



Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

Geotermia y motor Stirling: Caminando hacia la libertad

Taller de Proyecto
Informe final

Integrantes: Francisco Bucchi
Carlos Mancilla
Cristián Tolvett

Profesor: Rodrigo palma

Ayudantes: Ignacio Polanco
Daniel Jara

09 de Julio de 2008

Índice

1.	Resumen Ejecutivo	3
2.	Introducción	4
3.	Agradecimientos	5
4.	Cuerpo del Trabajo	
4.1	Estado del Arte	6
4.2	Ciclo Stirling	7-8
4.3	Modelo Ivo Kolin	9-10
4.4	Solución Propuesta	11-13
4.5	Plan de Trabajo	14
5.	Conclusiones	
5.1	Requerimientos y Apoyo Institucional	15
5.2	Costos, dificultades previsibles y solución	16
5.3	Conclusiones	17
6.	Referencias y Anexos	
6.1	Referencias	18
6.2	Anexos	19

1. Resumen Ejecutivo

El objetivo del proyecto de Geotermia aplicada a un motor Stirling es aportar a la diversificación de fuentes energéticas de nuestro país y generar un avance dentro del uso de la geotermia, aplicada al funcionamiento de un motor Stirling. La metodología específica empleada es en primer lugar la investigación del estado de arte tanto de la Geotermia como de los motores Stirling.

La geotermia es aquella que aprovecha el calor interior de la tierra, que se obtiene principalmente en zonas termales o cercanas a volcanes, y en los géiseres. Actualmente esta energía provee de energía eléctrica y agua caliente a diversas poblaciones del mundo, y representa, junto a otras energías renovables, una solución a los problemas de abastecimiento de energía en el mundo.

El motor Stirling fue inventado en 1816 por el escocés Robert Stirling. Es un motor de ciclo cerrado muy eficiente. El principio de funcionamiento, en términos simples, es el trabajo mecánico realizado por la expansión y contracción de un gas, utilizando diferencias de temperaturas. Este motor presenta muchas ventajas, tales como sencillez, diversidad de fuentes de calor para su funcionamiento, bajo costo y muy eficiente.

El ciclo de Stirling consta de cuatro etapas: una de compresión del gas a temperatura constante, una de absorción de calor a volumen constante, una de expansión del gas a temperatura constante y una de enfriamiento del gas a volumen constante.

En el paso de elegir el modelo de motor a construir aparece la disyuntiva de hacer un motor de disco plano o un motor LTD. Se decidió hacer el motor Stirling LTD ya que está extensamente documentado, existen muchas experiencias con ese modelo y es fácilmente adaptable a ser utilizado con energía geotérmica.

Seguido a esto se procede a modificar un diseño existente restringiéndonos a los materiales disponibles y a las capacidades de financiamiento del proyecto. Se decide construir un motor con 38 cm de radio basal, con el fin de construir un motor de mayor dimensión a los que normalmente se construyen.

Con el fin de adaptar el motor a funcionar con energía geotérmica, representada por agua caliente, se decide dejar una cavidad en la parte inferior del cilindro mayor del motor, de tal forma que pueda contener el agua caliente.

Para la construcción de este motor Stirling LTD se sigue un plan de trabajo, el cual fue excedido en una semana debido a problemas difíciles de prever. Para poder solucionar estos problemas y contar con asesoría técnica se tiene el apoyo del encargado de laboratorio de Mecánica del DIE, Vladimir. Además se necesita del financiamiento de la Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas.

2. Introducción

En este capítulo se dan a conocer las motivaciones, objetivos generales y específicos que impulsan la elaboración de este trabajo, para luego describir la metodología y estructura del proyecto.





En la búsqueda de satisfacción de nuestras necesidades básicas, y en muchos casos necesidades adquiridas, el ser humano ha pasado a llevar a la naturaleza y su equilibrio. Lamentablemente el actual modelo económico nos ha llevado, en esta búsqueda, a una sociedad de consumo excesivo de energía y recursos. En respuesta a esto han surgido intentos por avanzar hacia un modelo de desarrollo sustentable que, sin embargo, se encuentran aún poco concretizados. Dentro de estos intentos la energía juega un rol muy importante, existiendo muchas alternativas a las actuales fuentes de obtención de energía. En particular la Geotermia, o energía proveniente del centro de la tierra, posee importantes características que pueden ayudar a obtener energía barata y de forma responsable con el medio ambiente ⁽¹⁾. Nuestra motivación para buscar una aplicación nueva de la energía geotérmica apunta en este sentido.

Por otro lado los motores Stirling, creados por el reverendo Stirling en 1816, presentan características que podrían ser utilizados en la búsqueda de hacer más eficiente el consumo de energía. Esto se debe a que los motores Stirling utilizan el ciclo de Stirling ⁽²⁾, uno de los más eficientes ideados por el Ser Humano. Además es un motor de alta aplicabilidad social, al ser barato y utilizable con casi cualquier tipo de energía. Estas y otras bondades nos motivan a investigarlo para generar conocimiento y avance en torno a este tipo de motor.

El problema que esperamos resolver es el de aplicar la energía Geotérmica en el funcionamiento de un motor Stirling. Además esperamos generar conocimiento en torno a la construcción y diseño de motores Stirling. Esto ya que la gran mayoría de motores existentes presentan un tamaño que no supera los 20 cm. de diámetro en su cilindro mayor. Nosotros tenemos el desafío de diseñar, construir y hacer funcionar un motor Stirling de dimensiones mayores a la mencionada.

El objetivo general de este proyecto es aportar a la diversificación de fuentes energéticas de nuestro país y generar un avance dentro del uso de la geotermia, aplicada al funcionamiento de un motor Stirling.

Basados en el objetivo general de este proyecto se definen los siguientes objetivos específicos:

-  Estudiar el Estado de arte de la Geotermia y motor Stirling a nivel mundial y nacional
-  Estudiar algunos motores Stirling
-  Elegir un motor Stirling y adaptarlo para ser utilizado con agua caliente
-  Lograr que el motor funcione y medir su eficiencia

De acuerdo a los objetivos planteados para el trabajo, la estructura de este es la que se detalla a continuación.

En primer lugar se investigará sobre el estado de arte de la Geotermia y de los motores Stirling, con el fin de recopilar información. Posteriormente discutiremos nuestras posibilidades reales para establecer la metodología a seguir con el fin de satisfacer los objetivos generales del proyecto. Finalmente se informa el modelo de motor Stirling elegido y los resultados obtenidos después de haberlo construido.

3. Agradecimientos

Nuestros agradecimientos van para Vladimir, encargado de Laboratorio, por habernos prestado su ayuda y compartido su experiencia con nosotros a la hora de construir este motor.

También queremos agradecer al profesor Rodrigo Palma por habernos asesorado en el inicio de este proyecto, y por tener muchas esperanzas puestas en él.

También queremos agradecer a Daniel Jara, ayudante del grupo, quien siempre se preocupó de nosotros y en ningún momento nos dejó solos.

Además queremos dar las gracias a Manuel, el encargado del laboratorio de Hidráulica, por prestarnos su ayuda cuando se la solicitamos.

4. Cuerpo del Trabajo

4.1 Estado del Arte

Dado el creciente aumento en la demanda de Energía a nivel mundial, con la consiguiente elevación de los precios para producirla debido a una escasez cada vez más notoria de las fuentes tradicionales, dígame carbón, petróleo, gas, etc., y considerando la situación ambiental actual, es que surge la necesidad, en el hombre y en la sociedad en general, de obtener Energía a través de métodos y fuentes alternativas. Tal es el caso de la Energía Eólica, Solar, Mareomotriz, etc., llamadas Energías Renovables.

Dentro de dicho grupo es que se presenta la Energía Geotérmica, es decir, aquella que aprovecha el calor interior de la tierra, que se obtiene principalmente en zonas termales o cercanas a volcanes, y en los géiseres. Esta tecnología, aplicada para obtener electricidad, fue utilizada por primera vez en 1904 en Larderello, Italia. Un siglo más tarde, el uso de ésta fuente energética ha crecido considerablemente. De hecho, las centrales geotérmicas proveen sobre 44 billones de kilowatt hora de electricidad anualmente a través del mundo y la capacidad mundial crece en aproximadamente 9% al año ⁽³⁾.

Chile es un lugar privilegiado en cuanto a fuentes de Energía Geotérmica, debido a que se encuentra ubicado sobre el “Cinturón de Fuego del Pacífico” caracterizado por una fuerte actividad volcánica ⁽⁴⁾. Es por ello que posee un gran número de zonas con actividad geotermal a lo largo de todas sus regiones ⁽⁵⁾. Actualmente no cuenta con una planta o una producción continua de energía vía esta tecnología, pero se están realizando diversos estudios de posibles fuentes para el futuro, así como se está legislando para disminuir costos. Tal es el caso de ENAP quien hace dos meses, anunció que empezaría a explotar este tipo de energía en el norte del país para obtener energía eléctrica, en conjunto con una minera de Antofagasta. Aún más, existe una empresa chilena (Geotermia Ingeniería) que de a poco pretende calefaccionar casas en base a energía geotérmica, con proyectos ya finalizados en casas del sur del país.

En el contexto de la Energía Geotérmica, es que surge una tecnología mecánica para aprovechar dicha fuente: el motor Stirling. El motor fue inventado en 1816 por el escocés Robert Stirling. El principio de funcionamiento, en términos simples, es el trabajo mecánico realizado por la expansión y contracción de un gas, utilizando diferencias de temperaturas. Dicha tecnología puede aprovechar la energía solar como fuente de calor. Tal es el caso de La Plataforma Solar de Almería, en España, donde se han construido grandes motores que captan la energía del sol a través de discos parabólicos, y posteriormente la transforman en electricidad. Es aquí donde cabe la energía geotérmica como fuente para el motor Stirling, y como alternativa a la fuente solar. Hasta el momento, la construcción y posterior implementación de dichos motores utilizando la energía geotérmica, no ha pasado más allá del experimento con implementaciones a pequeña escala. De hecho en el mercado mundial sólo existen a la venta motores de “juguete”.

En Chile las iniciativas en torno a este tema, se han desarrollado principalmente en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, a través de proyectos en el ramo de Seminario de Diseño, tesis de grado de algunos alumnos, y en especial por la cooperación del profesor Roberto Román. Más allá de la investigación y la implementación de modelos menores, no hay antecedentes de un uso del motor Stirling a mayor escala.

4.2 Ciclo Stirling

El ciclo Stirling es un ciclo termodinámico que describe el funcionamiento de los motores Stirling.

Se trata de un ciclo reversible, es decir que en vez de proporcionarle una diferencia de temperatura y generar trabajo mecánico, es posible entregarle energía mecánica y producir calor o frío.

Se dice que es un ciclo cerrado (el gas nunca abandona el ciclo) y regenerativo (utiliza un “intercambiador” de calor que aumenta la eficiencia).

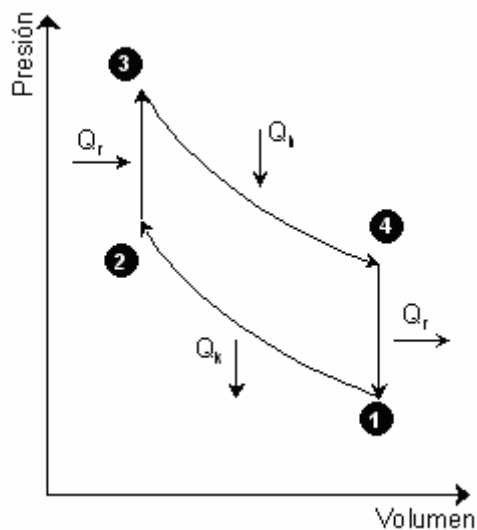


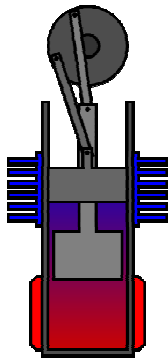
Figura 1

El ciclo se divide en cuatro partes:

1. En la primera, y por causa de una fuente externa de calor, el gas se expande a temperatura constante (proceso isotermal).
2. En segunda instancia, el gas pasa a través del desplazador (entregándole calor para el siguiente ciclo) y se enfría. Este se trata de un proceso isocórico, es decir a volumen constante de gas.
3. Ahora el gas se encuentra en la zona fría y por tanto se contrae (a temperatura constante).
4. Finalmente el gas baja nuevamente hasta llegar a la parte caliente y así comenzar un nuevo ciclo (a volumen constante).

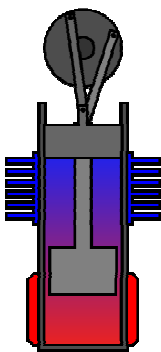
En el motor:

El motor con que se explica el ciclo es muy parecido al expuesto en este informe, y consta de un pistón de poder (gris oscuro) y un desplazador (gris claro).



1. El pistón de poder comprime el gas, mientras el desplazador se mueve de forma tal que la gran parte del gas quede posicionada en la parte caliente del motor (abajo).

Figura 2



2. El gas caliente aumenta la presión y empuja el poder de pistón a su tope por arriba, que coincide con el punto más elevado de la rueda de giro.

Figura 3

3. El desplazador baja y obliga al gas a subir y posicionarse en la parte fría del motor (arriba).

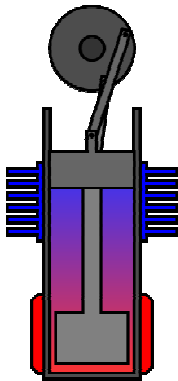
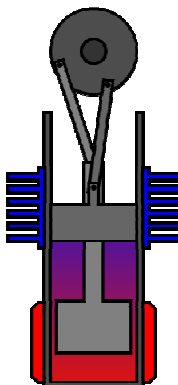


Figura 4



4. El gas ahora frío, es comprimido por la inercia del disco de giro, lo que lo hace bajar y comenzar así un nuevo ciclo.

Figura 5

4.3 Modelo Ivo Kolin

En el proceso de investigación de distintos motores Stirling encontramos que dos son las alternativas posibles para la aplicación la geotermia a un motor Stirling. El primero de ellos corresponde al modelo de disco plano de Ivo Kolin.

Modelo De disco plano (Flachplatten-Stirlingmotor)

El primer modelo estudiado fue el modelo de motor Stirling de disco plano, modelo ideado por el profesor Ivo Kolin de la universidad de Zagreb, Croacia.

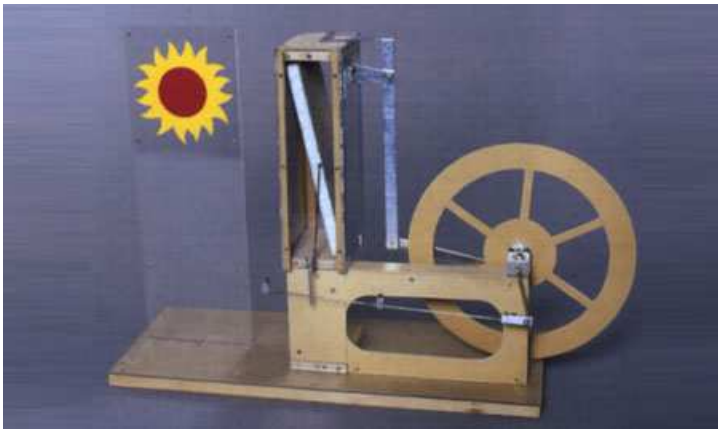


Figura 6

* Estructura

El motor consta de una cámara de trabajo en la cual se obtiene el diferencial de energía, en esta cámara se encuentra el pistón que a su vez hace el papel de regenerador que ayuda a la cinética del gas dentro de la cámara. La pared del lado frío de la cámara contrapuesto a la pared del lado caliente está diseñada como una membrana plástica que se estira y se contrae en las diferentes etapas del ciclo. El pistón y la membrana plástica están unidos a un disco de inercia que gira según el movimiento de estos elementos.

Este modelo, utilizado principalmente con energía solar, consta de 4 etapas o fases en el ciclo completo del motor.

Fase 1 a 2

- El gas en la cámara de trabajo será comprimido bajo enfriamiento por el trabajo hecho por parte del pistón. El pistón se mantiene en el lugar caliente.

Fase 2 a 3

- A este momento el pequeño volumen de gas frío lleva el pistón del lado caliente al lado frío. El aire corre a través del pistón/regenerador y toma calor.

Fase 3 a 4

- El aire calentado se expande y presiona la membrana hacia fuera ligeramente. Este tipo de movimiento será llevado por el disco y se transforma en la fuerza de trabajo. El aire se expande a su máximo en el lugar caliente.

Fase 4 a 1

- El pistón se dobla por el gran volumen de gas caliente desde el lado frío al lado caliente. El gas caliente corre a través del regenerador hacia el lado frío entregándole calor. Luego se vuelve a la fase 1.

* Dificultades del Diseño.

Al tomar este diseño como una posibilidad real se encontraron inmediatamente varias dificultades en su implementación. En primera instancia el material escrito disponible para la construcción del motor era insuficiente y éste se encontraba en alemán.

Otros problemas que se presentaron fueron de carácter técnico y financiero. Los materiales necesarios para la construcción superaban al presupuesto en costo, y para disminuir el costo de la implementación se pensó en escalar el tamaño del motor a uno más pequeño, pero se descartó ya que al escalar el diseño podría suceder que el motor no funcionase debidamente.

Por último la dificultad de la adaptación del motor al agua caliente, el escaso registro de experiencias en la implementación de este motor y problemas anteriores nos llevaron a tomar la decisión de descartar este diseño y buscar uno alternativo.

A continuación se evalúa el diseño encontrado en Internet que está más detalladamente explicado (anexo 1). Para esto se utiliza el conocimiento adquirido por los integrantes del grupo, a través de la lectura de distintas páginas de Internet y de la memoria de un estudiante de la FCFM que trata sobre el tema. La evaluación de este diseño y su eventual modificación se verá restringida por los materiales que tendremos disponible; esto bajo el consejo del ayudante de laboratorio. Para ello, es importante la comprensión indispensable del ciclo Stirling y del funcionamiento del motor Stirling. Una vez listo compraremos o reciclaremos los materiales, para posteriormente construir el motor.

Los materiales que se utilizaron fueron los indicados por el ayudante de Laboratorio, además de las máquinas para modificar estos materiales. También haremos uso del Laboratorio de Hidráulica del edificio de Ingeniería Civil, del cual reciclaremos materiales que sobran y que pudieran sernos útiles. Debemos recalcar que intentaremos construir el mot

4.4 Solución Propuesta (Nuestro Modelo)

El tipo de motor que decidimos construir se describe a continuación y será llamado motor Stirling LTD (motor de baja diferencia de temperatura, por sus siglas en inglés). Este motor tiene la ventaja de estar extensamente documentado, a través de variadas páginas, libros, videos y experiencias disponibles a través de internet. Además es un modelo fácilmente adaptable para ser utilizado con energía geotérmica, y los materiales necesarios para su construcción son accesibles tanto en precio como en disponibilidad.

El diseño de motor que construiremos es similar al presentado a continuación ^(figura 1). Los planos de este motor ^(Anexo 1) serán la base del diseño de nuestro motor.



Figura 7

Este motor es perfectamente utilizable con energía geotérmica, la que en nuestro caso será representada por agua caliente.

Materiales

El diseño final del motor Stirling que construimos consta de los siguientes materiales:

- 2 tapas de PVC de 10 mm. de grosor, 19 cm de radio
- 1 cilindro de PVC de 10 mm. de grosor, 19 cm de radio
- Lamina de aluminio de 40 x 80 mm, 1 mm. de grosor
- Plumavit de 30 mm de espesor
- PVC espumado de 5 mm de espesor.
- 2 Pletinas de aluminio, 3 mm de espesor, 2 mm de ancho
- 1 Barra de duraluminio, 20 mm de radio.
- 1 Barra de aluminio, 5 mm de radio
- 2 rodamientos de 8 mm.
- 1 rodamiento lineal de 8 mm.
- 1 barra de ertalón de 40 mm de radio, 100 mm de alto.
- 1 barra de tenicgén de 40 mm de radio, 50 mm de alto.
- 1 soporte de madera de 17 mm de alto.
- Rueda de inercia de madera de 120 mm de radio

Detalles de construcción

El motor Stirling LTD consta, a grandes rasgos, de un cilindro mayor, un desplazador, un pistón de poder y una rueda de inercia.

➤ Cilindro Mayor

El cilindro mayor está hecho con un cilindro de PVC de 19 cm de radio y 14 cm de altura. A la altura de 4 cm. tiene un aro interior el cual sirve para posar la tapa inferior. El espacio encerrado en el cilindro bajo la altura 4 cm sirve para contener agua caliente, la que proveerá el calor necesario para el funcionamiento del motor. Esta es la modificación hecha al diseño para adaptar el motor para su funcionamiento con energía geotérmica.

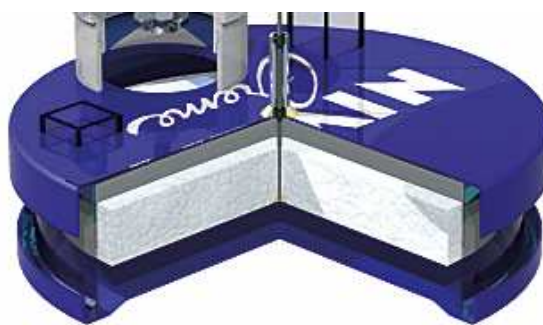


Figura 8

Este cilindro está cerrado con dos tapas. Cada una de estas tapas consta de un disco de aluminio, el cual es la barrera que intercambia calor entre el interior del motor y el entorno, y una tapa de PVC con agujeros, de tal forma que permita la transferencia de calor a través del aluminio. Estos agujeros están hechos de manera que maximicen la superficie expuesta de aluminio, cuidando que el PVC no pierda su rigidez. En ambos casos los discos de aluminio están en contacto con el interior del motor y las tapas de PVC con el exterior, de tal forma que sirvan de soporte para la estructura exterior del motor LTD.

Este cilindro está sellado completamente con silicona resistente a altas temperaturas.

➤ Desplazador

El desplazador es la pieza encargada de mover el aire entre la zona caliente y la zona fría del motor. Está hecho de un cilindro de plumavit de 17,1 cm de radio y 30 mm de alto tapado con dos discos de PVC espumado del mismo radio y 5 mm de espesor cada uno. Estos discos dan rigidez al plumavit sin ser muy pesados, lo que asegura que el plumavit no se doble y quede fijo durante el funcionamiento del motor.

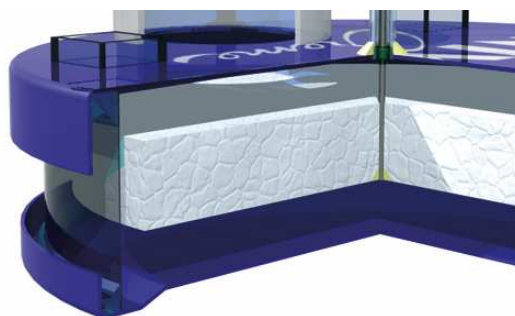


Figura 9

Este desplazador se conecta con el exterior del motor a través de una barra de aluminio de 8 mm de diámetro que sale a través de un rodamiento lineal de 8 mm por el centro de la tapa superior. El desplazador se fija a esta barra a través de una tuerca en su parte inferior. Además de utilizar dos discos pequeños de 4 cm de radio para hacer las veces de golillas.

➤ Pistón de poder

El pistón de poder es el cilindro pequeño que está ubicado sobre la tapa superior del motor, a 10 cm del centro de la tapa. La manga de este pistón se construye torneando una barra de plástico (ertalón) de 80 mm. de diámetro de tal manera que el diámetro interior sea de



Figura 10

70 mm. La altura de la manga debe ser de 100 mm. Esta pieza se fija a la tapa del motor a través de un pequeño sacado en su parte inferior, de tal forma que en esa parte la pieza tenga diámetro exterior 7,9 cm. El agujero en la tapa debe tener esta misma medida, de manera que la manga del pistón entre apretada y no se mueva.

El pistón se hace torneando una barra de tecnigén de 80 mm hasta dejarla de 70 mm. Luego se hace un ajuste de centésimas de milímetro de tal forma que el pistón entre ajustado en la manga sin dejar escapar el aire del interior del motor a través de él. Al pistón se le hace una ranura en la parte superior para poder enganchar la biela que conectará el pistón con la rueda de inercia.

➤ Rueda de inercia

La rueda de inercia es la encargada de mantener la inercia del movimiento y permitir que el ciclo de Stirling se reinicie cada vez. En ella confluyen las bielas del desplazador y del pistón de poder.

Al soporte de madera se le hace dos agujeros de forma que los rodamientos entren ajustados. A través de estos rodamientos se atraviesa un eje de duraluminio de 8 mm de diámetro. Sobre este eje se monta la rueda de inercia, sujeta con una tuerca en su parte delantera. Por la parte delantera de esta rueda sale un eje de 8 mm de diámetro, 85 mm de largo y a 18 mm del centro de la rueda. A este eje se le conecta la biela que está unida al pistón de poder. En el otro extremo del eje de la rueda de inercia se conecta la biela que proviene del desplazador.

La biela del desplazador está desfasada 90° con respecto a la biela del pistón de poder.



Figura 11

Puntos críticos en la construcción del motor LTD

El motor Stirling LTD presenta varios puntos críticos a los que se debe prestar especial cuidado para que el motor funcione. Esto se debe a que la energía disponible para que el motor funcione es mínima, por lo que el roce afecta mucho su funcionamiento.

- ✓ El pistón de poder es un punto crítico del motor LTD. La manga de este pistón debe ser perfectamente cilíndrica, de tal manera que el pistón deslice con la menor pérdida de energía posible.
- ✓ El cilindro mayor debe estar perfectamente sellado para que no escape aire desde el interior. Si existe una fuga de aire es muy probable que el motor no funcione.
- ✓ Las bielas deben tener movimiento solo en un plano, ya que cualquier movimiento en una tercera dirección implica pérdida de energía.
- ✓ Todas aquellas uniones en las que deba existir movimiento deben estar engrasadas de manera de disminuir el roce.

4.5 Plan de Trabajo

En la elaboración del motor Stirling LTD se siguió un plan de trabajo, el cual fue cumplido casi completamente, presentando un retraso de una semana en la fecha de término real respecto a la establecida por el plan de trabajo. Esto se debió a problemas muy difíciles de prever, pero que pudieron ser solucionados satisfactoriamente con la ayuda del encargado de laboratorio de mecánica del edificio de ingeniería Eléctrica, Vladimir.

El plan de trabajo seguido se muestra a continuación:

Trabajo a realizar	Fecha Inicio	Fecha Término
Elaboración del diseño del motor	31-May	06-Jun
Selección de materiales a usar	31-May	06-Jun
Cotización de materiales a usar	31-May	06-Jun
Compra de materiales	04-Jun	13-Jun
Construcción del motor: Cilindro y desplazador	09-Jun	16-Jun
Construcción de pistones	16-Jun	23-Jun
Construcción y armado de parte superior del motor	23-Jun	01-Jul
Prueba del motor y mejoramiento de problemas	01-Jul	07-Jul

5. Conclusiones

5.1 Requerimientos y Apoyo Institucional

Los requerimientos de este proyecto son principalmente de dos tipos. En primer lugar se requirió del auxilio proporcionado por Vladimir, encargado del laboratorio de Mecánica del Edificio de Ingeniería Eléctrica, respecto del uso de materiales y máquinas necesarios para la construcción del motor Stirling. A esto se sumó el trabajo personal de cada integrante para investigar y resolver problemas eventuales que surgieron durante la construcción.

Por otro lado es necesario el financiamiento por parte de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas para poder adquirir los distintos materiales necesarios para la construcción del motor Stirling. En particular, se pidió el libro “An Introduction to Low Temperature Differential Stirling Engines” de James Senft, el cual llegó con una semana de anticipación al término del curso, por lo que no pudo ser aprovechado en el presente proyecto, pero que sin embargo queda de material para futuros proyectos relacionados con Motores Stirling.

También fue necesario utilizar el laboratorio de Hidráulica del Edificio de Ingeniería Civil para la construcción del cilindro del motor.

5.2 Costo, Dificultades Previsibles y Soluciones

La primera dificultad previsible para la construcción de este motor Stirling LTD es el costo. En la construcción de este motor se ocuparon \$70.000 aproximados de fondos del curso Taller de Proyecto, más diversos materiales reciclados, proporcionados por Vladimir, que se encontraban en el Laboratorio de Mecánica del Departamento de Ingeniería Eléctrica. Tomando en cuenta esto, en la construcción del motor Stirling LTD se gastó aproximadamente \$80.000. Es necesario recalcar que este motor fue construido reutilizando muchas piezas. Si se aplica esto el costo del motor puede disminuir mucho.

Otra dificultad previsible es la obtención de las tapas y el cilindro mayor de PVC, ya que estos son difíciles de conseguir en cantidades pequeñas. En este caso se puede reemplazar las tapas de PVC por laminas de aluminio muy gruesas, de aproximadamente 10 mm de espesor. El cilindro mayor, hecho también de PVC, puede ser reemplazado por un cilindro de acrílico. Además debe tenerse en cuenta que el PVC es un material que contamina mucho en su proceso de elaboración, por lo que reemplazarlo es una buena idea a la hora de ser un poco más responsables con el medio ambiente.

Sin duda una dificultad imperante a lo largo del proyecto ha sido el tiempo, debido a que en la construcción del modelo surgen inconvenientes que no se pueden predecir, y que ciertamente atrasan la realización del mismo. Por lo demás, el taller disponible para el trabajo (entiéndase el del Departamento de Eléctrica) requería pedir “horas” de trabajo, que indudablemente debían compartirse con otros grupos, lo que impedía una dedicación total al proyecto.

Para superar, en parte, dicha dificultad, es que el grupo se vio en la necesidad de trabajar en la casa de uno de los integrantes, donde se contaba con las herramientas básicas para terminar ciertos detalles.

Una última dificultad, y por ello no menos importante, es la imposibilidad de probar el motor ya construido, y en una primera instancia comprobar que se mueve y que por tanto genera energía mecánica, y posteriormente el obtener porcentajes de eficiencia del mismo, ello debido ciertamente al tiempo de terminación del modelo. En consecuencia, no se obtienen resultados empíricos y solamente queda la opción de probarlo en el momento de la presentación.

5.3 Conclusiones

Tras cuatro meses de trabajo aproximadamente, y revisando los objetivos descritos previamente tanto en la Introducción del informe como en el contrato firmado, podemos concluir que:

- En una primera instancia, y tras aproximadamente cuatro semanas de trabajo, el grupo ha conocido y se ha informado del estado actual de la Geotermia a nivel mundial y del desarrollo de los motores Stirling en el mundo. Se concluye que todavía la utilización de la Geotermia como fuente energética es muy reducida en el mundo (pocos países la utilizan), comparado con las tradicionales, aunque va en creciente aumento. En Chile, son solo iniciativas aisladas e investigaciones previas, las que tienen que ver con el tema.
En cuanto al motor Stirling, se concluye que si bien se utiliza para obtener energía, la fuente del mismo es principalmente solar, y aún es solo a menor escala la utilización de la Geotermia. Esto tanto en Chile como en el mundo.
(Estudio del Estado del Arte)
- El grupo se centra en el estudio de dos tipos de motores Stirling, como posibilidades de construcción. Comparando los pro y contra de cada uno, se determina implementar el modelo tradicional.
(Estudio y elección del Motor)
- Se estudian las medidas posibles del motor a construir, tratando de maximizarlas. Se estudian y eligen los materiales a utilizar para las principales partes del mismo. Así mismo se comienza a construir el modelo en cuestión, parte del proyecto que requiere la mayor parte del tiempo invertido en éste, llegando a durar un mes y medio aproximadamente.
(Construcción del Motor)
- Terminado el motor, la prueba del mismo solo alcanza a realizarse en el momento de la presentación misma. Por ello, los resultados obtenidos quedan abiertos, solo pudiendo concluir que el modelo está listo para utilizarse.

En resumidas cuentas, el grupo alcanza a cumplir los objetivos propuestos inicialmente, excepto por la obtención de resultados concretos y empíricos, ante la imposibilidad de terminarlo antes.

Para el futuro:

Se concluye que el trabajo realizado a lo largo del semestre es satisfactorio y sentará bases para futuros proyectos dirigidos a lo mismo, logrando la construcción de un modelo de un tamaño jamás antes realizado, y con “potenciales” posibilidades de funcionar y producir energía. Dicho desafío queda abierto, tanto para nosotros, como para cualquier estudiante interesado en el tema y que desee utilizar nuestro avance e ideas.

6. Referencias y Anexos

6.1 Referencias

⁽¹⁾ Asociación de Energía Geotérmica

www.geo-energy.com

⁽²⁾ Wikipedia

www.wikipedia.org

⁽³⁾ Panorama Energético

http://www.panoramaenergetico.com/energia_geotermica.htm

⁽⁴⁾ Red Enlaces

<http://www2.redenlaces.cl/webeducativos/debate/geo2.htm>

⁽⁵⁾ Energías Renovables

http://www.e-renovables.cl/energias_renovables/geotermia/geotermica_chile.html

6.2 Anexos

Anexo 1:

