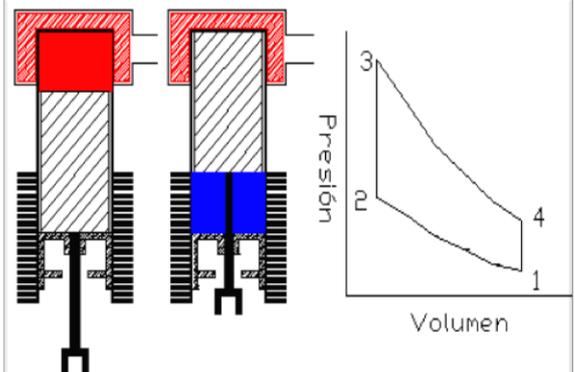


Figura 15. Motor Stirling en la actualidad

f. Fases del Motor Stirling

El ciclo se compone de cuatro fases que pueden observarse en un diagrama P – V.

Tabla 13. Fases del Motor Stirling

Procesos	Descripción	Gráfica
Proceso 1 - 2	Cuando el pistón pasa de la posición 1 a la 2 ocurre una compresión isotérmica a la temperatura inferior.	
Absorción de calor a volumen constante Proceso 2 - 3	Si se mantiene fijo el pistón y se mueve el desplazador, para hacer pasar todo el aire a la zona caliente, se tiene un proceso isócoro en el que sin variar el volumen aumenta la presión.	
Expansión isoterma Proceso 3 - 4	Expansión isotérmica a temperatura alta, haciendo bajar juntos el pistón y el desplazador. Esta será la carrera de trabajo del ciclo termodinámico	
Cesión de una cantidad de calor. Proceso 4 - 1	Moviendo el desplazador a la posición inicial, se obtendrá otro proceso isócoro que finalizará el ciclo termodinámico reflejado en el diagrama presión volumen 4 - 1. Para que este ciclo continúe indefinidamente se le debe proporcionar calor constantemente a la zona caliente y retirárselo a la zona fría.	

El motor Stirling presenta dos procesos isométricos (Calentamiento y enfriamiento del fluido de trabajo a volumen constante) y dos isotérmicos (Compresión y expansión a temperatura constante) son los procesos del ciclo ideal de trabajo de un Motor Stirling. Este motor aplica el calor obtenido desde el exterior al pistón por el método de transferencia de calor de inducción y éste por la expansión y contracción de los gases en su interior, produce un trabajo neto en función de la cantidad de calor de entrada y salida¹².

g. Instrumentos para medir las variables del Motor Stirling

A continuación se detallan algunos instrumentos básicos para medir las variables del Motor Stirling.

Tabla 14. Instrumentos para medir las variables del motor Stirling

Gráfica	Instrumento	Definición
	Tacómetro	Dispositivo que mide la velocidad de giro de un eje, normalmente la velocidad de giro de un motor. Se mide en revoluciones por minuto (rpm). Se utiliza con mayor frecuencia los tacómetros digitales, por su mayor precisión.
	Cámara Térmica HSI 3000	Dispositivo que a partir de las emisiones de infrarrojos detecta los cuerpos en forma de imágenes luminosas visibles al ojo humano.

¹²MORAN, Michael J, SHAPIRO, Howard N: *Fundamentos de termodinámica técnica*, páginas 484-485.

2.2.3 Sistema Híbrido de abastecimiento Disco Parabólico Stirling

Un sistema híbrido es la fusión de dos tecnologías o mecanismos diferentes. Se puede aprovechar la radiación solar que llega a la tierra por medio del calor que produce y también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo, para este caso el Motor Disco – Stirling. En este sistema de conversión los elementos que lo constituyen son la base fundamental, de ello dependerá su trabajo.

Los sistemas Disco Stirling son equipos de generación de energía que convierten la energía térmica de la radiación solar en energía mecánica y luego en energía eléctrica.

Utilizan un conjunto de espejos para reflejar y concentrar la radiación proveniente de los rayos del sol en un receptor, con el fin de alcanzar las temperaturas necesarias para convertir eficientemente el calor en trabajo dentro del ciclo del motor Stirling. La energía solar concentrada es absorbida por el receptor y transferida al absorbedor del motor. Esto exige que el plato siga la trayectoria del sol en dos ejes, dado que la radiación utilizada solamente es la directa, descartándose en el cálculo la componente difusa de la irradiación. Una de las características de los motores Stirling es su eficacia, modularidad, funcionamiento autónomo, y una inherente capacidad híbrida.

Los sistemas Disco Stirling han demostrado el más alto coeficiente de conversión en determinadas condiciones de energía solar a eléctrica y por tanto, el potencial para convertirse en una de las menos costosas fuentes de energía renovables. La modularidad y el tamaño de generación del sistema le permiten operar de manera individual para aplicaciones remotas, o agruparse en pequeños grupos y conectarse a la red (pequeños poblados o granjas).

Una de las ventajas de los sistemas Disco Stirling es que pueden funcionar también con un combustible fósil para proporcionar energía las 24 horas, conectando por ejemplo un quemador de gas al receptor, en algunos casos también es factible el consumo híbrido del sistema. Este tipo de tecnología se encuentra en la etapa de desarrollo y los desafíos son la determinación de los componentes más idóneos para

trabajar con energía solar y la obtención de un motor Stirling comercial capaz de funcionar con las variaciones de la energía del sol.

A continuación se describen los componentes de un sistema Disco Stirling y sus aplicaciones posibles dentro de la tecnología actual.

Básicamente un sistema Disco Stirling consta de los siguientes componentes:

- ❖ Concentrador solar parabólico.
- ❖ Sistema de seguimiento del sol.
- ❖ Intercambiador de calor solar (Receptor).

a. Concentrador solar Disco Parabólico

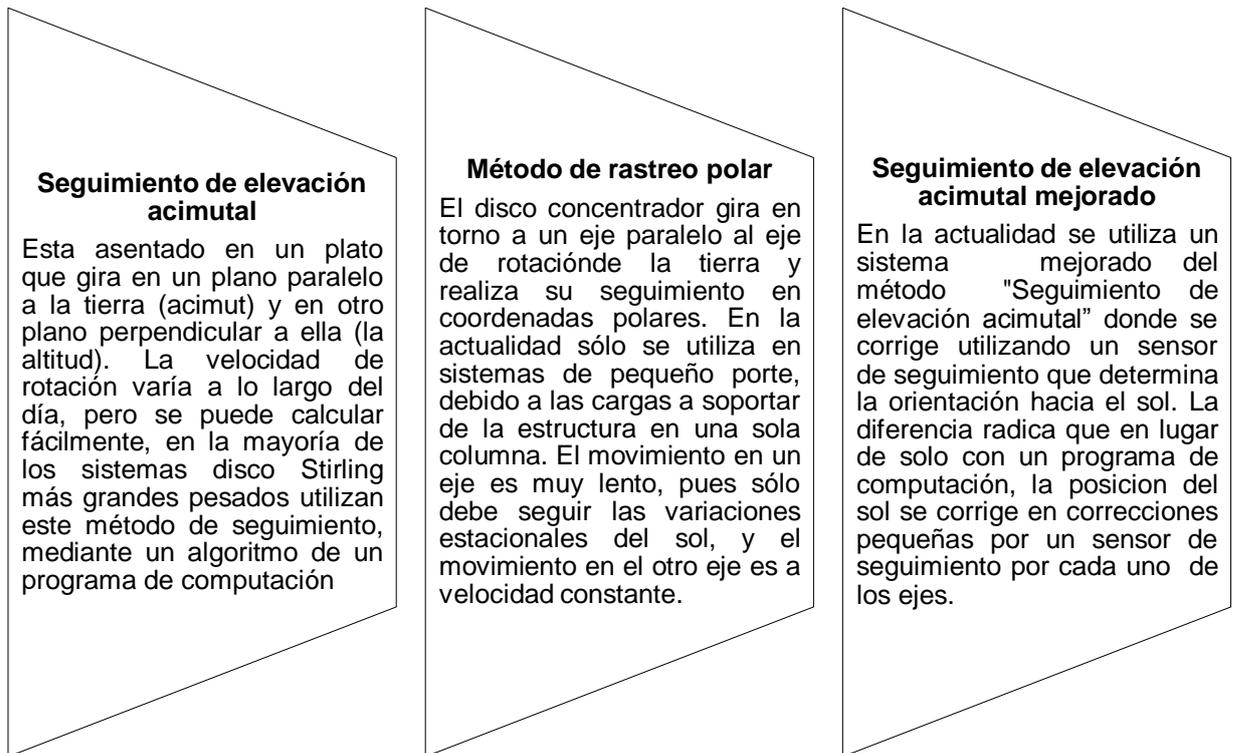
Los sistemas Disco Stirling utilizan concentradores solares que realizan el seguimiento del sol en dos ejes. Este concentrador posee una superficie reflectante que, ya sea de metal, de vidrio o de plástico, refleja la radiación solar directa incidente en una pequeña región llamada foco, o zona focal. El tamaño del concentrador solar para el sistema Disco - Stirling está determinado por el motor utilizado, su receptor y las condiciones de radiación directa de la zona de su instalación.

En definitiva dependerá tanto de la potencia nominal, como de la energía a generar en un periodo de tiempo para unas determinadas condiciones de radiación solar y rendimientos asociados de los elementos que constituyen el sistema.

b. Sistema de seguimiento del sol

Los sistemas de parábolas concentradoras, conocidos también como disco Stirling son adecuados para la generación descentralizada de energía eléctrica a partir de la energía solar, el concentrador parabólico sigue el sol reflejando los rayos paralelos sobre un punto focal, éstos sistemas se pueden dividir en de tres tipos¹³:

¹³ CASTELLS, Xavier Elías: *Energías y Renovables: Energía agua, medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad*, páginas 622-625.



Seguimiento de elevación acimutal

Esta asentado en un plato que gira en un plano paralelo a la tierra (acimut) y en otro plano perpendicular a ella (la altitud). La velocidad de rotación varía a lo largo del día, pero se puede calcular fácilmente, en la mayoría de los sistemas disco Stirling más grandes pesados utilizan este método de seguimiento, mediante un algoritmo de un programa de computación

Método de rastreo polar

El disco concentrador gira en torno a un eje paralelo al eje de rotación de la tierra y realiza su seguimiento en coordenadas polares. En la actualidad sólo se utiliza en sistemas de pequeño porte, debido a las cargas a soportar de la estructura en una sola columna. El movimiento en un eje es muy lento, pues sólo debe seguir las variaciones estacionales del sol, y el movimiento en el otro eje es a velocidad constante.

Seguimiento de elevación acimutal mejorado

En la actualidad se utiliza un sistema mejorado del método "Seguimiento de elevación acimutal" donde se corrige utilizando un sensor de seguimiento que determina la orientación hacia el sol. La diferencia radica que en lugar de solo con un programa de computación, la posición del sol se corrige en correcciones pequeñas por un sensor de seguimiento por cada uno de los ejes.

Figura 16. Sistemas de seguimiento

Los sistemas de seguimiento evolucionaron, de seguimiento polar a seguimiento en acimut-elevación. Por lo tanto el sistema de seguimiento polar es más sencillo desde el punto de vista constructivo y recoge más radiación, el segundo es más fácil de controlar. Con una computadora central se calcula la posición del sol en cada instante y se transfieren esos datos al sistema que controla el posicionamiento del disco y tiene la ventaja que se pueden controlar de manera automática varios discos parabólicos con una unidad de control. Este tipo de sistema de seguimiento permite reducir los costos totales del sistema de una forma considerable.

c. Intercambiador de calor solar (Receptor)

Es el encargado de realizar la conexión térmica entre el concentrador y el motor Stirling.

Tiene dos tareas fundamentales:

- ❖ Absorber la radiación solar reflejada por el concentrador.
- ❖ Transmitir esta energía absorbida al motor Stirling en forma de calor con las mínimas pérdidas.

Los receptores empleados en los discos parabólicos de alta temperatura son receptores de cavidad, en los que la radiación concentrada entra por una apertura (situada en el foco de la parábola) incidiendo posteriormente sobre el absorbedor. De esta forma se consiguen disminuir las pérdidas reflectivas y convectivas, así como homogeneizar el flujo radiante incidente sobre el absorbedor y reducir su valor máximo.

Componentes necesarios para el sistema de generación eléctrica

Para la generación eléctrica el sistema cuenta con varios equipos o dispositivos, con el fin de optimizar la producción de energía del sistema disco Stirling, al cual se le acoplará un generador o alternador eléctrico, Éste dependerá de las características y valores de salida del motor Stirling; tales como las rpm (revoluciones por minuto).

Desde el punto de vista técnico y lógico no será fácil obtener estos valores constantemente por las variaciones que existen en el motor Stirling, ocasionados por la variación de la radiación solar. Por lo tanto las condiciones ameritan el uso de otros componentes para su estabilización y generación eléctrica.

Entre los componentes principales a utilizar tenemos los siguientes:

- ❖ Generador o alternador eléctrico

Es la máquina eléctrica que realiza el proceso inverso que un motor eléctrico, el cual transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Dado que la corriente generada es corriente alterna, puede ser rectificadas para obtener una corriente continua.

Motor Stirling y la protección al medio ambiente

El motor Stirling produce energía mecánica a partir del calor, es un ingenio sorprendente, dadas sus dimensiones, y la concepción de motor que tenemos normalmente. Este motor no necesita combustible, únicamente un foco de calor, lo que puede dar idea de la cantidad de aplicaciones que posee. La diferencia de temperaturas entre el foco de calor y el ambiente, cuanto más grande mejor es la conversión de energía.

Los sistemas Disco - Stirling también producen contaminación, sin embargo dado que no se utilizan combustibles fósiles las emisiones de CO₂ son muy bajas con respecto a motores de combustión interna. Además tienen una particularidad en cuanto a la lubricación para evitar el progresivo desgaste y fricción, sin embargo los motores Stirling utilizan bajas cantidades de lubricante dado que poseen pocas partes móviles; no necesita agua, es silencioso por ser un motor de combustión externa comparado con los motores de combustión interna que emiten ruido. Por esta razón es una gran ventaja para aportar a la reducción de contaminación al medio ambiente.

El concentrador es un componente del Disco – Stirling, emite radiación de luz solar la cual afecta de manera visual. Este sistema ocupa grandes áreas de acuerdo a la necesidad de quien lo implemente por lo cual es preciso ocupar lugares despejados y amplios.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

A

Angulo de Azimut: Es el ángulo formado por la proyección en el plano horizontal del rayo solar. Este ángulo tiene valor cero cuando la proyección apunta al norte, valor positivo cuando apunta hacia el oeste y valor negativo cuando apunta al este. $-180^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ ¹⁴.

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

Angulo de incidencia: Es el ángulo entre el haz de radiación directa en una superficie y la normal a esa superficie.

Año Platónico: Período que tarda la precesión de la Tierra en dar una vuelta completa.

Angulo zenit: Es el ángulo que se forma entre la línea zenit y la línea de vista del sol.

C

CENSOLAR: Centro de Estudios de la Energía Solar.

CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnologías.

Centrales Hidroeléctricas: Centrales generadoras de electricidad a partir del embalsamiento de gran cantidad de agua. Ésta, es forzada a pasar por unas tuberías que en su recorrido se encuentran con los álabes de las turbinas que transforman la energía hidráulica en energía eléctrica.

¹⁴ MATAIX LORDA, Mariano, MATAIX HIDALGO, Miguel: *Diccionario de Electrónica, Informática Y Energía Nuclear*.

Cinética: Está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde el reposo hasta la velocidad que posee.

Compresión de un gas: Fuerza o presión que se ejerce sobre algo con el fin de reducir su volumen.

CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad.

CR: Concentración Ratio

D

Diagrama P – V: Diagrama Presión Volumen.

Declinación del Sol: La posición angular del sol a mediodía con respecto al plano del Ecuador. El norte es positivo. $-23,45^{\circ} \leq y \leq 23,45^{\circ}$.

E

Excentricidad: Parámetro que determina el grado de desviación de una sección cónica con respecto a una circunferencia.

Expansión de un gas: Ampliación o dilatación de algo para que ocupe más espacio.

F

FERUM: Fondo de Electrificación, Urbano, Rural y Marginal.

FEDETA: La Fundación Ecuatoriana de tecnología apropiada

L

LRSE: Ley de Régimen del Sector Eléctrico.

LTD: Diferencia a baja temperatura.

P

Precesión: Es el movimiento asociado con el cambio de dirección en el espacio que experimenta el eje instantáneo de rotación de un cuerpo.

Pistón Desplazador: Elemento encargado de hacer circular el aire dentro de un motor Stirling.

Pistón de Potencia: Elemento encargado de generar trabajo necesario para el funcionamiento de un motor de combustión.

Q

Q_E: Es el trabajo total entregado por ciclo.

Q_{in}: Calor de entrada.

Q_{out}: Calor de salida.

R

Resistividad Térmica: Inverso de la conductancia térmica, es decir, diferencia de temperaturas necesaria para que se produzca un traspaso de calor por unidad de tiempo a través de un material.

Regenerador: Elemento que absorbe o cede calor en los procesos térmicos.

S

SEGS: Sistemas de generación de energía solar.

T

T_H: Temperatura Alta.

T_L: Temperatura Baja.

U

UOPGES: Unidades de Operación y Gestión Energética Sostenible denominados

UNEP: Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas

V

Vatio (en inglés: Watt): Es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es W. Es el equivalente a 1 Julio sobre segundo (J/s) y es una de las unidades derivadas. Expresado en unidades utilizadas en electricidad, un vatio es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 Amperio (1 Voltamperio).

V_{mín}: Volumen mínimo.

V_{máx}: Volumen máximo.

2.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.4.1 Hipótesis General

Con modificaciones en los materiales y en el diseño del motor Stirling es posible que gire una velocidad de 730 rpm.

2.4.2 Hipótesis Particulares

- 1 Las condiciones térmicas a las que es expuesto el motor permiten un funcionamiento óptimo del Sistema.
- 2 En un rango de 450 a 730 rpm se genera una capacidad de carga de 8.7 mW.
- 3 Con el estudio de perfil de carga en los edificios de la UNACCI con los equipos analizadores, es posible identificar la potencia requerida en la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería.

2.4.3 Declaración de Variables

Tabla15. Variables Independientes y Dependientes

Variables Independientes	Variables Dependientes
Modificaciones en los materiales y diseños del motor Stirling	Obtener una potencia de 8.7 mW.
Las condiciones térmicas del motor	Permiten un funcionamiento mayor a 200 rpm
Conseguir que el motor gire a razón de 700 R.P.M.	Obtener una capacidad de carga 148w
Realizar el estudio de perfil de carga en los edificios de la UNACCI	Identificar la potencia requerida en los edificios de la UNACCI

2.4.4 Operacionalización de las variables

Los indicadores que nos permitirán medir las variables se detallan a continuación:

Tabla 16. Variables Vs Indicadores

VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES
Materiales y diseños del motor Stirling	Durabilidad Capacidad calorífica Peso del motor Stirling
Radiación solar en la ciudad de Milagro	Datos según el INHAMI
Giro del motor a 700 R.P.M.	Prueba con mechero Temperatura Factor de concentración Volumen
Realizar el estudio de perfil de carga en los edificios de la UNACCI.	Potencia activa en el edificio Potencia reactiva en el edificio Consumo real Factor de Potencia
VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES
Generación de una potencia de 8.7 mW	Factor de concentración Velocidad de giro del volantes del motor Stirling
Funcionamiento de 700 R.P.M.	Factor de concentración Temperatura Volumen Peso total del motor Stirling.
Capacidad de generación de 148W	Velocidad (rpm) Factor Concentración Capacidad del inversor Baterías
Potencia requerida en los edificios de la UNACCI.	Potencia Voltaje

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La perspectiva general del proyecto consiste en el estudio de una tecnología para generación eléctrica de manera experimental, mediante recursos renovables, en este caso, el Sistema experimental Disco – Stirling, el cual aprovecha la luz solar para su funcionamiento.

Con el estudio experimental, análisis e interpretación de los conceptos teóricos básicos, se procede al diseño y construcción del Sistema Disco Stirling, se obtienen los valores y variables del estudio para comparar con los resultados teóricos-reales, y realizar el control de los diferentes rangos de las variables, así se obtendrán los resultados para interpretarlos de manera adecuada determinando las conclusiones de este proyecto.

Esta investigación es de tipo experimental, por lo tanto, se define el diseño experimental y la aplicación de ciertos mecanismos de manera sistemática. Los pasos para obtener los resultados deseados son:

- ❖ Diseño y construcción del Colector Solar.
- ❖ Diseño y construcción del Motor Stirling.
- ❖ Adaptación del sistema para la Generación eléctrica.

3.1.1 Diseño y construcción del colector Solar

Para la construcción del colector parabólico se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ El material con el cual se construye la parábola.
- ❖ Dimensión de la parábola.
- ❖ Tipo de material reflectivo para cubrir la parábola.

De acuerdo con estas características se opta por la parábola de metal liviana que existía en la Universidad Estatal de Milagro, la cual tiene un diámetro de 95 cm² aproximadamente.

Además uno de los factores importantes es la capa reflectiva para la parábola después de investigar y revisar la existencia y costos de estos materiales se concluye a utilizar una capa de espejo de vidrio de 2mm de espesor por una pulgada cuadrada de área, el motivo por el cual se elige esta medida es dado que entre menor sea el área de los espejos más fácil es el recubrimiento total del área de la parábola.

3.1.2 Diseño y construcción del motor Stirling

Para la construcción de este motor se toma como base el prototipo existente en la UNACCI, para lo cual se han realizado múltiples investigaciones para construir un motor con mejores características que aumenten su eficiencia.

En la búsqueda para mejorar el motor también encontramos modelos de construcción parecidos al que se encuentra en la UNACCI, sin embargo nos enfocamos en un prototipo de mayor eficiencia.

Siguiendo con la investigación finalmente se encuentra en internet un motor Stirling que cubría las expectativas esperadas, el motor gamma modelo FIZGIG de fácil fabricación.

La construcción está basada en videos facilitados en el internet y por consecuente se realizan los nuevos diseños y dimensionamiento del motor. Cuando se ha realizado este primer paso viene la parte fundamental que consiste en la búsqueda de materiales que hagan que este nuevo motor mejore sus características en cuanto peso y eficiencia del mismo. Los materiales requeridos tuvieron que ser fundidos por los autores de este proyecto, la cantidad requerida se obtuvo mediante cálculos, además se reserva el material necesario para el momento de la construcción.

Al transcurrir algunas semanas se fue dando forma al motor, sin embargo esto no se hubiese podido llevar a cabo sin la ayuda del señor Javier Alemán, quien colaboró con sus conocimientos, además de facilitar materiales, máquinas y herramientas para la construcción del Motor Stirling.

En primer lugar se procede a construir la base hecha en acero y se acopló con un eje de 3/8", se construye el bloque del motor junto con la guía hechas en aluminio para que sostengan el peso de camisa de acero inoxidable y el desplazador de la cámara caliente para acoplarlo en el bloque. Posteriormente se construyó y acopló el cilindro y pistón de frío los cuales también son de aluminio para hacer más liviano al motor, el cigüeñal con el juego de contrapeso, brida, muñequilla son hechas en acero, y las bielas en aluminio ya que deben ser livianas. Por último se fundió aluminio para darle forma al volante y montarlo al eje de 3/8" sobre la manzana de acero al carbono que es la encargada de mantener fijo el volante.

3.1.3 Sistema de adaptación del sistema de generación eléctrica

Para el proceso de generación eléctrica se procedió a probar diferentes motores como:

- ❖ Motor de discos del CPU
- ❖ Motor de disco de DVD
- ❖ Dinamo de bicicleta
- ❖ Motor de carros a control remoto
- ❖ Motor de radio casetera



Figura 17. Motores para generación eléctrica

Se opta por estos motores de CC ya que funcionan como generadores cuando se los hace girar en forma directa, es de fácil aplicación, se lo adapta sobre un soporte y se hace girar el motor. Al colocar un detector de voltaje a los terminales del motor se notara que hay corriente.

Aunque no son motores de gran generación de voltaje es posible encender leds. La mayoría de estos elementos necesitan una gran cantidad de rpm para obtener un alto voltaje.

Al realizar las pruebas con los cuatro primeros motores mencionado se obtuvo un voltaje de 0,3 v, después se procede a utilizar para la generación de electricidad un pequeño motor en este caso el motor de una radio casetera el cual llega a generar 3v, dado que presenta la característica primordial de poseer menor fricción, lo cual facilita el acoplamiento al sistema específicamente al volante del motor Stirling por cuanto su rotación para generar electricidad es mejor con respecto al dínamo.

Componentes para medir variables eléctricas del motor Stirling.

A continuación se detallan los equipos que son utilizados para tomar la respectivas mediciones.

Tabla 17. Equipos para medir variables eléctricas

Equipo	Nombre	Descripción
	Multímetro analógico	Instrumento que sirve para medir medidas específicas de voltaje, resistencias, frecuencias y otras.
	Multímetro digital	Instrumento que mide con mayor confiabilidad medidas de voltaje, corriente, resistencias.

3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.2.1 Variables a medir.

Las variables que se consideran fundamentalmente para este proyecto son las siguientes:

- ❖ Potencia
- ❖ Temperatura
- ❖ Velocidad (rpm)
- ❖ Perfil de carga
- ❖ Eficiencia del Sistema

Potencia

Es obtenida a través del trabajo realizado por el motor en un determinado rango de tiempo, esta variable se la obtiene después de un sinnúmero de pruebas y posteriormente la calculamos mediante fórmulas.

$$Pot = S \frac{RPM}{60} Longitud\ de\ carrera \quad (2)$$

Temperatura

Esta variable proporciona datos que establecen las diferentes temperaturas en sistema Disco – Stirling. Con los datos obtenidos mediante pruebas con relación al tiempo, se realizan los análisis estadísticos, obteniendo las características y conclusiones para el sistema.

Estos datos son necesarios, ya que con ellos podemos comparar y analizar los resultados teóricos con las pruebas realizadas, cuyos datos servirán para conseguir resultados eficientes de temperatura en Sistema Disco – Stirling.

Para medir esta variable de temperatura es necesario contar con un instrumento de medición, en este caso se utiliza una cámara termográfica Spy Wahl Heat® HSI 300 con las siguientes características.

- ❖ Sensibilidad térmica “0.08°C”
- ❖ Capturar imágenes detalladas y de alta calidad
- ❖ Cursores móviles duales en cualquier parte de la imagen para identificar automáticamente los puntos calientes y fríos.
- ❖ Gran capacidad para almacenar imágenes con tarjeta SD de 2 GB.
- ❖ Fácil de descargar imágenes al PC.
- ❖ Portátil y cómodo para cualquier aplicación.

Velocidad rpm

Con esta variable se obtendrá el rango de trabajo obtenido de la transformación de energía térmica a mecánica en el motor Stirling, con el fin de obtener su mayor eficiencia. Los datos proporcionados mediante pruebas de la velocidad (rpm) nos dan los resultados necesarios para realizar comparaciones y obtener resultados de que tan eficiente es el actual motor.

El instrumento para realizar la medición de esta variable es un tacómetro laser digital que puede detectar la velocidad (rpm) desde distancias de 2 metros, puede medir hasta 99,999 (rpm).

Perfil de carga

Este proceso de análisis determina la demanda energética que tienen los edificios “J” y “T”, pertenecientes a la Unidad Ciencias de la Ingeniería de la UNEMI. Además brinda la información necesaria para saber la calidad eléctrica que está recibiendo el bloque de aulas. Estos datos serán utilizados para realizar el análisis comparativo y establecer la demanda energética de cada edificio.

Para medir las variables se utilizan equipos CIRCUTOR CVM-BDM, los cuales almacenan en su tarjeta de memoria el comportamiento energético de los bloques.

Eficiencia del Sistema

Los Disco motor Stirling son unidades de generación de electricidad que usan la radiación solar como fuente de energía. Estos sistemas transforman energía térmica en mecánica y posteriormente en energía eléctrica.

3.2.2 TRATAMIENTO DE DATOS

Todos los datos recopilados, se agrupan mediante tablas, se calculan las medidas de tendencia central (media, mediana) y la desviación estándar (medida de dispersión).

Media aritmética: Se obtiene al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

$$Media = \frac{X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_n}{N} \quad (3)$$

x_i : diferentes mediciones

N = Número total de los datos

Desviación estándar: Se representa con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos, es una medida de centralización o dispersión para variables.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - x_{med})^2}{n-1}} \quad (4)$$

σ : Desviación Estándar

\sum : Sumatoria

X : Valor de un dato

X_{med} : Valor de la media

n = Número total de los datos

Además se realiza un análisis comparativo en cuanto a las características y cálculos del motor actual con respecto al motor Stirling presentado en una tesis anterior.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La demanda energética que poseen los edificios en que se tomaron las muestras para realizar este proyecto, presentan características similares en el consumo, como se puede observar en los siguientes análisis de los bloques “J” y “T” respectivamente:

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

CALIDAD DE PRODUCTO	1	REFERENCIA:	PERFIL DE CARGA EDIFICIO CENTRAL
----------------------------	---	--------------------	--

- ÁREA QUE SOLICITA	MEDICIÓN Y CALIDAD DE PRODUCTO ELECTRICO UNEMI
PERSONA QUE SOLICITA	ENITH MONGÓN - FREDDY ASTUDILLO
FECHA DE RECEPCIÓN DEL PEDIDO	14/11/2011
FECHA DE DESPACHO DEL PEDIDO	16/11/2011

- DETALLES			
Transformador Nº.	37.5	Suministro	EDIFICIO CENTRAL
Fases	TRIFÁSICO	Equipo Instalado	CVMBDM
Potencia (kVA)	37.5	Numero de Serie	1M
Propiedad	EMPRESA	Fecha de Instalación	14/11/2011
Voltaje en media tensión (V)	13800	Fecha de Retiro	16/11/2011
Voltaje en baja tensión (V)	220	Días de Lectura	2
Subestación	MILAGRO SUR	Intervalo de registro	10 min
Alimentador	SALIDA 5	Numero de registros	286
Sitio de la Instalación:			

- ANÁLISIS DE DEMANDAS	VALOR	UNIDAD	ENERGÍAS	VALOR	UNIDAD
FACTOR DE USO A DEMANDA MÍNIMA	17.05	%	POTENCIA DISPONIBLE	20.15	kVA
FACTOR DE USO A DEMANDA MEDIA	20.06	%	FACTOR DE CARGA	1.00	%
FACTOR DE USO A DEMANDA MÁXIMA	46.3	%	ENERGÍA EN EL PUNTO DE MEDICIÓN	0.00	kWh

DESCRIPCIÓN PARÁMETRO ANALIZADO	PROM	MAX	MIN	CUMPLE REGULACIÓN CONELEC 004/01	OBSERVACIONES
DEMANDA KW:	6.44	15.96	2.09		
DEMANDA kVA		17.35			
FACTOR DE POTENCIA FASE 1	0.61	0.92	0.00		
FACTOR DE POTENCIA FASE 2	0.72	0.95	0.47		
FACTOR DE POTENCIA FASE 3	0.00	0.00	0.00		
VOLTAJE FASE 1	105.22	107.40	92.70		
VOLTAJE FASE 2	107.90	110.70	88.70		
VOLTAJE FASE 3	0.00	0.00	0.00		
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 1	0.52	4.50	0.50		
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 2	0.50	2.20	0.30		
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 3	0.00	0.00	0.00		
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 1 (%)	1.25	7.20	0.80		
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 2 (%)	1.18	8.10	0.70		
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 3 (%)	0.00	0.00	0.00		
CORRIENTE FASE 1	32.30	86.94	0.00		
CORRIENTE FASE 2	28.49	72.66	9.00		
CORRIENTE FASE 3	0.00	0.00	0.00		
CORRIENTE NEUTRO	56.71	148.44	19.32		
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 1 (%)	7%	10%	5%		
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 2 (%)	10%	5%	0%		
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 3 (%)	5%	0%	0%		

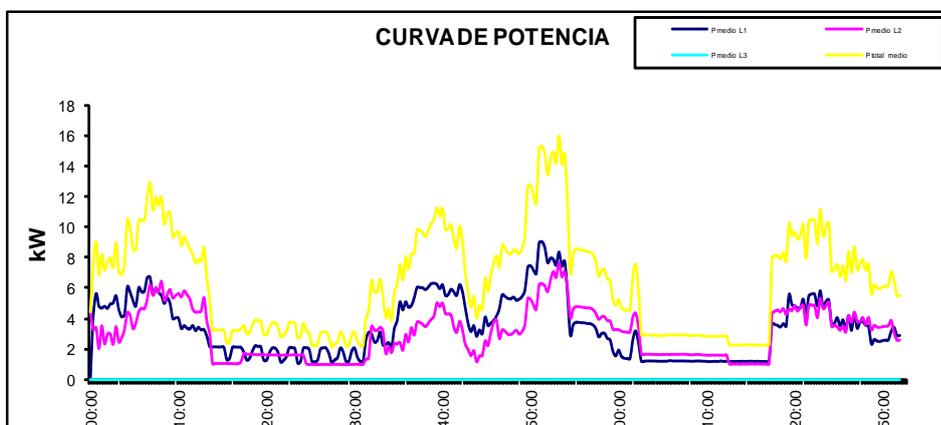


Figura 18. Datos de la demanda energética en el bloque T

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

CALIDAD DE PRODUCTO

2

REFERENCIA:

PERFIL DE CARGA

EDIFICIO PLANTA BAJA (J)

- **ÁREA QUE SOLICITA** MEDICIÓN Y CALIDAD DE PRODUCTO ELECTRICO UNEMI
PERSONA QUE SOLICITA ENITH MONGÓN - FREDDY ASTUDILLO
FECHA DE RECEPCIÓN DEL PEDIDO 16/11/2011
FECHA DE DESPACHO DEL PEDIDO 18/11/2011

- **DETALLES**

Transformador Nº.

37.5

Suministro

EDIFICIO PLANTA BAJA (J)

Fases

TRIFÁSICO

Equipo Instalado

CVMBDM

Potencia (kVA)

37.5

Numero de Serie

1M

Propiedad

EMPRESA

Fecha de Instalación

16/11/2011

Voltaje en media tensión (V)

13800

Fecha de Retiro

18/11/2011

Voltaje en baja tensión (V)

220

Días de Lectura

2

Subestación

MILAGRO SUR

Intervalo de registro

10 min

Alimentador

SALIDA 5

Numero de registros

286

Sitio de la Instalación:

ANÁLISIS DE DEMANDAS	VALOR	UNIDAD	ENERGÍAS	VALOR	UNIDAD
FACTOR DE USO A DEMANDA MÍNIMA	15.60	%	POTENCIA DISPONIBLE	17.67	kVA
FACTOR DE USO A DEMANDA MEDIA	18.35	%	FACTOR DE CARGA	1.00	%
FACTOR DE USO A DEMANDA MÁXIMA	52.9	%	ENERGÍA EN EL PUNTO DE MEDICIÓN	324.38	kWh

DESCRIPCIÓN PARÁMETRO ANALIZADO	PROM	MAX	MIN	CUMPLE REGULACIÓN CONELEC 004/01	OBSERVACIONES
DEMANDA KW:	6.76	19.83	0.74		
DEMANDA KVA		19.83			
FACTOR DE POTENCIA FASE 1	0.98	1.00	0.89		
FACTOR DE POTENCIA FASE 2	0.97	0.99	0.94		
FACTOR DE POTENCIA FASE 3	0.00	0.00	0.00		
VOLTAJE FASE 1	106.56	109.00	102.30		
VOLTAJE FASE 2	108.27	111.00	103.70		
VOLTAJE FASE 3	0.00	0.00	0.00		
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 1	0.50	0.80	0.50		
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 2	0.49	0.70	0.30		
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 3	0.00	0.00	0.00		
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 1 (%)	1.41	2.50	0.90		
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 2 (%)	1.34	2.40	0.80		
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 3 (%)	0.00	0.00	0.00		
CORRIENTE FASE 1	28.14	90.00	0.42		
CORRIENTE FASE 2	35.18	102.00	4.68		
CORRIENTE FASE 3	0.00	0.00	0.00		
CORRIENTE NEUTRO	15.08	35.58	0.54		
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 1 (%)	8%	11%	6%		
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 2 (%)	11%	6%	0%		
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 3 (%)	6%	0%	0%		

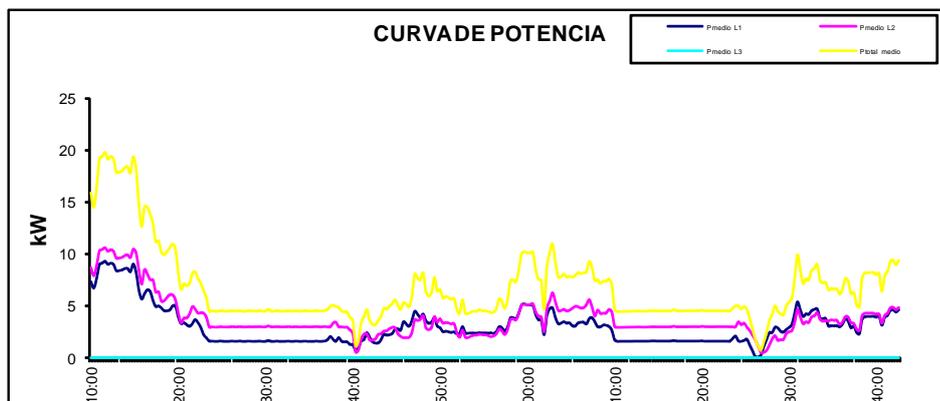


Figura 19. Datos de la demanda energética en el bloque J

De acuerdo al perfil de cargas realizado en el edificio “T” primera planta de la UNACCI, presenta un consumo de 15,96 kW que de acuerdo al abastecimiento de luminarias tenemos un proporcional de:

Tabla 18. Cálculo de luminarias edificio “T”

	LUMINARIAS	HILERA	POTENCIA(W)	POTENCIA TOTAL (W)
PLANTA BAJA	45	3	20	2700
PLANTA BAJA FOCOS	5		20	100
	LUMINARIAS	HILERA	POTENCIA(W)	POT. TOTAL (W)
PLANTA ALTA	49	3	20	2940
PLANTA ALTA FOCOS	1		20	20

De acuerdo a los cálculos realizados se llega a la conclusión que, el consumo real del edificio en cuanto a luminarias comparadas con la generación del motor Stirling no cubre la demanda necesaria para abastecer el edificio.

Este estudio nos da como experiencia que para poder cumplir con esta demanda luminarias se debe construir un motor que pueda trabajar con helio o hidrógeno en su cámara de combustión mejorando su velocidad, y por ende su capacidad de generación, y de esta manera cumplir con la demanda energética requerida para el proyecto.

4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO

Los datos proporcionados por el INHAMI, son analizados para posteriormente utilizarlos en los respectivos cálculos, por lo cual se procede a estudiar de la siguiente manera:

- ❖ Datos meteorológicos de radiación solar
- ❖ Datos meteorológicos en los días de insolación
- ❖ Datos del Sistema Disco Stirling
- ❖ Datos del perfil de cargas

Los datos meteorológicos son tomados entre los meses de junio a octubre, y de esta manera determinamos el número de horas de sol útiles para el funcionamiento óptimo del sistema Disco Stirling.

4.2.1 Datos meteorológicos de radiación solar

Los datos son interpretados y analizados con respecto a la radiación solar que percibe el cantón Milagro, en los meses de junio, julio, septiembre y octubre.

En el análisis se procede a ingresar los datos proporcionados por el INHAMI en un cuadro de Excel para facilitar los cálculos y obtener el **promedio de radiación (W/m^2)** que existe en Milagro durante los meses de junio, julio, septiembre y octubre, además se da a conocer la **desviación estándar** de las variables del cuadro meteorológico de los meses en estudio.

Tabla 19. Radiación solar en Milagro

Radiación W/m^2	Junio	Julio	Septiembre	Octubre
PROMEDIO	127.16	123.78	111.96	106.01
DS	47.09	55.88	39.93	36.34

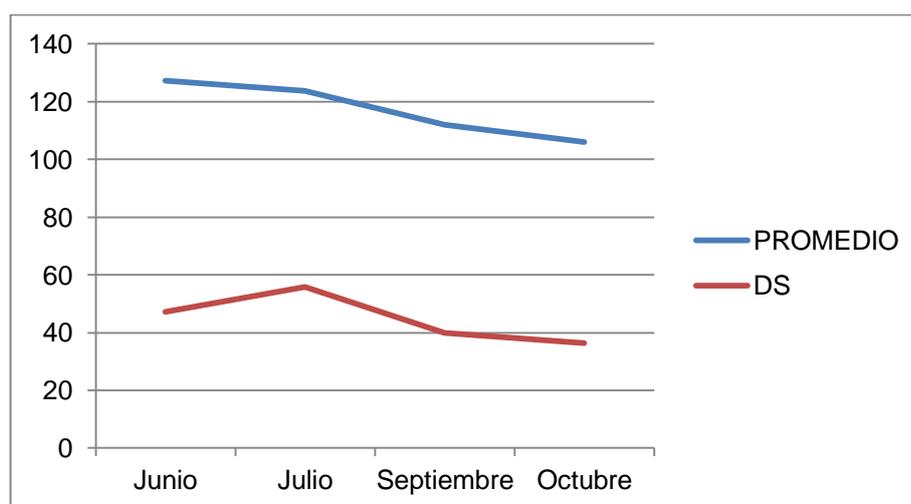


Figura 20. Comportamiento de la radiación solar en Milagro

De acuerdo con lo analizado se puede determinar que la radiación solar promedio es de 117.87 W/m^2 con una desviación estándar de 43.51 W/m^2 , es decir esta es la cantidad de energía solar que se podrá contar para el funcionamiento del sistema colector solar parabólico.

4.2.2 Datos meteorológicos en los días de insolación

Los datos que se analizan a continuación están basados en las tablas de registros meteorológicos con respecto a los tiempos de insolación que se presentan durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, los mismos que servirán para obtener valores que hagan posible el funcionamiento del sistema motor Stirling.

Como se indicó en las tablas anteriores, existen espacios con numeraciones en cero lo cual significa que esos días están nublados y por tanto no servirán como valores positivos para el Sistema.

También se realizan los cálculos en cuadros de Excel para obtener el promedio de insolación existente en Milagro y la desviación estándar de los meses de julio, agosto, septiembre y octubre

Con los datos obtenidos de insolación solar se obtiene un promedio de 2.54 con una desviación estándar de 3.35 de insolación por hora.

Tabla 20. Insolación por hora

INSOLACION POR HORA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
PROMEDIO	2.63	1.98	2.54	2.54
DS	3.27	3.27	3.44	3.44

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Análisis de radiación solar en Milagro.

Para realizar el siguiente análisis se necesita ser preciso en cuanto a los días en que se toman las muestras en el mes, de esta manera el margen de error es mínimo.

Los datos tomados son solo de algunos meses, lamentablemente no se cuenta con información de años anteriores y tampoco actualizada ya que no existe en sí una base de datos constante y fácil de conseguir, sin embargo, al existir esta información es factible obtener el valor promedio de radiación para funcionamiento del colector motor Stirling.

A continuación se realizan los análisis de radiación solar distribuida diariamente en Milagro en base a los datos obtenidos de los registros meteorológicos que se encuentran detallados en los anexos de los meses de junio a septiembre.

Durante el mes Julio se toman los datos del 01 al 20 de junio ya que la información restante no se encuentra publicada.

La radiación solar mínima que se expone en el mes es de 55.8 W/m^2 y alcanzando un máximo es de 230.9 W/m^2 , lo que significa que la radiación es muy deficiente para el sistema.

En el mes de julio se observa una gran variación de radiación solar directa con una radiación inicial de 35.9 W/m^2 y una radiación máxima de 259 W/m^2 , el aumento llega a ser satisfactorio para el sistema durante los días 28 – 29 Julio.

La variación de radiación solar del mes septiembre no es viable dado que sus márgenes están comprendido entre $53,8 \text{ W/m}^2$ y 207.1 W/m^2 , lo cual indica que no proporciona una radiación favorable para el funcionamiento del motor Stirling.

La variación comprendida de este mes de octubre comprende un rango de 52.9 W/m² y 204.7 W/m², lo cual significa que la radiación solar es deficiente para el funcionamiento de un sistema motor Stirling.

4.3.2 Análisis de insolación solar en Milagro

Los datos descritos en las siguiente grafica son resultado del análisis obtenido con los registros meteorológicos de insolación, para obtener las horas de insolación solar diaria que se produce durante los meses de julio, agosto septiembre, octubre, y posteriormente aplicarlos al sistema Disco Stirling.

En el mes de julio existen algunos días con elevadas hora de insolación, lo cual hace que el sistema Disco - motor Stirling pueda trabajar factiblemente. En el mes de agosto se puede observar que las horas de insolación son favorables sin embargo no son constantes, pero de igual manera son ayudan al funcionamiento del sistema.

Los días de insolación del mes de septiembre son no favorables para el funcionamiento de sistema Disco – motor Stirling en comparación con los meses anteriores, dado que se observan pocos días de insolación útil, pero de todos modos se puede trabajar con esos niveles.

En octubre se observa que los días de presencia solar son muy bajos ya que, existen más días nublados en esta temporada, a pesar de esta falta de insolación constante, puede aprovecharse para la alimentación del sistema.

A continuación se presentan los resultados de radiación e insolación presentes en la ciudad de Milagro:

DIAS	JULIO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
	RADIACIÓN (W/m ²)	INSOLACION (h)	RADIACIÓN (W/m ²)	INSOLACION (h)	RADIACIÓN (W/m ²)	INSOLACION (h)
1	67.9	0.00	144.00	6.00	114.50	0.00
2	116.9	0.00	179.00	0.00	190.10	4.40
3	120.8	0.00	149.40	10.15	204.70	0.00
4	114.9	0.00	91.70	0.00	124.20	3.27
5	123.2	0.00	92.20	0.00	80.00	0.00
6	137.3	0.00	207.10	0.00	58.20	0.00
7	151.3	0.00	171.20	0.00	74.20	3.62
8	35.9	0.22	69.80	0.00	66.40	0.00
9	62.1	0.00	120.80	8.93	124.60	3.03
10	83.4	6.77	126.10	9.88	121.30	0.00
11	171.2	7.22	96.50	8.22	113.50	0.00
12	168.3	2.77	88.30	9.42	117.40	0.00
13	64.5	3.23	124.60	5.20	125.10	4.45
14	87.3	5.33	67.40	4.12	106.70	3.62
15	196.4	2.98	65.50	1.92	144.00	0.00
16	117.4	1.30	118.30	0.00	147.90	0.00
17	98	6.45	191.60	1.32	146.50	0.00
18	59.7	6.42	80.00	0.00	107.20	1.85
19	50	0.00	131.00	0.00	77.60	0.00
20	83.9	0.00	116.40	0.00	108.60	0.00
21	121.7	0.00	104.80	0.92	136.80	0.00
22	58.7	6.63	122.20	0.00	64.50	0.00
23	104.8	0.00	71.80	0.00	106.20	0.00
24	130	0.00	97.00	0.00	89.70	0.00
25	160.5	9.23	71.80	0.00	103.80	0.00
26	123.7	0.00	162.00	0.00	93.10	0.00
27	117.9	0.00	95.50	1.50	59.70	1.20
28	259	0.00	70.30	1.20	70.30	3.45
29	258	6.72	78.60	3.45	94.10	3.95
30	181.4	8.50	53.80	3.95	52.90	0.00
31	211	7.78	0.00	0.00	62.40	0.00
PROMEDIO	123.78	2.63	111.96	2.54	106.01	1.09
DS	55.88	3.27	39.93	3.44	36.34	1.65

Figura 21. Radiación solar & Insolación solar

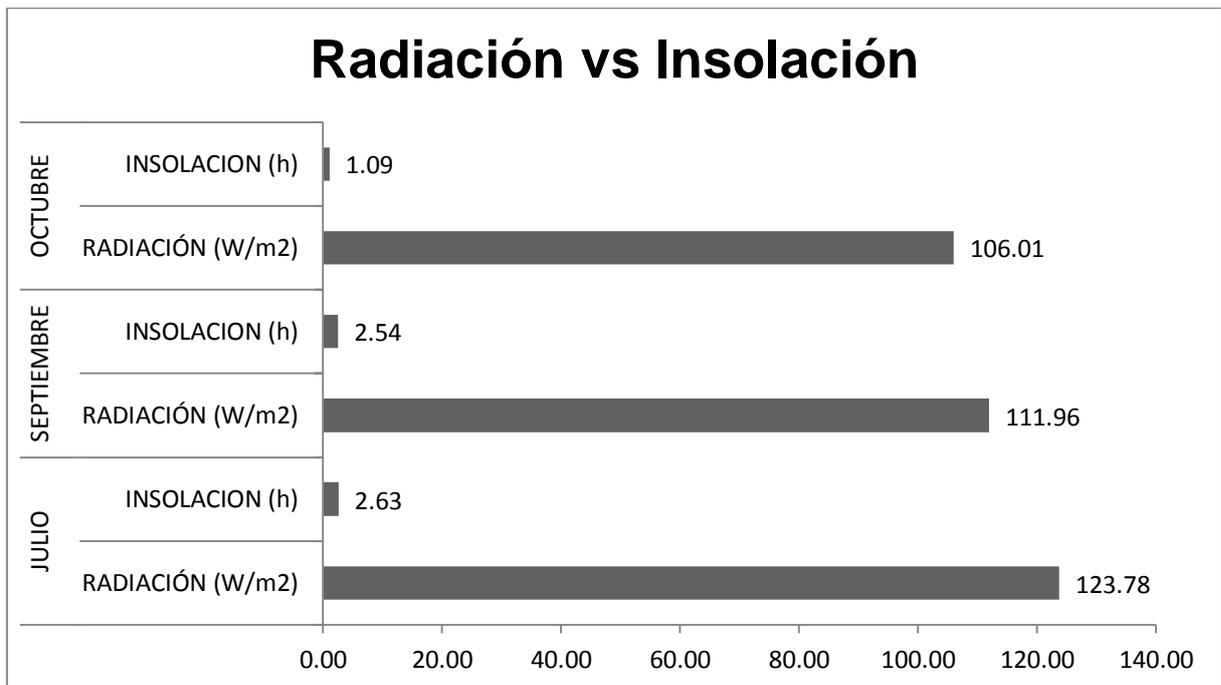


Figura.22. Radiación Vs insolación

Analizando los valores presentados se llega a la siguiente conclusión:

Julio es el mes con más radiación e insolación solar ya que nos proporcionan datos de 123.78 W/m² de radiación y 2.63 h de insolación.

Septiembre posee una radiación solar de 111.96 W/m² con 2.54 h de insolación, es decir hay una leve disminución.

En Octubre existe una radiación de 106.01 W/m² y una insolación de 1.09 h, lo que significa que los valores han disminuido en cuanto a los obtenidos en los dos meses de muestra.

A continuación se describen los cálculos generales que sirven como datos para los posteriores análisis en el motor Stirling incluyendo los porcentajes de radiación e insolación solar, para calcular estos porcentajes se toma como referencia el mes de Septiembre y una regla de tres.

Tabla 21. Porcentajes de radiación e insolación solar

Porcentaje	W/m2		Porcentaje	Horas	
100%	113.91	55%	100%	2.09	26%
	207.1			8	

Tabla 22. Promedios generales

DATOS	JULIO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	PROMEDIO	DEVIACIÓN STANDART	PORCENTAJE
HORAS SOL (H)	2.63	2.54	1.09	2.09	0.86	26%
RADIACION SOLAR (W/m2)	123.78	111.96	106.01	113.91	9.05	55%

En el siguiente análisis llegamos a la siguiente conclusión que el promedio de radiación solar es de 113.91 W/m² con una variación de 10.40; y el de insolación solar por horas es 2.09 h con una variación de 0.99.

Tabla 23. Análisis de radiación e insolación

	JULIO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	MEDIA RADIANCIA	DEVIACIÓN STANDART
HORAS SOL (H)	2.63	2.54	1.09	2.09	0.99
DS	3.27	3.44	1.65		
RADIACION SOLAR (W/m2)	123.78	111.96	106.01	113.91	10.40
DS	55.88	39.93	36.34		

113.91 W/m ²	+	10.40	124.32 W/m²
113.91 W/m ²	-	10.40	103.51 W/m²
125.28 Minutos	+	59.24	184.52 Minutos
125.28 Minutos	-	59.24	66.04 Minutos

4.3.3 Análisis del perfil de cargas

Los análisis del perfil de cargas realizados en los edificios “J” y “T” nos indican cual es la potencia requerida para satisfacer la demanda energética, sin embargo de acuerdo a los análisis obtenidos el de menor potencia requerida es el bloque “T” los resultados en cuanto a los edificios, son altos haciendo que el motor Stirling construido no satisfaga la demanda indicada.

DESCRIPCIÓN PARÁMETRO ANALIZADO	PROM	MAX	MIN	CUMPLE REGULACIÓN CONELEC 004/01
DEMANDA KW:	6.44	15.96	2.09	
DEMANDA KVA		17.35		
FACTOR DE POTENCIA FASE 1	0.61	0.92	0.00	
FACTOR DE POTENCIA FASE 2	0.72	0.95	0.47	
FACTOR DE POTENCIA FASE 3	0.00	0.00	0.00	
VOLTAJE FASE 1	105.22	107.40	92.70	
VOLTAJE FASE 2	107.90	110.70	88.70	
VOLTAJE FASE 3	0.00	0.00	0.00	
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 1	0.52	4.50	0.50	
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 2	0.50	2.20	0.30	
FLICKER CORTA DURACIÓN FASE 3	0.00	0.00	0.00	
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 1 (%)	1.25	7.20	0.80	
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 2 (%)	1.18	8.10	0.70	
DISTORSIÓN ARMÓNICOS VOLTAJE (THD) FASE 3 (%)	0.00	0.00	0.00	
CORRIENTE FASE 1	32.30	86.94	0.00	
CORRIENTE FASE 2	28.49	72.66	9.00	
CORRIENTE FASE 3	0.00	0.00	0.00	
CORRIENTE NEUTRO	56.71	148.44	19.32	
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 1 (%)	7%	10%	5%	
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 2 (%)	10%	5%	0%	
DESBALANCE DE CORRIENTES FASE 3 (%)	5%	0%	0%	

Figura 23. Perfil de cargas edificio “T”

Como se puede observar en la siguiente gráfica la demanda requerida para el edificio “T” es de 15,96 KW, mientras que los análisis del motor Stirling está diseñado para una potencia ideal de 147.65W, lo cual alimentaría como máximo siete luminarias de 20W idealmente.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 TEMA

DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO (COLECTOR SOLAR - DISCO STIRLING) PARA CUBRIR LA DEMANDA ENERGÉTICA ASOCIADA A LA ILUMINACIÓN DE LA PLANTA BAJA DEL “BLOQUE “T” DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO.

5.2 FUNDAMENTACIÓN

La búsqueda de nuevas alternativas para generar electricidad data de desde 1970, ya que al trabajar de manera independiente se evita la utilización de combustibles fósiles, por esta razón, las energía renovables es este caso la obtenida por energía solar son una opción para cubrir la necesidades de la humanidad.

El siguiente proyecto plantea las alternativas para la construcción de un sistema híbrido para cubrir la demanda energética asociada a la iluminación del bloque “T” primera planta.

El sistema mechero disco Stirling se encuentra desarrollado en fase experimental para la obtención de energía eléctrica, actualmente trabaja a partir de le energía calorífica proporcionada por un mechero oxiacetilénico que realiza los procesos de compresión y expansión de gases que se transforma en movimiento mecánico, para generar electricidad.

La propuesta planteada está basada en el modelo a desarrollar para cumplir con la demanda de 100W, a través del sistema híbrido disco motor Stirling.

5.3 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a lo descrito en el capítulo cuatro sobre el consumo energético que presenta el edificio “T”, se ve la necesidad de implementar variables para la construcción del modelo experimental que satisfaga la demanda de la primera planta del bloque “T”.

La obtención de energía eléctrica a partir de la radiación solar es el objetivo principal del proyecto. Las pruebas realizadas en el modelo experimental han demostrado avances con respecto al proyecto que le antecede, ya que la utilización de materiales como el aluminio, acero al carbono e inoxidable, hacen que el motor sea capaz de aumentar sus revoluciones a medida que la temperatura aumente, lo cual hace mejorar su rendimiento.

Se desarrolla el siguiente proyecto por tratarse de un tema innovador y netamente aplicativo a las asignaturas recibidas durante los estudios universitarios, abriendo las puertas hacia el mejoramiento continuo y al desarrollo de nuevas formas de implementar tecnologías que mejoren la calidad de vida.

Las tecnologías que trabajan a través de radiación solar son de utilidad para los sectores que carecen de electrificación rural por encontrarse aislados de las redes de suministro eléctrico.

En la actualidad el Ecuador esta implementado e incentivando a promover la eficiencia energética a partir de las energías renovables, como son los sistemas fotovoltaicos, eólicos, mini-hidráulica y biomasa en las zonas rurales, o a su vez combinando energías alternativas con fuentes convencionales.

5.4 OBJETIVOS

5.4.1 Objetivo General de la propuesta

Diseñar el sistema híbrido colector disco Stirling para cubrir la demanda asociada al bloque “T” Ciencias de la Ingeniería “I Planta” en la Universidad Estatal de Milagro, mediante la captación de la energía radiante del sol

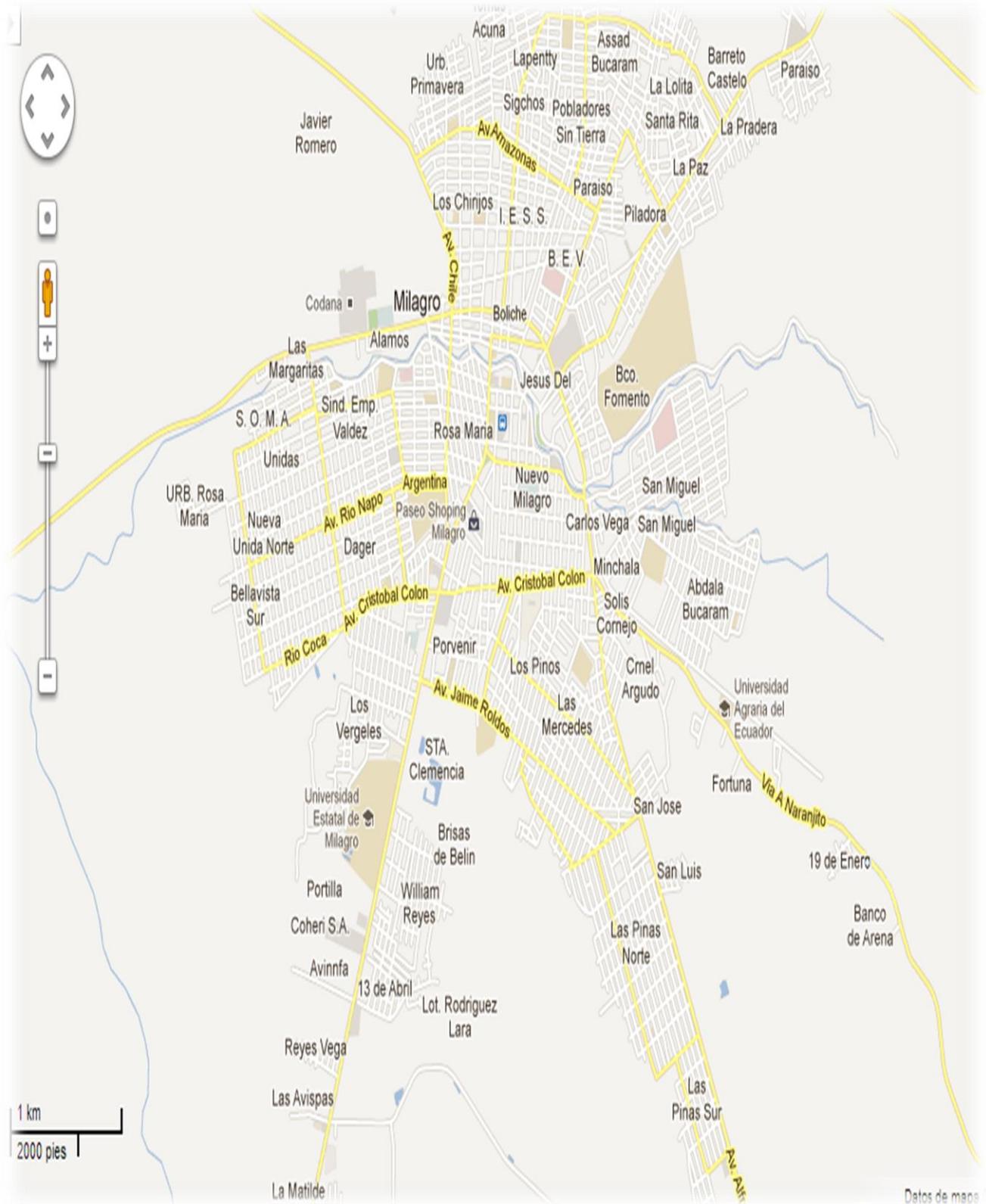
5.4.2 Objetivos Específicos de la propuesta

1. Realizar un análisis financiero para la construcción del sistema disco Stirling.
2. Obtener un mínimo de 100W de potencia con el motor Stirling.
3. Dimensionar una parábola que obtenga mayor capacidad de reflectancia con respecto a la existente en las instalaciones de la UNEMI.

5.5 UBICACIÓN

El proyecto Sistema Híbrido Disco Stirling estará ubicado en el cantón San Francisco de Milagro, en la Universidad Estatal de Milagro Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

Figura 24. Mapa de Milagro



5.6 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Para desarrollar el siguiente proyecto se considera tres partes fundamentales para la obtención de energía a partir de un sistema híbrido mechero disco motor Stirling:

- ❖ Colector parabólico
- ❖ Motor Stirling
- ❖ Sistema de generación eléctrica

Con los resultados obtenidos por el perfil de carga se llega a la conclusión que para satisfacer una demanda de 100W para luminarias se recomienda realizar los siguientes cambios.

5.6.1 Colector parabólico

Al utilizar una parábola de aproximadamente 5m de diámetro y manteniendo el mismo material reflectante, se llega a obtener los siguientes resultados:

Er: Energía reflejada W

Atan: Área total antena 19.63 m²

R: Radiación solar directa diaria por m² 113.91 Wh/m²d⁻¹

E: Eficiencia del material reflectante 0.795 (vidrio de 2mm)

Area de la antena parabólica	πr^2	50.26 m ²
Area del colector	πr^2	0.0099 m ²
Factor de concentración	$\frac{\text{Area antena total}}{\text{Area colector}}$	5102
Energía reflejada	$At . R . E$	4551.96 W
Potencia	$\frac{Er}{d^{-1}}$	568.99 W/h



Figura 25. Colector parabólico

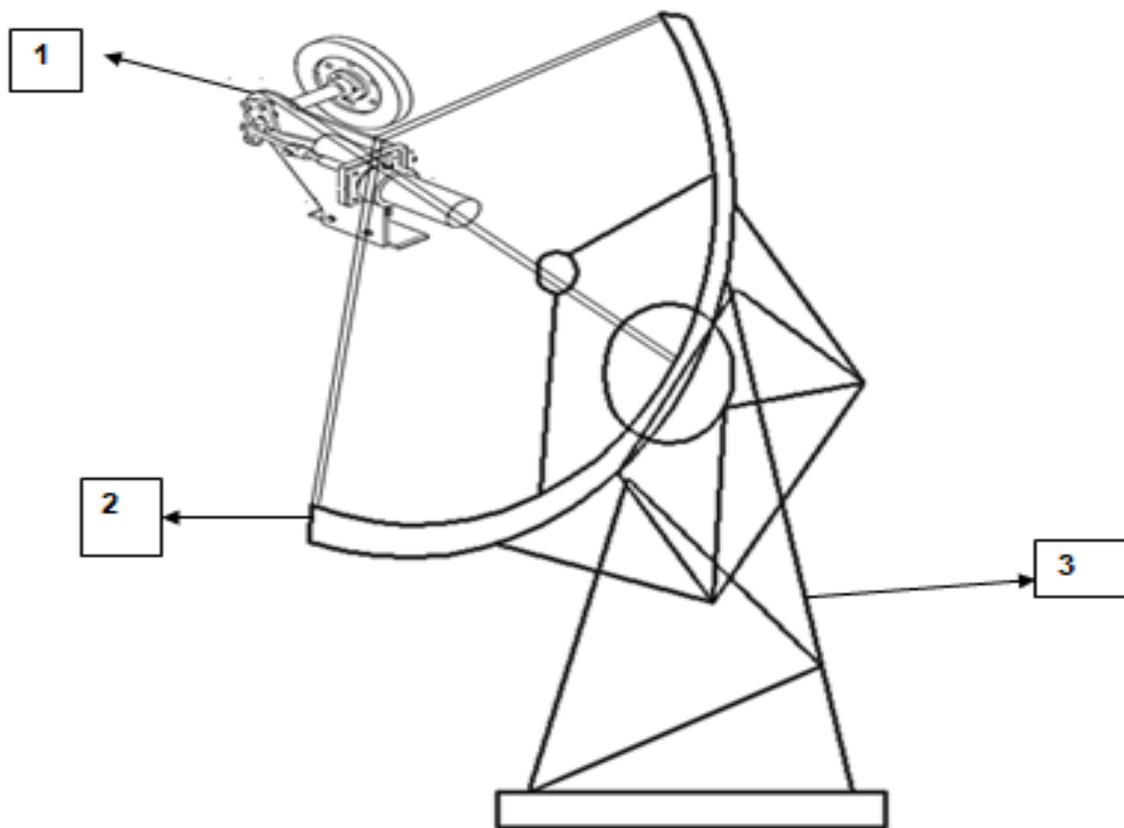
5.6.2 Motor Stirling y sistema generación

Diseño del motor Stirling para cubrir la demanda de 100W

Para que este motor pueda satisfacer la demanda energética de 100w, es necesario mejorar la velocidad de giro de la polea del motor “rpm” minimizando la fricción en las partes móviles, además el sellado debe ser hermético para evitar pérdidas de energía calorífica.

A continuación se presentan los diseños propuestos para mejorar la eficiencia del motor Stirling, ya que construyendo una base estable se minoraría los efectos por vibración y que el sistema sea más óptimo.

- 1. MOTOR STIRLING
- 2. COLECTOR PARABÓLICO
- 3. BASE DEL SISTEMA



	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
Disco Motor Stirling	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 1	Mongón Romero Enith

Figura 26. Diseño Motor Stirling Propuesta

Para la generación eléctrica se recurre a pequeños motores que trabajen con carbones haciendo posible elevar el rendimiento del motor, para alcanzar un voltaje mínimo deseable de 6v, para conectarlos a un transformador y subir el voltaje a 12 v para alimentar un juego de baterías y está a su vez conectarlas a un inversor para obtener 120v en corriente alterna para alimentar el circuito de luminarias.

En la planta de Almería en España se utilizan grandes discos reflectores similares a una antena satelital la cual enfoca toda la radiación solar sobre un receptor que captura el calor y la transforma a otro tipo de energía. Los discos parabólicos suelen estar acoplados a un motor Stirling, lo que se conoce como sistema disco Stirling, algunas veces se utiliza un motor a vapor. Estos motores crean energía cinética rotacional que es convertida en electricidad usando un generador eléctrico.

Aunque presentan también existen algunas desventajas ya que se requiere que el poder calorífico de la radiación sea capaz de mover las diferentes partes lo cual requiere de mantenimiento. En conclusión una aproximación centralizada de este de procesos de conversión es mejor que uno descentralizado en el diseño del disco, dado que el motor es pesado y se requiere que la estructura rígida y un sistema de seguimiento resistente, lo más recomendable es usar espejo parabólicos lo que significa que el seguimiento debe ser realizado en dos ejes.

5.6.3 Análisis Financiero

Tabla 24. Costos de construcción

Colector parabólico	Diámetro 8 metros
Mano de Obra	\$ 2,000.00
Base/Estructura	\$ 3,000.00
Sistema de seguimiento solar	\$ 8,000.00
Parábola	\$ 1,000.00
Material reflectivo	\$ 1,500.00
Motor Stirling	Potencia 100W
Materiales	\$ 1,500.00
Mano de Obra	\$ 1,000.00
Sistema de generación eléctrica	\$ 2,000.00
Total	\$ 20,000.00
Costo de generación de 1W	\$ 200.00

De acuerdo al análisis financiero realizado se concluye que la implementación de un sistema que satisfaga una demanda de 100 W es demasiado elevado.

Debido al alto precio de generación por KWh, se concluye que la generación eléctrica mediante esta vía no es favorable; sin embargo, se expone un sistema experimental para demostrar el funcionamiento de este motor y de todo el sistema de generación.

5.7 DISEÑO DE UN MOTOR STIRLING EXPERIMENTAL

En los últimos años se han desarrollado múltiples prototipos para poder emplear la energía solar como fuente de calor para el funcionamiento de los motores Stirling, como es el caso de la Plataforma solar de Almería (PSA).

Los discos parabólicos Stirling en la actualidad han mostrado altas eficiencias mayores a todos los sistemas Termosolares termoeléctricos analizados.

Las dos barreras principales que han impedido que esta tecnología se desarrolle son el alto precio del disco captador concentrador dispositivo de seguimiento solar, y la falta de industria que fabriquen este tipo de motores.

La durabilidad y fiabilidad de los motores Stirling solarizados es hasta la fecha insuficiente, lo cual provoca disponibilidades inferiores a las requeridas; sin embargo estudios llevados a cabo recientemente indican que, con una producción anual de al menos de 200 unidades se abarataría considerablemente el costo y estos sistemas llegarían a ser competitivos con los sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas disco Stirling tienen su aplicación en la producción de electricidad para autoconsumo en lugares aislados de difícil acceso a la red eléctrica, por ejemplo el bombeo de agua en pozos, el suministro de electricidad a viviendas rurales.

El rango óptimo de potencias para ser competitivo en el mercado energético estaría en el orden de unas decenas de kilowatios, donde aspiraría a competir con sistemas ya comerciales como los fotovoltaicos o los generadores a diésel.

Cualquier edificio de oficinas, centro comercial, centro educativo u hospital puede ahorrar dinero generando su propia electricidad utilizando energías renovables.

Para la generación de energía eléctrica, en este proyecto se utiliza el sistema disco Stirling, se realizan varias pruebas con el mechero en el cual se obtiene como resultado ideal que este motor puede generar una potencia aproximada de 148 watts.

Con la finalidad de demostrar el funcionamiento del sistema híbrido mechero colector parabólico se desarrolla el siguiente modelo experimental para las pruebas de funcionamiento.

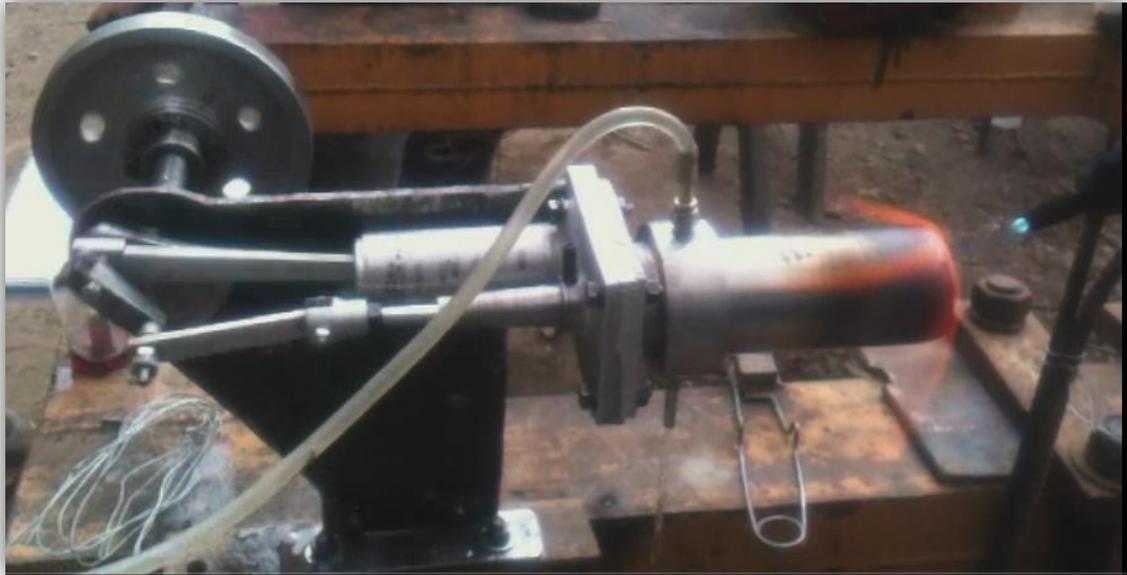


Figura 27. Motor Stirling experimental

El siguiente sistema mechero motor Stirling ofrece una gran ventaja ya que, su poder calorífico es constante y por ende la velocidad (rpm) no varía en el sistema debido a la fricción existente en el sistema de transmisión entre los pistones y la polea.

Cálculos de dimensionamiento para el Colector motor Stirling experimental:

Se presentan los siguientes cálculos con el colector parabólico utilizado para las pruebas.

Datos:

Reflectancias de la superficie	0.795	
Diámetro de la parábola	0.95.	metros
Tiempo de insolación	8	horas
Diámetro del colector (Cilindro)	0.056	metros

$$Area\ antenna\ (A_{at}) = \pi r^2 \tag{5}$$

$$A = \pi(0.475m)^2$$

$$A = 0.70882184m^2$$

$$\text{Area colector } (A_c) = \pi r^2 \quad (6)$$

$$A = \pi(0.028m)^2$$

$$A = \mathbf{0.000246301m^2}$$

$$\text{Factor de concentración } (F_c) = \frac{\text{Area antena total}}{\text{Area colector}} \quad (7)$$

$$F_c = \frac{0.70882184m^2}{0.00246301m^2}$$

$$F_c = \mathbf{287.78699W}$$

Energía reflejada diaria en el sistema, como se lo ejecuta en la siguiente fórmula:

Er: Energía reflejada W

Atan: Área total antena 0.70882184 m²

R: Radiación solar directa diaria por m² 113.91 Wh/m²d⁻¹

E: Eficiencia del material reflectante 0.795

$$\text{Energía reflejada } (Er) = At . R . E \quad (8)$$

$$Er = 0.70882184m^2 \cdot 113.91W/m^2 \cdot (0.795)$$

$$Er = \mathbf{64.1898074 W}$$

El resultado obtenido es la cantidad aproximada de energía reflejada diaria, se ha llegado a esta conclusión gracias a los datos meteorológicos obtenidos por el INHAMI en Milagro, los cuales se especificaron en el Capítulo V.

Tiempo de insolación

El tiempo considerado es de 8 horas diarias, las cuales variaran de acuerdo a las estaciones del año.

La fórmula para calcular la potencia por hora se obtiene mediante la relación de energía reflejada y el tiempo de insolación diario.

$$Potencia\ por\ hora = \frac{Er}{d^{-1}} \quad (9)$$

$$Potencia\ por\ hora = \frac{64.1898074}{8}$$

$$Potencia\ por\ hora = 8.02372592W/h$$

Esta potencia corresponde a la obtenida en el foco concentrador y se transfiere al Motor-Disco Stirling. No se consideran las pérdidas de calor que se producen, además hay que considerar que este resultado varía si la radiación solar aumenta.

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones que se consideran para el dimensionamiento y construcción del motor Stirling.

Tabla 25. Datos del Motor Stirling-Tipo Gamma

Descripción	mm	cm	R ₁ (cm)	H (cm)
Ø interior del Cilindro desplazador	54	5.4	2.7	
Ø exterior del cilindro desplazador	56	5.6	2.8	
Longitud interior del cilindro desplazador	152	15.2		15.2
Longitud total del cilindro desplazador	158	15.8		15.8
Ø del pistón	52	5.2	2.6	
Longitud del pistón de fuerza	72	7.2		7.2
Ø Varilla del pistón de la cámara caliente	0.79	0.079	0.0395	
Longitud del brazo de biela del desplazador	180	18		18
Ø pistón de frío	34.4	3.44	1.72	
Longitud del pistón de frío	51.3	5.13		5.13
Ø exterior del cilindro de frío	40	4	2	
Ø interior del cilindro de fuerza	34.45	3.45	1.7225	
Longitud del cilindro de fuerza	102	10.2		10.2

Para la construcción de este modelo experimental se detallan a continuación algunos de las partes fundamentales de este proceso, los diseños originales se los observa en el anexo 6.

Bancada y la base

Construida en acero al carbono con una plancha 10 ½" x 6 3/8" de 1/4" (6mm) de espesor, este elemento es el encargado de soportar todo el peso del motor, la base está acoplada a la bancada con pernos de sujeción de 3/8" x 1", el bocín y la placa de refuerzo está soldado a la bancada ya que éstos servirán para sostener al cigüeñal.

Bloque de Montaje

El bloque de montaje del cilindro, está construido a partir de una fundición en aluminio, con una plancha de 4 1/8" x 3 1/4" x 1/2" (12.8mm) de espesor, esta pieza es la encargada de comunicar la cámara caliente con la cámara fría y el tubo desplazador. Está sujeta a la bancada por un par de pernos de 1/4" x 1" hilo fino con anillos de presión.

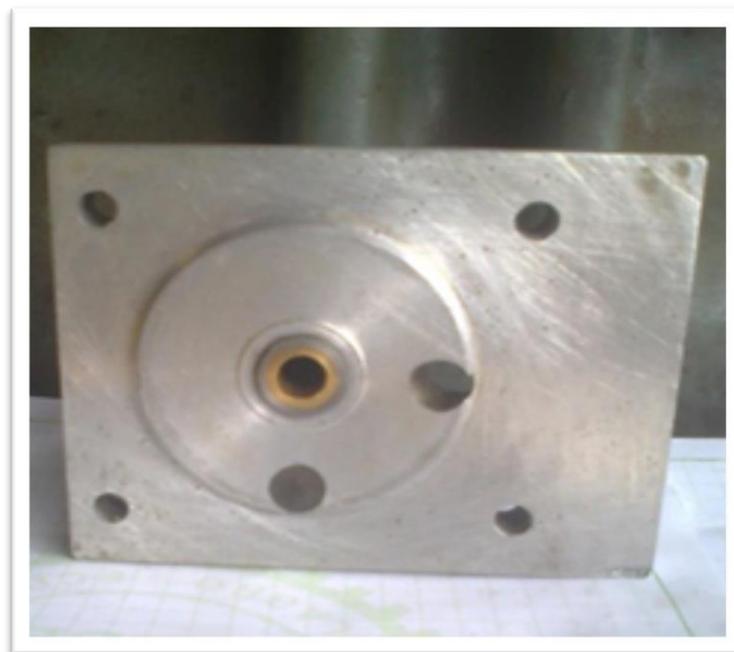


Figura 28. Bloque de montaje

Tubo desplazador

El desplazador de bielas está construido en acero al carbono, con un aceitero para mejorar el deslizamiento de la varilla de acero Inoxidable Ø 5/16", que es la encargada de comunicar al pistón de la cámara caliente con el acople de la biela de la cámara caliente.

Cilindro y pistón de la cámara caliente

EL cilindro de la cámara caliente es construido en acero inoxidable Ø 57mm x 152mm de largo, es la encargada de mantener el fluido de trabajo calorífico del motor. El pistón es de aluminio tiene un Ø 52mm x 72mm de largo.



Figura 29. Cilindro y pistón camisa de fuego

Cilindro y pistón da la cámara fría

El cilindro es de aluminio sus dimensiones son Ø 40mm x102mm de largo y está soldado a la plancha de enfriamiento, que a su vez se acopla al bloque de montaje por 2 pares de pernos de ¼" hilo grueso con anillo de presión, esta placa sirve para disipar el calor hacia la cámara fría y lograr una mayor diferencia de temperatura, El pistón de la cámara fría tiene Ø 34.4mm x 51.3mm de largo, estas piezas se comunican con el acople de la biela para transmitir el movimiento y realizar el reproceso en la cámara de aire a la cámara caliente del motor.

Cámara de enfriamiento

Esta cámara es la encargada del proceso de enfriamiento en el paso a la cámara de frío y a su vez conseguir la diferencia de temperatura que optimice el funcionamiento del motor, está hecha en aluminio Ø 3" con neoplos a los extremos para el paso del líquido de enfriamiento.

Cigüeñal

El cigüeñal está construido con una varilla de Ø 3/8", es el encargado de la sincronización de movimiento para el motor. Está conformado por un juego de contrapeso, brida, espaciadores, manivela hechos en acero al carbono y las bielas son la encargadas de transmitir el movimiento a todo el mecanismo del motor están elaboradas en aluminio.



Figura 30. Cigüeñal

Manzana y Volante

La manzana está hecha en acero al carbono, esta pieza es la encargada de mantener al volante sujeto al eje del cigüeñal. El volante es resultado de una fundición en aluminio tiene un 4", es el encargado de generar el arranque inicial del motor y a su vez sincroniza el movimiento de todas las partes mecánicas móviles.



Figura 31. Manzana y volante

Después de ser construido en su totalidad el motor Stirling se procede a realizar las pruebas de arranque. La primera prueba con el motor completo no tuvo éxito dado que al dar el arranque inicial, el pistón se pegó al cilindro por lo cual se procedió a bajar el espesor del cilindro con el pistón.

En las siguientes pruebas se presentan problemas en el giro de las bielas ya que no eran capaces de dar una vuelta completa, así que se procedió a investigar cuál sería el problema y llegamos a la siguiente conclusión; la graduación de la muñequilla del cigüeñal era fundamental para lograr el giro completo, se realizaron varias pruebas hasta llegar a la escala correcta y obtener el giro completo deseado.

Después de realizar nuevas pruebas tampoco hubo éxito y entonces concluimos que este tipo de motores necesitan ser muy livianos y procedimos a pesar todas las piezas para posteriormente bajar el peso a los elementos del motor.

Después de realizar algunos cambios en el motor, realizamos una primera prueba con el calor y después de un arranque inicial observamos cuatro giros y entonces, se procedió a realizar una segunda prueba y obtuvimos el mismo resultado, esperamos unos minutos más para ejecutar otra prueba y al fin se consiguió que funcione y de esta manera procedimos a los cálculos respectivos

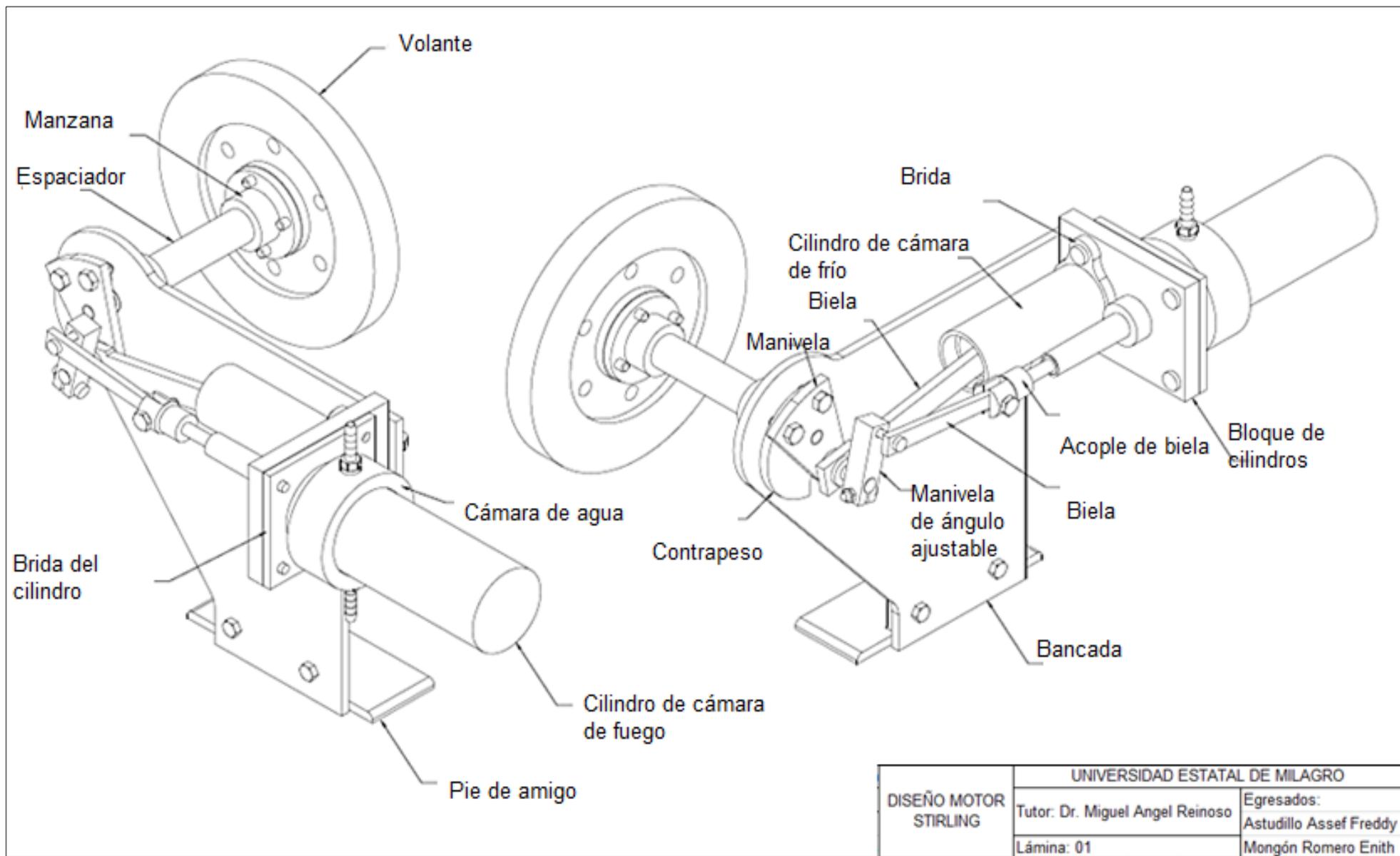


Figura 32. Partes del motor Stirling

Tabla 26. Partes y presupuesto de construcción del Motor Stirling-Tipo Gamma

N°	Cant.	Descripción	Material	Costos	N°	Cant.	Descripción	Material	Costos
1	1	Bancada-Base	Acero	\$ 5.00	17	1	Brida de la base del cilindro	Aluminio	\$ 5.00
2	1	Tubo de apoyo del cigüeñal	Acero	\$ 3.00	18	1	Cilindro de la cámara de frío	Aluminio	\$ 15.00
3	2	Cojinetes del cigüeñal	Bronce	\$ 6.00	19	1	Pistón de la cámara de frío	Aluminio	\$ 15.00
4	1	Placa de Refuerzo	Acero	\$ 1.00	20	1	Cigüeñal	Acero Inoxidable	\$ 5.00
5	1	Bocín	Acero	\$ 3.00	21	1	Placa	Acero al carbono	\$ 8.00
6	1	Bloque de Montaje	Aluminio	\$ 20.00	22	1	Contrapeso	Acero al carbono	\$ 5.00
7	1	Guía	Aluminio		23	1	Muñequilla	Acero	\$ 3.00
8	1	Tubo desplazador	Acero al carbono	\$ 2.00	24	1	Retorno del cigüeñal	Acero al carbono	\$ 5.00
9	2	Cojinetes	Bronce	\$ 6.00	25	1	Espaciadores	Acero al carbono	\$ 4.00
10	1	Tornillo de sellado del aceite, pernos y tornillos	Acero	\$ 10.00	26	1	Camisa de agua	Aluminio	\$ 25.00

N°	Cant.	Descripción	Material	Costos	N°	Cant.	Descripción	Material	Costos
11	1	Varilla del desplazador	Acero Inoxidable	\$ 2.00	27	2	Neplo	Aleación de bronce	\$ 6.00
11	1	Varilla del desplazador	Acero Inoxidable	\$ 2.00	27	2	Neplo	Aleación de bronce	\$ 6.00
12	1	Acople de la varilla del desplazador	Acero inoxidable	\$ 3.00	28	1	Enfriador de placa base	Acero al carbono	\$ 8.00
13	1	Pistón del cámara caliente	Aluminio	\$ 10.00	29	1	Biela del pistón de peso ligero	Aluminio	\$ 5.00
14	1	Tapa del pistón de la cámara caliente	Aluminio	\$ 30.00	30	1	Biela del émbolo	Aluminio	\$ 5.00
15	1	Tapa caliente de la camisa	Acero inoxidable	\$ 30.00	31	1	Volante	Aluminio	\$ 15.00
16	1	Camisa del cilindro	Acero inoxidable		32	1	Eje-manzana del volante	Acero al carbono	\$ 8.00
Subtotal									\$ 268.00
Mano de obra									\$ 200.00
Total									\$ 468.00

Masa del fluido que encierra el motor.

❖ Volumen del fluido dentro del cilindro.

Datos	mm	cm	r
Diám. Int. del cilindro	54	5.4	2.7
Dist. Carrera P.M.S.	35	3.5	
Dist. Carrera P.M.I.	0	0	
Dist. Int. Total cilindro	152	15.2	
Altura cámara	117	11.7	

$$V = \pi \cdot r_1^2 \cdot \frac{h}{2} \quad (10)$$

$$V = \pi \cdot (2.7_1 \text{ cm})^2 \cdot \frac{11.7 \text{ cm}}{2}$$

$$V = 133.978 \text{ m}^3 = 1.34 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

❖ Fluido de trabajo

Existe un aumento en la conversión de energía según las propiedades del fluido.

Aplicamos la ecuación de estado de gases perfectos.

Tabla 27. Fluidos para el Motor Stirling-Tipo Gamma

Tipo	M (Masa /Molar)	R (KJ/Kmol)	R J(kg.k)
Aire	28.27	0.287	287
Helio	4,04	2.007	2007
Hidrógeno	2.0106	4.124	4124

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{F} - \frac{32}{1.8}$$

$$^{\circ}\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C}$$

Temperatura	°C	°K
Temperatura mínima	25	298
Temperatura media	156.5	429.5
Temperatura máxima	263	536

Pamb 1.00E+10 1.00E+05 Pa

$$m = \frac{pV}{R'T} \quad (11)$$

$$pV = \frac{14.40}{123.27}$$

$$pV = 0.1087 \text{ gr} = \mathbf{0.00010869 \text{ kg}}$$

Presión máxima y mínima para diferencia de volumen cero.

Recordando que 1 bar = 14,5 psi = 1E5 Pa

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{mR'T_{m\acute{a}x}}{v} \quad (12)$$

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{16.72}{1.3398E - 04}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 1.2480E + 05 \text{ Pa} = \mathbf{18.095 \text{ PSI}}$$

$$P_{m\acute{i}n} = \frac{mR'T_{m\acute{i}n}}{v} \quad (13)$$

$$P_{m\acute{i}n} = \frac{0.00010869(287)(298)}{1.3398E - 04}$$

$$P_{m\acute{i}n} = 6.9383E + 04 \text{ Pa} = \mathbf{10.06053551 \text{ PSI}}$$

Diferencia de volumen

Para calcular el volumen medio del fluido en el interior del cilindro se toman en cuenta las siguientes variables:

Diám. Ext. Pistón de fuerza	52 mm
Dist. Carrera P.M.S.	35 mm
Dist. Carrera P.M.I.	0 mm
Long. Carrera	35 mm

Dónde:

θ = Diámetro externo del pistón de fuerza

L = La carrera

$$V_{medio} = \pi r^2 \frac{h}{2} + \pi \theta^2 \frac{L}{2} \quad (14)$$

$$V_{medio} = \pi(2.7)^2 \frac{11.7}{2} + \pi(5.2)^2 \frac{3.5}{2}$$

$$V_{medio} = 282.6380955 \text{ cm}^3 = \mathbf{0.000282638 \text{ m}^3}$$

$$V_{máximo} = \pi r^2 \frac{h}{2} + \pi \theta^2 \frac{L}{2} \quad (15)$$

$$V_{máximo} = \pi(2.7)^2 \frac{11.7}{2} + \pi(5.2)^2 \frac{3.5}{2}$$

$$V_{máximo} = 431.2982598 \text{ cm}^3 = \mathbf{0.000431298 \text{ m}^3}$$

$$V_{mínimo} = \pi r^2 \frac{h}{2} + \pi \theta^2 \frac{L}{2} \quad (16)$$

$$V_{mínimo} = \pi(2.7)^2 \frac{11.7}{2} + \pi(5.2)^2 \frac{0}{2}$$

$$V_{mínimo} = 133.9779311 \text{ cm}^3 = \mathbf{0.000133978 \text{ m}^3}$$

Cálculos de la masa del fluido de trabajo.

$$m = \frac{pV_M}{R'T} \quad (17)$$

$$m = \frac{100000(2.8264E - 04)}{0.287(429.5)}$$

$$m = 0.229290274 \text{ gramos} = \mathbf{0.00022929 \text{ Kg}}$$

Presión máxima y mínima para diferencia de volumen real.

$$P_{m'x} = \frac{mR'T_{máx}}{V_{mín}} \quad (18)$$

$$P_{m'x} = \frac{0.00022929(287')(536)}{0.000133978}$$

$$P_{m'x} = 263268.593 \text{ Pa} = \mathbf{38.17394598 \text{ PSI}}$$

$$P_{mín} = \frac{mR'T_{mín}}{V_{máx}} \quad (19)$$

$$P_{mín} = \frac{0.00022929(287')298}{0.000431298}$$

$$P_{mín} = 45468.02478 \text{ Pa} = \mathbf{6.592863593 \text{ PSI}}$$

Fuerza del pistón de trabajo.

Fuerza máxima hacia afuera:

$$F_{máx} = S(P_{máx} - P_{amb}) \quad (20)$$

$$F_{máx} = \pi\left(\frac{\theta}{2}\right)^2(P_{máx} - P_{amb})$$

$$F_{máx} = \pi\left(\frac{5.2}{2}\right)^2(263268.593 - 100000)(1E - 04)$$

$$F_{máx} = 3.467362 + 02 \text{ N} = \mathbf{34.67362267 \text{ Kgf}}$$

La fuerza mínima será hacia adentro y estará dada por:

$$F_{mín} = S(P_{mín} - P_{amb}) \quad (21)$$

$$F_{\min} = \pi \left(\frac{\theta}{2}\right)^2 (P_{\min} - P_{\text{amb}})$$

$$F_{\min} = \pi \left(\frac{5.2}{2}\right)^2 (45468.02478 - 100000)(1E - 04)$$

$$F_{\min} = -1.158105E + 02 \text{ N} = \mathbf{-11.58104629 \text{ Kgf}}$$

Potencia

La potencia es susceptible de ser aumentada si el gradiente de temperatura aumenta, si la presión media aumenta o si las revoluciones aumentan.

El motor construido gira a razón de 730 rpm, con lo cual en los cálculos ideales podrá generar la siguiente potencia.

$$Pot = S \frac{RPM}{60} \text{ Long. carrera} \quad (22)$$

$$Pot = 346.736227 \frac{730}{60} 0.035$$

$$Pot = 147.6518432 \text{ W} = \mathbf{147651.8432 \text{ mW}}$$

5.7.1 Datos para la generación eléctrica

Sistema Stirling

El sistema Disco Stirling para la producción de energía eléctrica cuenta con los siguientes características:

Número de revoluciones

Torque

Ritmo de Trabajo

Lugar y ambiente de funcionamiento

Se utiliza un generador eléctrico “motor de caseteras”, este dispositivo va acoplado al volante del motor por medio de un sistema de bandas poleas, en el cual

aprovechamos la energía térmica con la que trabaja el motor Stirling, y a su vez el movimiento mecánico que se produce para posteriormente generar electricidad.



Figura 33. Motor de caseteras

Características:

- ❖ Motor de corriente continua 6v
- ❖ Revoluciones por minuto 2400rpm
- ❖ Generación a base de carbones

Este dispositivo de fácil obtención y adaptación al sistema de trabajo Disco Motor Stirling. Los motores de corriente continua deben girar a gran velocidad para generar grandes voltajes, por lo cual se puede apreciar en este proyecto que el motor es capaz de generar electricidad para alimentar diodos leds e in incluso un pequeño circuito.

5.7.2 Pruebas

Esta prueba se lleva a cabo durante la tercera semana de septiembre, con la ayuda de un tacómetro digital y una cámara termográfica.

En esta prueba se utiliza una antorcha para la fase de calentamiento del cilindro, para posteriormente documentar el proceso de funcionamiento del motor Stirling.

Tabla 28. Prueba con el mechero

PRUEBA MECHERO		
Fases	TIEMPO (Min)	RPM
Fase de calentamiento	0	0
Arranque del motor	0:25	100
Enfriamiento	0:58	270
	1:15	300
	1:44	362
	2:54	425
	3:24	530
	3:50	560
	4:00	587
	4:04	600
	4:13	621
	4:24	640
	4:30	650
	6:08	684
	6:20	700
Aislamiento del mechero	8:54	732
Se detuvo el motor Stirling	10:00	0

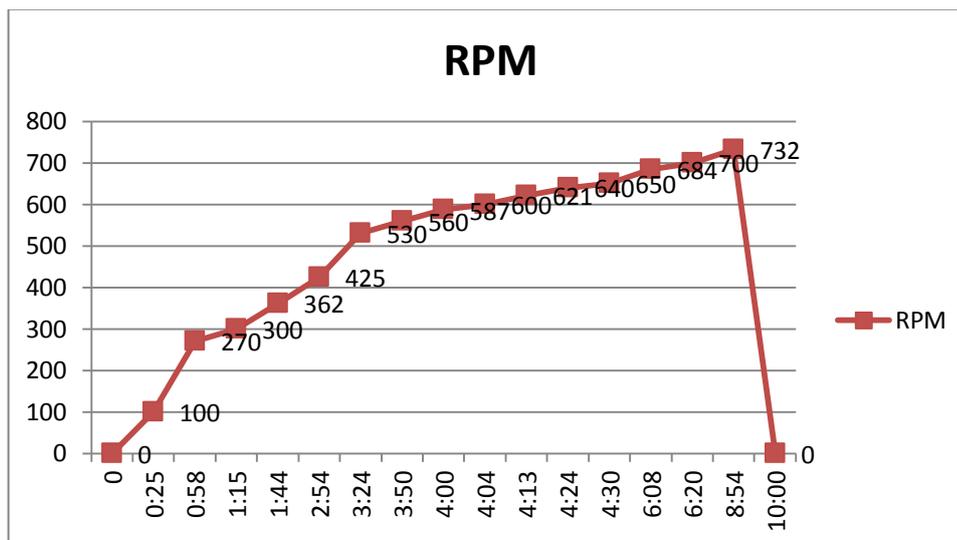


Figura 34. Tendencia de funcionamiento del motor Stirling

De acuerdo con lo que se puede observar en las gráficas el arranque inicial ocurre a los primeros 25 segundos de calentamiento del cilindro con aproximadamente 100rpm, al minuto 1:44 alcanza una velocidad de 362 rpm, siendo constante el enfriamiento.

En 4:00 se consiguen que el motor gire a razón de 587rpm y a los 8:54 obtenemos un máximo de revoluciones y se mantiene constante a 732 rpm, a partir de ese momento se procedía a retirar la antorcha por unos segundos para después volver a calentar el cilindro.

Estas pruebas tuvieron una duración de 10:00 que es el tiempo en el que se detuvo el funcionamiento del motor.

Al investigar sobre el motor Stirling existente en las instalaciones de la Unidad Ciencias de la Ingeniería las pruebas dieron como resultado lo siguiente:

Tabla 29. Prueba con mechero motor Stirling¹⁵

PRUEBA MECHERO		
Fases	TIEMPO (Min)	RPM
Fase de calentamiento	0	0
Arranque del motor	2:35	129
Enfriamiento	2:55	136
	3:09	150
	3:44	167
	4:46	182
	4:57	190
	5:07	200
	5:19	206
	6:37	229
	7:15	232
Se detuvo el motor Stirling	9:11	0

Con lo expuesto se puede determinar que, las variables que se realizaron en la construcción del nuevo motor Stirling dan buenas expectativas para mejorar su eficiencia.

¹⁵ CEPEDA, Jaime ROBALINO, Henry: *Diseño y construcción de un sistema disco Stirling para la conversión de energía solar a energía eléctrica*, p 139.

Con los análisis y pruebas realizadas en el motor Stirling se llegan a los siguientes resultado en cálculos ideales se obtiene la siguiente potencia:

Hipótesis motor rpm	730 rpm
F _{media} ascendente	346.7362267= 230.9257639= 230.925764N
F _{media} descendente	115.8104629= -115.810463= 115.810463N
Sumatoria Fuerzas	346.736227N
Long. Carrera	35mm

$$Pot = S \frac{RPM}{60} Long. carrera \quad (23)$$

$$Pot = 346.736227 \frac{730}{60} 0.035$$

$$Pot = 147.6518432 W = \mathbf{147651.8432 mW}$$

Por ley de ohm ya realizadas las pruebas se obtiene los siguientes datos para la generación eléctrica:

Cálculo para transmisión de poleas para la generación eléctrica:

Diám. Polea mayor	1.53 m
Diám. Polea menor	0.12 m
Distancia entre centros	1.75 m
Diám. Polea menor	0.7
Revoluciones por minuto	700 rpm

Longitud de Correa

$$n_2 = \frac{D \times n_1}{d} \quad (24)$$

$$n_2 = \frac{1.53m \times 700rpm}{0.12m}$$

$$n_2 = \mathbf{8925rpm}$$

5.7.3 Verificación de hipótesis

De acuerdo con la hipótesis general planteada en el proyecto se realizaron algunos cambios en cuanto a los materiales utilizados para la construcción del actual motor Stirling, dando como resultado mayor durabilidad en el sistema ante los cambios climáticos.

Las condiciones térmicas a las que son expuestas el motor Stirling, hacen que gire a la velocidad de 700 rpm en un lapso de 0:08 minutos, logrando un funcionamiento mejorado con respecto al prototipo ubicado en las instalaciones de la UNACCI.

Por tanto con las revoluciones alcanzadas se procede a verificar si es posible generar electricidad a partir de la transformación de energía térmica, que mediante la expansión de gases en el interior de cilindro, genera el movimiento mecánico para que en conjunto con la polea y el motor generador, se consiga electricidad.

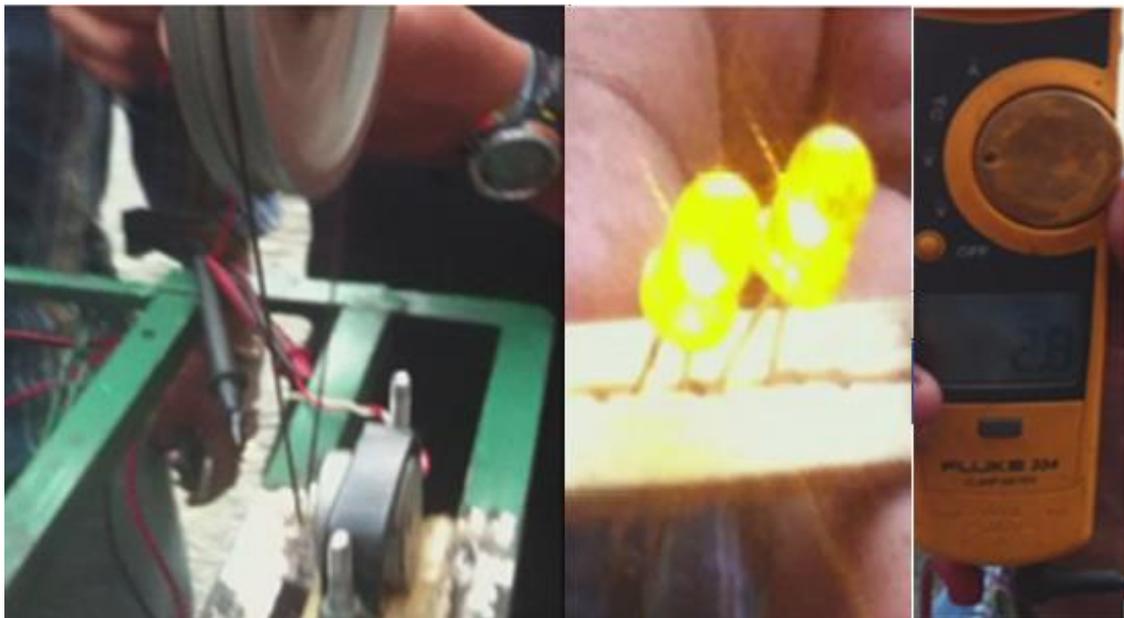


Figura 35: Generación eléctrica

De la siguiente manera se da a conocer el número de revoluciones que posee la polea del motor generador.

Con el número de revoluciones obtenidas con la conexión de poleas podemos alcanzar la potencia necesaria para encender leds como se observa en la imagen anterior.

Tabla 30. Comportamiento de voltaje & amperaje en el tiempo

Tiempo	Amperaje DC	Voltaje en DC	Potencia W	Error del amperímetro y voltímetro
(s)	(mA)	(V)	(mW)	±0.05
8	3	1.9	5.7	
16	3	1.9	5.7	
24	3	1.9	5.7	
32	3	1.9	5.7	
40	3	1.9	5.7	
48	3	1.9	5.7	
56	4.42	2.9	12.818	
1:04	4.26	2.7	11.502	
1:12	4.26	2.7	11.502	
1:20	3.16	2	6.32	
1:28	3	1.9	5.7	
1:36	3	1.9	5.7	
1:44	3	1.9	5.7	
1:52	3	1.9	5.7	
3:00	3	1.9	5.7	

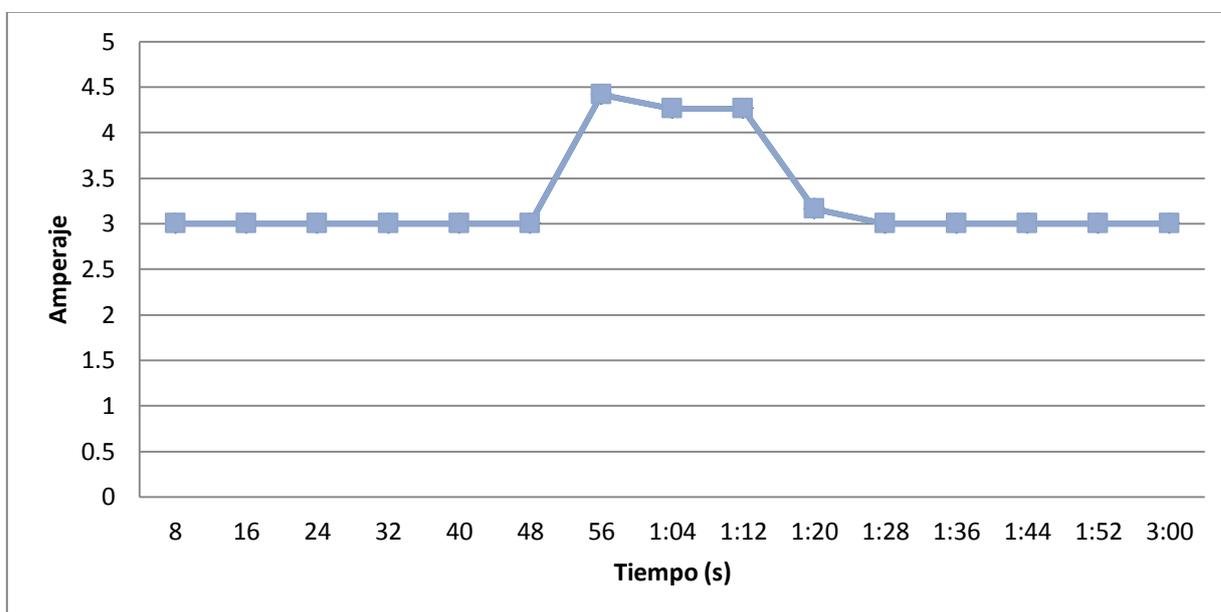


Figura 36: Comportamiento del amperaje

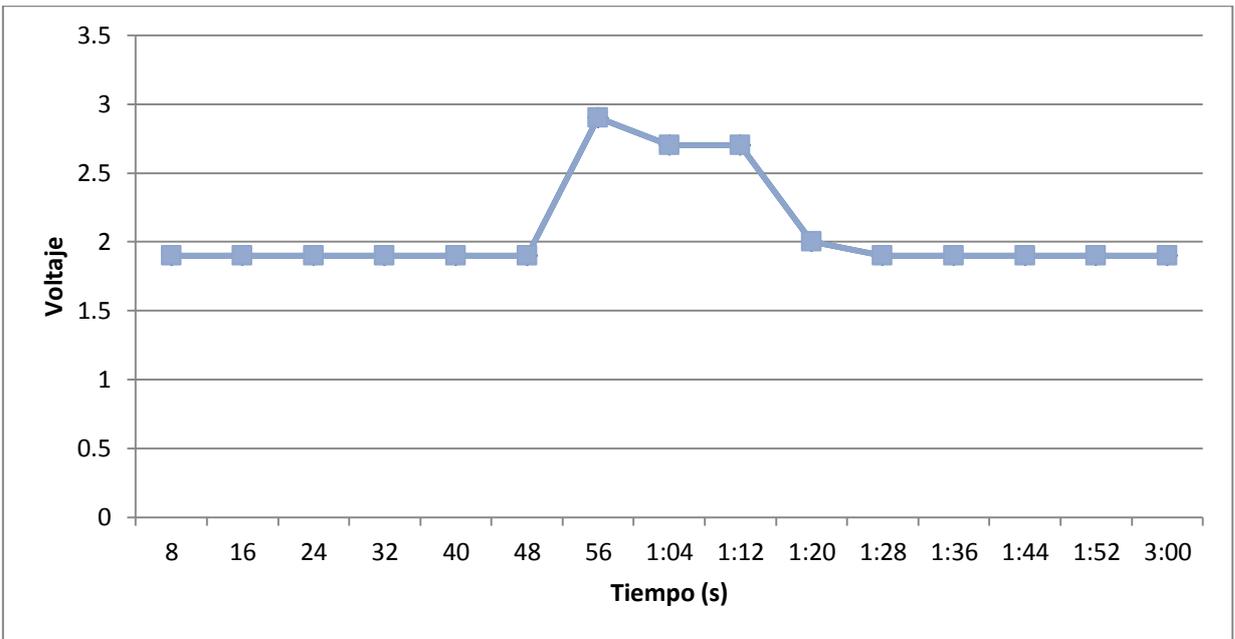


Figura 37: Comportamiento del voltaje

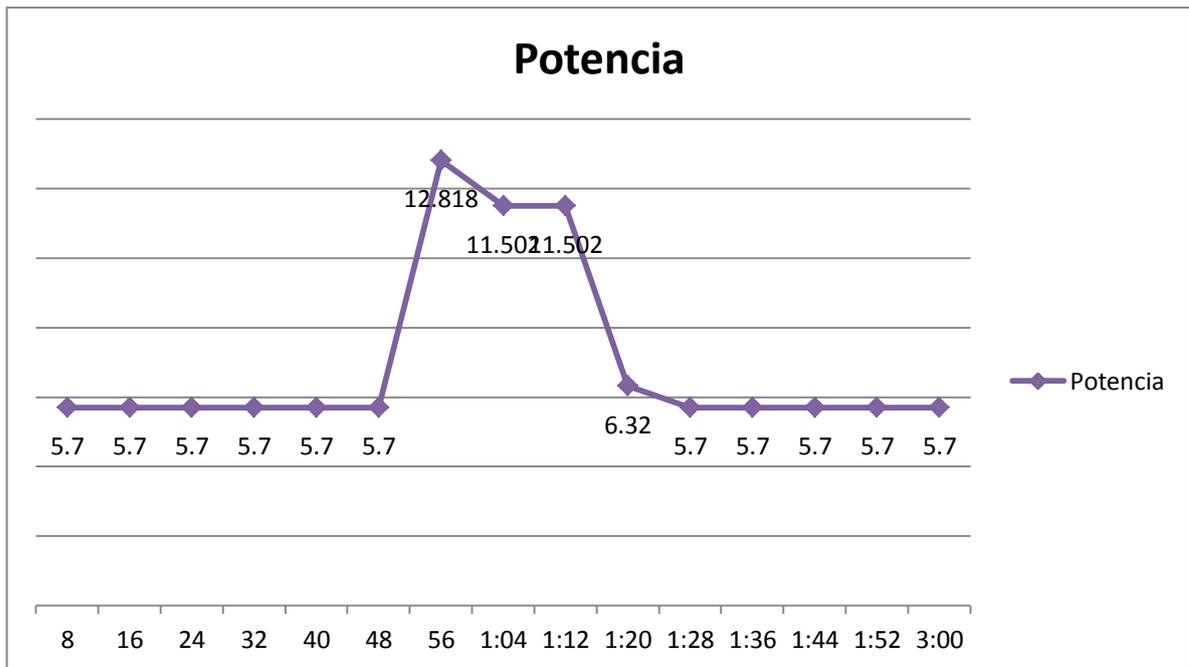


Figura 38: Potencia

Aplicando la ley de ohm se realizan los siguientes cálculos, se demuestra que el voltaje es directamente proporcional a la intensidad de corriente por tanto, si el voltaje aumenta o disminuye la corriente también siempre y cuando la resistencia se mantenga constante.

Los datos obtenidos con las pruebas realizadas en el proyecto son los siguientes

$$V = 1.9 \text{ v}$$

$$I = 3 \text{ mA}$$

$$V = 2.9 \text{ v}$$

$$I = 4.42 \text{ v}$$

$$\text{Potencia} = I \times V \quad (25)$$

$$I = 3 \text{ mA} \times 1.9$$

$$\text{Potencia} = 5.7 \text{ mW}$$

$$\text{Potencia} = I \times V \quad (26)$$

$$I = 4.42 \text{ mA} \times 2.9 \text{ v}$$

$$\text{Potencia} = 12.82 \text{ mW}$$

Por lo tanto la potencia obtenida por el actual motor Stirling se encuentra estimada en 8.7 mW, este tipo de motores trabajan de manera constante mientras tengan una fuente térmica para funcionar.

Para la prueba se utiliza un pequeño circuito de leds en serie con los cuales son encendidos al empezar a genera 1.9v, mientras el margen de voltaje sigue subiendo con lo cual es posible alimentar leds en serie y su señal se mantiene constante.



Figura 39. Prueba con el motor generador actual

De acuerdo con las prácticas realizadas con el motor Stirling anterior se concluye que el nuevo modelo no solamente supera el giro de revoluciones, sino que es capaz de generar el suficiente voltaje para mantener encendido un circuito experimental con respecto al modelo anterior que trabajo con un led y su señal fue intermitente.

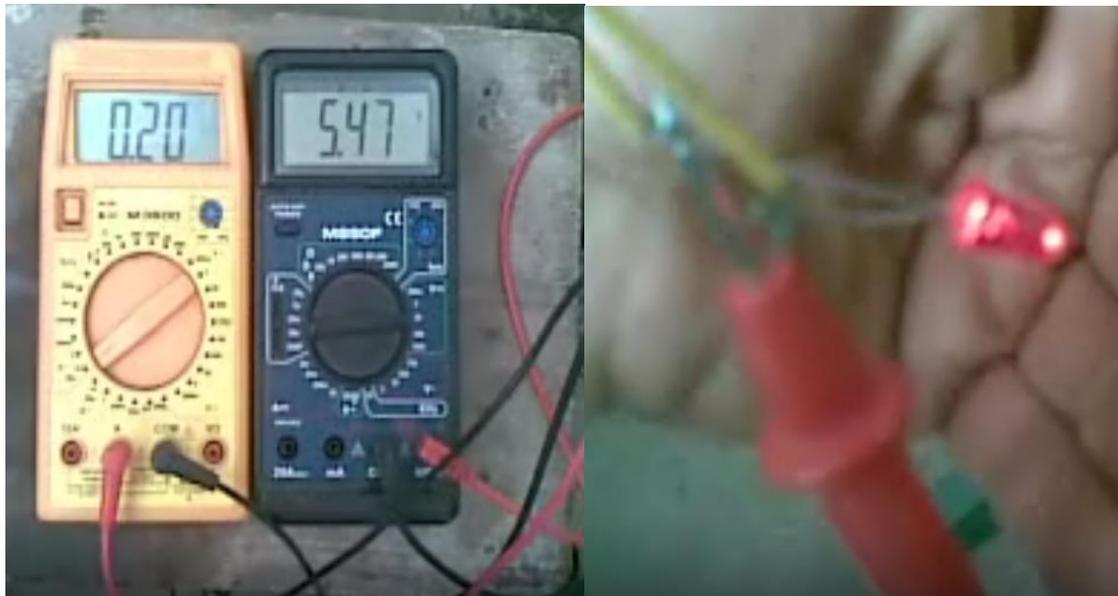


Figura 40. Prueba con el anterior prototipo del motor Stirling

A pesar de los esfuerzos realizados tanto por el grupo anterior, como el actual no se concluye satisfacer una demanda energética en un edificio. Sin embargo queda demostrado de manera experimental y practica que es posible generar energía al combinar una fuente térmica que trabaja con la expansión de los gases en el interior de un cilindro “cámara” que convierte el movimiento mecánico en energía.

De igual manera se puede calcular los niveles de contaminación de estos motores como por ejemplo:

$$Potencia = 1W \times 8h \tag{27}$$

$$Potencia = 8Wh \times 365 = \mathbf{2920 Wh \text{ en un año}}$$

$$Nivel \ de \ CO_2 = \frac{2920 \ Wh \times 3.6 \ Ton \ CO_2}{1 \times 10^9 Wh} \tag{28}$$

$$Nivel \ de \ CO_2 = \mathbf{1.05 \times 10^{-5} \ Ton \ de \ CO_2}$$

Es posible obtener el nivel de contaminación entre un motor que trabaja con combustibles fósiles con respecto a un motor híbrido.

$$Nc = \frac{\text{rpm motor a diesel}}{\text{rpm motor stirling}} \quad (29)$$

$$Nc = \frac{5000 \text{ rpm}}{700 \text{ rpm}} = 7.14$$

Para obtener el nivel de contaminación de un motor Stirling equiparándolo a razón de 5000rpm, sería el siguiente:

$$\text{Cont. M.S} = 7.14 \times 1.05 \times 10^{-5} \quad (30)$$

$$\text{Cont. M.S} = 7.51 \times 10^{-5} \text{ Ton. de CO}_2$$

Comparativo con respecto al motor Stirling y automotores a combustible:

$$Ncont. = \frac{\text{Cont. motor stirling}}{\text{Cont. motor diesel/gasolina}} \quad (31)$$

$$Ncont. = \frac{7.51 \times 10^{-5}}{0.182 \text{ Ton de CO}_2} = 0.00041\%$$

$$Ncont. = \frac{7.51 \times 10^{-5}}{1.801 \text{ Ton de CO}_2} = 0.000042\%$$

El proyecto desde el punto de vista ideal, es decir los cálculos matemáticos demuestra que existe un gran potencial por desarrollar, considerando las mejoras por desarrollar para aumentar el rendimiento y eficiencia del sistema híbrido disco motor Stirling.

La razón primordial es la búsqueda incansable de mejores condiciones de vida del planeta y sus habitantes, es por lo antes mencionado que los estudiantes se encuentran investigando la aplicación de nuevas tecnologías para satisfacer la demanda energética poblacional.

CONCLUSIONES

1. Las presentes pruebas demuestran mediante el análisis de resultados que es posible construir un motor Stirling de mayor eficiencia, y capaz de trabajar con energía solar.
2. Mejorar el area y la superficie de reflectancia del colector da como resultado mayor recepción de la radiación solar para mejorar el punto focal.
3. Los resultados obtenidos con respecto a las pruebas con el mechero demostraron que el actual motor gira a una capacidad máxima de 700 rpm.
4. El sistema Disco motor Stirling es capaz de trabajar con un mechero para producir movimiento mecánico mediante la expansión de los gases, se concluye que se obtiene una mayor cantidad de revoluciones al utilizar la fuente calorífica de un mechero.
5. Las actuales condiciones del modelo construido, tampoco llegan a las expectativas previstas ya que solamente trabaja con un voltaje de uso experimental y no abastece a genera la suficiente energía para alimentar focos/luminarias
6. Utilizar mejores materiales como acero inoxidable, acero al carbono y aluminio, mejoraron las expectativas en cuanto al funcionamiento del motor, ya que hace posible que el motor trabaje a temperaturas superiores a los 263°C, utilizando como único recurso para el proceso de enfriamiento, agua.
7. El siguiente proyecto crea nuevas expectativas para avanzar en las líneas de investigación y proyectar la aplicación de nuevas tecnologías.
8. El trabajo realizado amplía la gamma de conocimientos y perspectivas que pueden crear este tipo de tecnologías para investigación.

RECOMENDACIONES

1. Se debe considerar que este tipo de motores deben tener una cámara de enfriamiento herméticamente sellada lo cual hace posible que se puedan utilizar diferentes líquidos refrigerantes que mejoren el proceso de refrigeración en el motor.
2. El actual motor necesita una mayor capacidad calorífica para su funcionamiento por el cambio de materiales que se utilizaron, por lo cual sería recomendable utilizar materiales similares, pero de menor espesor, para que faciliten la mejora en el paso del calor a la cámara del pistón de frío.
3. Reducir la fricción en los diferentes elementos del motor facilitan que la rotación del volante con el generador eléctrico den como resultado un mejor funcionamiento.
4. Se debe tener presente que este tipo de motores funcionan con energía térmica, por tanto es necesario que se acople como un sistema híbrido (mechero).
5. Entre mayor sea la concentración calorífica en el cilindro del motor se obtendrá mayor eficiencia.
6. Dado que a pesar de que este motor genera mayor (R.P.M) con respecto al modelo anterior, el torque es menor lo cual hace que la fricción entre el conjunto volante-polea-generador sea menos eficientes.
7. En lo posterior se debería construir y parábola de mayores dimensiones con superficies reflectantes de mayor capacidad en la captación de energía solar.

8. Se recomienda construir motores Stirling basados en tecnología moderna como es el caso de la plataforma solar de Almería perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y tecnológicas ya que se encuentra en constantes ensayos para perfeccionar los distintos diseños de captación térmica solar.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMERIA: *Plataforma solar*, tomado del sitio <http://www.psa.es>, España extraído 18/08/2012.
2. ANONIMO: *Energías Renovables, primera energía del medio ambiente*, <http://www.renovablesverdes.com/crece-el-uso-de-las-energias-renovables-en-latinoamerica/>, extraído el 02/08/2011.
3. ANONIMO: TECH4CDM Energía eólica en Ecuador, http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos_La_Energia_Eolica_en_Ecuador_fa0ef98a.pdf, extraído el 11/07/2011.
4. CASTELLS, Xavier Elías: *Tratamiento y valorización energética de residuos*, p. 1160 – 1170.
5. CASTELLS, Xavier Elías: *Nuevas tecnologías para el tratamiento y conversión energética de residuos “Tratamiento y valorización energética de residuos”*, p. 1165 – 1169.
6. CEPEDA, Jaime, ROBALINO, Henry: *Diseño y construcción de un sistema disco Stirling para la conversión de energía solar a energía eléctrica*, p 139 – 142.
7. CLAVIJO, Gladys: *Matriz Energética Mundial*, tomado del sitio <http://geotalenses20093ro.blogspot.com/2010/06/matriz-energtica.html>, extraído el 29/04/2011.
8. CODESO: *Energía solar fotovoltaica y térmica*, tomado del sitio <http://www.codeso.com>, extraído del 25/08/2012.

9. ESPECIALES: *Situación de la energía en el Mundo, Europa y España*, www.energíasrenovables.ciemat.es/especiales/energía/index.htm, extraído el 02/08/2011.
10. INSTITUTO DE TECNOLOGÍA Y FORMACIÓN, MENDEZ MUÑIZ, Javier María & CUERVO GARCIA, Rafael: *Energía solar Térmica*, p. 20 – 40.
11. FRAUME RESTREPO, Néstor Julio: *Diccionario Ambiental*, editorial ECOE, 2007.
12. FORN FARRUS, Sergi: *Máquinas térmicas motoras 2*, p. 391 – 394.
13. HERAS CELEMIN, María del Rosario: *Fuentes de energía para el futuro*, p. 163 – 165.
14. HORTA NOGUEIRA, Luis Augusto: *Perspectivas de sostenibilidad energética en los países de la comunidad Andina*, p. 29 – 30.
15. INTERNATIONAL FORUM ON GLOBALIZATION (IFG) E INSTITUTE FOR POLICY STUDIES (IPS): *Política Energética en América Latina presente y futuro: Críticas y propuestas de los pueblos*, Andes Ediciones, Mayo 2008.
16. INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE: *Energía Solar*, Tlaquepaque, Jalisco, Autores: Juan Jorge Hermosillo Villalobos, David Gudiño Ayala, Miriam Mendoza Ramírez, Febrero 1995.
17. MENENDEZ PEREZ, Emilio: *Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo “Una economía impulsada por el sol”*, p. 93.
18. MENENDEZ PEREZ, Emilio: *Energías renovables “Un enfoque público”*, p. 110 – 119.
19. MILLS Anthony: *Transferencia de Calor*, Primera Edición, Editorial Mc Graw Hill, Colombia 1997.

20. MORAN, Michael J, SHAPIRO, Howard N.: *Fundamentos de Termodinámica Técnica*, Editorial Reverte S.A, Barcelona-España, 2005.
21. NAVARRETE RAGGA, Carlos Gherardelli: *Diseño del motor Stirling para generación eléctrica con fuentes geotérmicas*, p. 15, http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2008/navarrete_rr/sources/navarrete_rr.pdf.
22. PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR: *Matriz Energética Ecuador*, <http://blogpnd.senplades.gob.ec/?p=3322>, extraído 02/08/2011.
23. PONGUTA HURTADO, Juan José: *Guías para el manejo de energías alternativas*, p. 5 -12.
24. RENOVETEC: *Centrales Termosolares*, del sitio web: <http://www.centrales termosolares.com/tiposcentrales termosolares.html>, extraído 29/06/2011.
25. RUIZ CARO, Ariela, Economic Comission for Latin América and the Caribbean, United Nations, División de recursos naturales e infraestructura United Nations: *La seguridad energética de América Latina y el Caribe en el contexto mundial*, p. 11 -17.
26. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FOREESTALES (SECF): *Diccionario forestal*, editorial Aedos S.A, Barcelona, 2005.
27. ZABALZA Gustavo: *Proyecto de Generación Energía con Disco Parabólico-Stirling*, del sitio web: http://www.fing.edu.uy/if/solar/proyectos/PROYECTO_energ%C3%ADa_%20solar_Zabalza_Rev%201.pdf, extraído 11/07/2011.

ANEXOS

Anexo 1: Formato de la encuesta



ENTREVISTA

"Implementación de un sistema híbrido (Mechero-Disco Stirling) para cubrir la demanda energética asociada a la iluminación del primer bloque de aulas de la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería"

La siguiente entrevista está dirigida a las autoridades que están a cargo del desarrollo en cuanto a la infraestructura de la Universidad Estatal de Milagro.

Nombre	Ing. Luis Buchelli Carpio	Años de servicio en el cargo:	3 años
Tipo:	In Situ		
Cargo:	Asesor Ing. Industrial		

Objetivo:

Determinar si existen políticas Institucionales para la implementación de sistemas de abastecimiento eléctrico utilizando energías renovables en la Universidad Estatal de Milagro.

- 1 ¿Considera importante la implementación de sistemas de abastecimiento eléctrico con energía renovable en los previos de la Universidad Estatal de Milagro?

Si porque se necesita bajar el consumo de energía eléctrica que proveen las hidroeléctricas que son energías cargadas, a su vez colaborar con un granito de arena para distribuir el cambio climático disminuyendo la cantidad de CO₂ al ambiente.

- 2 ¿Cuál es la perspectiva que tiene la UNEMI en cuanto a la implementación de energía alternativa?

1.- Hay una línea de investigación de energías renovables.

2.- Que las tesis tienen que estar alineadas a las políticas de investigación y también al Plan Nacional del Buen Vivir (SEMPLEDES)

3 ¿Existen sistemas de abastecimiento eléctrico que trabajen con energía alternativa en la UNEMI?

SI Cuáles son éstos sistemas NO X Porque no se los ha implementado

Futuro En que documentos está contemplada esta propuesta

La política recién se está implementando y están orientando a las nuevas políticas de la Universidad (Tesis) y las políticas del estado (Senescyt) Plan Nacional de Buen Vivir.

4 ¿Qué opciones serían las más convenientes para implementar sistemas energéticos renovables en la UNEMI y por qué?

Eólica

Geotérmica

Solar X

Es la más ejecutable y fácil de implementar en la UNEMI los costos son menores en la implementación, costos operativos y de mantenimiento.

5 ¿En caso de existir propuestas por parte de los estudiantes para el estudio e implementación de un sistema alternativo con energía renovable, de qué manera podría apoyar a la propuesta?

Se debería poner en el plan operativo anual estos objetivos, pero con un año de anticipación (POA) (PAC), orientar mediante seminarios la investigación de temas inéditos y a la vez que sean proyectos a vínculos con la sociedad/comunidad.

Gracias por su colaboración

Entrevistado
Ing. Luis Buchelli Carpio

Entrevistador
Freddy Astudillo Assef

05/05/2011

Anexo 2: Datos meteorológicos Junio-Octubre Milagro – INHAMI

Mes	Junio		Año: 2010				Longitud: 79.58								
			Altitud (m): 13				Latitud: 2.193								
Día	Temperatura			H.R (%)			Viento (m/s)	V.V. Máx. (m/s)	V.V. Min. (m/s)	Radiación (W/m2)	Rad. Sol mm/días	P. Rocío °C	Eto mm/día	Precip. mm	
	T. Media	T. Min.	T. Máx.	H. Media	H. Min.	H. Máx.									
1	27	23	31	82	72	92	1.7	2	1.3	141.6	5	22	3.02	0	
2	25	23	27	87	80	93	0.7	1	0.4	55.8	2	22	1.4	0.2	
3	26	21	31	80	63	97	0.7	1	0.4	182.8	6.4	21	3.34	0	
4	26	22	30	81	68	93	0.7	1	0.4	131.4	4.6	22	2.8	0	
5	27	22	31	81	66	95	1	1.5	0.5	175.6	6.1	23	3.35	0	
6	27	23	31	83	70	95	1	1.5	0.5	168.8	5.9	22	3.2	0	
7	27	23	31	81	71	90	1.3	2	0.6	147	5.1	22	3.03	0	
8	25	22	28	82	73	90	1	1.5	0.5	90.7	3.2	22	2.07	0.5	
9	25	22	28	82	71	93	0.7	1	0.4	86.3	3	21	1.92	0	
10	26	22	31	81	70	92	0.3	0.4	0.2	135.8	4.8	22	2.54	0	
11	27	22	33	76	60	91	1.3	2	0.6	210.5	7.4	22	4.3	0.2	
12	25	22	28	79	70	88	0.7	1	0.4	64.5	2.3	21	1.66	0	
13	24	22	26	81	74	87	1	1.5	0.5	98.5	3.4	21	2.12	0	
14	25	21	29	82	68	95	1.3	2	0.6	125.1	4.4	21	2.61	0	
15	28	22	34	75	58	92	1.3	2	0.6	230.9	8.1	22	4.46	0	
16	25	22	27	85	76	93	0.7	1	0.4	68.4	2.4	22	1.61	0	
17	26	22	29	81	72	90	1	1.5	0.5	123	4.2	21	2.49	0	
18	25	22	29	86	77	95	0.3	0.4	0.2	115.4	4	23	2.16	0.1	
19	27	23	30	85	75	95	0.7	1	0.4	108.2	3.8	23	2.23	0.4	
20	24	23	26	88	81	95	0.3	0.4	0.2	82.9	2.9	22	1.67	0.2	
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
PROMEDIO	25.85	22.2	29.5	81.9	70.75	92.55	0.89	1.285	0.48	127.16	4.45	21.85	2.60	0.08	
DS	1.11	0.60	2.13	3.16	5.80	2.56	0.37	0.53	0.22	47.09	1.65	0.65	0.83	0.14	

Mes	Año: 2010		Longitud: 79.58											
	Julio	Altitud (m): 13	Latitud: 2.193											
Día	Temperatura			H.R (%)			Viento	V.V. Máx.	V.V. Mín.	Radiación	Rad. Sol	P. Rocío	Eto	Precip.
	T. Media	T. Mín.	T. Máx.	H. Media	H. Mín.	H. Máx.	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(W/m2)	mm/días	°C	mm/día	mm
1	24	22	26	83	78	88	1.3	2	0.6	67.9	2.4	21	1.76	0
2	25	20	29	84	70	98	1	1.5	0.5	116.9	4.1	21	2.2	0
3	26	21	30	82	66	98	0.7	1	0.4	120.8	4.2	22	2.43	0
4	26	22	29	85	76	93	1.3	2	0.6	114.9	4	22	2.41	0
5	26	21	30	81	69	93	0	0	0	123.2	4.3	22	2.21	0
6	25	21	30	83	70	96	1	1.5	0.5	137.3	4.8	21	2.7	0
7	26	20	31	81	72	90	0.7	1	0.4	151.3	5.3	22	2.83	0
8	23	21	24	95	92	97	1	1.5	0.5	35.9	1.3	22	0.97	0.5
9	23	20	26	93	87	98	0.7	1	0.4	62.1	2.2	22	2.17	0
10	26	20	31	84	72	96	1	1.5	0.5	83.4	2.9	22	2	0
11	26	21	32	84	69	98	1.3	2	0.6	171.2	6	22	3.31	0.2
12	26	21	31	78	66	90	1	1.5	0.5	168.3	5.9	21	3.23	0
13	24	22	26	89	83	94	0.7	1	0.4	64.5	2.3	22	1.46	0
14	24	21	27	84	76	91	0.7	1	0.4	87.3	3.1	21	1.86	0
15	27	21	32	75	63	86	1	1.5	0.5	196.4	6.9	21	3.73	0
16	25	21	30	78	68	88	0.7	1	0.4	117.4	4.1	21	2.41	0
17	25	21	29	80	68	92	1	1.5	0.5	98	3.4	22	2.22	0
18	24	21	27	87	81	93	1.7	2	1.4	59.7	2.1	22	1.63	1
19	24	21	26	92	87	97	1.3	2	0.6	50	1.7	21	1.89	0
20	25	22	28	89	83	94	1	1.5	0.5	83.9	2.9	22	2.15	0
21	25	21	29	84	72	96	1	1.5	0.5	121.7	4.3	21	2.55	0
22	23	21	26	83	73	92	1.3	2	0.6	58.7	2.1	20	1.67	0
23	25	21	28	79	65	93	1.3	2	0.6	104.8	3.7	23	2.43	0
24	25	21	29	80	66	94	0.7	1	0.4	130	4.5	21	2.55	0
25	25	21	30	77	59	95	0.3	0.4	0.2	160.5	5.6	20	2.84	0
26	24	21	28	84	77	90	1.7	2	1.4	123.7	4.3	21	2.56	0
27	24	20	27	83	73	93	1	1.5	0.5	117.9	4.1	20	2.35	0
28	26	20	33	74	54	93	1.3	2	0.6	259	9.1	20	4.8	0
29	27	22	33	74	56	92	1.3	2	0.6	258	9	20	0	0.7
30	26	22	31	78	61	94	0.7	1	0.4	181.4	6.3	21	3.35	0
31	26	21	32	72	59	84	1	1.5	0.5	211	7.4	21	3.98	0
PROMEDIO	25.03	21	29.03	82.42	71.32	93.10	0.99	1.45	0.53	123.78	4.33	21.29	2.41	0.08
DS	1.09	0.62	2.31	5.43	9.14	3.50	0.36	0.50	0.28	55.88	1.95	0.77	0.88	0.23

Mes	Septiembre		Año: 2010				Longitud: 79.58				Latitud: 2.193					
	Altitud (m): 13			Temperatura			H.R (%)			Viento	V.V. Máx.	V.V. Mín.	Radiación	Rad. Sol	P. Rocío	Eto
Día	T. Media	T. Mín.	T. Máx.	H. Media	H. Mín.	H. Máx.	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(W/m2)	mm/días	°C	mm/día	mm		
1	26	20	31	78	68	88	0.7	1	0.4	144	5	20	2.85	0		
2	26	20	31	72	59	85	2	2.5	1.5	179	6.3	20	4.03	0		
3	25	21	29	78	67	89	0.7	1	0.4	149.4	5.2	21	2.8	0		
4	24	21	27	77	69	85	1	1.5	0.5	91.7	3.2	20	2.17	0		
5	24	21	27	84	78	90	1.3	2	0.6	92.2	3.2	20	2.07	0		
6	27	21	33	76	64	88	1	1.5	0.5	207.1	7.2	20	3.98	0		
7	26	21	31	77	63	91	1	1.5	0.5	171.2	6	21	3.36	0		
8	24	22	27	83	75	90	2	2.5	1.5	69.8	2.4	21	2.02	0		
9	25	21	29	85	72	97	0.3	0.4	0.2	120.8	4.2	21	2.31	0		
10	26	21	30	81	71	90	2	2.5	1.5	126.1	4.4	21	3.41	0		
11	25	21	28	78	67	88	1	1.5	0.5	96.5	3.4	21	2.27	0		
12	25	21	28	83	71	95	1.3	2	0.6	88.3	3.1	21	2.13	0		
13	26	21	30	75	63	86	1	1.5	0.5	124.6	4.4	20	2.76	0		
14	24	21	27	85	76	93	1.7	2	1.3	67.4	2.4	20	1.83	0		
15	24	21	26	82	78	85	1	1.5	0.5	65.5	2.3	20	1.7	0		
16	25	20	29	83	74	91	1.3	2	0.6	118.3	4.1	20	2.51	0		
17	26	21	32	76	63	88	1.3	2	0.6	191.6	6.7	21	3.22	0		
18	24	21	27	84	78	90	1.3	2	0.6	80	2.8	21	1.92	0		
19	25	20	30	78	65	90	1.7	2	1.3	131	4.6	20	3.03	0		
20	25	20	29	77	65	88	0.7	1	0.4	116.4	4.1	20	2.46	0		
21	24	20	28	82	72	91	2	2.5	1.5	104.8	3.7	20	2.5	0		
22	25	21	30	82	75	89	1	1.5	0.5	122.2	4.3	21	2.6	0		
23	24	20	29	82	68	96	1	1.5	0.5	71.8	2.5	20	3.2	0		
24	25	20	30	77	67	87	1.7	2	1.3	97	3.4	20	3	0		
25	24	20	28	82	71	92	1.3	2	0.6	71.8	2.5	20	2.5	0		
26	26	20	33	76	63	89	2	2.5	1.5	162	5.7	21	3.1	0		
27	26	21	30	78	65	90	2	2.5	1.5	95.5	3.3	21	3.3	0		
28	25	22	28	83	78	87	1.3	2	0.6	70.3	2.5	21	2.6	0		
29	24	21	28	81	70	91	2	2.5	1.5	78.6	2.7	20	3.4	0		
30	24	21	26	86	81	90	1.3	2	0.6	53.8	1.9	20	3.3	0		
31																
PROMEDIO	24.97	20.73	29.03	80.03	69.87	89.63	1.33	1.83	0.82	111.96	3.92	20.43	2.74	0.00		
DS	0.87	0.57	1.85	3.51	5.64	2.92	0.47	0.53	0.45	39.93	1.40	0.50	0.60	0.00		

Mes	Octubre	Año: 2010					Longitud: 79.58							
		Altitud (m): 13					Latitud: 2.193							
Día	Temperatura			H.R (%)			Viento	V.V. Máx.	V.V. Mín.	Radiación	Rad. Sol	P. Rocío	Eto	Precip.
	T. Media	T. Min.	T. Máx.	H. Media	H. Min.	H. Máx.	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(W/m2)	mm/días	°C	mm/día	mm
1	26	21	30	79	66	91	1.3	2	0.6	114.5	4	20	2.68	0
2	28	21	35	68	49	87	1.7	2	1.3	190.1	6.7	20	4.5	0
3	26	19	32	71	55	86	1.3	2	0.6	204.7	7.2	20	4.15	0
4	26	20	31	78	66	90	1.3	2	0.6	124.2	4.3	21	2.84	0
5	25	21	29	79	71	86	1	1.5	0.5	80	2.8	20	2.04	0
6	24	21	27	80	73	86	1	1.5	0.5	58.2	2	20	1.67	0
7	24	20	27	81	70	91	1.3	2	0.6	74.2	2.6	20	1.99	0
8	23	20	27	80	72	88	1.3	2	0.6	66.4	2.3	20	1.87	0
9	26	21	31	74	63	84	1.3	2	0.6	124.6	4.4	20	2.96	0
10	26	21	31	78	68	88	1	1.5	0.5	121.3	4.2	21	2.68	0
11	26	21	31	72	62	82	1	1.5	0.5	113.5	4	20	2.69	0
12	27	22	32	74	63	85	1	1.5	0.5	117.4	4.1	21	2.75	0
13	27	21	32	84	83	85	1	1.5	0.5	125.1	4.4	21	2.57	0
14	26	22	30	74	64	83	2	2.5	1.5	106.7	3.7	20	3.01	0
15	27	21	32	74	60	88	3	3.2	2.8	144	5	21	4.03	0
16	26	20	32	76	61	91	1.3	2	0.6	147.9	5.2	21	3.25	0
17	26	21	32	67	54	79	1.3	2	0.6	146.5	5.1	19	3.47	0
18	26	21	30	74	65	83	1.7	2	1.3	107.2	3.8	20	2.83	0
19	24	21	27	74	66	81	1	1.5	0.5	77.6	2.7	19	2.06	0.2
20	25	21	29	73	65	81	1	1.5	0.5	108.6	3.8	20	2.54	0
21	26	20	31	79	68	90	1.3	2	0.6	136.8	4.8	20	2.95	0
22	23	20	26	79	72	86	1.7	2	1.3	64.5	2.3	20	1.97	0
23	24	20	28	79	67	90	1.3	2	0.6	106.2	3.7	20	2.46	0
24	24	21	28	78	65	91	1.3	2	0.6	89.7	3.1	20	2.27	0
25	24	21	28	79	68	89	1.7	2	1.3	103.8	3.6	20	2.53	0
26	25	20	29	81	70	91	1.3	2	0.6	93.1	3.3	20	2.34	0
27	24	20	27	81	73	88	1.3	2	0.6	59.7	2.1	20	0	0
28	23	20	26	83	74	91	1.3	2	0.6	70.3	2.5	20	1.83	0
29	26	20	29	79	69	88	1	1.5	0.5	94.1	3.3	19	3.88	0
30	23	20	26	84	77	91	1	1.5	0.5	52.9	1.9	20	3.2	0
31	23	20	26	84	71	96	1.3	2	0.6	62.4	2.4	19	1.79	
PROMEDIO	25.13	20.58	29.39	77.29	66.77	87.29	1.33	1.89	0.76	106.01	3.72	20.06	2.64	0.01
DS	1.39	0.66	2.32	4.36	6.69	3.77	0.40	0.35	0.47	36.34	1.43	0.56	0.86	0.04

Anexo 3: Tiempo de insolación en el mes de Julio-Octubre

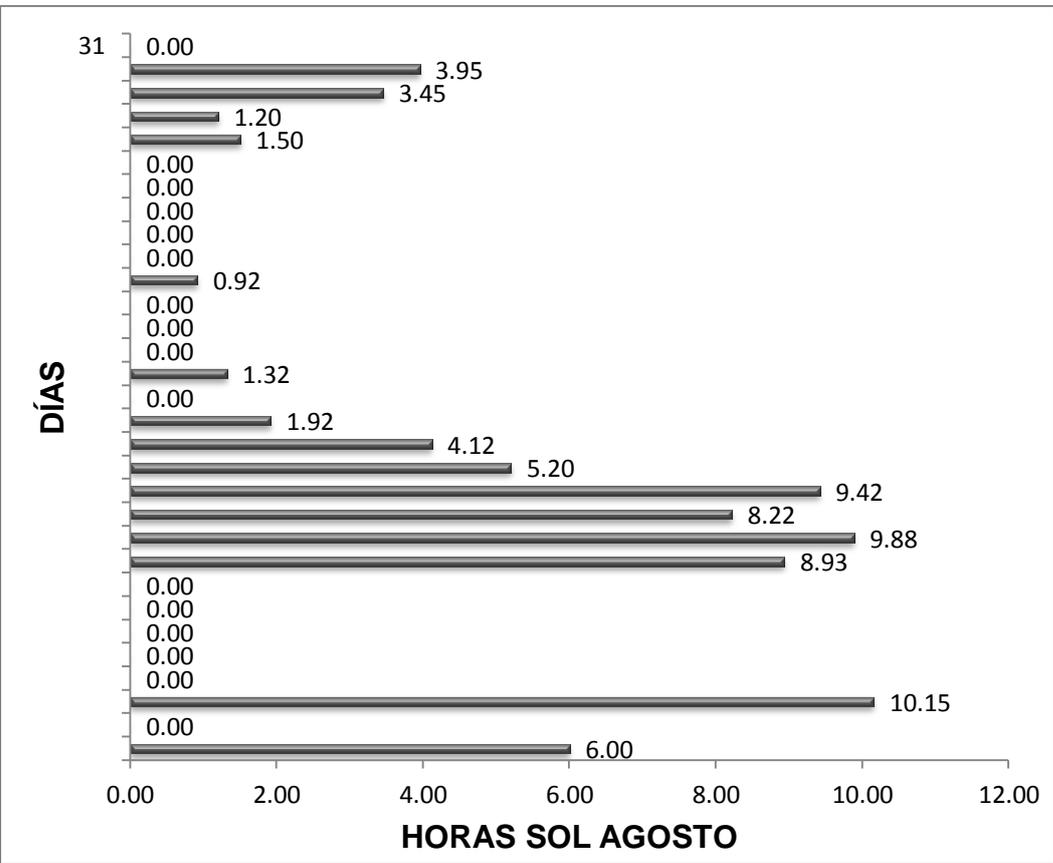
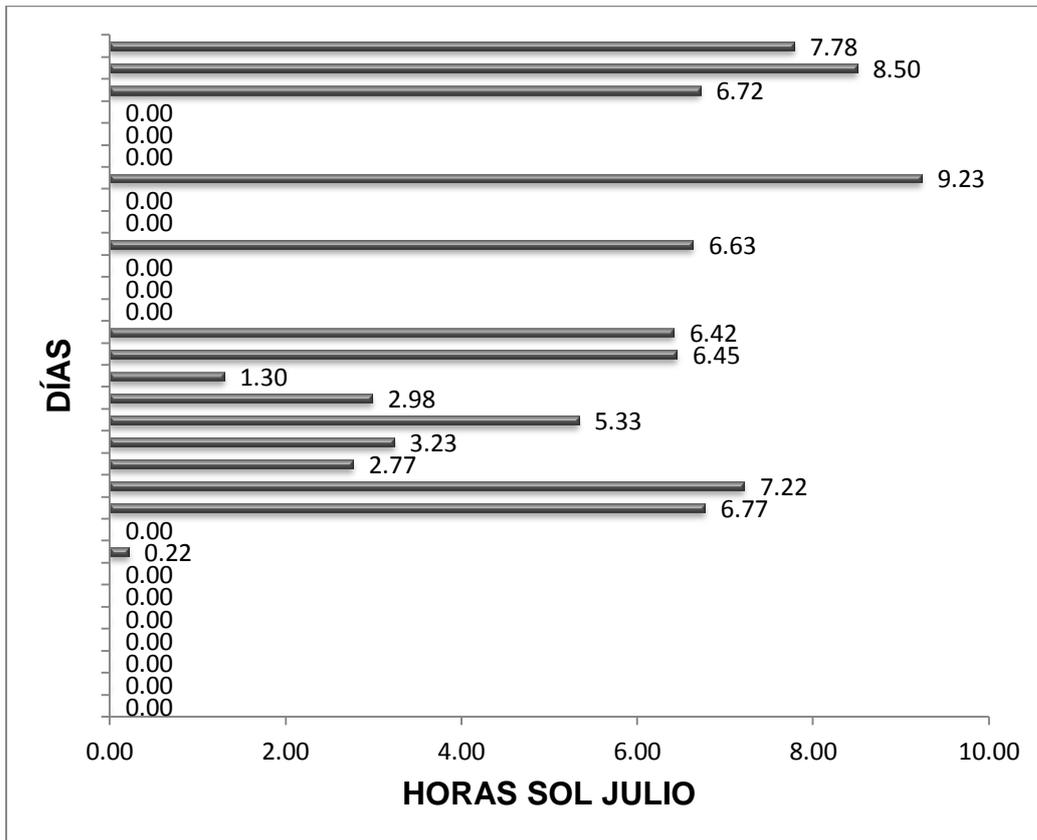
JULIO	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	TOTAL MINUTOS	TOTAL HORAS
FECHA	MINUTOS DE INSOLACION POR HORA												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
8	0	0	0	0	8	5	0	0	0	0	0	13	0.22
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
10	10	0	5	27	19	55	55	60	60	60	55	406	6.77
11	0	0	13	20	40	60	60	60	60	60	60	433	7.22
12	0	0	7	14	8	22	25	30	10	25	25	166	2.77
13	0	12	27	19	29	29	20	18	15	15	10	194	3.23
14	0	0	0	40	40	40	50	45	35	40	30	320	5.33
15	0	0	0	0	0	0	0	17	55	57	50	179	2.98
16	0	0	0	5	0	13	10	10	10	20	10	78	1.30
17	0	0	0	0	27	60	60	60	60	60	60	387	6.45
18	0	0	0	0	25	60	60	60	60	60	60	385	6.42
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
22	0	12	10	20	54	55	56	50	52	50	39	398	6.63
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
25	10	27	44	53	60	60	60	60	60	60	60	554	9.23
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
29	0	0	33	42	50	35	55	50	50	50	38	403	6.72
30	0	0	40	50	60	60	60	60	60	60	60	510	8.50
31	0	0	44	50	50	50	60	60	60	60	33	467	7.78
	PROMEDIO											2.63	
	DESVIACION STANDART											3.27	

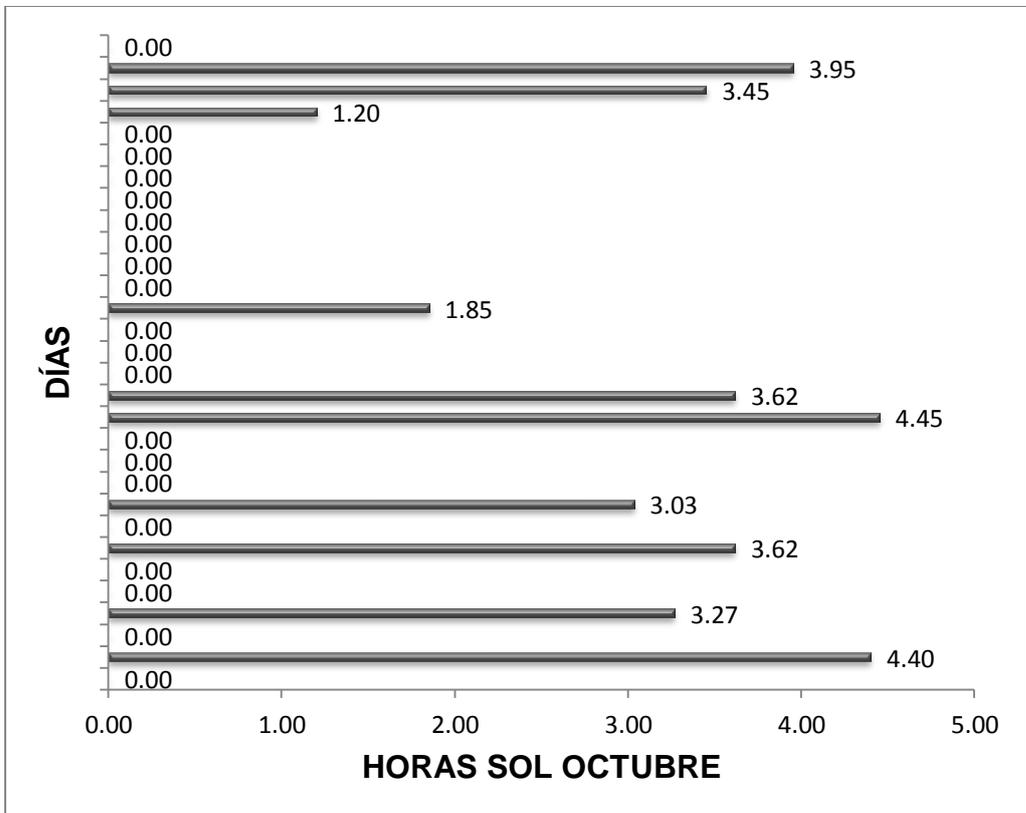
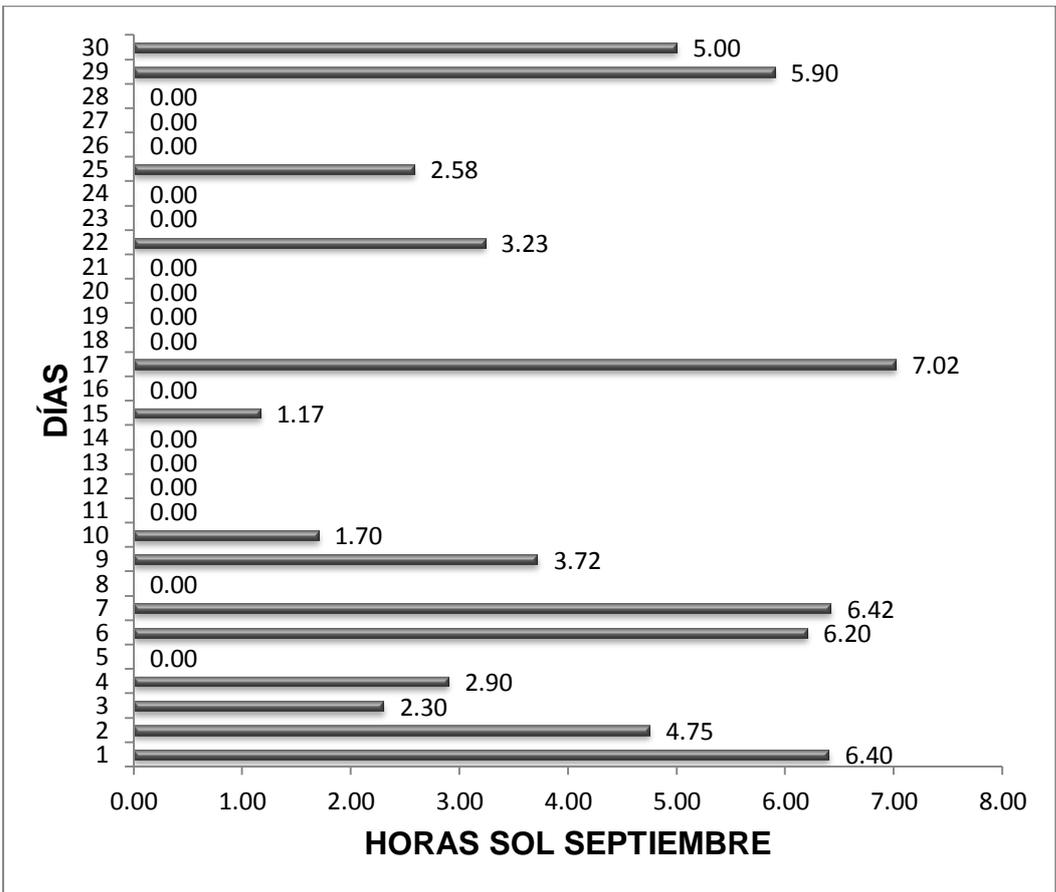
AGOSTO	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	TOTAL MINUTOS	TOTAL HORAS
FECHA	MINUTOS DE INSOLACION POR HORA												
1	0	0	25	45	50	50	50	45	45	45	29	384	6.40
2	0	0	0	25	45	45	50	50	30	25	15	285	4.75
3	0	0	0	10	15	10	20	20	20	26	17	138	2.30
4	0	0	25	30	25	10	20	25	22	17	0	174	2.90
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
6	0	0	28	35	50	50	49	53	51	38	18	372	6.20
7	0	0	20	40	45	55	50	60	60	35	20	385	6.42
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
9	0	0	0	0	0	38	35	40	45	45	20	223	3.72
10	30	55	7	10	0	0	0	0	0	0	0	102	1.70
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
15	0	0	0	0	20	30	20	0	0	0	0	70	1.17
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
17	0	0	0	50	55	55	55	59	57	52	38	421	7.02
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
22	0	0	25	30	20	15	20	20	29	20	15	194	3.23
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
25	0	0	0	0	30	35	40	50	0	0	0	155	2.58
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
29	0	0	0	0	25	50	60	60	60	60	39	354	5.90
30	0	0	0	0	0	0	60	60	60	60	60	300	5.00
	PROMEDIO											1.98	
	DESVIACION STANDART											2.48	

SEPTIEMBRE	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	TOTAL MINUTOS	TOTAL HORAS
FECHA	MINUTOS DE INSOLACION POR HORA												
1	0	0	0	0	0	60	60	60	60	60	60	360	6.00
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
3	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	39	609	10.15
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
9	10	25	33	50	58	60	60	60	60	60	60	536	8.93
10	12	50	60	60	60	58	60	60	60	60	53	593	9.88
11	0	0	35	60	60	60	60	60	60	60	38	493	8.22
12	0	40	57	60	60	60	60	60	60	60	48	565	9.42
13	0	0	0	36	40	50	47	38	39	35	27	312	5.20
14	0	0	0	0	30	39	47	50	39	42	0	247	4.12
15	0	0	37	38	40	0	0	0	0	0	0	115	1.92
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
17	0	0	0	39	0	40	0	0	0	0	0	79	1.32
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
21	0	0	20	15	20	0	0	0	0	0	0	55	0.92
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
27	0	0	0	0	10	20	30	30	0	0	0	90	1.50
28	0	0	0	20	10	12	30	0	0	0	0	72	1.20
29	0	0	0	23	27	30	40	30	27	30	0	207	3.45
30	0	0	0	0	30	37	40	50	50	30	0	237	3.95
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	PROMEDIO											2.54	
	DESVIACION STANDART											3.44	

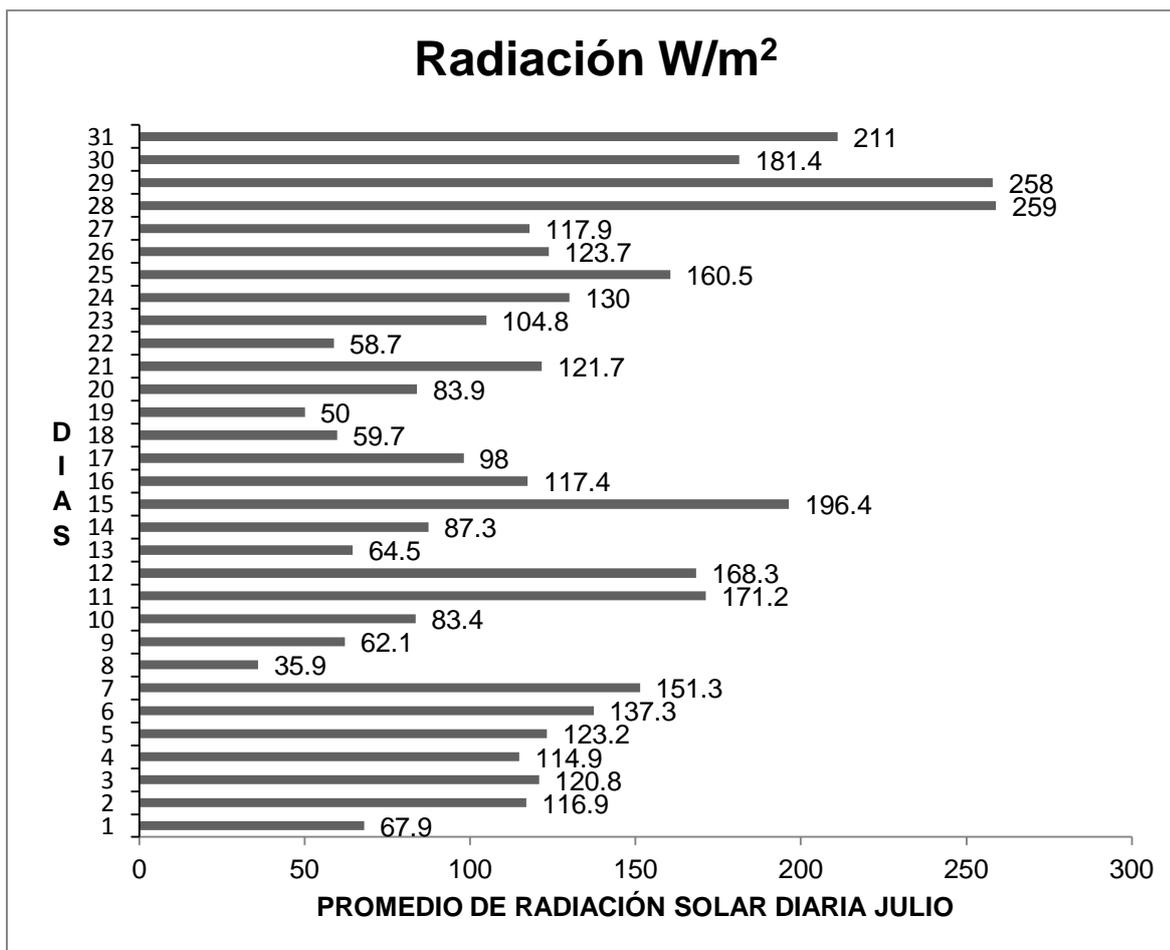
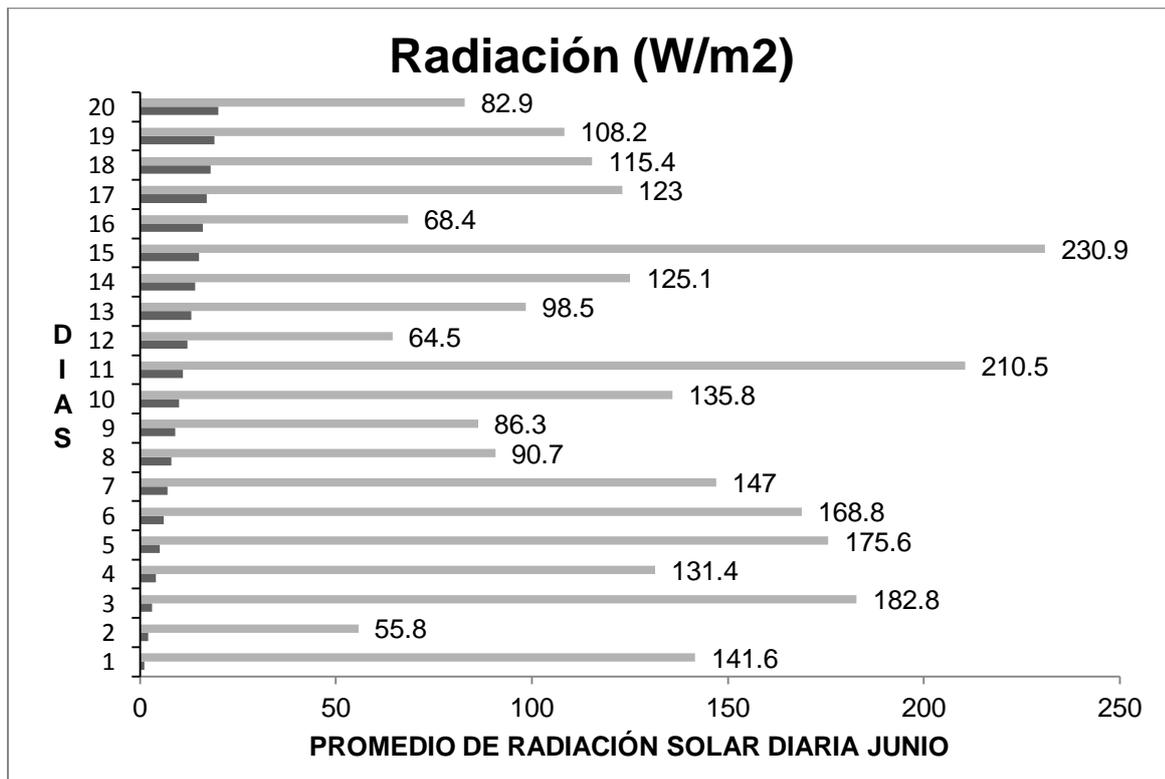
OCTUBRE	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	TOTAL MINUTOS	TOTAL HORAS
FECHA	MINUTOS DE INSOLACION POR HORA												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
2	0	0	0	27	30	37	40	40	40	50	0	264	4.40
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
4	0	0	0	27	27	30	30	25	27	30	0	196	3.27
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
7	0	0	0	45	30	27	30	30	27	28	0	217	3.62
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
9	0	0	0	0	0	37	38	40	40	27	0	182	3.03
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
13	0	0	0	27	30	30	40	40	50	50	0	267	4.45
14	0	0	0	20	30	45	45	30	17	30	0	217	3.62
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
18	0	0	0	15		10	17	27	27	15	0	111	1.85
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
27	0	0	0	20	10	12	30	0	0	0	0	72	1.20
28	0	0	0	23	27	30	40	30	27	30	0	207	3.45
29	0	0	0	0	30	37	40	50	50	30	0	237	3.95
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	PROMEDIO											1.09	
	DESVIACION STANDART											1.65	

Anexo 4: Insolación en el mes de julio- octubre

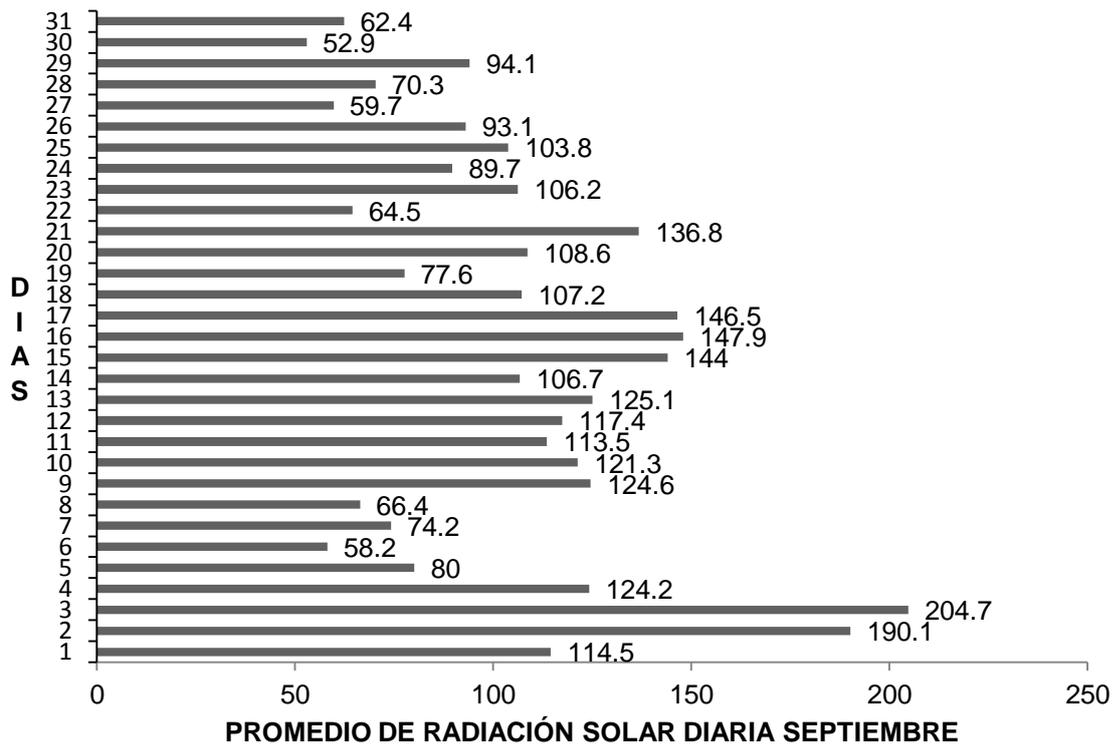




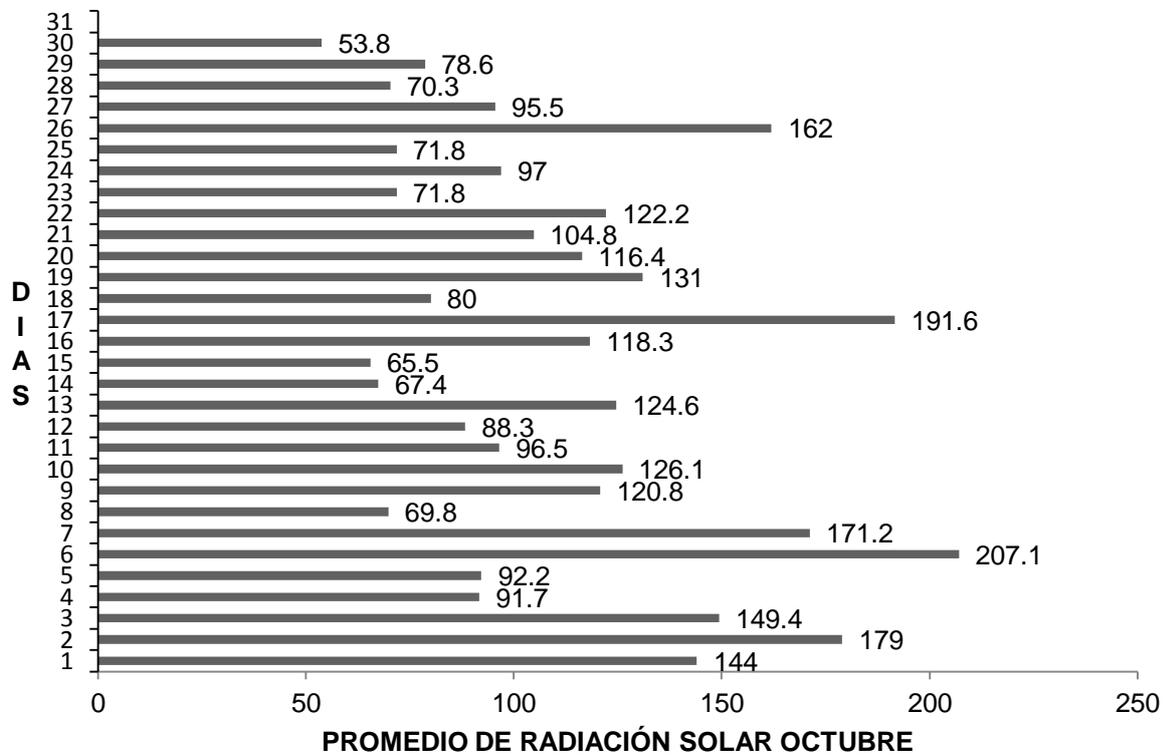
Anexo 5: Radiación solar en el mes de junio- octubre



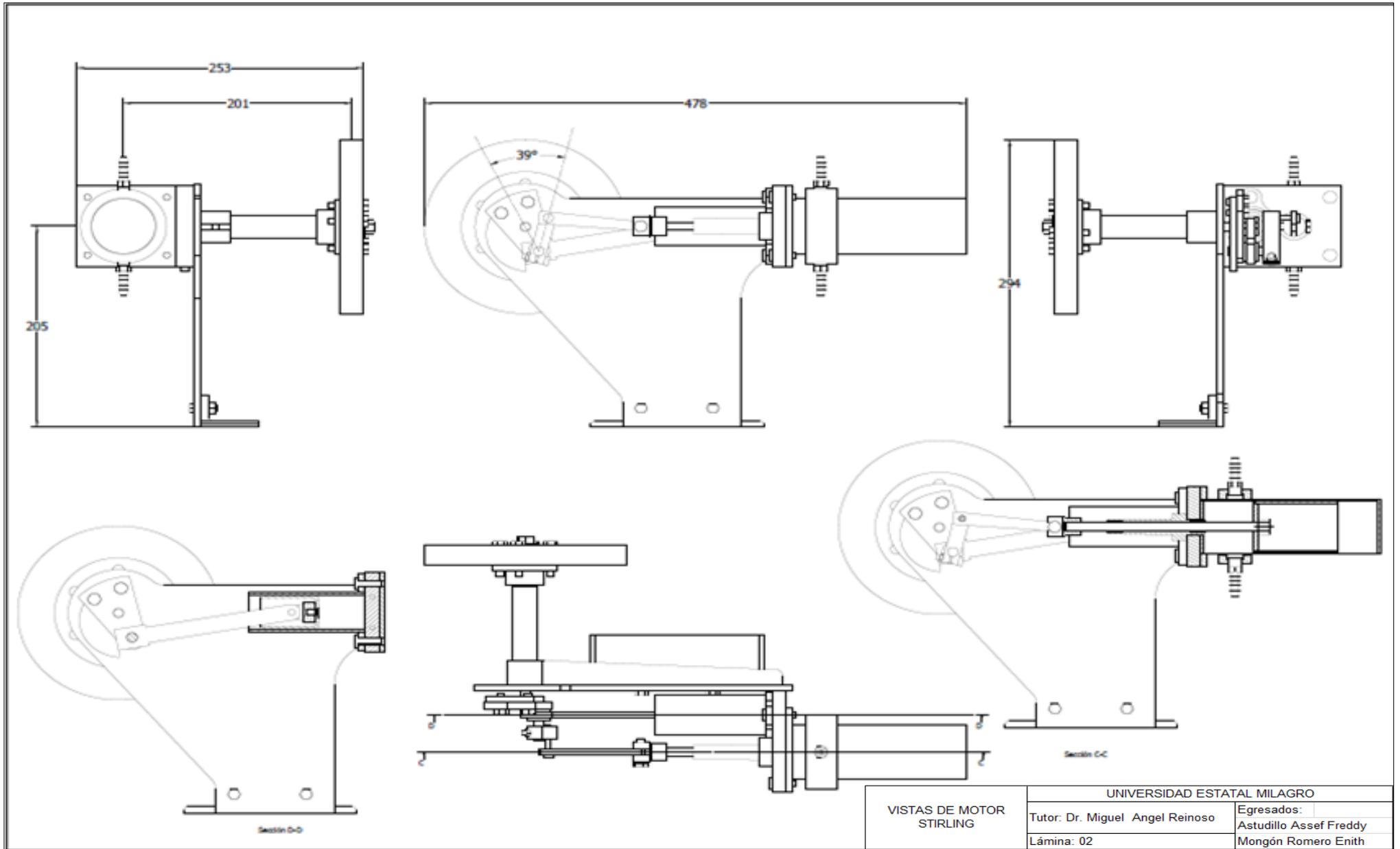
Radiación W/m²

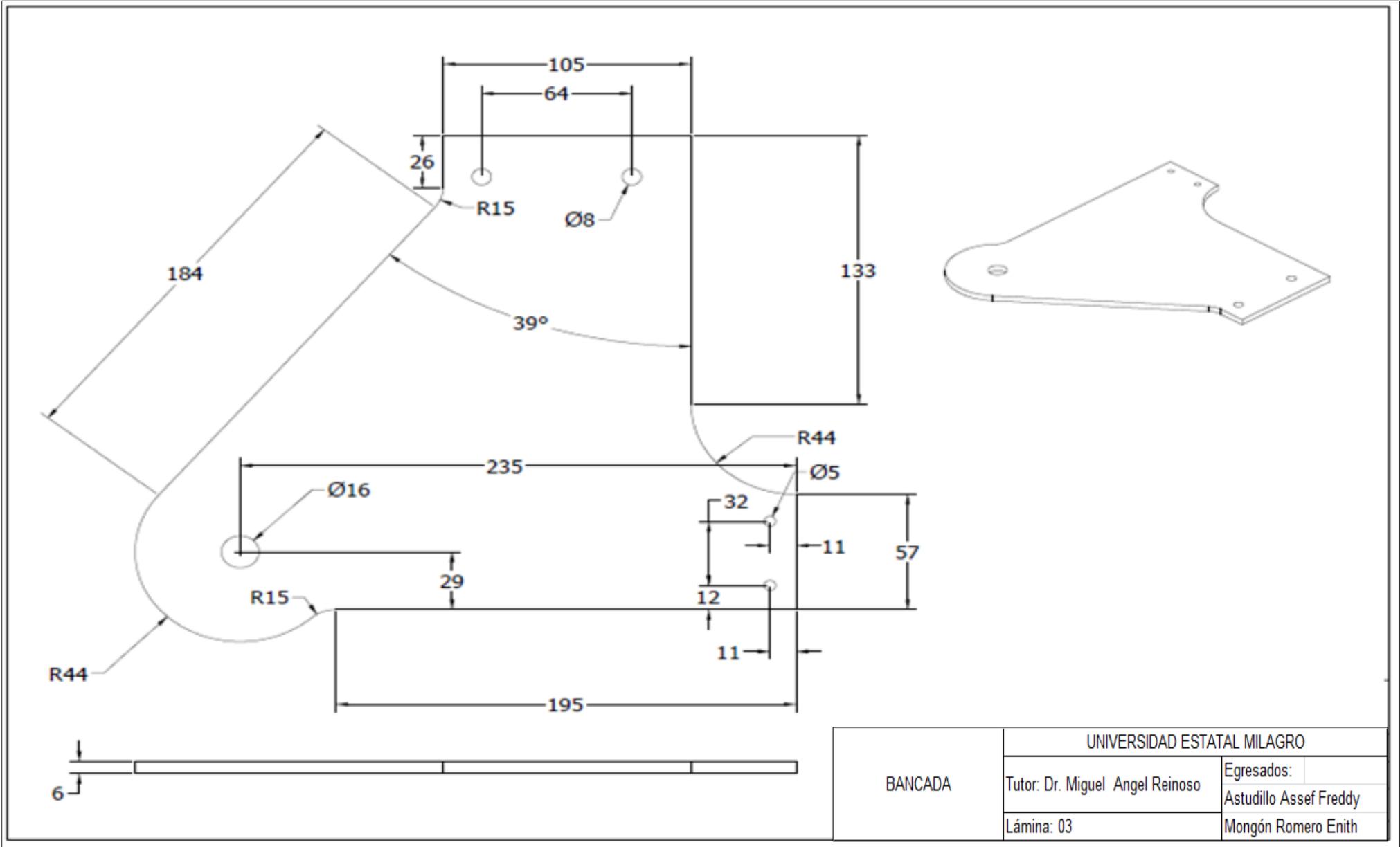


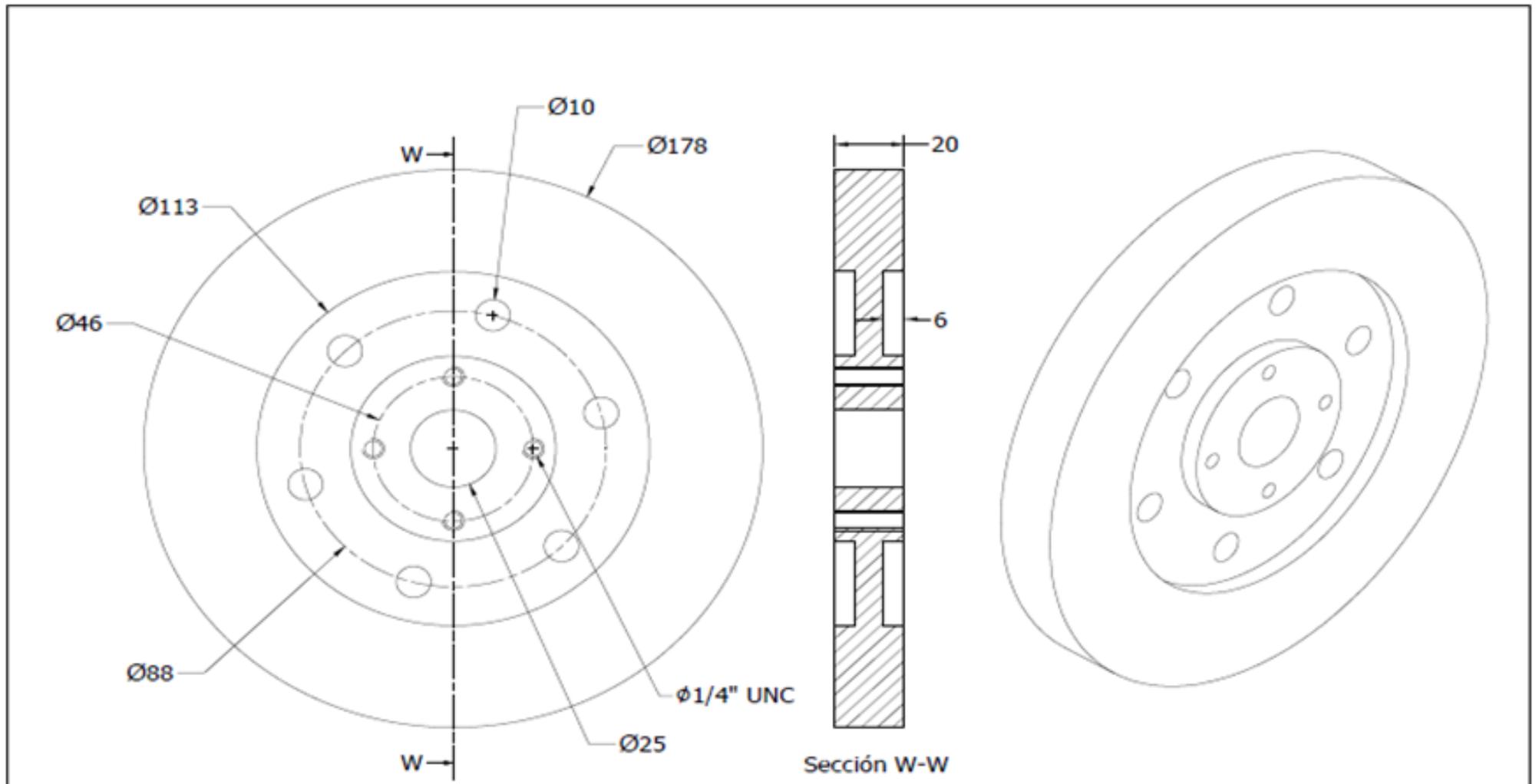
Radiación W/m²



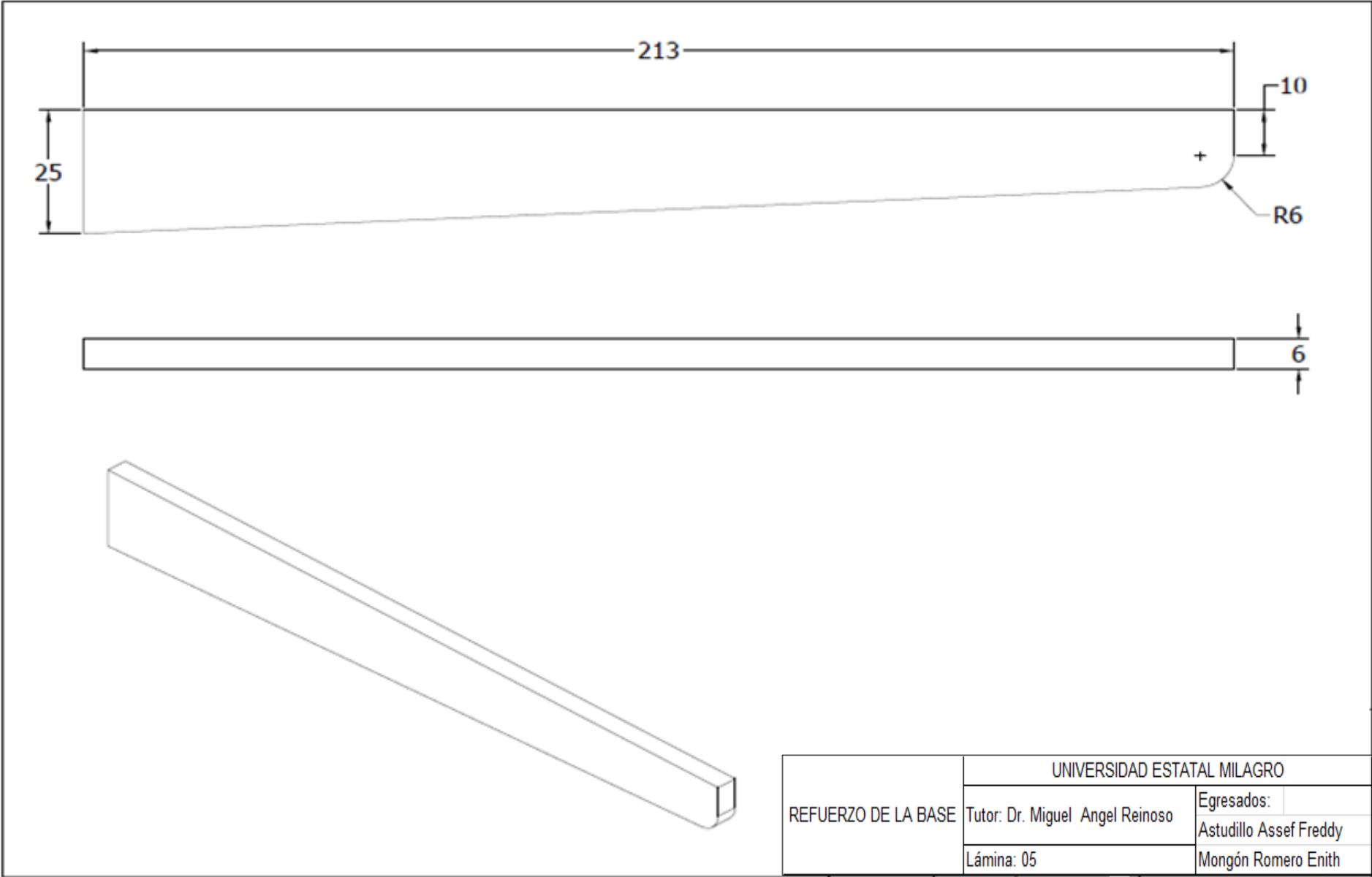
Anexo 6: Diseño del motor Stirling

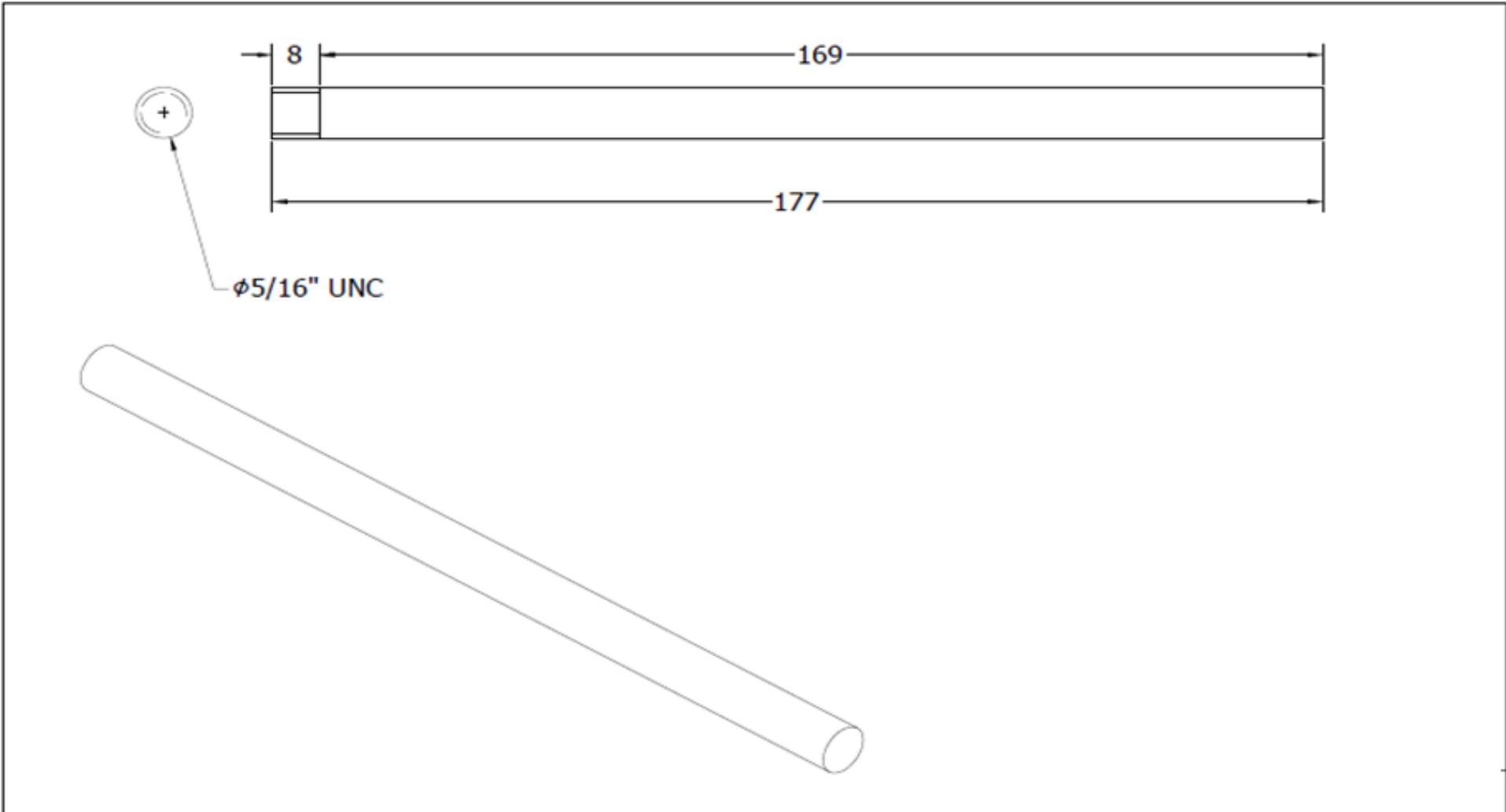




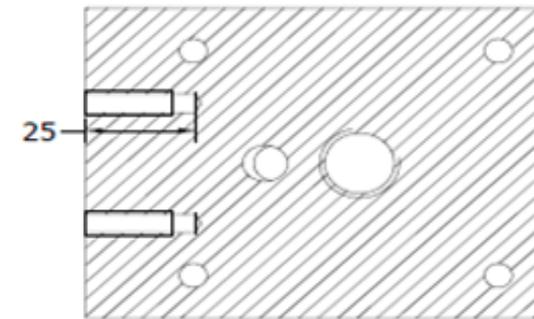
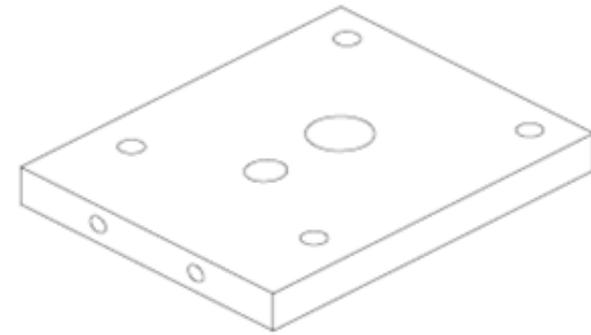
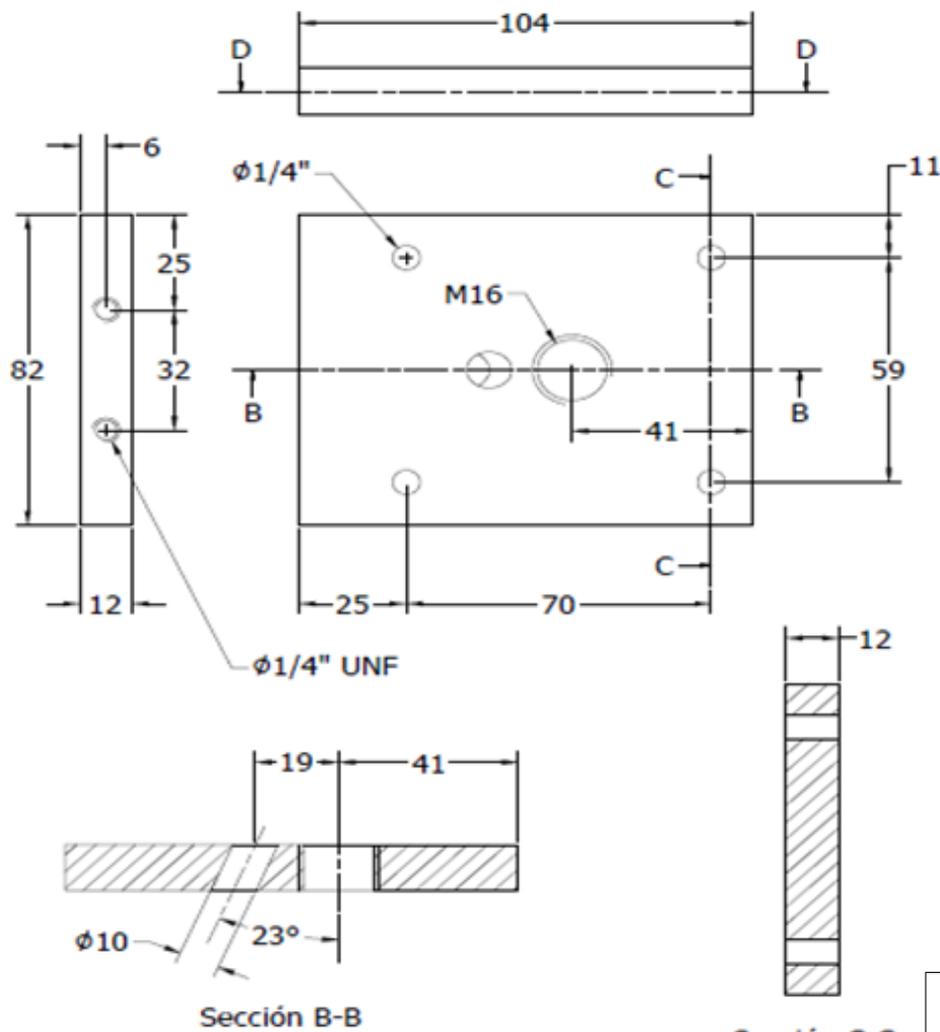


VOLANTE	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 04	Mongón Romero Enith



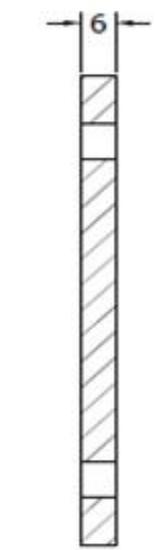
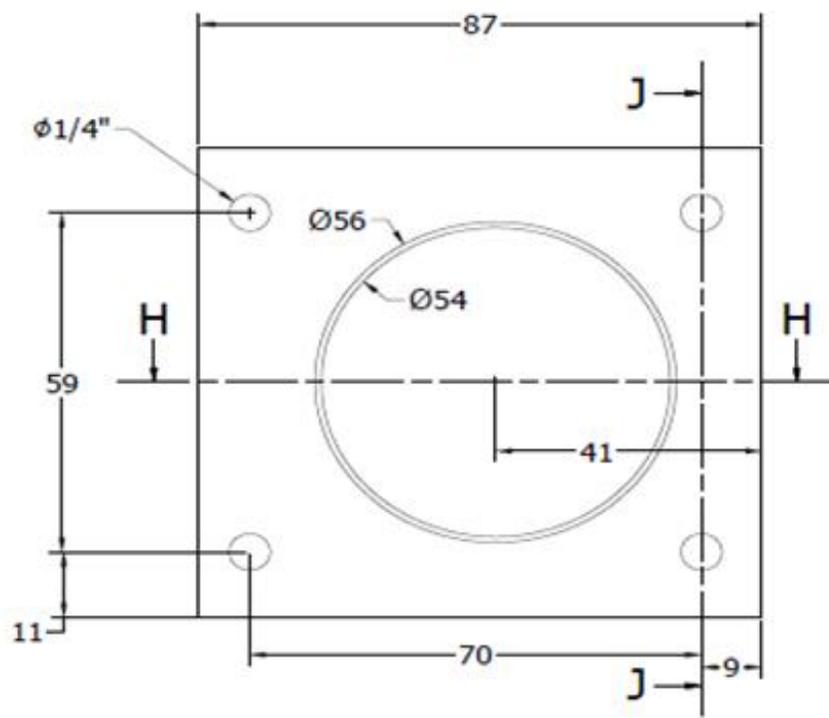


EJE PRICIPAL	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 06	Mongón Romero Enith

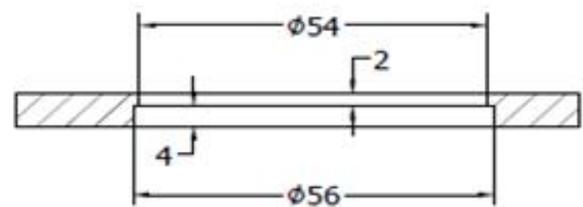
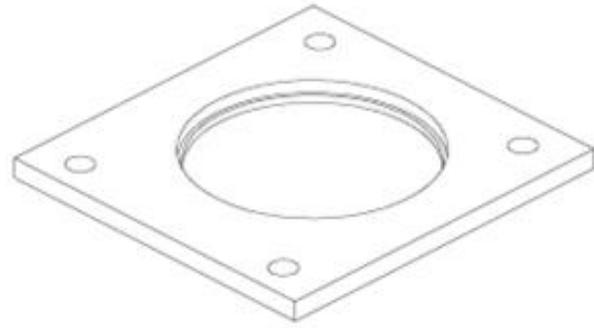


Sección D-D

BLOQUE DE MONTAJE	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 07	Mongón Romero Enith

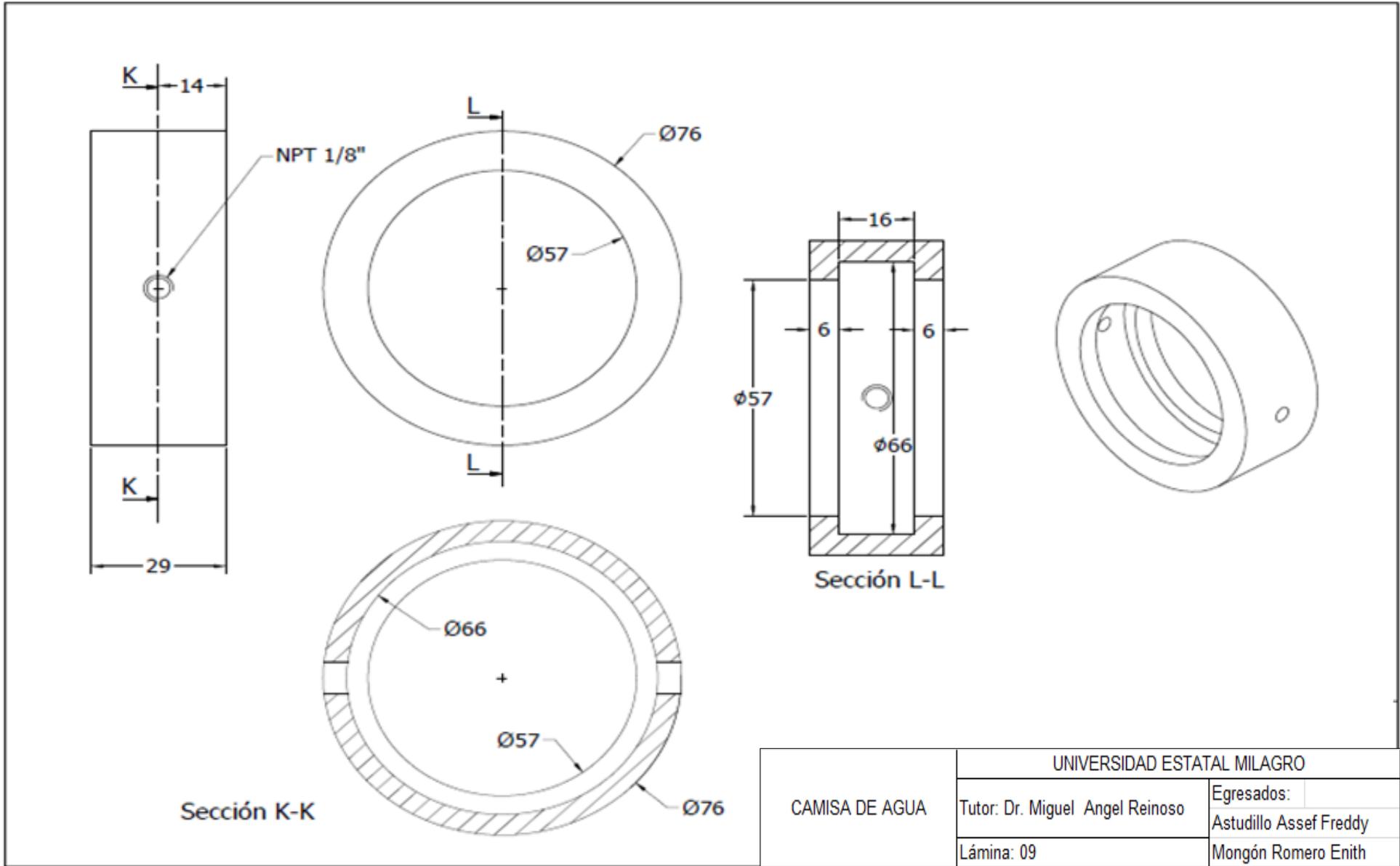


Sección J-J

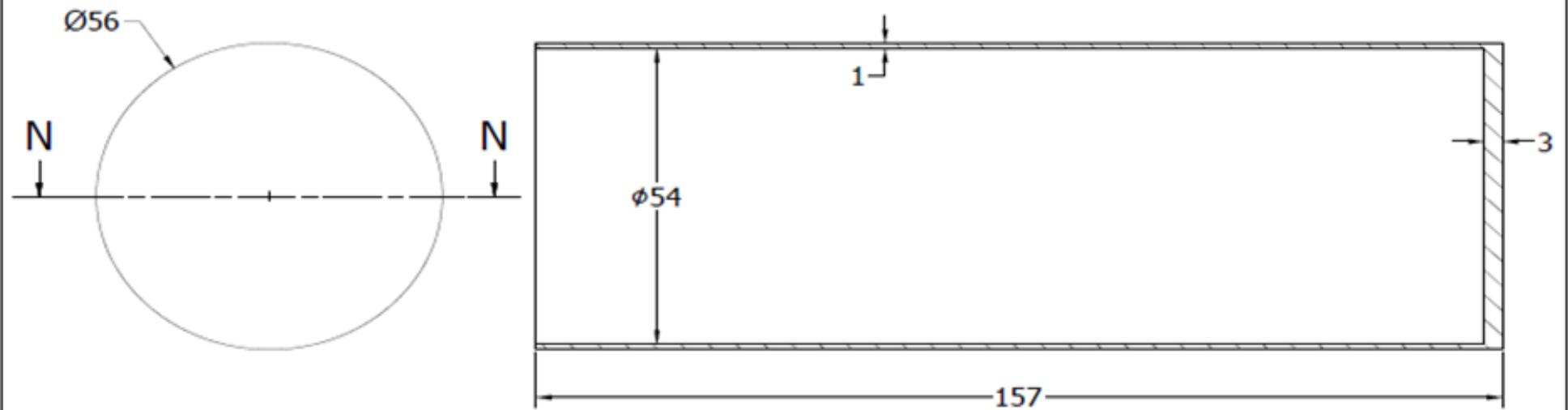


Sección H-H

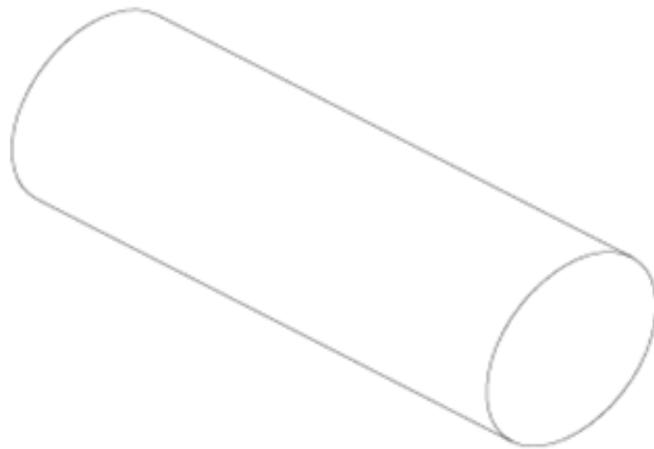
BRIDA DEL CILINDRO	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 08	Mongón Romero Enith



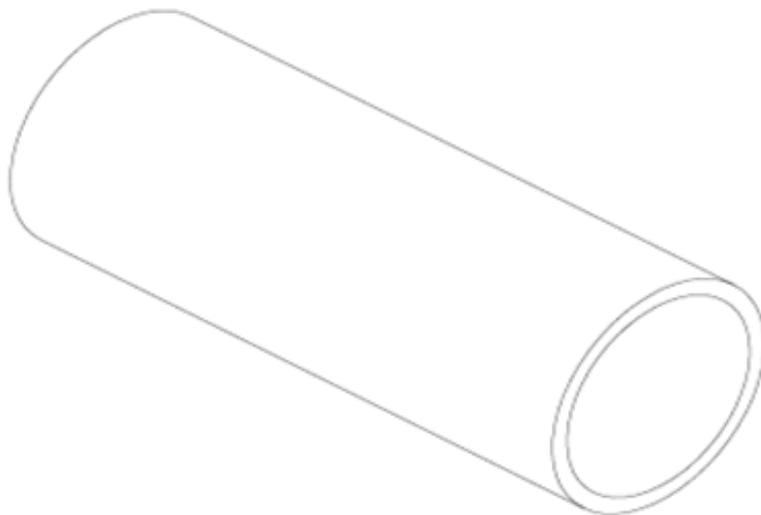
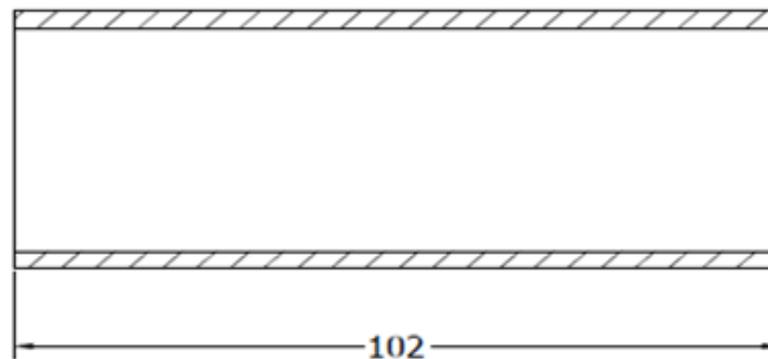
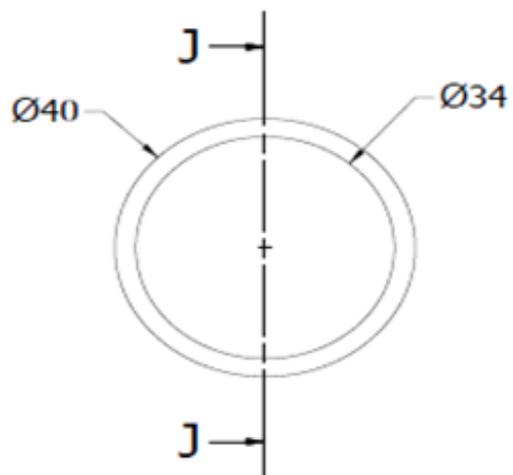
CAMISA DE AGUA	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 09	Mongón Romero Enith



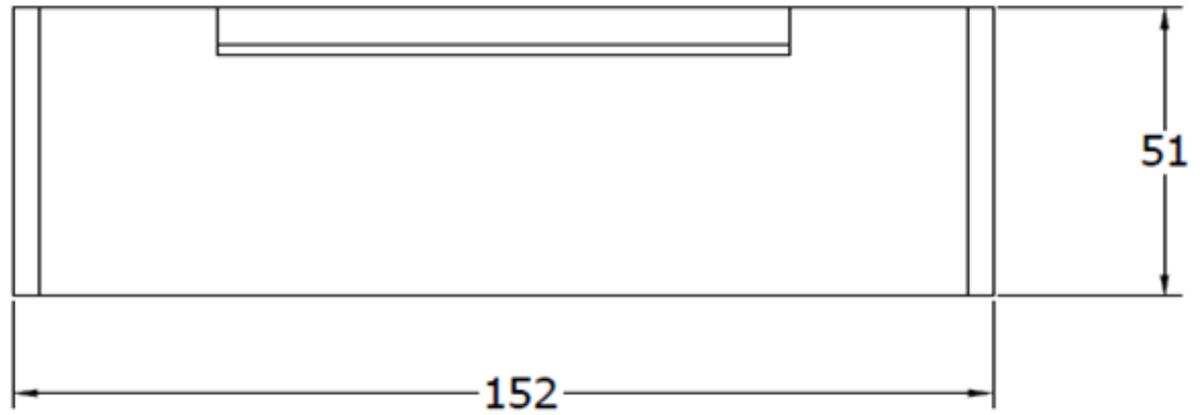
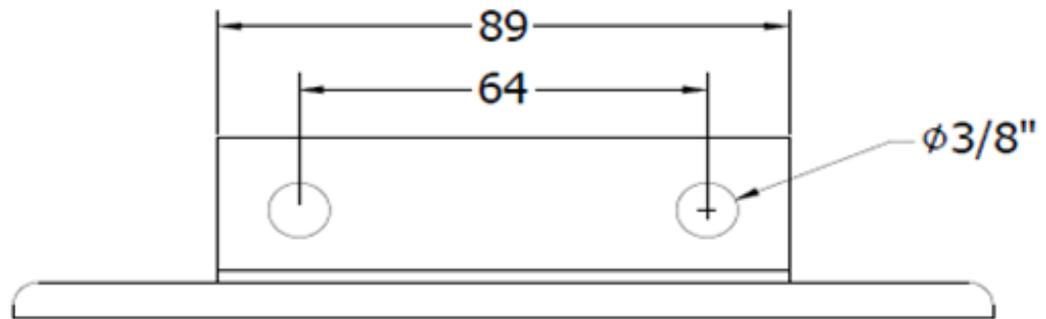
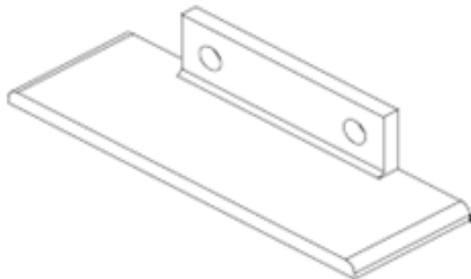
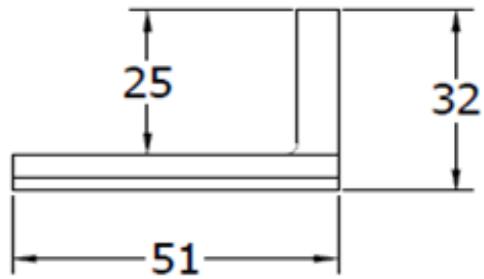
Sección N-N



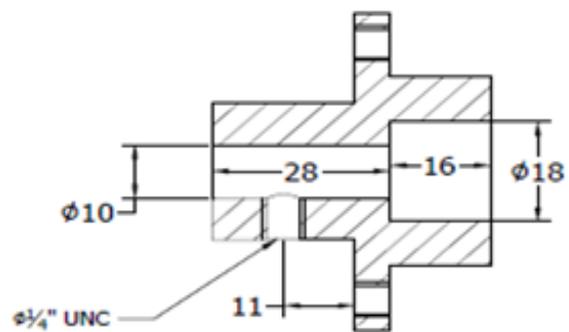
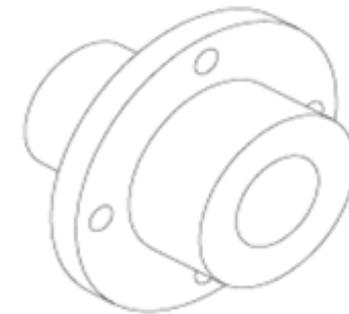
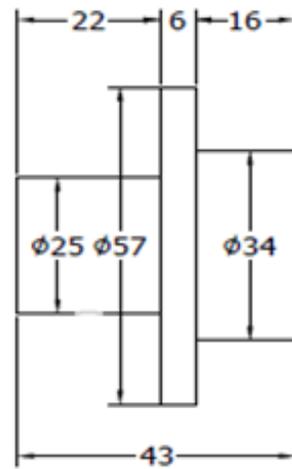
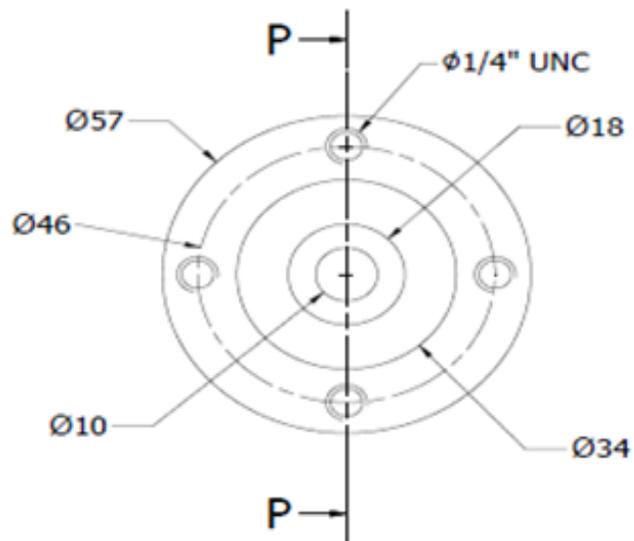
CILINDRO DE CAMISA DE FUEGO	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 10	Mongón Romero Enith



CILINDRO DE CAMISA DE FRIO	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 11	Mongón Romero Enith

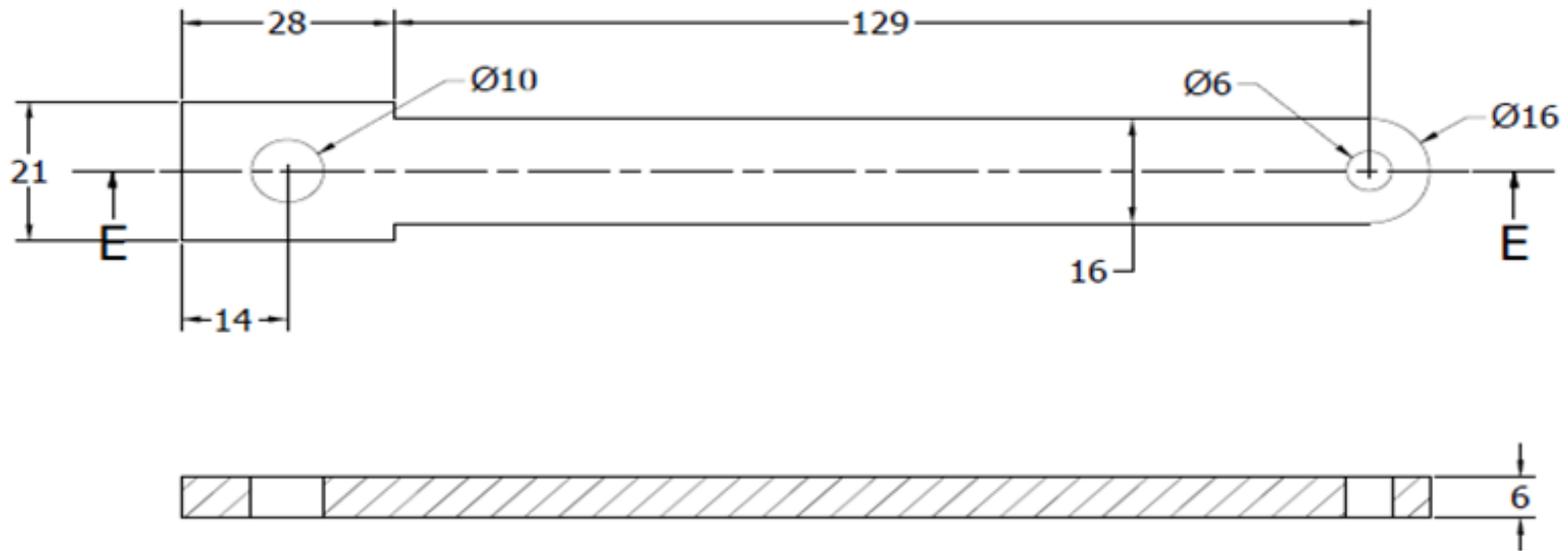


BASE DE FIJACION	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 12	Mongón Romero Enith

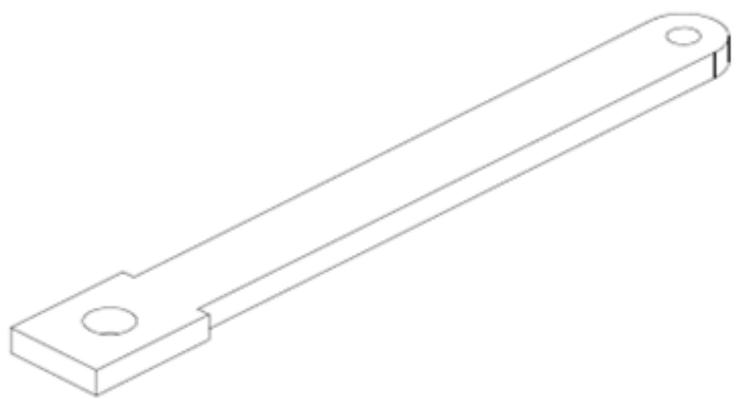


Sección P-P

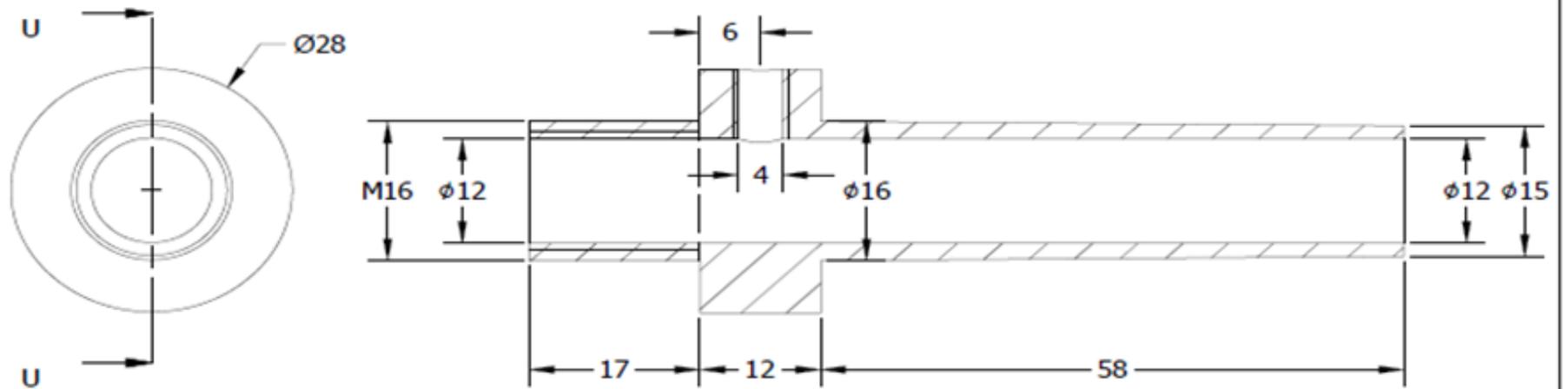
MANZANA DE FIJACION DEL VOLANTE	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 13	Mongón Romero Enith



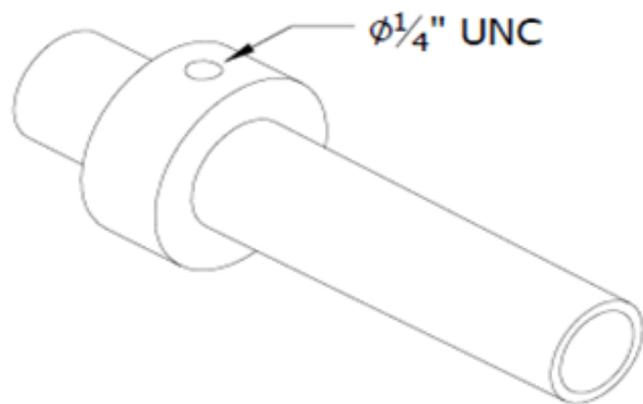
Sección E-E



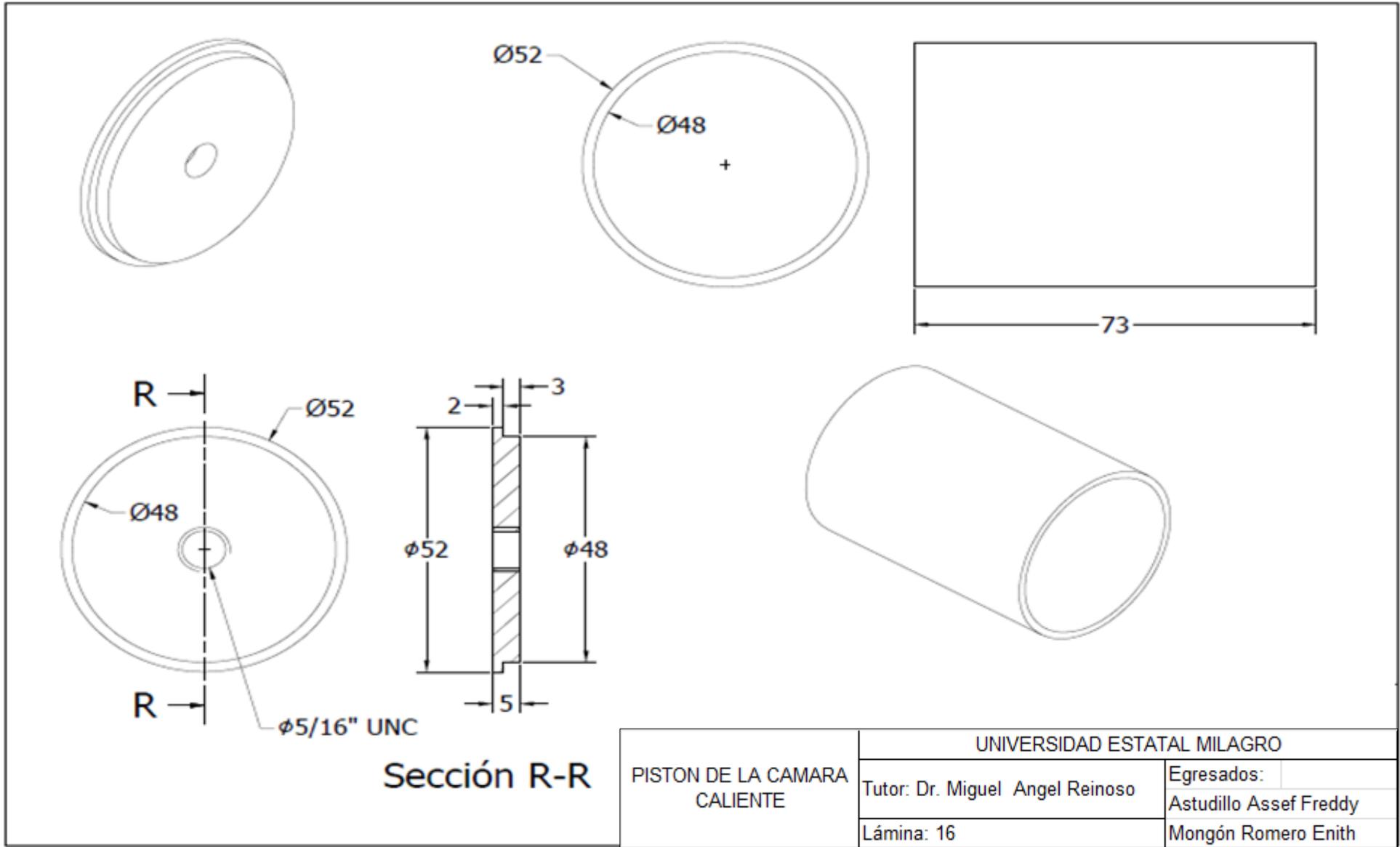
BRAZO DE BIELA	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 14	Mongón Romero Enith



Sección U-U

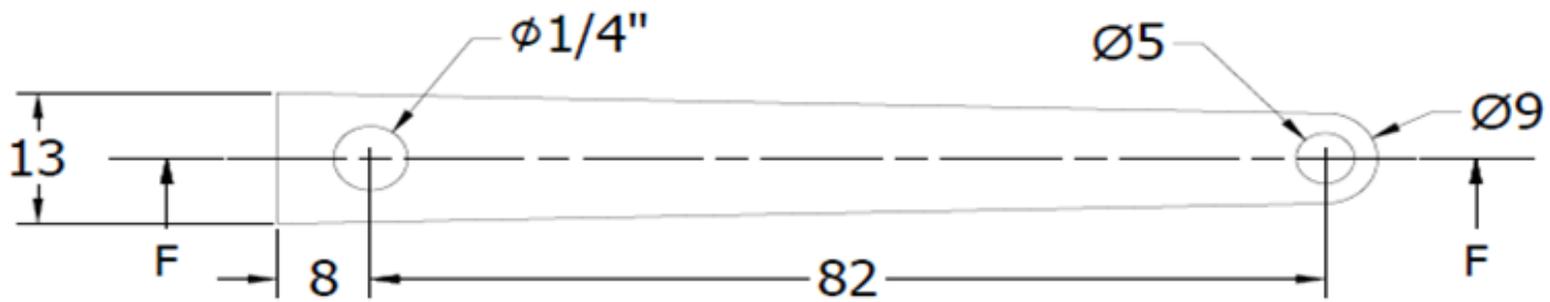


TUBO DESPLAZADOR DE BIELAS	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 15	Mongón Romero Enith

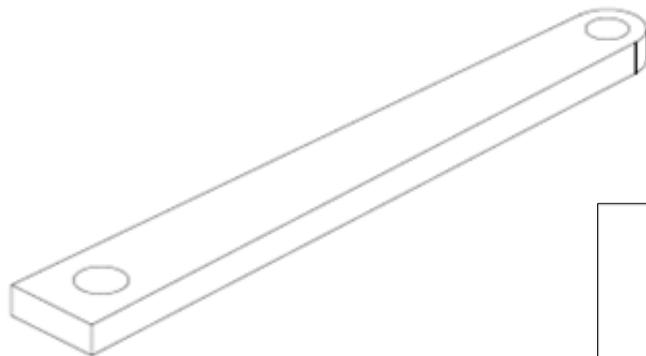


Sección R-R

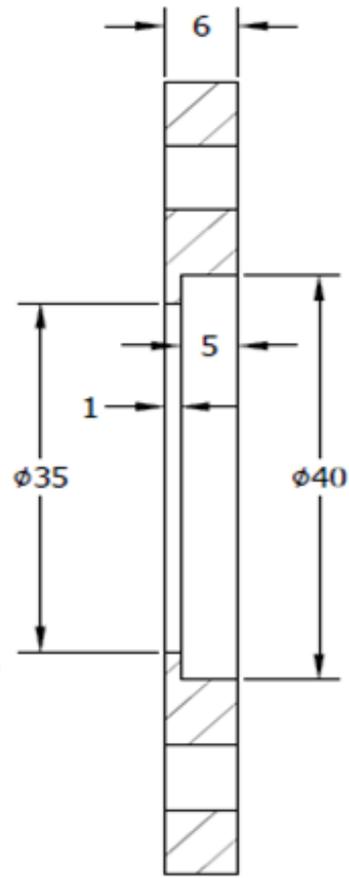
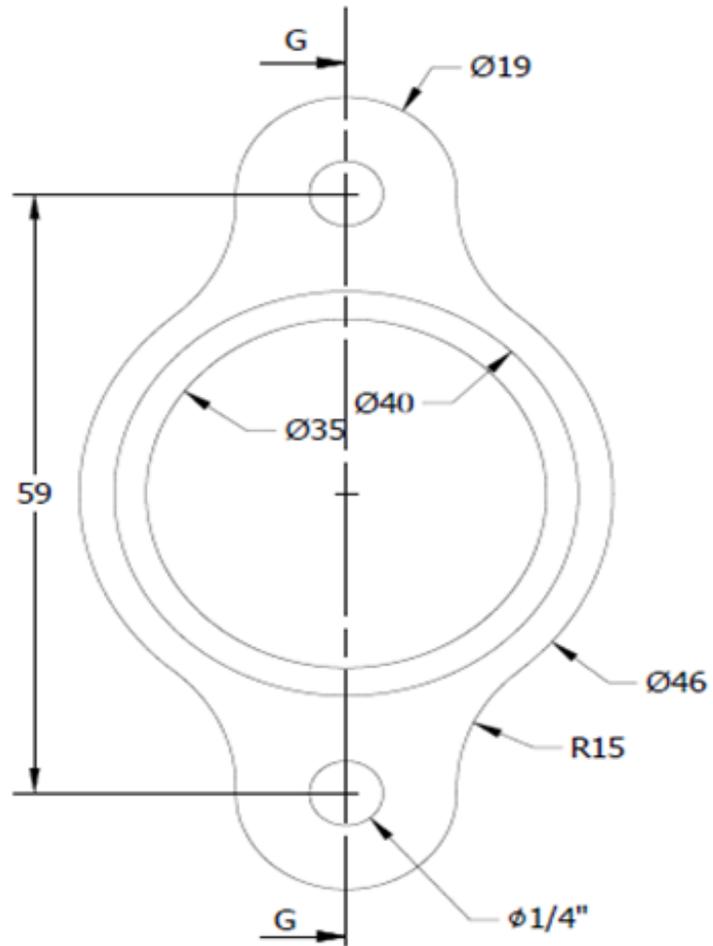
PISTON DE LA CAMARA CALIENTE	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 16	Mongón Romero Enith



Sección F-F



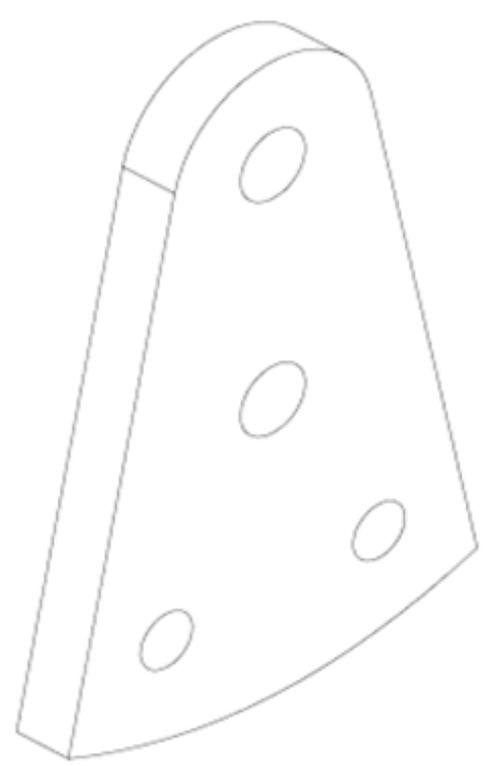
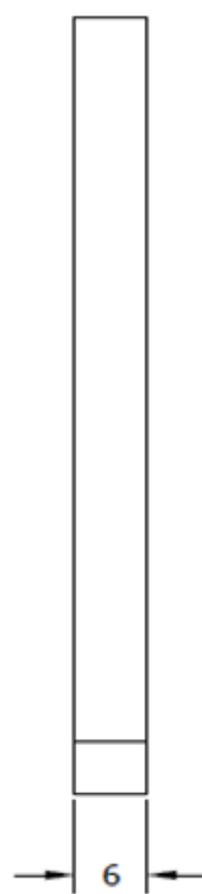
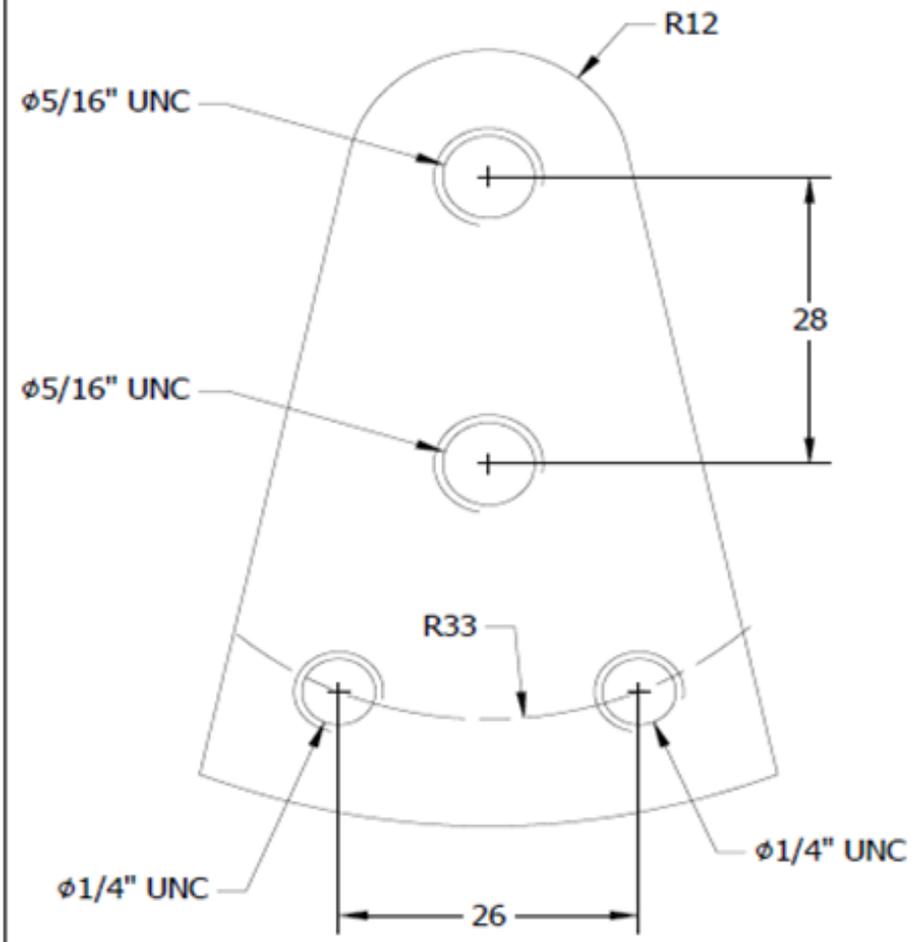
BRAZO DE BIELA	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 17	Mongón Romero Enith



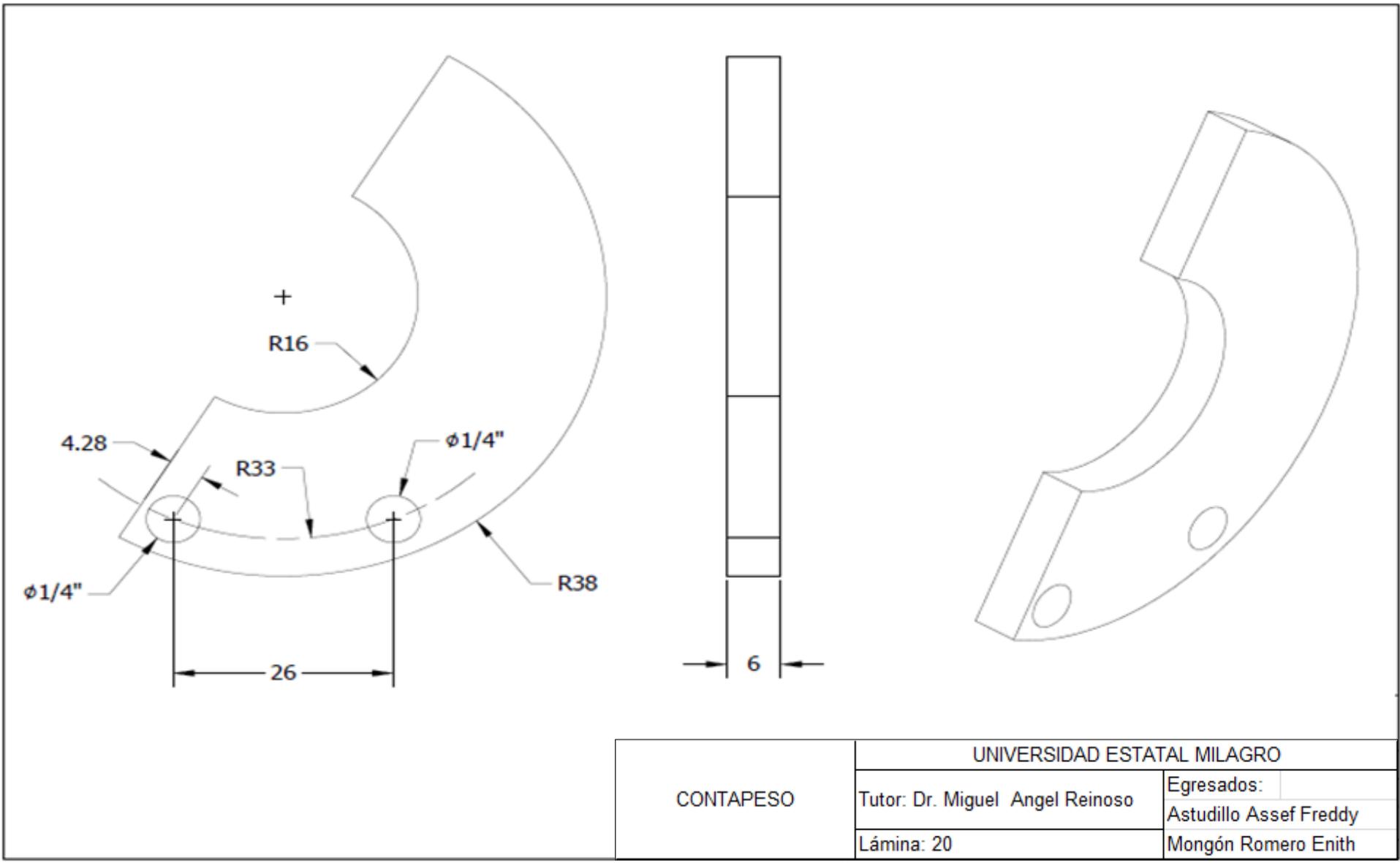
Sección G-G

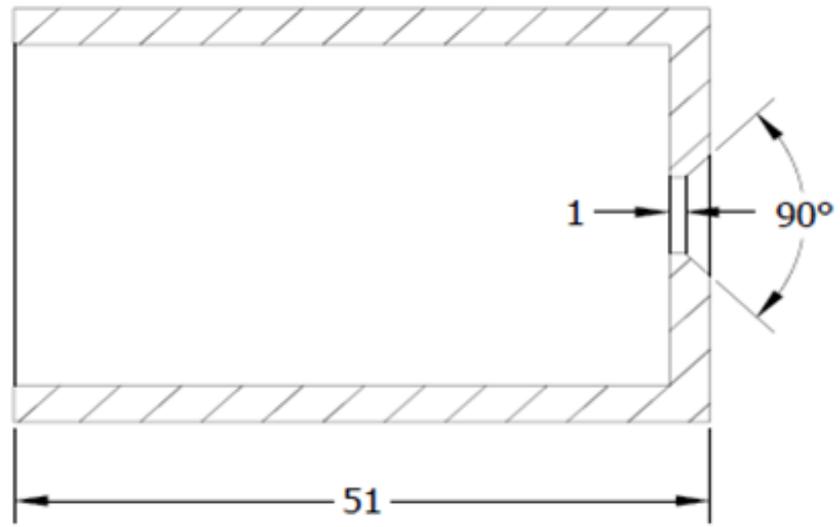
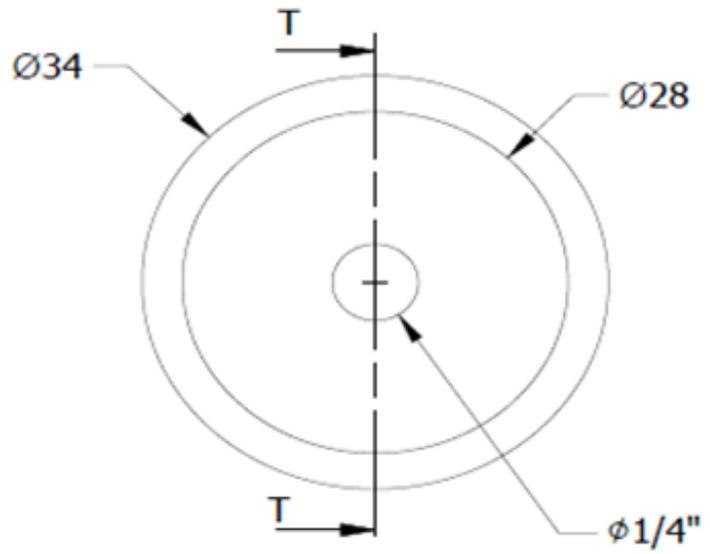


BRIDA	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 18	Mongón Romero Enith

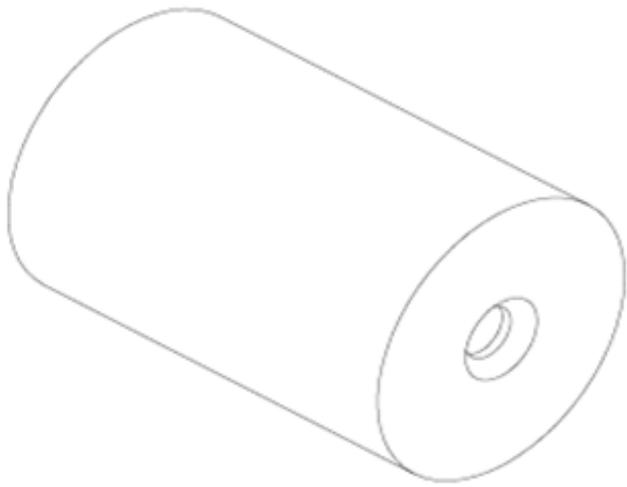


MANIVELA	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 19	Mongón Romero Enith

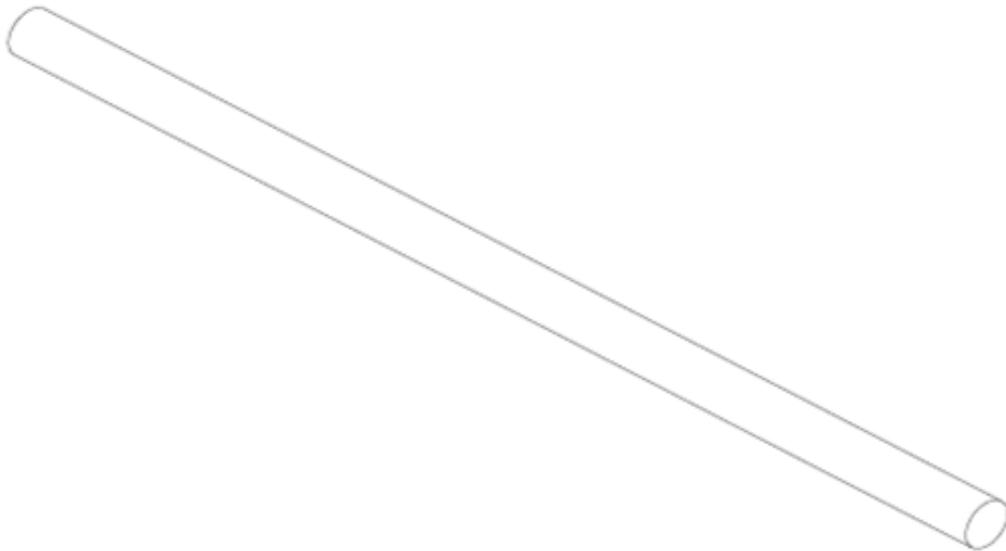
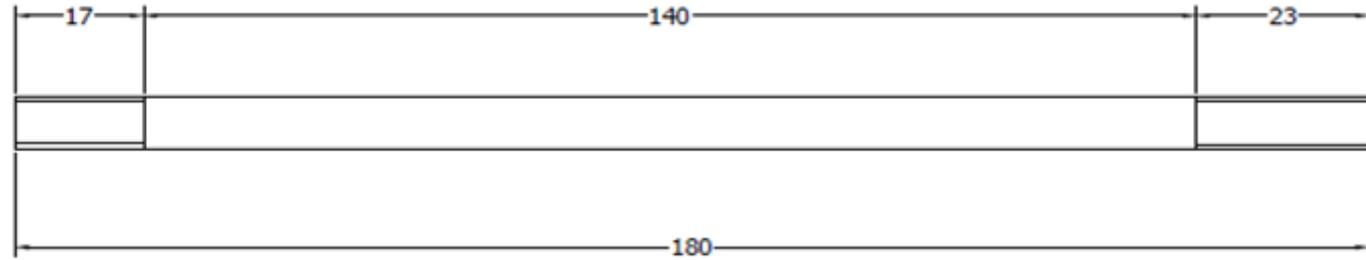
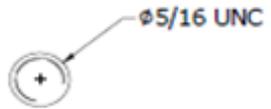




Sección T-T



PISTON DE PESO LIGERO	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 21	Mongón Romero Enith



VARILLA TUBO
DESPLAZADOR

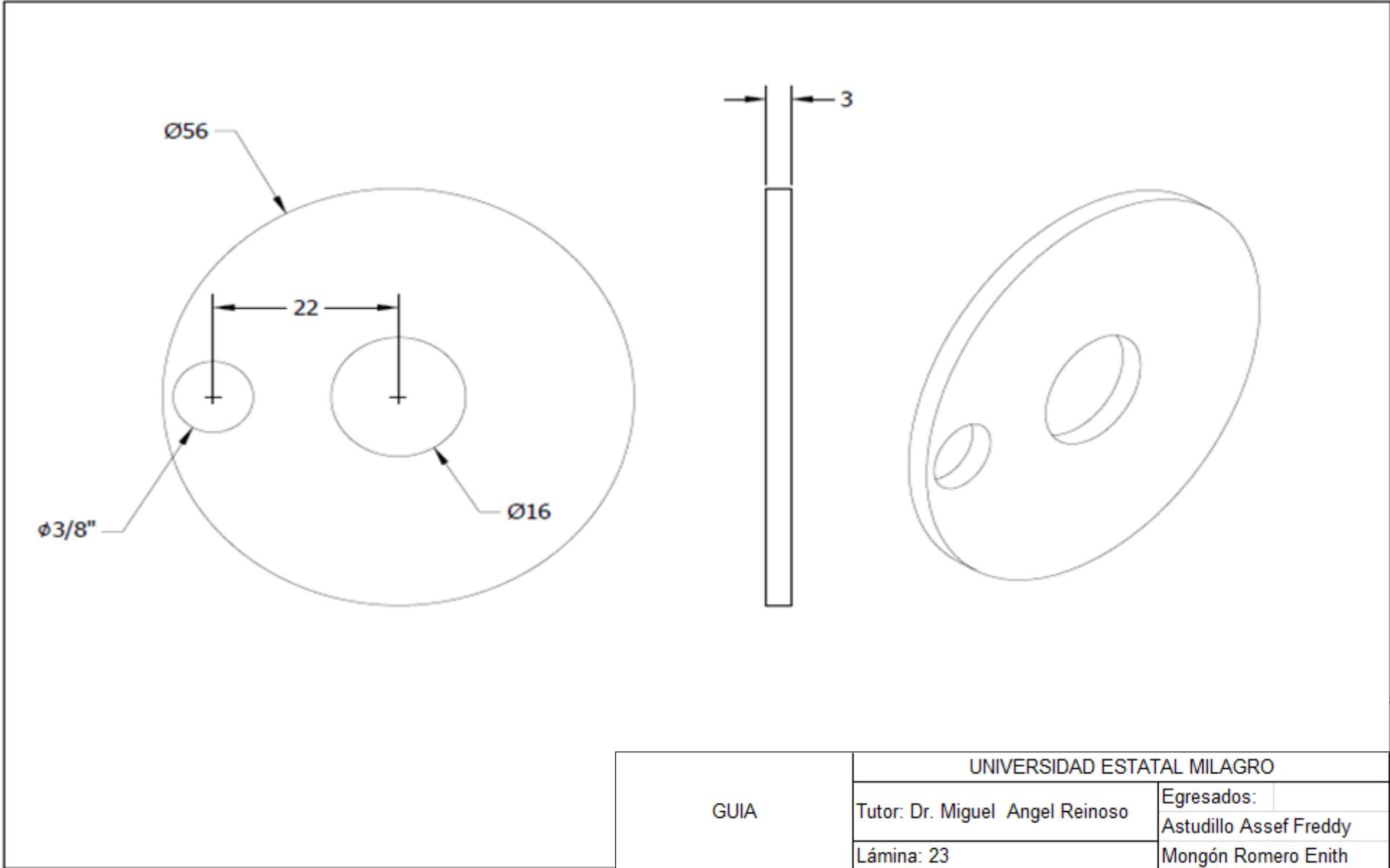
UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO

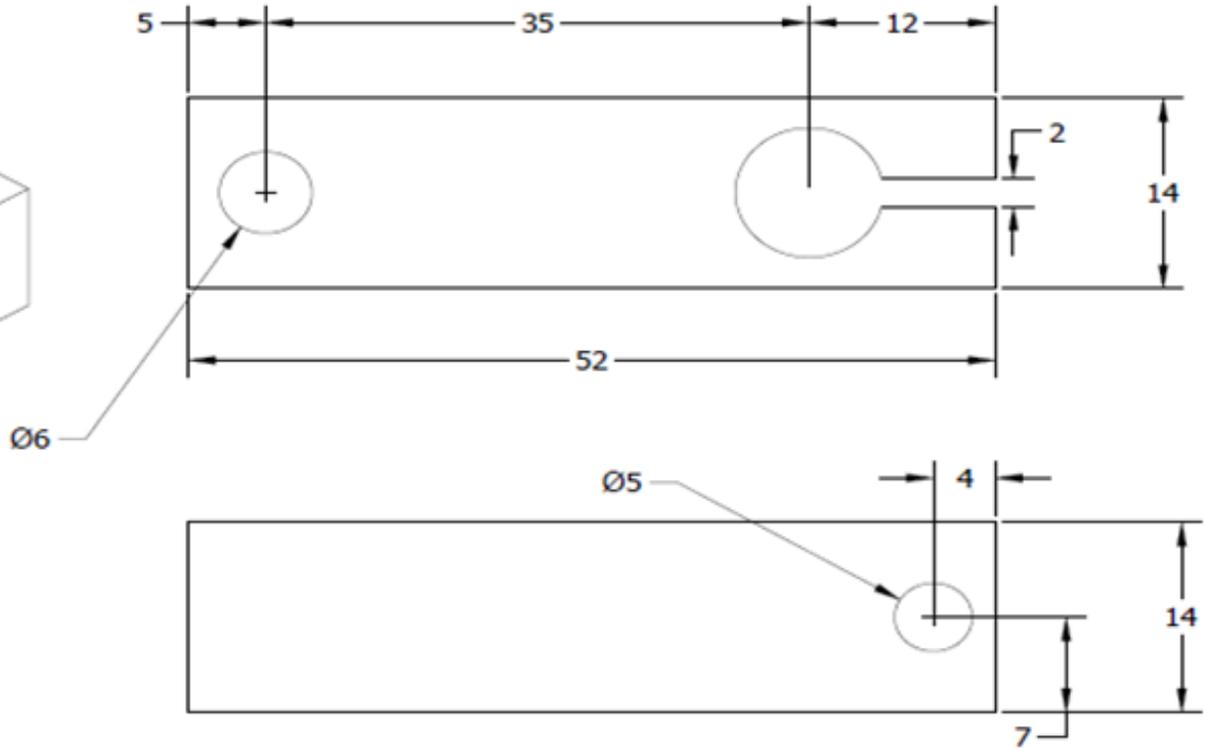
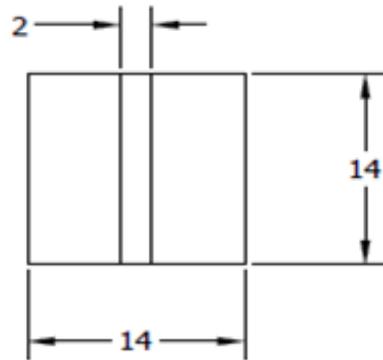
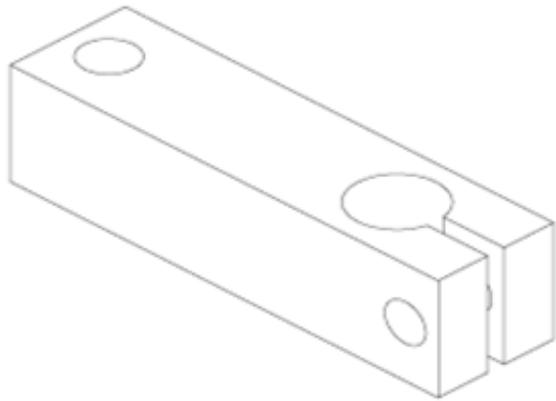
Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso

Egresados:
Astudillo Assef Freddy

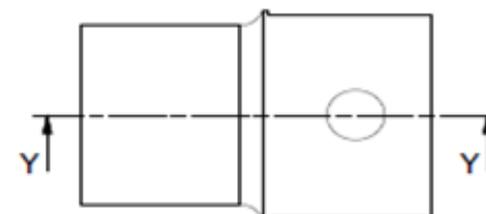
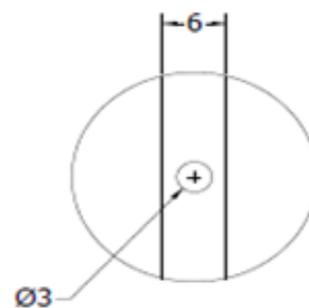
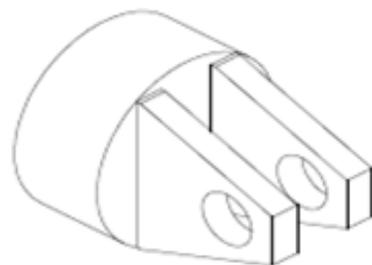
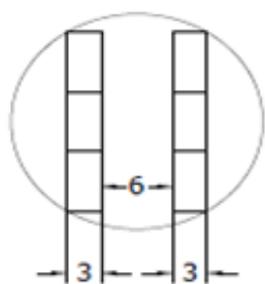
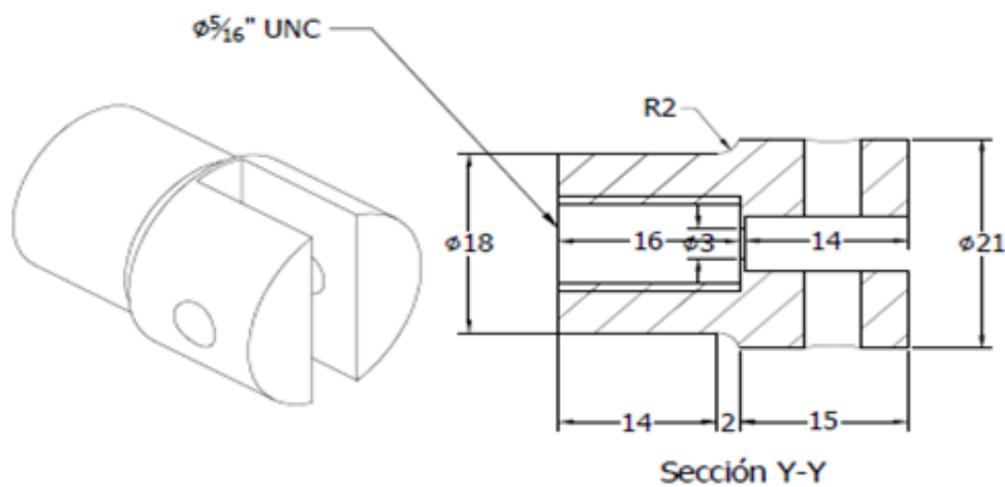
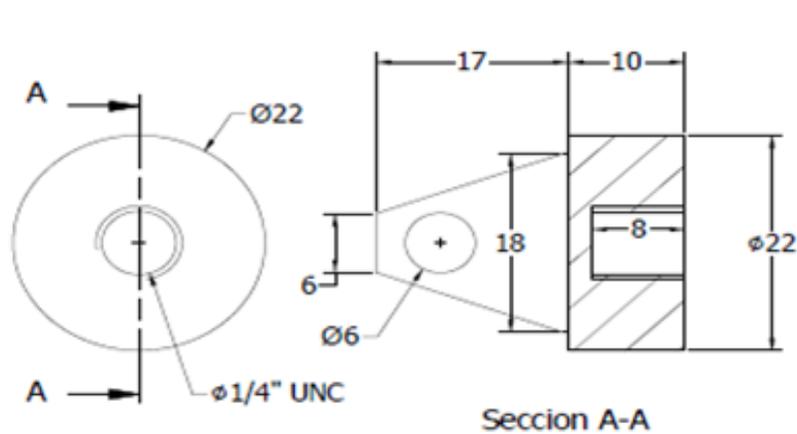
Lámina: 22

Mongón Romero Enith

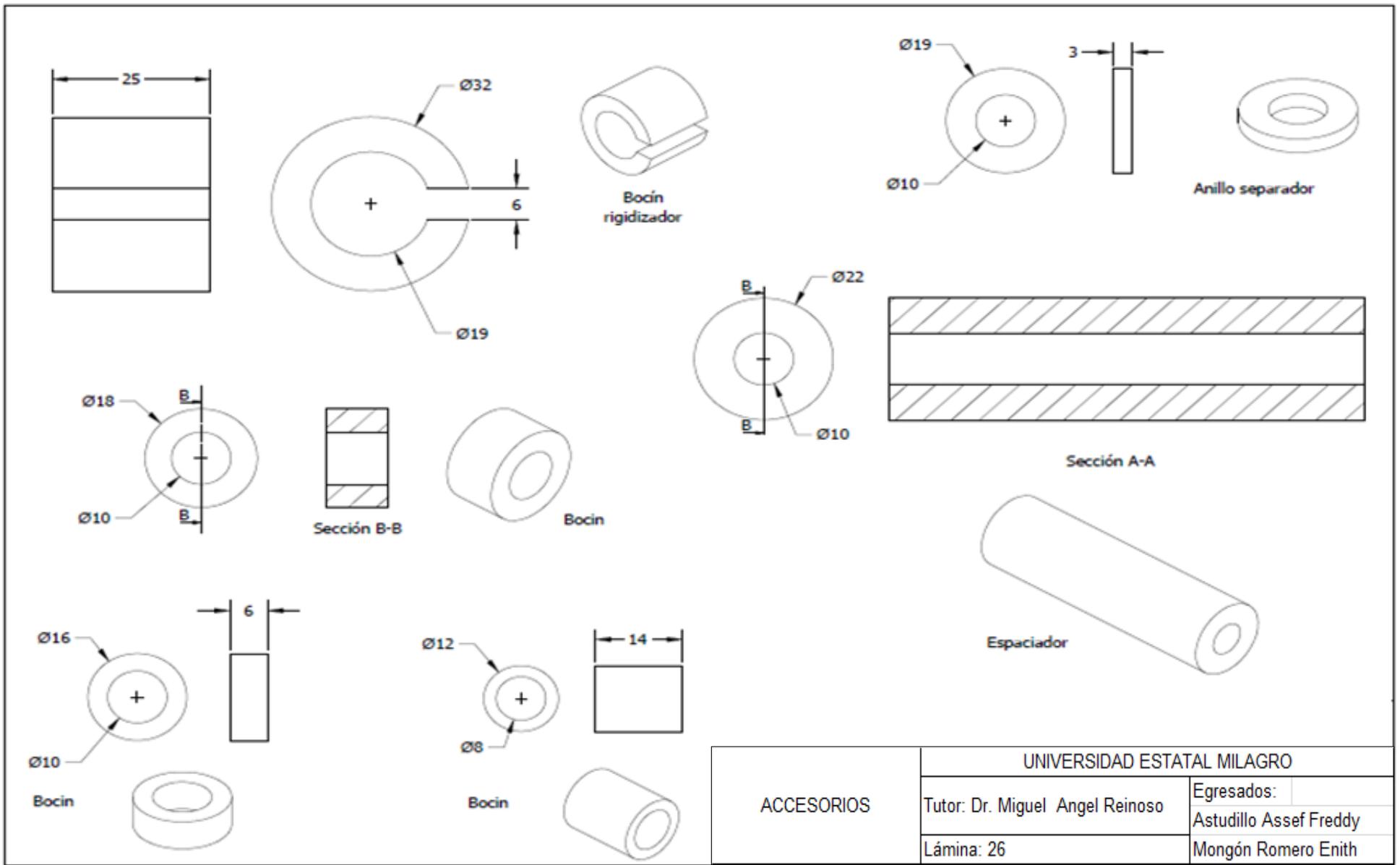




MANIVELA GRADUABLE	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 24	Mongón Romero Enith



ACOPLES DEL BRAZO DE BIELA	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 25	Mongón Romero Enith



ACCESORIOS	UNIVERSIDAD ESTATAL MILAGRO	
	Tutor: Dr. Miguel Angel Reinoso	Egresados: Astudillo Assef Freddy
	Lámina: 26	Mongón Romero Enith