



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Integración de generadores termoeléctricos (TEG)
en una caldera doméstica de biomasa.

Integration of thermoelectric generators (TEG) in a
domestic biomass boiler.

Autor

Jorge Soria Esteban

Director

Sergio Usón Gil

Titulación

Grado en Ingeniería Química

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Curso 2020-2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe entregarse en la Secretaría de la EINA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

D./D^a. Jorge Soria Esteban, en

aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

Grado

(Título del Trabajo)

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 23 de junio de 2021

Fdo: Jorge Soria Esteban

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Resumen

En el presente trabajo de fin de grado se pretende realizar una simulación de dos modelos de transferencia de calor, en los cuales se pretende integrar generadores termoeléctricos en dos zonas de una pequeña caldera de biomasa, utilizando el programa EES (Engineering Equation Solver).

En primer lugar, se realiza una breve introducción del trabajo.

Posteriormente, se realiza una revisión bibliográfica de varios artículos científicos en los que se estudia y analiza la aplicación de generadores termoeléctricos, además, se hace referencia a los mecanismos de transferencia de calor y se introduce el fenómeno de la termoelectricidad, necesarios para comprender la elaboración del trabajo.

Una vez realizada la revisión bibliográfica, se procede a crear el diseño y simular los modelos de transferencia de calor con los TEG implantados en cada uno de ellos mediante el programa de cálculo EES. El capítulo se divide en tres apartados, en el primero se detalla la geometría del sistema con las modificaciones a las que se somete, en el segundo se caracteriza el tipo de generador termoeléctrico que se va a utilizar para cada modelo, el tercer apartado es en el cual se plantean los diseños de cada modelo y se divide en tres módulos, en el primero de ellos se calculan los parámetros técnicos del TEG que no aparecen en la hoja de características técnicas, en el segundo se hace un estudio de la combustión que se produce en la caldera siendo comunes estos cálculos para ambos modelos, finalmente se lleva a cabo el estudio y desarrollo de los dos modelos 1-D de transferencia de calor.

A continuación, se hace un análisis de los resultados y se hacen varios estudios paramétricos modificando el tipo y número de generadores termoeléctricos.

Por último, se extraen las conclusiones del trabajo.

Índice

1	Introducción	1
2	Estado del arte. Termoelectricidad y transferencia de calor.	2
3	Descripción de modelos	7
3.1	Geometría de la estructura	7
3.1.1	Modificaciones de la estructura	9
3.1.1.1	Parte superior (zona de refrigeración con agua)	9
3.1.1.2	Parte inferior (zona de refrigeración con aire)	10
3.2	Generadores termoeléctricos a utilizar	10
3.3	Cálculos	11
3.3.1	Parámetros de los generadores termoeléctricos	11
3.3.2	Combustión	12
3.3.3	Modelo de transferencia de calor	14
3.3.3.1	Parte superior (refrigeración con agua).....	14
3.3.3.2	Parte inferior (refrigeración con aire).....	23
4	Resultados	29
4.1	Parte superior (refrigeración con agua)	29
4.1.1	TEG1-12611-6.0.....	29
4.1.2	TEG1-24111-6.0.....	30
4.1.3	TEG1-Pb-12611-6.0.....	31
4.1.4	TEG1-Pb-12690.....	31
4.2	Parte inferior (refrigeración con aire)	32
4.2.1	TEG1-12611-6.0.....	32
4.2.2	TEG1-24111-6.0.....	33
4.2.3	TEG1-Pb-12611-6.0.....	33
5	Conclusiones.....	34
6	Bibliografía	35
7	Índice de gráficas	37

Práctica	Ingeniería Química	Índice
8	Índice de tablas.....	37
9	Índice de ilustraciones.....	38
10	Anexo	39
10.1	Fenómenos termoeléctricos.....	39
10.1.1	Efecto Seebeck.....	39
10.1.2	Efecto Peltier	40
10.1.3	Efecto Thomson.....	41
10.1.3.1	Relaciones de Thomson.....	41
10.1.4	Efecto Joule.....	42
10.2	Generadores termoeléctricos.....	42
10.3	Métodos de transmisión de calor	44
10.3.1	Conducción	44
10.3.2	Convección	44
10.3.3	Radiación	45
10.4	Símbolos.....	46
10.5	Hoja técnica TEG	48
10.5.1	TEG1-Pb12690	48
10.5.2	TEG1-12611-6.0.....	50
10.5.3	TEG1-24111-6.0.....	52
10.5.4	TEG1-Pb-12611-6.0.....	54
10.6	Código EES	56
10.6.1	Parte superior (refrigeración con agua)	56
10.6.2	Parte inferior (refrigeración con aire)	62
10.7	Resultados EES.....	67
10.7.1	Parte superior (refrigeración con agua)	67
10.7.1.1	TEG1-12611-6.0.....	67
10.7.1.2	TEG1-24111-6.0.....	69
10.7.1.3	TEG1-PB-12611-6.0.....	71

Práctica	Ingeniería Química	Índice
10.7.1.4	TEG1-Pb-12690	74
10.7.2	Parte inferior (refrigeración con aire)	76
10.7.2.1	TEG1-12611-6.0	76
10.7.2.2	TEG1-24111-6.0	78
10.7.2.3	TEG1-PB-12611-6.0.....	81

1 Introducción

En los últimos años se ha producido un gran aumento en la demanda de electricidad debido a varias causas como son el aumento de la población y el mayor número de aparatos electrónicos, esto provoca que haya una alta dependencia hacia combustibles fósiles y otras de energías contaminantes.

Numerosos estudios confirman que el cambio climático es un hecho cada vez más real, si a esto le añadimos las estimaciones de que en un corto periodo se producirá un agotamiento de las fuentes de energía no renovables, obtenemos como resultado la necesidad de investigar fuentes de energía alternativas.

Este trabajo surge de estas necesidades previamente comentadas de reducir las emisiones contaminantes y el uso de combustibles fósiles. Además de plantear soluciones a estos problemas, esta tecnología nos permite hacer un uso más eficiente de la energía de la que disponemos ya que gran parte de esta se libera sin ser aprovechada completamente.

Para lograrlo, se hará uso de la termoelectricidad, tomando como fuente de energía la energía térmica que proviene de la combustión de pellets y transformándola en energía eléctrica a través de generadores termoeléctricos, esto podría ayudar en el problema mundial que existe en cuanto a demanda de electricidad haciendo un mejor uso de la energía de la que se dispone con un mayor desarrollo de la tecnología y los materiales.

El objetivo principal de este trabajo es el de la simulación de un modelo 1D con aplicación de generadores termoeléctricos para generar electricidad a partir de los gases de combustión de una caldera de biomasa (pellets), este modelo se realizará en dos partes diferentes de la caldera cuyo método de refrigeración será diferente (agua para la parte superior y aire para la parte inferior). Además, se estudiará cómo afecta el cambio de configuración de los TEG en la recuperación de energía eléctrica. El objetivo de generación que se busca es que esta sea autosuficiente, es decir, que toda la energía que necesita para funcionar pueda extraerla de sí misma a través del calor residual que de otra forma se desaprovecharía.

Un segundo objetivo que se persigue con la realización de este trabajo es servir como base y ayuda al diseño del Proyecto TEGBIOSOL (proyecto que se está llevando a cabo en la Universidad de Zaragoza poniendo en práctica lo visto en este proyecto).

El alcance del trabajo abarca la revisión del estado del arte en la aplicación de los TEG, la introducción de los fundamentos teóricos de la termoelectricidad y de transferencia de calor, el desarrollo del modelo y el análisis del modelo con variación de parámetros.

También se ha añadido un anexo en el cual se hace una explicación teórica más en profundidad de los efectos de la termoelectricidad y de los fenómenos mediante los cuales se transfiere el calor, además, existe un apartado en el cual se explica la terminología y abreviaturas utilizadas durante la realización del trabajo. En el mismo, se adjuntan los documentos técnicos de los generadores termoeléctricos se han utilizado en los cálculos y el código del programa EES (Engineering Equation Solver, programa utilizado para hacer los cálculos) con los modelos desarrollados.

2 Estado del arte. Termoelectricidad y transferencia de calor.

En los últimos años, el desarrollo que ha experimentado el ser humano le ha llevado a un gran aumento en la demanda mundial de energía, este hecho ha provocado que hayan surgido problemas como el aumento del coste de la energía que ha llevado al desabastecimiento en algunas zonas del planeta o el cambio climático (1). Además, nos hemos dado cuenta de que los recursos que veníamos explotando no son infinitos y que, si seguimos a este ritmo de consumo, más pronto que tarde se agotarán por lo que surge la necesidad de encontrar y desarrollar fuentes ya que un alto porcentaje de la energía que se utiliza actualmente es de tipo no renovable.

Se ha observado que en las plantas donde se genera energía, solo un tercio de la energía que se obtiene de la quema de combustibles llega a las líneas de transmisión ya que el resto se pierde en forma de calor residual. Cuanto mayor sea la capacidad de la planta de recolectar ese calor, mayor será la eficiencia de generación de energía.

Los primeros descubrimientos de los principios físicos en el campo de la termoelectricidad datan de principios del siglo XIX, en 1821, el científico alemán Thomas Seebeck descubrió que la corriente eléctrica iba a fluir de forma continua en un circuito cerrado compuesto por dos metales diferentes mientras las uniones de esos metales se mantuvieran a dos temperaturas diferentes. Sin embargo, supuso erróneamente que el flujo de calor y el flujo de corriente eléctrica producían el mismo efecto. (2)

En 1834, un físico y relojero francés, Jean Peltier, mientras estaba investigando el “Efecto Seebeck”, descubrió que existía un fenómeno opuesto mediante el cual la energía térmica podía ser absorbida en una de las uniones entre metales y descargada en la otra unión mientras una corriente fluía por el circuito cerrado.

En 1857 William Thomson consiguió formular una explicación a los efectos Seebeck y Peltier y pudo averiguar la relación entre ellos.

Años más tarde, estos descubrimientos empezaron a levantar el interés de algunos países que comenzaron a realizar estudios más profundos sobre la termoelectricidad, tras los que se pudieron desarrollar los módulos termoelectricos que permiten convertir energía térmica en energía eléctrica. Actualmente, se utilizan materiales semiconductores dopados en lugar de dos metales diferentes como se utilizaban en los primeros experimentos.

Para aprovechar estos dispositivos, es necesario que se produzca una transferencia de energía térmica entre dos sistemas a diferente temperatura. Dos cuerpos cuando entran en contacto tienden al equilibrio térmico, es decir, a igual sus temperaturas. Esto se produce debido a que se produce una transferencia de calor desde el cuerpo caliente al cuerpo frío hasta alcanzar el equilibrio térmico (3).

Existen tres mecanismos de transferencia de calor que pueden aparecer por separado o de forma simultánea, y son: conducción, convección y radiación.

- Conducción: es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las contiguas menos energéticas.
- Convección: es la transferencia de energía entre una superficie sólida y un fluido adyacente.

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

- Radiación: es la transferencia de energía debida a la emisión de ondas electromagnéticas.

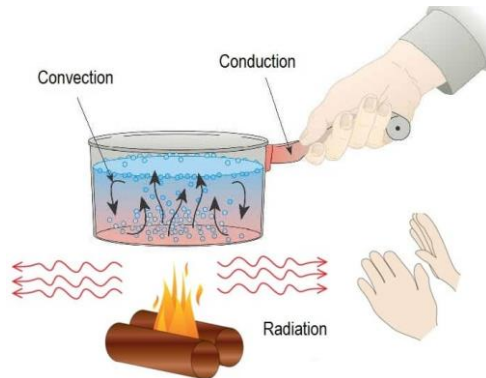


Ilustración 1. Mecanismos de transferencia de calor. (3)

Pequeños fuegos o calderas rudimentarias se usan por más de 2,5 billones de personas en países en desarrollo. Estas calderas tradicionales se caracterizan por una baja eficiencia que da como resultado un uso ineficiente de los combustibles (madera principalmente) que se utilizan, además tienen un alto riesgo de producir problemas en el sistema respiratorio debido a la emisión de gases contaminantes y humo por ello se están construyendo calderas más eficientes y más seguras que reducen la emisión de estos gases nocivos y el consumo de combustible. (4)

Más de 1,6 billones de personas carecen de acceso a electricidad, con acceso a 10 W podrían cubrir algunas necesidades básicas como luz y radio. Estas personas suelen pertenecer al medio rural y tener unos bajos ingresos por lo que la implantación de los TEG junto a la estufa mejoraría la eficiencia original y podría ayudar en la obtención de esa energía con la que pudieran autoabastecerse estas poblaciones con menos recursos. Algunos estudios han demostrado que el precio por vatio que se obtiene gracias a la implantación de generadores termoelectricos es aproximadamente el mismo que en sistemas solares.

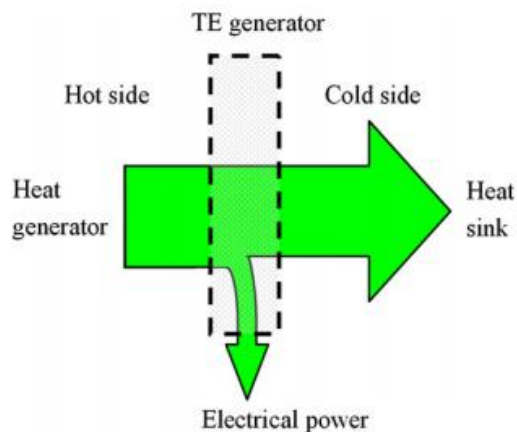


Ilustración 2. Principio básico de un TEG. (4)

El Royal Institute of Technology de Suecia desarrolló en 1990 la primera integración de TEGs en estufas de leña en algunas zonas rurales del país. Se instalaron dos generadores termoelectricos de alta potencia y la refrigeración del lado frío para refrigerar y, por tanto, obtener un mayor gradiente de temperatura, se realizó mediante un ventilador con un disipador de calor. La estufa se alimentaba con frecuencia durante el día y se obtuvo una potencia de

salida que oscilaba entre los 4W y 7W, con picos de 10W en las primeras horas de la mañana que coincidían con las horas de menor temperatura exterior (se maximizaba la diferencia de temperatura). (5)

Continuando la investigación del Royal Institute, varios estudios siguieron la misma tendencia. En la American University of Beirut (6) se estudió la posibilidad de usar una parte del calor de estufas de leña de 20-50 kW para proveer un suministro continuo de 10-100 W de potencia eléctrica. En un principio usaron unos módulos de Peltier baratos para su generador termoeléctrico pero la potencia máxima que se pudo alcanzar fue muy baja (1W), debido a que la diferencia de temperatura no podía ser muy elevada ya que el módulo no soportaba temperaturas altas y a que la geometría no estaba optimizada para generar energía. En un siguiente modelo (7), usaron generadores termoeléctricos comerciales de bajo coste cuyo lado frío estaba refrigerado con aire. De esta forma obtuvieron una potencia máxima de 4,2 W por módulo y observaron que la potencia de salida por módulo decrecía cuantos más generadores termoeléctricos se colocaban, llegaron a la conclusión de que se debía a que se producía una disminución entre las caras caliente y fría de los TEG con el incremento del número de módulos.

En Pau (Francia) (8), se llevó a cabo un experimento en el que se instalaban TEGs a una cocina multifunción con refrigeración por agua. Se decidió que la mejor ubicación para colocar los generadores termoeléctricos era bajo el tanque de agua ya que se podía usar el flujo de calor del gas caliente al tanque para producir electricidad sin perder calor. Se eligió agua líquida como refrigerante en vez de aire ya que generalmente es más eficaz para refrigerar, y además garantizaba que la temperatura del lado frío siempre estaría por debajo de 100°C.

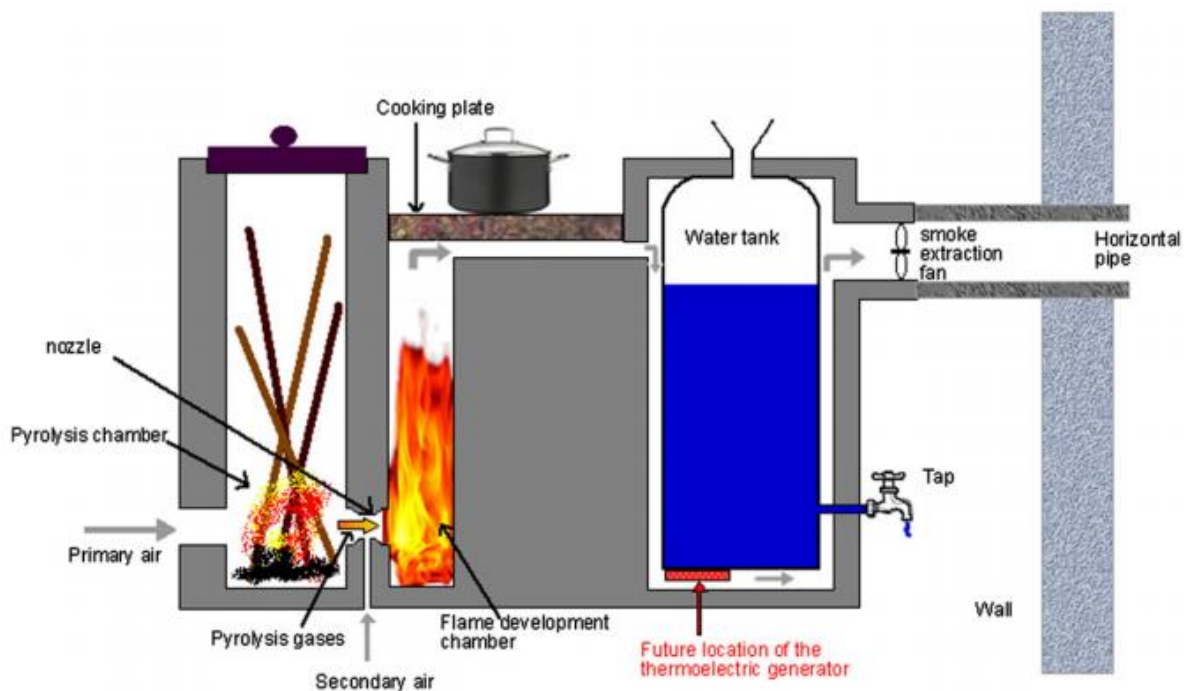


Ilustración 3. Esquema cocina multifunción (8)

Otro estudio se llevó a cabo en Argentina (9) en el cual también se buscaba dotar de una energía mínima necesaria a hogares aislados en zonas rurales. La configuración experimental (Ilustración 4) constaba de un tanque de agua de 25 L que servía para absorber calor del sistema al cual estaban unidos uno o dos módulos termoeléctricos entre dos chapas de aluminio que permitían homogeneizar la temperatura en todos los puntos. Al otro lado de la chapa frontal, estaba colocado un calentador eléctrico térmicamente aislado para asegurar que todo el flujo

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera domestica de biomasa

de calor atravesase el sistema y se desperdiciara lo mínimo posible al exterior. La mayor potencia obtenida fueron 10 W, pero al usarse un calentador eléctrico parte de esos 10 W se podrían usar en la práctica en hacer funcionar ese calentador.



Ilustración 4. Montaje experimental. (9)

El estudio y utilización de generadores termoelectricos no están reservados en exclusiva a entornos en desarrollo (10), sino que se han puesto en marcha proyectos en países completamente desarrollados en donde cada vez proliferan más las calderas y estufas sofisticadas y de alto rendimiento, un ejemplo puede ser un proyecto que se llevó a cabo en la universidad de Glasgow (11) en el cual se estudiaba un sistema CHP (generan energía y calor simultáneamente) para una estufa de combustible sólido con un TEG situado en lo alto de la estufa, que usaba un flujo de agua forzado para refrigerar el sistema. Una bomba hacía circular el agua de un tanque de 60 litros al intercambiador de calor del lado frío del TEG, el sistema también incluía un regulador de carga MPPT. Bajo condiciones de laboratorio se consiguieron unos resultados de 600W de potencia calorífica y 27W de potencia eléctrica de media durante 2 horas. En condiciones reales los resultados serían peores ya que habría que rediseñar el TEG para proteger sus componentes de altas temperaturas.

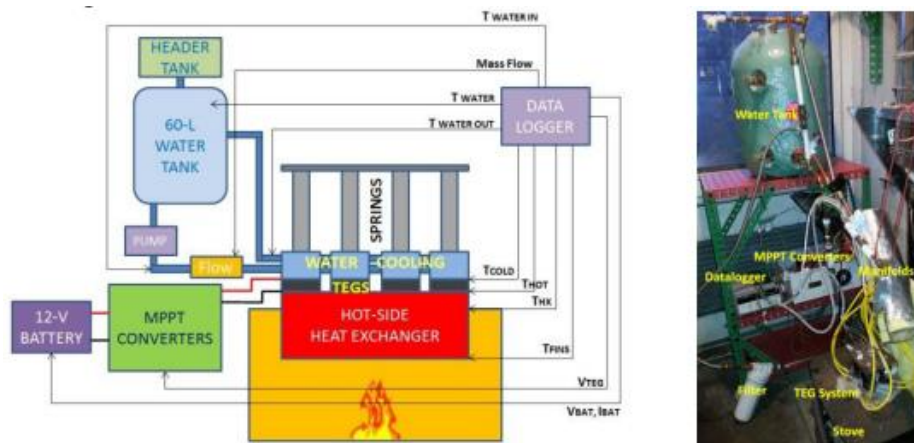


Ilustración 5. Diagrama e imagen del sistema experimental (11)

Algunos estudios han mezclado sistemas de cogeneración (producción simultánea de energía eléctrica y vapor (o calor) a partir de una misma fuente de combustible) con generadores termoelectricos, por ejemplo, en Finlandia se integraron los módulos termoelectricos directamente en las superficies de transferencia de calor de la cámara de combustión y tubos de convección de una caldera domestica convencional de quema de pellets (12). El objetivo era

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

encontrar la mayor eficiencia de conversión posible con el menor cambio estructural en una caldera comercial. Se extrajo la conclusión de que los nuevos materiales pueden ofrecer nuevas posibilidades como rangos de temperatura más extensos por lo que se obtendría una mayor potencia.

Queda de manifiesto que, con el paso de los años y el descubrimiento de nuevas tecnologías y materiales, está habiendo una mejora en la capacidad y rendimiento de los dispositivos. Los dispositivos TEG tienen variadas aplicaciones, tanto en generación de calor como en sistemas combinados, refrigeración...

El desarrollo de esta tecnología permitirá cumplir variedad de objetivos tales como la reducción del cambio climático, un mejor aprovechamiento de la energía disponible o evitar que las zonas más desfavorecidas y aisladas del planeta carezcan de electricidad entre otros.

3 Descripción de modelos

Tras conocer los conceptos que intervienen tanto en termoelectricidad, como en transferencia de calor y haber hecho una revisión del estado del arte en el uso de los generadores termoelectricos (TEG) se ha realizado la simulación de dos modelos en dos partes diferentes de la caldera.

Los modelos han sido realizados mediante el programa EES (el código se encuentra en el anexo) (13). El uso de este programa y de la realización del trabajo ha sido posible gracias a los conceptos adquiridos previamente en las asignaturas de Termotecnia y Termodinámica Técnica y Fundamentos de Transmisión de Calor correspondientes al grado de Ingeniería Química.

Se busca obtener la mayor cantidad de potencia posible, esto ocurre cuanto más grande es la diferencia entre las temperaturas de la cara caliente y de la cara fría del módulo, por ello se ha decidido que en la parte superior de la caldera utilizar agua como refrigerante mientras que en la parte inferior será el aire de la combustión quien realice esta función. En la parte de la refrigeración con agua se han instalado unas aletas para mejorar la transferencia de calor en esa zona.

3.1 Geometría de la estructura

En este proyecto se ha utilizado una caldera de pellets BCH-25 de la empresa Biocurve, cuya potencia máxima son 25 kW. (14)

El aire con el que se realizará la combustión de la biomasa (pellets en este caso) se introduce mediante un ventilador a través de una carcasa de acero en una zona situada en la parte inferior de la caldera. Los pellets se introducen por una apertura cercana y son transportados a la zona de llama por un tornillo sin fin situado en el interior de la caldera.

La caldera consta de una zona de llama envuelta por un cilindro que dirige los gases a la zona superior de la misma. Una vez que los gases llegan arriba y chocan contra la tapa, son desplazados en su mayoría hacia los laterales de la caldera y bajan por unos conductos de la parte exterior del cilindro mientras se van enfriando.



Ilustración 6. Caldera Biocurve BCH-25. (14)

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Como se observa en la Ilustración 7 la parte superior está formada por un cilindro macizo interior de 30 cm de diámetro rodeado de otro cilindro 6 cm más bajo que el anterior y con un diámetro de 33 cm cuya parte superior está abierta, los gases de combustión circulan entre ambas superficies y salen por la parte superior chocando con la chapa a una distancia de 10 cm desde el fin del cilindro hueco. Rodeando a ambos se encuentra la estructura principal de la caldera con un diámetro de 50 cm por donde bajarán los gases tras chocar con la parte superior y quedarse una parte estancada entre la parte superior del cilindro interior y la tapa superior.

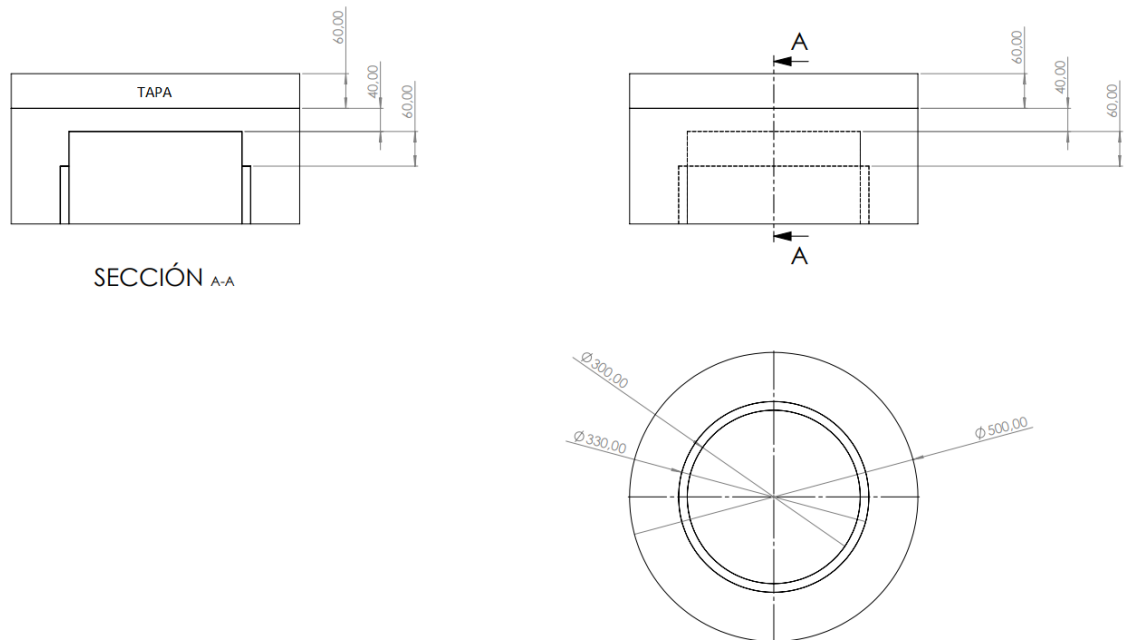


Ilustración 7. Parte superior de la caldera.

Por otra parte, las dimensiones de la carcasa situada en la parte inferior pueden observarse en la Ilustración 8 y esta podría simplificarse como un prisma rectangular de 20 cm de alto, 38 cm de ancho y 53 cm de profundidad (aunque la profundidad en el interior son 50 cm), del cual solo estudiaremos una mitad (como si hiciéramos un corte en vertical por el centro del rectángulo) ya que los TEG sólo irán colocados a un lado (por donde entra el aire) con el aislante que los recubre, mientras que la otra mitad quedará libre y no supondrá un mayor interés al estudio debido a que no ofrece un efecto cruzado que pudiera presentar una variabilidad importante en los resultados.

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

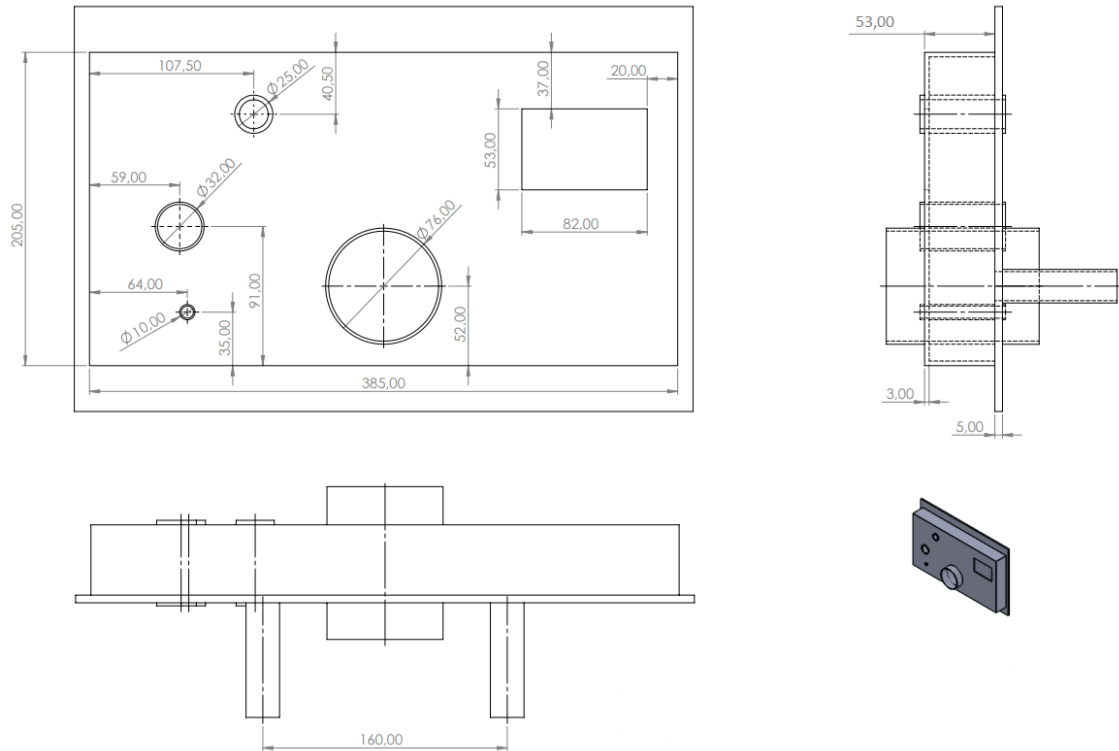


Ilustración 8. Medidas carcasa parte inferior.

3.1.1 Modificaciones de la estructura

El modelo original de la caldera va a ser modificado en la tapa superior y en la carcasa de acero de la parte inferior para llevar a cabo el estudio de ambos modelos.

3.1.1.1 Parte superior (zona de refrigeración con agua)

Se ha instalado en el lugar de la tapa superior una chapa de acero de 5 mm de espesor, con el mismo radio que tenía la tapa (50 cm), sobre la cual van colocados los TEG. Encima de los TEG un conducto de acero recorre la caldera de lado a lado, la superficie tapada por el conducto que no está ocupada por los TEG se recubre con una capa de estireno de 6 mm (mismo espesor que el TEG) para rellenar esos huecos, sin embargo, en el resto del área de la tapa, se coloca una capa de estireno de 10 mm que hace la función de aislante evitando que se libere calor al exterior.

Sobre el TEG se va a colocar un tubo de sección cuadrada (56x56 mm) situado en el centro de la tapa circular y que va de lado a lado de la misma, a través del cual se introduce el caudal de agua que sirve como refrigerante del generador. Este conducto se dividirá en 6 canales más pequeños mediante 5 paredes colocadas en su interior de 2 mm cada una, con una separación de 7,66 mm entre ellas y que también cumplen una función de aletas al optimizar la sección de paso del agua. Estas paredes estarán centradas en la longitud del tubo y tendrán un recorrido de 40 mm por lo que prácticamente abarcarán la longitud total del mismo.

3.1.1.2 Parte inferior (zona de refrigeración con aire)

Como ya se ha mencionado anteriormente, solo se trabajará en una mitad de la estructura, en la cual se colocan los TEG en la pared más cercana a la llama de la parte interior (Ilustración 8), el cual se ha rodeado de una capa de estireno cuyo espesor es de 6 mm hasta rellenar la pared.

Sobre el generador termoeléctrico y la capa de estireno se coloca una lámina de aluminio de 10 mm de espesor sobre la cual va instalado el sistema de aletas para favorecer la transferencia de calor y optimizar la sección de paso del aire que se hace circular por el interior de la estructura que cumple la función de refrigerante.

A la hora de diseñar estas aletas se han tenido en cuenta factores tales como que las aletas debían ser del mayor tamaño posible, pero teniendo en cuenta que sus medidas no podían ser superiores a las del conducto en el que se localizan.

Se van a fabricar en aluminio, que es el mismo material de la lámina a la que irán unidas y se consideran de punta adiabática. El número de aletas añadidas será de 30, colocadas de manera axial a lo largo de la estructura (200 mm). Su longitud será de 32 mm pues van desde la chapa de aluminio que se añade en el interior de la estructura hasta la pared de la misma, su anchura serán 15 cm y cada una tendrá un espesor de 1 mm, con una separación de 5,58 mm entre cada aleta y la misma distancia con cada extremo de la estructura de acero, esto provoca que el conducto se divida en 31 secciones de paso del aire, mejorando la transferencia de calor.

Las paredes serán de acero y las aletas de aluminio, esto significa que las aletas son mucho más conductoras que la pared por lo que se ha decidido suponer adiabáticas las paredes al tener menor poder conductor y no tener apenas influencia.

3.2 Generadores termoeléctricos a utilizar

En este trabajo es necesario la elección de los módulos según las características de cada zona en las que se van a instalar. Son muchos los módulos y fabricantes que existen y que podemos escoger, por ello se ha decidido por la empresa canadiense "Tecteg MFR" debido a lo estructurada de la información que nos proporciona de cada módulo permitiendo comparar las características de forma más sencilla y rápida.

Los criterios principales que se han tomado para la elección de los módulos son:

- La temperatura máxima que puede aguantar el módulo.
- La cantidad de potencia eléctrica que puede generar cada módulo.

Debido a estos dos criterios se ha seleccionado cuatro dispositivos diferentes para estudiar cuál nos ofrece mayor rendimiento y mayor rentabilidad económica que son TEG1-126111-6.0, TEG1-24111-6.0, TEG1-Pb-12690 y TEG1-Pb-12611-6.0 . (15)

Se han seleccionado estos TEG para el estudio ya que muestran un rango de temperaturas de trabajo muy útil y dentro del mismo son los que nos ofrecen mayor potencia sin tener un elevado coste económico, en el Anexo se adjuntan las hojas con las especificaciones. Los precios para los terminales seleccionados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los TEG. (15)

Tipo	Cantidad	Precio	Tª caliente (°C)	Tª fría (°C)	Intensidad carga (A)	Voltaje abierto (V)	Flujo de calor (W)
TEG1-12611-6.0	1-9	48 \$/ud	300	30	3,4	8,4	365
TEG1-Pb-12690	1-9	300 \$/ud	600	30	3,27	13,3	273
TEG1-Pb-12611-6.0	1-9	69 \$/ud	350	30	4,7	9,2	310
TEG1-24111-6.0	1-9	56 \$/ud	300	30	2	17,7	301

3.3 Cálculos

A continuación, se va a realizar la explicación de cómo se ha obtenido los datos necesarios para cada una de las partes de la simulación.

3.3.1 Parámetros de los generadores termoeléctricos

Además de los parámetros que se indican en la ficha técnica de los TEG que se encuentran en el Anexo, es necesario calcular otras especificaciones extra para conocer los flujos de calor de ambas caras como son el coeficiente Seebeck, la resistencia interna y la conductividad térmica del TEG.

Conocemos que la potencia generada será la diferencia entre el flujo de calor de la cara caliente menos el flujo de calor de la cara fría, además sabemos que en cada flujo de calor tienen influencia el efecto Seebeck, la conductividad y el efecto Joule respectivamente según las expresiones:

$$Q_{sup\ fría} = \alpha * I * T_{sup\ fría\ dato} + k(T_{sup\ caliente\ dato} - T_{sup\ fría\ dato}) + \frac{1}{2} * I^2 * R_{int} \quad (1)$$

$$Q_{sup\ caliente} = \alpha * I * T_{sup\ caliente\ dato} + k(T_{sup\ caliente\ dato} - T_{sup\ fría\ dato}) - \frac{1}{2} * I^2 * R_{int} \quad (2)$$

Puede observarse que el efecto Joule se da en la misma cantidad (la mitad del total en cada caso) pero de signo contrario, la diferencia en este signo indica que se incrementa el flujo de calor por lo que el signo es positivo (superficie fría) mientras que será negativo en la cara caliente debido a la pérdida de ese calor.

Relacionando lo anteriormente explicado obtenemos:

$$P = Q_{sup\ caliente} - Q_{sup\ fría} = \alpha * I * (T_{sup\ caliente\ dato} - T_{sup\ fría\ dato}) - I^2 * R_{int} \quad (3)$$

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Conocido que la potencia es proporcional a la corriente y a la tensión y relacionándolo con la ecuación anterior obtenemos que:

$$P = V * I = \alpha * I * (T_{sup\ caliente\ dato} - T_{sup\ fría\ dato}) - I^2 * R_{int} \quad (4)$$

Como en este caso se conoce para ambos TEG el voltaje para circuito abierto y las temperaturas de ambas superficies podemos obtener el coeficiente Seebeck de cada uno despejándolo de la anterior ecuación:

$$\alpha = \frac{V_{abierto}}{(T_{sup\ caliente\ dato} - T_{sup\ fría\ dato})} \quad (5)$$

El siguiente paso es conocer la resistencia eléctrica del TEG, para ello, se maximiza la potencia, por lo que se realiza la derivada de la máxima potencia respecto a la intensidad y se iguala a cero, teniendo como único dato desconocido la resistencia:

$$\frac{dP_{máx}}{dI} = \alpha * I * (T_{sup\ caliente} - T_{sup\ fría}) - 2 * I * R_{int} = 0 \quad (6)$$

El último parámetro que se necesita calcular es la conductividad térmica del TEG. Estimando que el promedio entre los flujos que llegan a cada TEG por ambas caras será el flujo de calor y conocido el dato del flujo de calor en unas condiciones determinadas (aparece en la hoja técnica del Anexo junto al resto de parámetros), podemos obtener la conductividad al ser el único dato desconocido:

$$Flujo = \frac{(Q_{sup\ caliente} + Q_{sup\ fría})}{2} = \frac{[\alpha * I * (T_{sup\ caliente} - T_{sup\ fría}) + 2 * k * (T_{sup\ caliente} - T_{sup\ fría})]}{2} \quad (7)$$

3.3.2 Combustión

Se necesita conocer el flujo másico de gases de combustión, para ello se procederá analizando las reacciones existentes y realizando balances de masa para conocer la cantidad producida de cada gas por kilo de combustible.

La composición másica de la biomasa y el aire utilizado es la siguiente:

Tabla 2. Composición másica de la biomasa y aire utilizado. (16)

Variable	Valor	Variable	Valor
Nitrógeno	0,09%	Cenizas	0,4%
Carbono	50,9%	Oxígeno	42,49%
Azufre	0,01%	Humedad	7,2%
Hidrógeno	6,1%	Exceso aire	50%
T _{salida}	55 °C	T _{ref}	15 °C
PCI	16000 kJ/kg _{comb}	Q _{aportar caldera}	25 kW

En primer lugar, se calcula la cantidad de cada gas formado como producto derivado de la combustión:

$$SO_2 = \frac{Mm_{SO_2}}{Mm_S} * \%masa_S \quad (8)$$

$$CO_2 = \frac{Mm_{CO_2}}{Mm_C} * \%masa_C \quad (9)$$

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

$$H2O_{vapor,H2} = \frac{Mm_{H2O}}{2 * Mm_H} * \%masa_H \quad (10)$$

$$H2O_{vapor,humedad} = \%masa_{humedad} \quad (11)$$

$$H2O_{vapor} = H2O_{vapor,humedad} + H2O_{vapor,H2} \quad (12)$$

Con los datos de la Tabla 2 podemos conocer la cantidad de residuo sólido que proviene de dicha combustión y que se corresponde con la cantidad de cenizas resultantes:

$$Cenizas = \%masa_{cenizas} \quad (13)$$

Ahora se necesita conocer la cantidad de aire con la que se queman los pellets, para ello primero se calcula la cantidad de oxígeno estequiométrico, restando el oxígeno presente en el combustible a la suma de combustible generado en las reacciones de Hidrógeno, carbono y azufre:

$$O2_{esteq\ aire} = Mm_{O2} * \left(\frac{1}{2} * \frac{\%masa_H}{Mm_{H2}} + \frac{\%masa_C}{Mm_C} + \frac{\%masa_S}{Mm_S} - \frac{\%masa_{O2}}{Mm_{O2}} \right) \quad (14)$$

Conocido el exceso de aire y el oxígeno estequiométrico ya se puede calcular la cantidad de oxígeno y de nitrógeno reales:

$$O2_{aire} = O2_{esteq\ aire} * (\%exceso_{aire} + 1) \quad (15)$$

$$N2_{aire} = \frac{\%N2_{aire}}{\%O2_{aire}} * O2_{aire} \quad (16)$$

Conocida ya la cantidad de cada gas de forma independiente, es el momento de averiguar la cantidad total de gases de combustión que será la suma de los gases secos más el vapor de agua:

$$Gases\ secos = N2_{aire} + O2_{aire} + SO_2 + CO_2 \quad (17)$$

$$Gases\ totales = Gases\ secos + H2O_{vapor} \quad (18)$$

El siguiente paso es calcular el flujo másico de combustible a aportar que lo haremos mediante la ecuación 19:

$$Q_{aportar\ caldera} = \dot{m}_{combustible} * \eta_{PCI} * PCI \quad (19)$$

Para ello primero debemos conocer el rendimiento de la caldera en base PCI y lo haremos calculando las pérdidas totales, que a su vez las podemos descomponer en las pérdidas de los gases secos, más las de las cenizas, más las del vapor de agua: (17)

$$Pérdidas_{Gases\ secos} = Gases\ secos * cp_{Gases\ secos} * \frac{T_{salida} - T_{ref}}{PCI} \quad (20)$$

$$Pérdidas_{Cenizas} = Cenizas * cp_{Cenizas} * \frac{T_{salida} - T_{ref}}{PCI} \quad (21)$$

$$Pérdidas_{H2O\ vapor} = H2O_{vapor} * cp_{H2O\ vapor} * \frac{T_{salida} - T_{ref}}{PCI} \quad (22)$$

$$\eta_{PCI} = 1 - (Pérdidas_{Gases\ secos} + Pérdidas_{Cenizas} + Pérdidas_{H2O\ vapor}) \quad (23)$$

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Una vez conocidos los datos necesarios para obtener el flujo másico de combustible, llega el momento de obtener el flujo másico de gases de combustión que era nuestro objetivo al comenzar este análisis:

$$\dot{m}_{gases} = \dot{m}_{combustible} * Gases\ totales \quad (24)$$

Los gases de combustión salen de la caldera a una temperatura de 55°C, se ha comprobado que dicha temperatura está por encima de la temperatura de la presión parcial del vapor de agua en la corriente de gases por lo que podemos afirmar que no se producirá una condensación del vapor de agua.

Para conocer el aire necesario para la combustión (es la cantidad de aire que va a refrigerar la parte inferior), debemos sumar las cantidades de nitrógeno y oxígeno que hay tal que:

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_{combustible} * N2_{aire} + \dot{m}_{combustible} * O2_{aire} \quad (25)$$

3.3.3 Modelo de transferencia de calor

En ambas partes de la caldera en las que se ha llevado a cabo el estudio, se ha realizado un modelo 1-D de transferencia de calor para analizar los flujos de calor que se producían. (18)

3.3.3.1 Parte superior (refrigeración con agua)

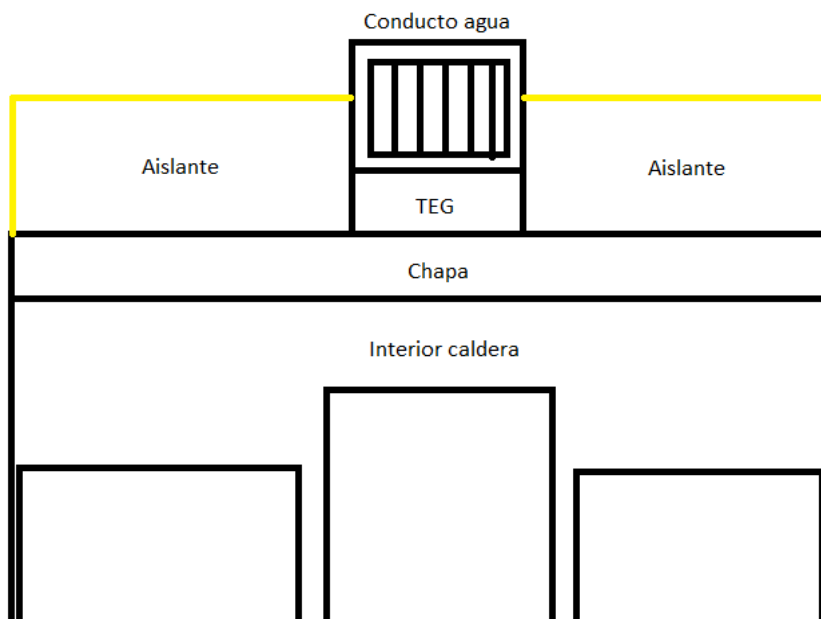


Ilustración 9. Esquema parte superior.

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

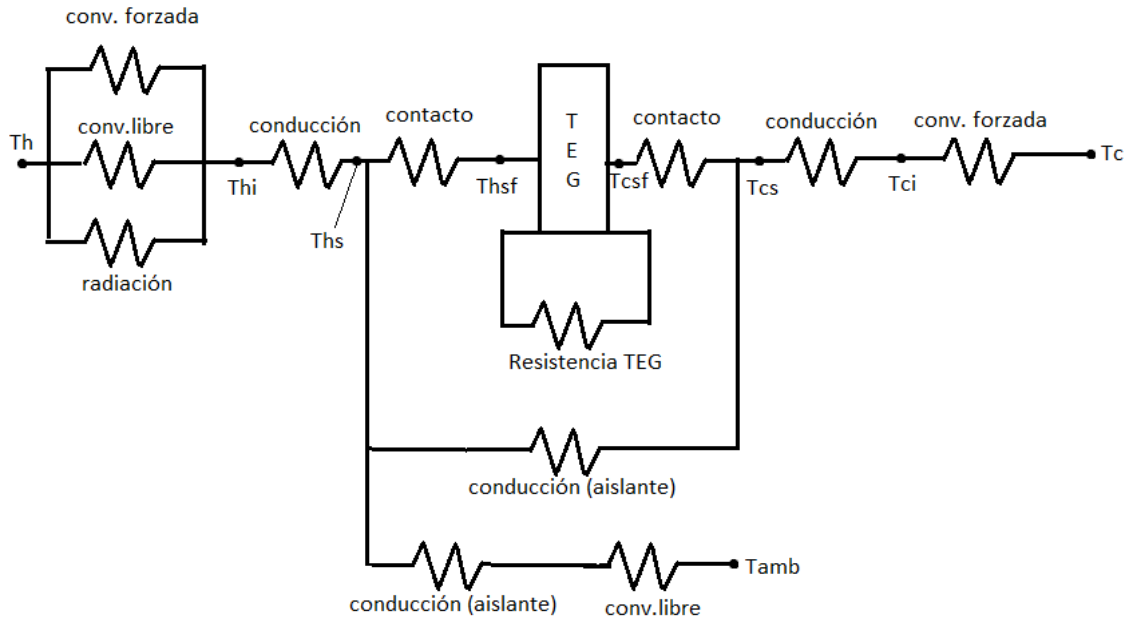


Ilustración 10. Modelo de transferencia de calor parte superior.

El modelo consta de varios fenómenos de transferencia de calor como pueden observarse en la Ilustración 10.

Consta de tres resistencias en paralelo de las cuales una será la convección forzada del gas al salir en forma de chorro propulsado, otra será la convección libre provocada por el gas que queda estancado en la zona superior central y la última será la radiación que desprenden los gases de combustión, tras ello, se encuentra en serie la resistencia de conducción que se produce al tener que atravesar el calor la chapa sobre la que irá el TEG junto al aislante, también existirá una caída de temperatura debido a la resistencia de contacto por un contacto imperfecto que puede haber en la unión entre la chapa y el TEG, hasta aquí será la denominada zona caliente.

Es conveniente aclarar cómo se producen las convecciones en paralelo en esta zona, en la parte central se acumulan los gases de combustión quedándose de forma "estancada" por lo que se produce el fenómeno de convección libre con la superficie inferior de placa fría, por otra parte, en paralelo a esta, los gases de combustión salen de una boquilla que se ha considerado de ranura, chocan contra la pared superior y se desplazan a los laterales en su mayoría para descender posteriormente, este fenómeno se ha considerado una convección forzada mediante un chorro de choque que afecta principalmente a la superficie de la corona circular exterior.

Para calcular la resistencia a la convección libre que se da en la superficie interior es necesario obtener el parámetro $h_{\text{conv libre alta}}$ (coeficiente de convección), para ello se calcula en primer lugar el Rayleigh:

$$Ra = \frac{9,8 * \beta * (T_h - T_{hs}) * L^3}{\nu * \alpha} \quad (26)$$

Donde:

$$L = \frac{\text{Área interior}}{\text{Perímetro interior}} \quad (\text{longitud característica}) \quad (27)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho * c_p} \quad (\text{todos los parámetros referidos a los gases de combustión}) \quad (28)$$

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

$$\beta = \frac{1}{\frac{T_{hs} + T_h}{2}} \quad (29)$$

Dependiendo del valor del número de Rayleigh se usará una expresión u otra para hallar el Nusselt (19):

$$Nu = 0,54 * Ra^{\frac{1}{4}} \text{ si } 10^4 < Ra < 10^7 \text{ (el utilizado en el caso base)} \quad (30)$$

$$Nu = 0,15 * Ra^{\frac{1}{3}} \text{ si } 10^7 < Ra < 10^{11} \quad (31)$$

Igualando la expresión que corresponda con $Nu = \frac{h_{conv libre} * L}{k_{gases}}$ y despejando $h_{conv libre alta}$ se puede calcular la resistencia a la convección libre que se produce.

$$R_{conv libre alta} = \frac{1}{h_{conv libre alta} * \text{Área}_{interior}} \quad (32)$$

El siguiente paso será calcular la resistencia a la convección forzada provocada por el chorro que choca contra la placa de acero que ha sido añadida a la geometría, para ello será necesario obtener $h_{conv chorro}$ despejándola al igualar las expresiones del número de Nusselt. Como ya se ha descrito anteriormente, se está ante una sola boquilla de ranura por lo que será necesario utilizar la ecuación 33:

$$Nu = \frac{3,06 * Re^m * Pr^{0,42}}{\frac{x}{W} + \frac{H}{W} + 2,78} \quad (33)$$

Donde:

$$Re = \frac{velocidad_{gas} * D_h}{\nu_{gas}} \quad (34)$$

$$m = 0,695 - \left[\left(\frac{x}{2*W} \right) + \left(\frac{H}{2*W} \right)^{1,33} + 3,06 \right]^{-1} \quad (35)$$

$$Pr = \frac{\nu * \rho * c_p}{k} \text{ (parámetros del nº de Prandtl referidos a los gases de combustión)} \quad (36)$$

H: distancia desde la boquilla a la placa

x: radio de la caldera

W: anchura de boquilla

Dicha ecuación debe cumplir unos rangos de validez que son:

- 3000 < Re < 90000
- 2 < (H/W) < 10
- 4 < (x/W) < 20

Igualando la expresión a $Nu = \frac{h_{conv chorro} * D_{h interior}}{k_{gases}}$ se obtiene el coeficiente de convección y se podrá calcular la resistencia a la convección forzada con un chorro de choque.

$$R_{conv chorro} = \frac{1}{h_{conv chorro} * \text{Área}_{corona}} \quad (37)$$

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

La última resistencia a calcular de este conjunto de tres resistencias en paralelo es la que se opone a la transferencia de calor por radiación proveniente de los gases de combustión que se encuentran en la parte superior.

El cálculo de la resistencia a la radiación es más sencillo que los anteriores ya que se hace mediante la expresión:

$$R_{radiación} = \frac{1}{h_{rad} \cdot \text{Área}_{tapa}} \quad (38)$$

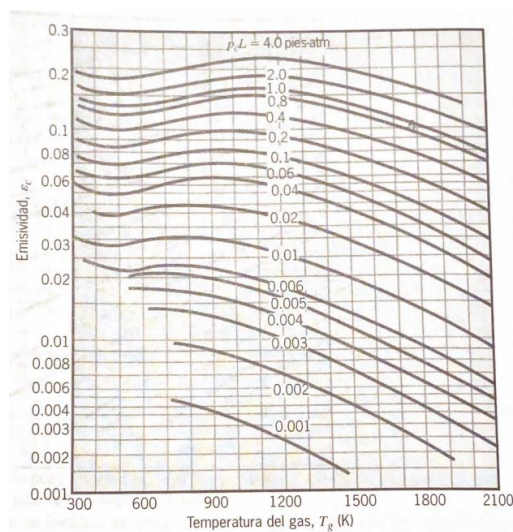
En la cual h_{rad} se obtiene directamente a partir de:

$$h_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_h^2 + T_{hi}^2) \cdot (T_h + T_{hi}) \quad (39)$$

El parámetro de la emisividad (ε) no es conocido para la mezcla de gases de combustión por lo que debe de calcularse previamente.

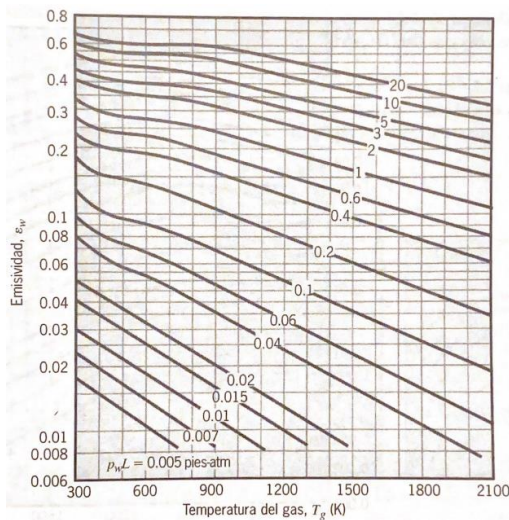
$$\varepsilon_{gas} = \varepsilon_{H_2O} + \varepsilon_{CO_2} + \Delta\varepsilon \quad (40)$$

Tomando los cálculos hecho en el apartado de combustión, se transforma la composición en masa de los componentes de los gases de la combustión en fracciones molares, con estos datos y conociendo que $L = \frac{3,6 \cdot \text{Volumen}_{incidencia}}{\text{Área}_{incidencia}}$ vamos a la Gráfica 1, Gráfica 2 y Gráfica 3 (19) (siendo el área de incidencia igual al área de la tapa y suponiendo que el volumen de incidencia de los gases es equivalente a un cilindro de radio igual al de la tapa y altura 40 mm).

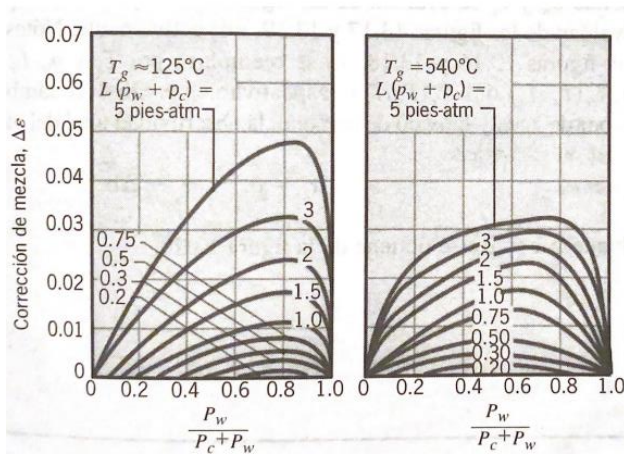


Gráfica 1. Emisividad de CO2 en una mezcla con gases no radiantes a 1 atm (19)

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa



Gráfica 2. Emisividad de vapor de agua en una mezcla con gases no radiantes a 1 atm. (19)



Gráfica 3. Factor de corrección asociado con mezclas de vapor de agua y CO2. (19)

Obtenemos $\epsilon_{\text{H}_2\text{O}}=0,04$, $\epsilon_{\text{CO}_2}=0,07$ y $\Delta\epsilon=0$, por lo tanto, $\epsilon_{\text{gases}}=0,11$. Ya con todos los datos podremos obtener la resistencia a la radiación de los gases.

La resistencia equivalente de estas tres resistencias en paralelo es:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{radiación}} + \frac{1}{R_{conv libre alta}} + \frac{1}{R_{conv forz}} \quad (41)$$

Despejando R_{eq} de la ecuación 41 se obtiene el valor de la resistencia equivalente a las tres en paralelo.

El calor se transfiere a través de la chapa donde va colocado el TEG mediante conducción, la resistencia a la conducción se calcula dividiendo el espesor de la chapa de acero entre la conductividad del material por el área de la chapa que es por donde se produce la transferencia de calor.

$$R_{chapa} = \frac{\text{espesor}_{chapa}}{k_{acero} \cdot \text{Área}_{chapa}} \quad (42)$$

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Lo siguiente será la zona del TEG donde se encuentran una capa de aislante rodeando al TEG y al conducto de acero inoxidable por el que discurre el flujo de agua que se encuentra encima de los TEG. Aquí confluyen 3 flujos de calor que son el que atraviesa los TEG, una parte que se transfiere por la capa de aislante entre la chapa de acero y el conducto (es la zona que atraviesa el conducto de espaciado entre cada TEG), y un último que sería el que discurre por el aislante y que se transfiere al ambiente.

En el apartado de parámetros de los generadores termoeléctricos (3.3.1) se ha explicado cómo se calcula la k de los TEG que nos servirá en el cálculo de los flujos que los atraviesa.

La resistencia a la conducción que se produce a lo largo del aislante se calcula mediante la siguiente fórmula: el espesor de la capa de aislante (igual al espesor del TEG), su conductividad térmica y el área transversal donde se produce la transferencia que será la diferencia del área total de la tapa menos el área que ocupa el TEG.

$$R_{cond\ ais} = \frac{espesor_{aislante}}{k_{aislante} * \text{Área}_{aislante}} \quad (43)$$

Para los dos flujos la manera de calcularla será la misma, variando los valores de los parámetros, la diferencia entre ambos será en cuanto al espesor (en la parte debajo del conducto será del mismo espesor que el TEG, mientras que en la parte que envuelve los dispositivos y el conducto será mayor para evitar en la mayor medida de lo posible que se libere calor al exterior), su conductividad térmica (variará en función de las temperaturas en sus extremos) y el área transversal donde se produce la transferencia que será la diferencia del área total de la tapa menos el área que ocupa el conducto un flujo, mientras que el área de aislante debajo del conducto será la diferencia entre el área del mismo y la suma de las áreas del número de TEG usados.

Una vez calculadas las resistencias, podemos conocer los flujos de transferencia de calor que atraviesa el aislante. El calor que se transfiere desde la chapa al conducto que discurre por el aislante será el resultado de la diferencia entre las caras fría y caliente del TEG dividido entre la resistencia de conducción en el aislante en dicha zona: (20)

$$Q_{aislante} = \frac{T_{hs} - T_{cs}}{R_{cond\ ais}} \quad (44)$$

En la parte de aislante cuyo calor se libera al ambiente, la transferencia de calor se produce en forma de convección libre por lo que en primer lugar se debe calcular el número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{9,8 * \beta * (T_h - T_{hs}) * L^3}{\nu * \alpha} \quad (45)$$

Donde:

$$L_{ext} = \frac{\text{Área interior}}{\text{Perímetro tapa} - \text{Perímetro conducto}} \quad (\text{longitud característica}) \quad (46)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho * c_p} \quad (\text{todos los parámetros referidos al aire}) \quad (47)$$

$$\beta = \frac{1}{\frac{T_{hs} + T_{ambiente}}{2}} \quad (48)$$

Como $10^7 < Ra < 10^{11}$, Nusselt será igual a:

$$Nu = 0,15 * Ra^{\frac{1}{3}} \quad (49)$$

Igualando la anterior expresión con $Nu = \frac{h_{conv\ ext} * L_{ext}}{k_{aire}}$ y despejando $h_{conv\ ext}$ se puede calcular la resistencia a la convección libre que se produce.

$$R_{conv\ ext} = \frac{1}{h_{conv\ ext} * (\text{Área}_{tapa} - \text{Área}_{conducto})} \quad (50)$$

Conocida ya la resistencia, se puede conocer el calor que se libera al exterior del sistema a través del aislante dividiendo la diferencia de temperaturas entre la cara caliente del TEG y el exterior del sistema entre la suma de las resistencias en serie a la conducción en el aislante y la convección libre al exterior.

$$Q_{exterior} = \frac{T_{hs} - T_{ambiente}}{R_{cond\ ais\ ext} + R_{con\ ext}} \quad (51)$$

La última zona será la fría que consta de dos resistencias a la transferencia de calor en serie, la primera será la resistencia de conducción que se produce en el tubo de acero por el que circula el agua, mientras que la última resistencia ante la que nos encontramos será la de la convección forzada que provoca el caudal de agua que se alimenta.

La resistencia a la conducción se calcula dividiendo el espesor del conducto de acero por donde se produce la conducción, entre la conductividad del material multiplicada por el área donde se produce la transferencia de calor (anchura igual a la del TEG (56 mm) y altura del conducto 50 mm).

$$R_{cond\ tubo} = \frac{espesor_{conducto}}{k_{acero} * \text{Área}_{conducto}} \quad (52)$$

La última etapa de transferencia de calor es la convección forzada que se produce al hacer pasar un caudal de agua (0,555 kg/s) por el tubo de acero que está dividido en varios canales, optimizando la sección de paso, estas paredes que dividen el tubo de acero permiten aumentar la velocidad del fluido y hacen la función de aletas que permiten mejorar la disipación del calor.

El primer paso es calcular el coeficiente de convección ($h_{conv\ agua}$) para cada canal, por lo tanto, el primer paso es calcular el número de Reynolds para conocer si estamos en flujo laminar o turbulento (<4000 turbulento).

$$Re = \frac{velocidad_{agua} * D_{h\ canal}}{viscosidad\ cinemática_{agua}} \quad (53)$$

Para el caso base se obtiene un flujo turbulento y se utiliza la siguiente correlación para un conducto no circular en convección forzada interior (CFI) ecuación 54:

$$Nu = \frac{\frac{f}{8} * (Re - 1000) * Pr}{1 + 12,7 * \left(\frac{f}{8}\right)^{0,5} * (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (54)$$

Donde Pr es el número de Prandtl y f es el factor de fricción.

$$f = (0,79 * \ln(Re) - 1,64)^{-2} \quad (55)$$

Igualamos el número de Nusselt a:

$$Nu = \frac{h_{conv\ agua} * D_{h\ canal}}{k_{agua}} \quad (56)$$

Se despeja $h_{conv\ agua}$ al igualar las dos expresiones del número de Nusselt y obtendremos así su valor.

Una vez conocido el coeficiente de convección es posible disponerse a calcular los parámetros de la aleta necesarios para conocer la resistencia a la transferencia de calor mediante convección que ocurre en esa zona. Se ha supuesto que la pared superior del conducto es adiabática hacia el exterior (la parte interna se ha integrado en las aletas, una mitad entre huecos para cada lado), mientras que la suma de las paredes laterales equivale a la disipación de una aleta, por lo que el nº de aletas a introducir en la ecuación será igual al número de huecos. La eficiencia de cada aleta caracteriza el rendimiento de la misma y se calcula mediante:

$$\eta_{aleta} = \frac{\tanh(m * L_c)}{m * L_c} \quad (57)$$

Donde:

$$m = \sqrt{\frac{h_{conv\ agua} * Perimetro_{tras}}{k_{acero} * A_c}} \quad (58)$$

$$Perimetro_{tras} = 2 * (t_{aleta} + w_{aleta}) \quad (59)$$

$$L_{c\ aleta} = L_{aleta} + \frac{espacio\ entre\ aletas}{2} \quad (60)$$

$$A_c = t_{aleta} * w_{aleta} \quad (61)$$

Lo siguiente que hay que calcular es el área total que será la suma del área de las aletas con el área de las zonas sin aletas:

$$A_t = n^{\circ}\ aletas * A_f + w_{aleta} * (H - n^{\circ}\ aletas * t_{aleta}) \quad (62)$$

Siendo:

$$A_f = 2 * L_c * w_{aleta} \quad (63)$$

$H = altura\ total\ de\ la\ superficie\ donde\ se\ colocan\ las\ aletas$

Una vez ya conocidos los parámetros necesarios es posible calcular la resistencia a la convección mediante:

$$R_{conv\ agua} = \frac{1}{h_{conv\ agua} * A_t * \left[1 - \frac{n^{\circ}\ aletas * A_f}{A_t} * (1 - \eta_{aleta})\right]} \quad (64)$$

Una vez conocidas todas las resistencias, el siguiente paso es calcular todos los flujos de calor que discurren por el modelo.

Se sabe que la suma de calor de la zona caliente y el calor del aislante es igual al calor que atraviesa el conducto y se transfiere al agua.

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

$$Q_{caliente} + Q_{aislante} + Q_{exterior} = \frac{T_h - T_{hs}}{R_{eq} + R_{cond\ chapa}} \quad (65)$$

Al sumar el calor de la zona fría y el calor del aislante, da como resultado el mismo valor que si dividimos la diferencia entre la temperatura intermedia a la que está el conducto y la temperatura del agua entre la resistencia a la convección en el agua.

$$Q_{frío} + Q_{aislante} = \frac{T_{ci} - T_c}{R_{conv\ agua}} \quad (66)$$

En la unión entre el TEG y las placas puede producirse una caída de temperatura por un contacto imperfecto entre los materiales, por ello se calcula la resistencia de contacto que puede aparecer en cada cara del TEG. Esta resistencia de contacto se calcula dividiendo la resistencia de contacto térmico (que es una propiedad que depende de cada material, de su acabado y del tipo de contacto entre ellos) entre el área entre la que se produce ese contacto.

$$R_{tc} = \frac{R'_{tc}}{Área_{contacto}} \quad (67)$$

Son seis las incógnitas que se tienen, los flujos de calor caliente y frío, las temperaturas en la superficie en ambas caras del TEG y las temperaturas previas al contacto en cada cara por lo que se necesitan cuatro ecuaciones más para conocer todos los parámetros. Estas ecuaciones se obtienen mediante los flujos de calor del TEG, relacionando los términos provocados por el efecto Seebeck, la conductividad y el efecto Joule respectivamente multiplicados por el número de TEGs colocados y calculando el calor que pasa por la resistencia de contacto:

$$Q_{caliente} = n^{o}TEG * (\alpha * I * T_{hsf} + k * (T_{hsf} - T_{csf}) - \frac{1}{2} * I^2 * R_{int}) \quad (68)$$

$$Q_{frío} = n^{o}TEG * (\alpha * I * T_{csf} + k * (T_{hsf} - T_{csf}) + \frac{1}{2} * I^2 * R_{int}) \quad (69)$$

$$Q_{caliente} = \frac{T_{hs} - T_{hsf}}{R_{tc}} \quad (70)$$

$$Q_{frío} = \frac{T_{csf} - T_{cs}}{R_{tc}} \quad (71)$$

Son necesarias dos ecuaciones más ya que no conocemos los valores de T_{hi} ni de T_{ci} , para hallar estos valores vamos a relacionar los calores de cada corriente:

$$Q_{caliente} + Q_{aislante} + Q_{exterior} = \frac{T_{hi} - T_{hs}}{R_{chapa}} \quad (72)$$

$$Q_{frío} + Q_{aislante} = \frac{T_{ci} - T_c}{R_{conv\ agua}} \quad (73)$$

Una vez conocidos ya todos los datos necesarios, es posible calcular la potencia total que será la diferencia entre los flujos de calor caliente y frío:

$$Potencia = Q_{caliente} - Q_{frío} \quad (74)$$

3.3.3.2 Parte inferior (refrigeración con aire)

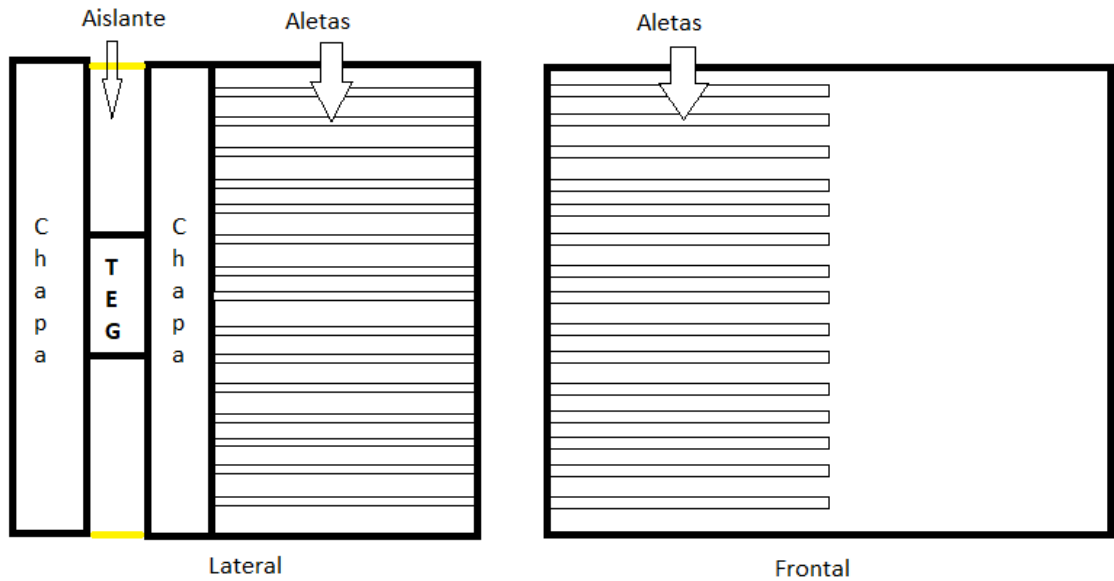


Ilustración 11. Esquema frontal y lateral parte inferior.

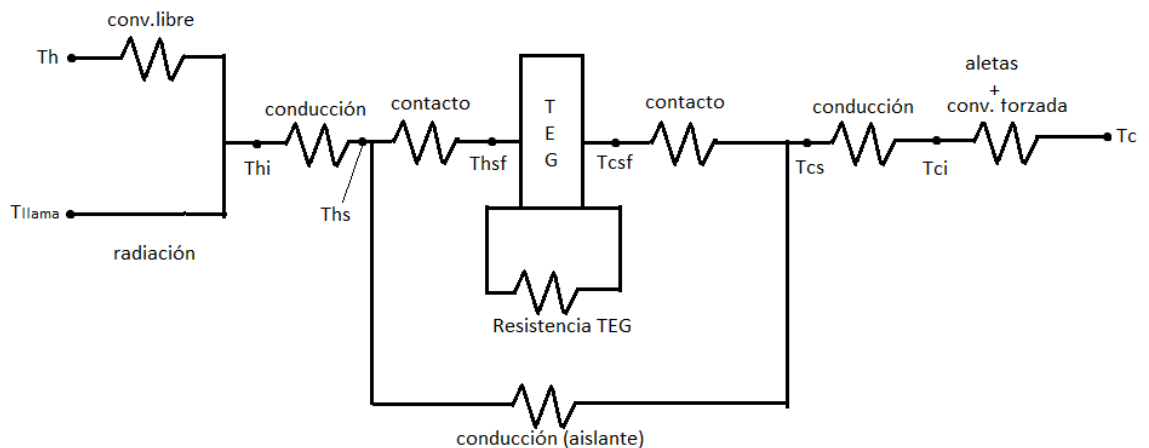


Ilustración 12. Modelo de transferencia de calor parte inferior.

Como se observa en la Ilustración 12, en este modelo ocurren varios fenómenos de transferencia de calor.

Consta de dos flujos de calor en paralelo de los cuales uno será la convección natural (también llamada libre) que se produce entre el aire estancado necesario para la combustión y la estructura de acero donde se colocará el TEG y el aislante, y el otro será la radiación que emite la llama de la combustión. Tras ello, se encuentra en serie la resistencia de conducción que se produce al tener que atravesar el calor la estructura sobre la que irá el TEG junto al aislante, el contacto entre TEG y la superficie donde reside provoca que exista una resistencia por contacto, hasta aquí será la parte del denominado flujo de calor caliente.

Se produce el fenómeno de convección libre en pared vertical entre el aire de combustión y la carcasa de acero, por lo que hay que calcular la resistencia que opone la pared

a esta transferencia. Para obtener el parámetro $h_{conv libre baja}$ hay que calcular el primer lugar el número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{9,8 * \beta * (T_h - T_{hs}) * L^3}{\nu * \alpha} \quad (75)$$

Donde:

$L =$ altura de la carcasa

$$\alpha = \frac{k}{\rho * c_p} \text{ (todos los parámetros referidos al aire de combustión)} \quad (76)$$

$$\beta = \frac{1}{\frac{T_h + T_{hi}}{2}} \quad (77)$$

Tras ello se calcula el número de Prandtl con cada parámetro referido al aire de combustión:

$$Pr = \frac{\nu * \rho * c_p}{k} \quad (78)$$

Ambos numero adimensionales calculados previamente se sustituyen en la ecuación 79 que es la recomendada para el caso de convección libre en pared vertical: (19)

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (79)$$

Igualando la ecuación 79 a:

$$Nu = \frac{h_{conv libre baja} * L}{k_{gases}} \quad (80)$$

Y despejando $h_{conv libre baja}$ se puede calcular la resistencia a la convección libre que se produce.

$$R_{conv libre baja} = \frac{1}{h_{conv libre baja} * \text{Área}_{carcasa}} \quad (81)$$

Para estimar la energía que se transfiere mediante radiación desde la llama hacia la chapa con el generador termoeléctrico, se considera la zona de la llama como un rectángulo de 10 cm de alto y 20 cm de ancho. Estas dimensiones vienen dadas por el tamaño del plato del que surge la llama y el tubo circular que envuelve la llama y contiene los gases que se producen en la combustión dirigiéndolos hacia la parte superior de la caldera. Este rectángulo está situado a 20 cm de la superficie donde irá colocado el TEG cuyas dimensiones son 38 cm de ancho y 20 cm de alto. Como puede observarse en la Ilustración 13 (la parte amarilla será la zona a estudiar) el centro del área de la llama coincide con el centro del lado superior de la estructura donde se colocará el TEG y por donde se hace pasar el aire.

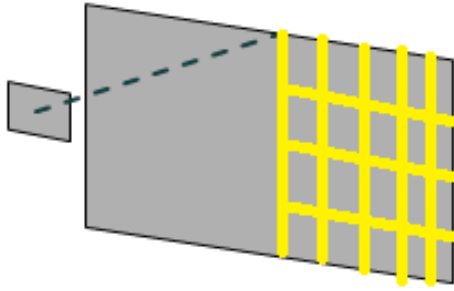


Ilustración 13. Esquema de ubicación de la llama respecto a carcasa.

El factor de forma entre las dos superficies se puede obtener considerando que, frente a la superficie de la estructura metálica, el tamaño de la superficie de la llama es despreciable. El factor de vista entre una superficie elemental dA_1 paralela a un rectángulo A_2 colocados de forma que uno de los ángulos del rectángulo se encuentra en la normal de dA_1 , viene dado por: (21)

$$F_{dA_1-A_2} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{a}{\sqrt{b^2+c^2}} \arcsen\left(\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}\right) + \frac{b}{\sqrt{b^2+c^2}} \arcsen\left(\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}\right) \right\} \quad (82)$$

Siendo:

$a = 19\text{cm}$ (anchura de la zona a estudiar)

$b = 20\text{cm}$ (altura del rectángulo)

$c = 20\text{cm}$ (distancia entre las dos superficies)

Se considera que las superficies son isotermas y negras y que el resto de superficies se encuentran a una temperatura similar a la de la superficie de la estructura donde se encuentra el TEG por lo que la superficie solo intercambia calor con la llama por lo que el calor neto que recibe viene dado por: (19)

$$Q_{llama} = A_{llama} \cdot F_{12} \cdot \sigma \cdot (T_{llama}^4 - T_{hi}^4) \quad (83)$$

Donde:

A_{llama} : área del rectángulo que ocupa la llama

F_{12} : factor de vista

σ : constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$)

T_{llama} : temperatura de la llama

T_{hi} : temperatura de la superficie de la carcasa

Para calcular la resistencia que opone la pared de la carcasa a la conducción de calor hay que dividir el espesor de la pared de la carcasa de acero por la cual se produce la conducción de calor, entre la conductividad del material multiplicada por el área de la superficie de la carcasa que es donde se produce la transferencia de calor.

$$R_{cond \text{ carcasa}} = \frac{\text{espesor}_{carcasa}}{k_{acero} \cdot \text{Área}_{carcasa}} \quad (84)$$

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Lo siguiente será la zona del TEG donde se encuentran dos resistencias en paralelo entre sí que son la propia resistencia del TEG y la resistencia a la conducción que se produce en el aislante.

En el apartado de parámetros de los generadores termoeléctricos (3.3.1) se ha explicado cómo se calcula la k de los TEG que nos servirá en el cálculo de los flujos que los atraviesa.

La resistencia a la conducción que se produce a lo largo del aislante se calcula mediante el espesor de la capa de aislante, su conductividad térmica y el área trasversal donde se produce la transferencia que será igual a la diferencia entre el área total de la pared de la carcasa menos el área que ocupa el TEG.

$$R_{cond\ ais} = \frac{espesor_{aislante}}{k_{aislante} * \text{Área}_{aislante}} \quad (85)$$

Una vez calculada la resistencia, podemos conocer el calor que atraviesa el aislante ya que será el resultado de la diferencia entre las caras fría y caliente del TEG dividido entre la resistencia de conducción en el aislante:

$$Q_{aislante} = \frac{T_{hs} - T_{cs}}{R_{cond\ ais}} \quad (86)$$

La última zona será la fría que, además de la resistencia de contacto entre el TEG y la chapa sobre la cuál van colocadas las aletas, consta de dos resistencias a la transferencia de calor en serie, la primera será la resistencia de conducción que se produce en la chapa sobre la que irán colocadas las aletas, mientras que la última resistencia ante la que nos encontramos será la de la convección forzada (con aletas) que provoca el caudal de aire que se alimenta.

La resistencia a la conducción se calcula dividiendo el espesor de la chapa de aluminio por la cual se produce la conducción de calor, entre la conductividad del material por el área de la chapa donde van colocadas las aletas que será del mismo tamaño que la pared de la carcasa paralela a la chapa.

$$R_{cond\ chapa\ aletas} = \frac{espesor_{chapa}}{k_{aluminio} * \text{Área}_{chapa}} \quad (87)$$

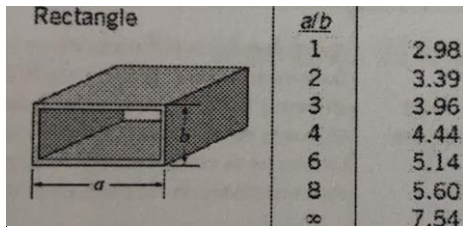
La última etapa de transferencia de calor es la convección forzada que se produce al hacer pasar un caudal de aire por el interior de la carcasa de acero a la cual se le han añadido unas aletas para favorecer esa transferencia de calor. Estas aletas recorren el total de la longitud del hueco interior de la carcasa por lo que divide el área total en numerosos conductos. El primer paso es calcular el coeficiente de convección ($h_{conv\ aire}$) para cada conducto que se forma por lo que se debe calcular en primer lugar el número de Reynolds para conocer si estamos ante un flujo laminar o turbulento.

$$Re = \frac{velocidad_{aire} * D_h\ conducto}{viscosidad\ cinemática} \quad (88)$$

Siendo:

$$D_h\ conducto = 4 * \frac{\text{Área}_{conducto}}{\text{Perímetro}_{conducto}} \quad (89)$$

Para el caso base se obtiene un flujo laminar y al estar en el caso de convección forzada interior debido a que el aire transcurre por un conducto cerrado, el valor del número de Nusselt varía en función de la geometría del mismo (para este caso se utilizará un valor de Nusselt=5,05 que es el que corresponde al conducto rectangular según la Gráfica 4 (18)):



Gráfica 4. N° Nusselt CFI, laminar, geometría rectangular. (18)

Igualamos el número de Nusselt a:

$$Nu = \frac{h_{conv\ aire} * D_h\ conducto}{k_{aire}} \quad (90)$$

Se despeja $h_{conv\ aire}$ al igualar las dos expresiones del número de Nusselt y obtendremos así su valor.

Una vez conocido el coeficiente de convección es posible disponerse a calcular los parámetros de la aleta necesarios para conocer la resistencia a la transferencia de calor mediante convección que ocurre en esa zona. La eficiencia de cada aleta caracteriza el rendimiento de la misma y se calcula mediante:

$$\eta_{aleta} = \frac{\tanh(m * L_c)}{m * L_c} \quad (91)$$

Donde:

$$m = \sqrt{\frac{h_{conv\ aire} * Perimetro\ sección\ transversal}{k_{acero} * A_c}} \quad (92)$$

$$L_c\ aletas = L_{aletas} \quad (93)$$

$$A_c = t_{aletas} * w_{aletas} \quad (94)$$

Lo siguiente que hay que calcular es el área total que será la suma del área de las aletas con el área de las zonas sin aletas:

$$A_t = n^o\ aletas * A_f + w_{aletas} * (H - n^o\ aletas * t_{aletas}) \quad (95)$$

Siendo:

$$A_f = 2 * L_c\ aletas * w_{aletas} \quad (96)$$

$H =$ altura total de la superficie donde se colocan las aletas

Una vez ya conocidos los parámetros necesarios es posible calcular la resistencia a la convección mediante:

$$R_{conv\ aire} = \frac{1}{h_{conv\ aire} * A_t * \left[1 - \frac{n^o\ aletas * A_f}{A_t} * (1 - \eta_{aleta}) \right]} \quad (97)$$

Una vez conocidas todas las resistencias, el siguiente paso es calcular todos los flujos de calor que discurren por el modelo.

Se sabe que la suma de calor de la zona caliente y el calor del aislante es igual al calor de radiación provocado por la llama más la diferencia de temperatura entre el aire de

combustión y la superficie de la estructura (temperatura intermedia), dividido entre la resistencia a la convección en la carcasa de acero.

$$Q_{caliente} + Q_{aislante} = Q_{llama} + \frac{T_h - T_{hi}}{R_{conv\ libre\ baja}} \quad (98)$$

Al sumar el calor de la zona fría y el calor del aislante, da como resultado el mismo valor que si dividimos la diferencia de temperaturas entre la cara fría del TEG y la temperatura de la zona fría entre la suma de las resistencias de esta zona (suma en serie de las resistencias por conducción en la chapa donde se colocan las aletas y la resistencia por convección forzada interior entre la chapa y la corriente de aire).

$$Q_{frío} + Q_{aislante} = \frac{T_{cs} - T_c}{R_{cond\ chapa\ aletas} + R_{conv\ aire}} \quad (99)$$

En la unión entre el TEG y las placas puede producirse una caída de temperatura por un contacto imperfecto entre los materiales, por ello se calcula la resistencia de contacto que puede aparecer en cada cara del TEG. Esta resistencia de contacto se calcula dividiendo la resistencia de contacto térmico (que es una propiedad que depende de cada material, de su acabado y del tipo de contacto entre ellos) entre el área entre la que se produce ese contacto.

$$R_{tc} = \frac{R'_{tc}}{Área_{contacto}} \quad (100)$$

Son seis las incógnitas que se tienen, los flujos de calor caliente y frío, las temperaturas en la superficie en ambas caras del TEG y las temperaturas previas al contacto en cada cara por lo que se necesitan cuatro ecuaciones más para conocer todos los parámetros. Estas ecuaciones se obtienen mediante los flujos de calor del TEG, relacionando los términos provocados por el efecto Seebeck, la conductividad y el efecto Joule respectivamente por cada TEG colocado y calculando el calor que pasa por la resistencia de contacto:

$$Q_{caliente} = n^{oTEG} * (\alpha * I * T_{hsf} + k * (T_{hsf} - T_{csf}) - \frac{1}{2} * I^2 * R_{int}) \quad (101)$$

$$Q_{frío} = n^{oTEG} * (\alpha * I * T_{csf} + k * (T_{hsf} - T_{csf}) + \frac{1}{2} * I^2 * R_{int}) \quad (102)$$

$$Q_{caliente} = \frac{T_{hs} - T_{hsf}}{R_{tc}} \quad (103)$$

$$Q_{frío} = \frac{T_{csf} - T_{cs}}{R_{tc}} \quad (104)$$

Son necesarias dos ecuaciones más ya que no conocemos los valores de T_{hi} ni de T_{ci} , para hallar estos valores vamos a relacionar los calores de cada corriente:

$$Q_{caliente} + Q_{aislante} = \frac{T_{hi} - T_{hs}}{R_{cond\ carcasa}} \quad (105)$$

$$Q_{frío} + Q_{aislante} = \frac{T_{cs} - T_{ci}}{R_{cond\ chapa\ aletas}} \quad (106)$$

Una vez conocidos ya todos los datos necesarios, es posible calcular la potencia total que será la diferencia entre los flujos de calor caliente y frío:

$$Potencia = Q_{caliente} - Q_{frío} \quad (107)$$

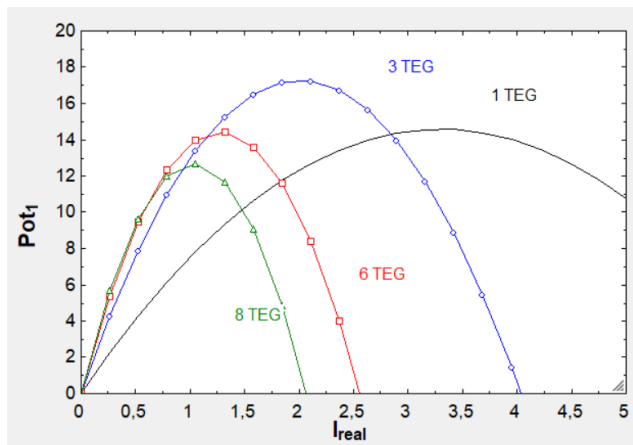
4 Resultados

Se ha estudiado la potencia obtenida para varios tipos de TEG en ambas partes de la caldera, así como la intensidad óptima a la cual se obtiene la potencia máxima en cada TEG. Para conocer tanto la intensidad óptima (medida en Amperios) como la máxima potencia en Vatios que podemos obtener, se ha construido un gráfico para conocer cuál es el punto máximo para cada curva ya que ese será nuestro punto objetivo.

4.1 Parte superior (refrigeración con agua)

Para esta parte se ha tomado como partida que la temperatura de los gases de combustión era de 480°C, la del agua eran 40°C y la de salida de los gases de la caldera era de 55°C.

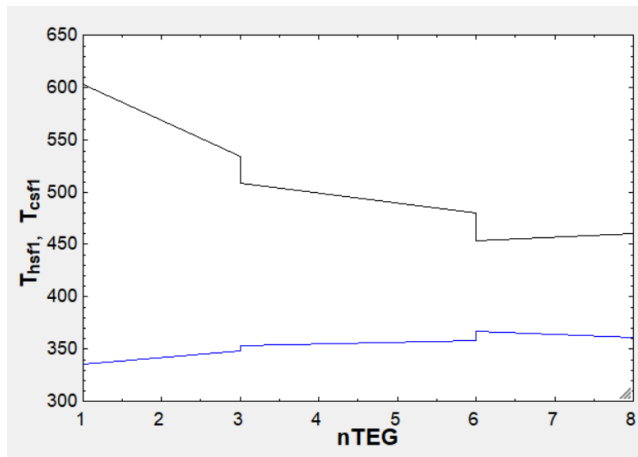
4.1.1 TEG1-12611-6.0



Gráfica 5. Resultados Potencia vs Intensidad TEG12611-6.0 (agua)

Se ha realizado una representación en la Gráfica 5 de la potencia obtenida a varias intensidades para distinta cantidad de TEG. Se observa que cuanto menor es el número de TEG, mayor es el rango de intensidades en las cuales obtenemos una potencia positiva. En cuanto a la potencia máxima que pueden alcanzar cada una, se observa que hay un máximo de 17,3 W a 2,0 A de intensidad para 3 TEG, a priori sería la configuración óptima para obtener la máxima potencia, pero en función de la intensidad a la que se trabaje puede que convenga más otra disposición debido a que cada una muestra un predominio sobre el resto a diferentes rangos. Al añadir más TEGs, se produce una distribución del flujo de calor entre cada uno, por lo tanto, cuantos más módulos haya, menor será el flujo que los recorra y por tanto menor será la energía producida por cada uno de forma individual.

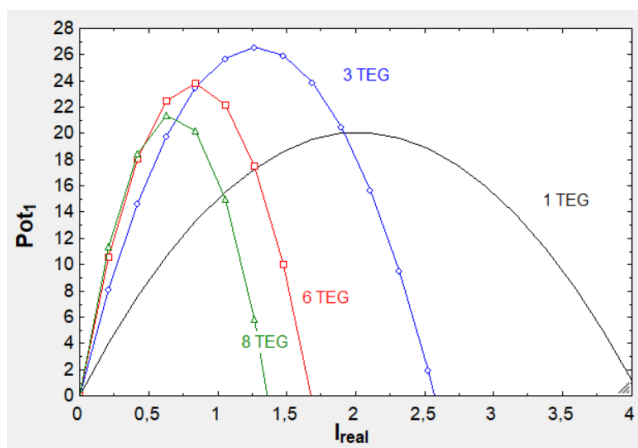
Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa



Gráfica 6. Temperaturas en las caras TEG vs nºTEG

Como se puede observar en la Gráfica 6, al añadir más TEGs, el salto térmico se reduce y por lo tanto, la energía obtenida es inferior.

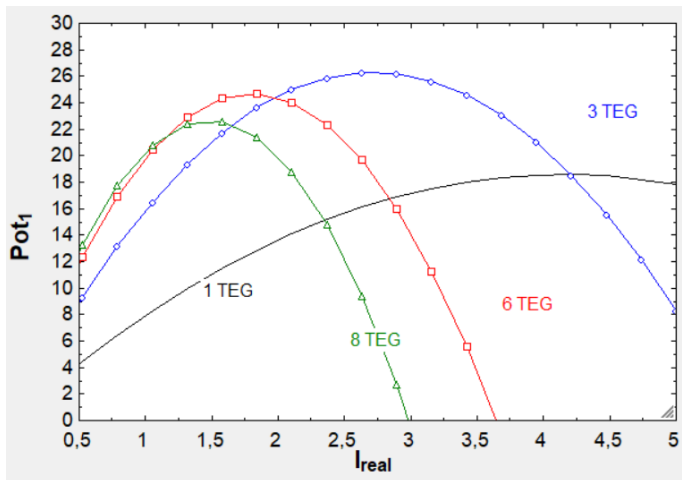
4.1.2 TEG1-24111-6.0



Gráfica 7. Resultados Potencia vs Intensidad TEG24111-6.0 (agua)

No es posible colocar solo un TEG de estas características debido a que supera la temperatura máxima que puede soportar el mismo, para los rangos válidos se observa que la disposición óptima son 3 TEG ya que se obtiene una potencia de 26,54 W para 1,25 A de intensidad. Al integrar una mayor cantidad de módulos, la temperatura de la cara caliente del TEG disminuye mientras que la de la cara fría aumenta, provocando un menor gradiente de temperatura que evita obtener una mayor potencia total.

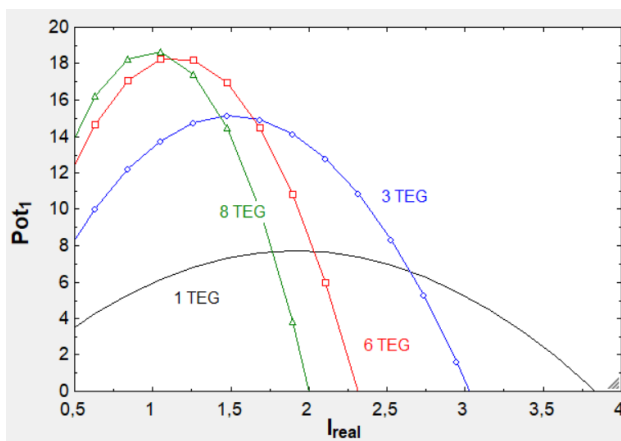
4.1.3 TEG1-Pb-12611-6.0



Gráfica 8. Resultados Potencia vs Intensidad TEG-Pb-12611-6.0 (agua).

Para cualquier valor de intensidad se excede la temperatura máxima que puede soportar 1 solo TEG por lo tanto no es aconsejable esa configuración. Entre las posibles, tenemos tres partes diferenciadas, entre 0 y 1,2A cuya máxima potencia se alcanza con 8 TEG, entre 1,2 y 2,1 que se alcanza con la configuración de 6 TEG, y la óptima que sería colocar 3 TEG con la que se alcanzaría una potencia máxima de 26,31W a una intensidad de 2,7A. Esta última configuración sería la óptima porque, aunque alcancen un pico de potencia máxima similar la de 3 y 6 TEG, la de 3 tiene un mayor espectro de intensidades además de que el desembolso económico en la compra de generadores es menor.

4.1.4 TEG1-Pb-12690

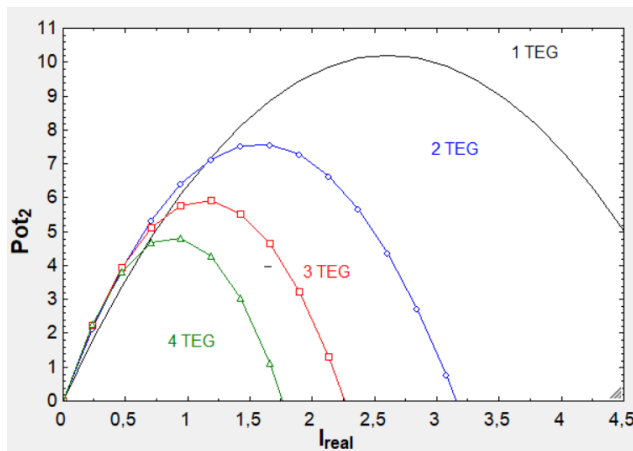


Gráfica 9. Resultados Potencia vs Intensidad TEG-Pb-12690 (agua)

En este caso las 4 configuraciones estudiadas son acordes a los parámetros de diseño de funcionamiento y ocurre que el pico máximo de potencia son 18,71 W y se alcanza para 8 TEG y 1,0 A de intensidad. Con 6 TEG se alcanza un valor similar (18,38 W) cuando la intensidad son 1,15 A, por lo que podría decirse que también es válido e incluso mejor la configuración de 6 puesto que es más simple y se obtiene similar potencia total. Este es un caso especial ya que estamos ante un generador termoelectrico con un rango muy amplio de temperaturas en el cual no afecta de la misma forma el añadir más ya que, aunque la potencia por TEG cada vez es menor, la potencia total sí que aumenta al aumentar el número de TEGs.

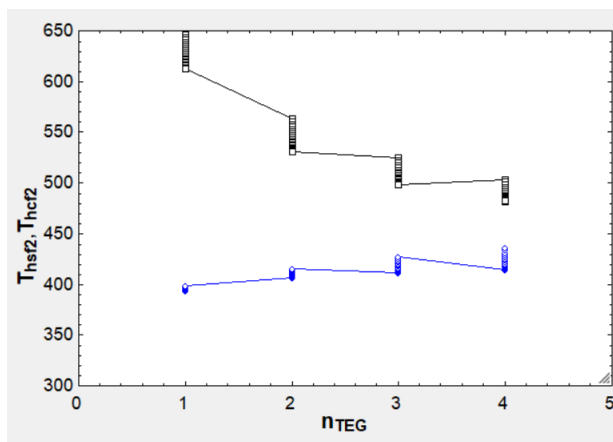
4.2 Parte inferior (refrigeración con aire)

4.2.1 TEG1-12611-6.0



Gráfica 10. Resultados Potencia vs Intensidad TEG12611-6.0 (aire)

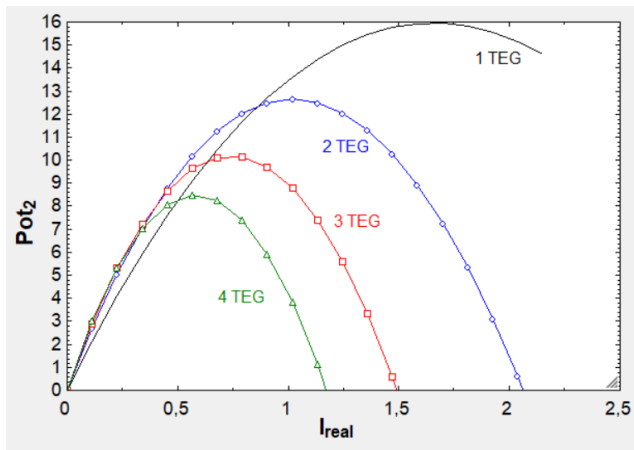
En la Gráfica 10 se observa un máximo de potencia de 7,587 W cuando la intensidad que circula por el TEG es de 1,55 A para 2 TEG, además podemos afirmar que cuanto mayor es el número de TEG que se colocan, menor es la potencia máxima que puede obtenerse. A pesar de que teóricamente obtendríamos mayor potencia para 1 TEG, no sería viable puesto que se excede la temperatura máxima del lado caliente que puede soportar el generador.



Gráfica 11. Temperaturas en las caras de TEG vs n_{TEG}

Se observa que a medida que se añaden más TEGs, la diferencia de temperatura en las caras fría y caliente de los mismos va disminuyendo y por ello, menor será la potencia total obtenida.

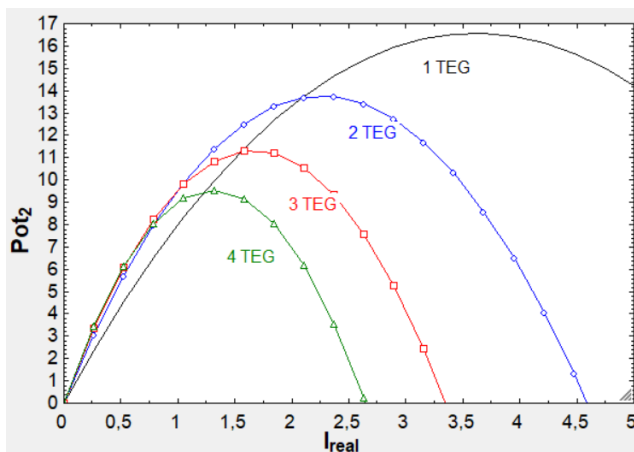
4.2.2 TEG1-24111-6.0



Gráfica 12. Resultados Potencia vs Intensidad TEG24111-6.0 (aire)

Para el caso del TEG1-24111-6.0, se puede observar en la Gráfica 12 que tiene forma de parábola para cualesquier distribución elegida. La que alcanza un punto mayor es la configuración con 2 TEG ya que su potencia máxima es de 12,65 W a una intensidad de 1,0 A, para esta configuración solo sería posible a partir de 0,8 A ya que para un rango inferior de intensidades la temperatura del lado caliente del TEG superaría la máxima que puede aguantar (la configuración con 1 solo TEG no es posible debido a las altas temperaturas en todo el espectro de intensidades). En este caso el rango de intensidades para los cuales podemos obtener potencia positiva es muy pequeño. Al añadir mayor número de generadores, la temperatura del lado caliente disminuye mientras que, por el contrario, la temperatura del lado frío aumenta por lo que se produce una menor diferencia entre ambas y ello conlleva una menor cantidad de energía obtenida.

4.2.3 TEG1-Pb-12611-6.0



Gráfica 13. Resultados Potencia vs Intensidad TEG-Pb-12611-6.0 (aire).

Como se observa en la Gráfica 13, se obtiene un valor alto de potencia para un amplio rango de intensidades, pero no es posible ya que las altas temperaturas que se producen, dañarían el generador, por lo tanto se puede afirmar que la configuración con 2 TEG es la óptima en cualquier intensidad. La potencia máxima que se puede obtener es de 13,76 W con una intensidad de corriente de 2,25A. Cuanto más TEGs añadimos, menor es la diferencia entre las temperaturas del lado caliente y del lado frío.

5 Conclusiones

El uso de generadores termoeléctricos para obtener energía aprovechando la energía en forma de calor ha comenzado a abrirse paso y cada vez está habiendo más estudios y mayor desarrollo de la tecnología que implica, pero, como se ha podido ver a lo largo del trabajo, todavía queda mucho camino por recorrer y desarrollar esta fuente de energía.

El estudio realizado indica que la caldera sería capaz de proporcionar, con las configuraciones óptimas y sumando las potencias de ambas partes, un total de 43.4 W de potencia (13,76W de la parte inferior y 26,54W de la parte superior). Esta potencia nos permitiría ser capaces de ser autosuficientes combinando varios equipos de la Tabla 3 o también se podría utilizar para hacer funcionar parte de los auxiliares de la caldera:

Tabla 3. Potencia de consumo equipos eléctricos.

Equipo	Vatios (W)
Recarga teléfono	6
Recarga tablet	8
Modem	7
Radio despertador	7
Afeitadora eléctrica	15
Bombilla LED – equivalente de 100 W	23
Bombilla CFL – equivalente de 100 W	30
Antena parabólica	25
Reproductor DVD o Blu-Ray	15

Partiendo de este modelo como base y analizando los resultados podrían tomarse algunas decisiones para mejorar el aprovechamiento de la energía de la caldera, por ejemplo, solo se han estudiado dos partes de la geometría de la caldera, pero podría analizarse si sería posible el añadir más TEG en otras zonas de la caldera o que estuvieran más cerca de la fuente de calor para aumentar la temperatura del lado caliente y así obtener un mayor salto térmico que proporcionaría más energía. Otro aspecto a mejorar sería que en la zona de unión del TEG con el resto de superficies (donde aparece la resistencia de contacto), se pierden 10 grados de temperatura por cada unión por lo que fijándolos de una mejor manera y asegurando un mejor contacto, podríamos reducir esa resistencia y por lo tanto obtener un mayor gradiente de temperatura con el que obtendríamos mayor potencia ya que la pérdida de temperatura sería menor. Al analizar los resultados se llega a la conclusión de que no por añadir más generadores termoeléctricos se obtiene una mayor potencia, esto se debe a que cuanto mayor es el número de TEG, el calor se reparte por más focos, la resistencia equivalente es menor y por lo tanto el salto de temperatura también será más pequeño, por lo que la potencia obtenida será menor, incluso es posible que, en vez de generar electricidad, puedan llegar a consumir energía.

Es remarcable que este proyecto sirve de base teórica y como una primera aproximación para un proyecto real con las mismas características que se va a llevar a cabo en los próximos meses en la Universidad de Zaragoza (Proyecto TEGBIOSOL). Tras la realización del proyecto real se podrán obtener nuevas conclusiones que podrán verificar si las consideraciones y suposiciones realizadas son correctas o hay que realizar alguna modificación en base a los resultados obtenidos, es decir, servirá para validar o mejorar si es posible los modelos propuestos.

6 Bibliografía

1. *Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications*. Jouhara, Hussam, y otros. s.l. : Elsevier, 2021.
2. Thermal Ferrotec. [En línea] <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref01/>.
3. A. Cengel, Yunus y A. Boles, Michael. *Termodinámica*. s.l. : Mc Graw Hill, 2015.
4. *Study of a TE (thermoelectric) generator incorporated in a multifunction wood stove*. Champier, D., y otros. s.l. : Elsevier, 2011.
5. *Thermoelectric stoves for poor deprived regions*. Youssef S.H., Najjar y Kseibi, Musaab M. 2017, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 80, págs. 597-602.
6. *Low cost stove-top thermoelectric generator for regions with unreliable electricity supply*. Nuwayhid, R.Y., Rowe, D.M. y Min, G. s.l. : Elsevier, 2002, *Renewable Energy*, Vol. 28.
7. *Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling*. Nuwayhid, Rida Y., Shihadeh, Alan y Ghaddar, Nesreen. s.l. : Elsevier, 2004, *Energy conversion and management*, Vol. 46.
8. *Thermoelectric power generation from biomass cook stoves*. Champier, D., y otros. s.l. : Elsevier, 2010, *Energy*, Vol. 35, págs. 935-942.
9. *Development of thermoelectric generators for electrification*. Rinalde, G.F., y otros. s.l. : Elsevier, 2010, *International journal of hydrogen energy*, Vol. 35, págs. 5818-5822.
10. *A review of thermoelectric power generation systems: Roles of existing test rigs/ prototypes and their associated cooling units on output performance*. Alghoul, M.A., y otros. s.l. : Elsevier, 2018, *Energy Conversion and Management*, Vol. 174, págs. 138-156.
11. *A Combined Heat and Power System for Solid-fuel Stoves Using Thermoelectric Generators*. Montecucco, Andrea, Siviter, Jonathan y R. Knox, Andrew. s.l. : Elsevier, 2015, *Energy Procedia*, Vol. 75, págs. 597-602.
12. *Analysis of a wooden pellet-fueled domestic thermoelectric cogeneration system*. Alanne, Kari, y otros. s.l. : Elsevier, 2014, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 63, págs. 1-10.
13. Zabalza, Ignacio. *Apuntes Termodinámica técnica y fundamentos de transmisión de calor*. s.l. : Grado Ingeniería Química, 2016.
14. Biocurve. Calderas de condensación. Pellets. [En línea] http://www.biocurve-heating.com/wp-content/uploads/2016/02/BioCurve_Cata%CC%81logo_ES.pdf.
15. Thermoelectric generator. [En línea] <https://thermoelectric-generator.com/>.
16. *Experimental study on the ash behaviour in combustion of pelletized residual agricultural biomass*. Royo, Javier, y otros. s.l. : Elsevier, 2019, *Fuel*, págs. 991-1000.
17. Fernandez, Jorge Felix. *Poder calorífico*. Facultad Regional de Mendoza. 2015.

18. Muñoz Rodríguez, Mariano y Uson Gil, Sergio. *Apuntes Termotecnia*. s.l. : Grado Ingeniería Química, 2018.
19. P. Incropera, Frank y P. DeWitt, David. *Fundamentos de transferencia de Calor*. s.l. : Prentice Hall, 1999.
20. RT Arquitectura. [En línea] 2017.
21. López Velázquez, Andrés. Radiación térmica. Fundamentos y factores de forma. [En línea] <https://lopezva.files.wordpress.com/2011/10/cap19.pdf>.
22. Magna. ThermoElectricity. [En línea] <https://www.magna-research.com/termoelectricidad>.
23. Universidad de Navarra. Grupo de Investigación de Ingeniería Térmica. [En línea]
24. Da Rosa, Aldo. *Thermoelectricity*. 2009.
25. Cetronic. Termoelectricidad. [En línea]
26. Blancarte Lizárraga, Wilfredo. *Instrumentación para el control de procesos industriales. Efecto Peltier*. 2001.
27. Gómez Domínguez, Daniel. La Razón. [En línea] 2020. <https://www.larazon.es/ciencia/20200221/4b2d4noxybc53pvqvp2x6ahete.html>.
28. García, Sara Diez. *Análisi de viabilidad de aplicaciones para recuperación de energía mediante efectos termoeléctricos*. 2017.
29. Serrano Canals, Iván. *TFG: Estudio de nuevos materiales termoeléctricos basados en óxidos de hierro*. Universidad de Zaragoza. 2010.
30. Undurraga Almaraz, Aritz. *TFM: Viabilidad de los materiales termoeléctricos*. Universidad de Barcelona. 2014.
31. Applied thermoelectric solutions. [En línea] <https://thermoelectricsolutions.com/how-is-heat-transferred-peltier-module/>.
32. Gainza Moreno, Gonzalo. *TFG: Simulación de un recuperador de calor para gases de escape basado en materiales termoeléctricos*. Universidad de Zaragoza. 2015.
33. *Development of thermoelectric generators for electrification of isolated rural homes*. Rinalde, G.F., y otros. s.l. : Elsevier, 2010, Vol. 35.

7 Índice de gráficas

Gráfica 1. Emisividad de CO ₂ en una mezcla con gases no radiantes a 1 atm (19)	17
Gráfica 2. Emisividad de vapor de agua en una mezcla con gases no radiantes a 1 atm. (19)	18
Gráfica 3. Factor de corrección asociado con mezclas de vapor de agua y CO ₂ . (19) ...	18
Gráfica 4. N ^o Nusselt CFI, laminar, geometría rectangular. (18)	27
Gráfica 5 .Resultados Potencia vs Intensidad TEG12611-6.0 (agua)	29
Gráfica 6. Temperaturas en las caras TEG vs n ^o TEG	30
Gráfica 7. Resultados Potencia vs Intensidad TEG24111-6.0 (agua)	30
Gráfica 8. Resultados Potencia vs Intensidad TEG-Pb-12611-6.0 (agua).	31
Gráfica 9. Resultados Potencia vs Intensidad TEG-Pb-12690 (agua)	31
Gráfica 10. Resultados Potencia vs Intensidad TEG12611-6.0 (aire)	32
Gráfica 11. Temperaturas en las caras de TEG vs n ^o TEG	32
Gráfica 12. Resultados Potencia vs Intensidad TEG24111-6.0 (aire)	33
Gráfica 13. Resultados Potencia vs Intensidad TEG-Pb-12611-6.0 (aire)	33

8 Índice de tablas

Tabla 1. Características de los TEG. (15)	11
Tabla 2. Composición másica de la biomasa y aire utilizado. (16)	12
Tabla 3. Potencia de consumo equipos eléctricos.	34
Tabla 4. Tabla paramétrica TEG1-12611-6.0	67
Tabla 5. Tabla paramétrica TEG1-24111-6.	70
Tabla 6. Tabla paramétrica TEG1-Pb-12611-6.0	72
Tabla 7. Tabla paramétrica TEG1-Pb-12690	74
Tabla 8. Tabla paramétrica TEG1-12611-6.0	76
Tabla 9. Tabla paramétrica TEG1-24111-6.0	79
Tabla 10. Tabla paramétrica TEG1-Pb-12611-6.0	81

9 Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Mecanismos de transferencia de calor. (3)	3
Ilustración 2. Principio básico de un TEG. (4)	3
Ilustración 3. Esquema cocina multifunción (8)	4
Ilustración 4. Montaje experimental. (9)	5
Ilustración 5. Diagrama e imagen del sistema experimental (11).....	5
Ilustración 6. Caldera Biocurve BCH-25. (14)	7
Ilustración 7. Parte superior de la caldera.	8
Ilustración 8. Medidas carcasa parte inferior.....	9
Ilustración 9. Esquema parte superior.	14
Ilustración 10. Modelo de transferencia de calor parte superior.	15
Ilustración 11. Esquema frontal y lateral parte inferior.....	23
Ilustración 12. Modelo de transferencia de calor parte inferior.....	23
Ilustración 13. Esquema de ubicación de la llama respecto a carcasa.....	25
Ilustración 14. Efecto Seebeck. (24)	39
Ilustración 15. Efecto Peltier. (26).....	40
Ilustración 16. Efecto Thomson. (28)	41
Ilustración 17. Geometría del TEG (31).	43

10 Anexo

10.1 Fenómenos termoelectricos

La termoelectricidad es un fenómeno físico que consiste en generar una corriente eléctrica a partir de un flujo de calor. (22)

En los últimos años ha habido grandes avances en el campo de la termoelectricidad, cada día hay mayor interés en esta rama de la física y mayor número de estudios, especialmente en aplicaciones en las cuales se necesita un control preciso de la temperatura. (2) Para poder comprender el funcionamiento de los dispositivos termoelectricos es necesario conocer los fundamentos teóricos de todos los fenómenos termoelectricos que existen.

10.1.1 Efecto Seebeck

En 1821, el científico alemán Thomas Seebeck descubrió que se podía obtener electricidad a partir de una diferencia de temperatura, para ello, debemos partir de dos alambres de distinto material unidos mediante soldadura, una de las uniones se mantiene a mayor temperatura que la otra por lo que surge una diferencia de potencial que provoca que fluya una corriente eléctrica, directamente proporcional a la diferencia de temperaturas, entre las uniones fría y caliente. (23) Esto se produce debido a que los electrones del lado caliente incrementan su energía respecto a los de la unión fría provocando un desequilibrio de dichos electrones. (24)

Mientras se aporte energía en forma de calor en uno de los extremos, nos aseguramos de que la velocidad de transferencia de electrones con su correspondiente diferencia de potencial y la continua transmisión de calor será mayor de la parte caliente a la fría que viceversa. La transferencia finalizará una vez que se equilibre, momento en el que se iguala tanto el potencial como la temperatura. En el caso de que continuara una diferencia de temperatura seguiría produciéndose un desequilibrio que trataría de equilibrarse mediante el transporte de electrones. (2)

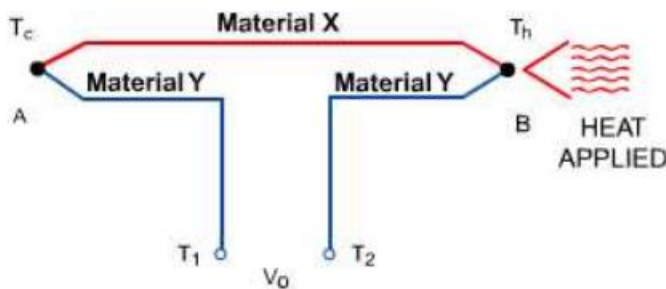


Ilustración 14. Efecto Seebeck. (24)

En la Ilustración 14 (25) podemos observar que la unión A se utiliza como "referencia" y se mantiene a una temperatura relativamente fría (T_c). La unión B se usa para medir la temperatura que nos interesa (T_h). Con la aplicación de calor a la unión B, aparecerá un voltaje en los terminales T₁ y T₂, esta diferencia de potencial (V_o) se denomina fuerza electromotriz de Seebeck, que como se ha comentado antes es directamente proporcional al gradiente térmico que se produce entre las dos uniones.

$$V_{AB} = \alpha * (T_h - T_c) \quad (108)$$

Siendo:

V_{AB} : diferencia de potencial.

α : coeficiente Seebeck entre los dos materiales, se mide en V/K.

T_h : temperatura unión caliente.

T_c : temperatura unión fría.

10.1.2 Efecto Peltier

Descubierto en 1834 por físico francés Jean Charles Athanase Peltier, es lo opuesto al efecto Seebeck ya que en aquí se genera un gradiente de temperatura a partir de un potencial eléctrico. Se produce al hacer pasar una corriente por un circuito compuesto de distintos materiales, unidos mediante soldadura, cuyas uniones están a la misma temperatura. En este caso en una unión se absorbe calor mientras que en la otra se desprende, esto se debe a la necesidad de ganar los electrones energía (la extraerían de los metales por lo que se enfría la soldadura) o si por el contrario la pierden (la soldadura se calentará). Este efecto es reversible por lo que si invertimos la polaridad de la alimentación podremos invertir el funcionamiento, es decir, que ahora la unión que se enfriaba se calentará, mientras que la unión que antes se calentaba, ahora se enfriará. (26)

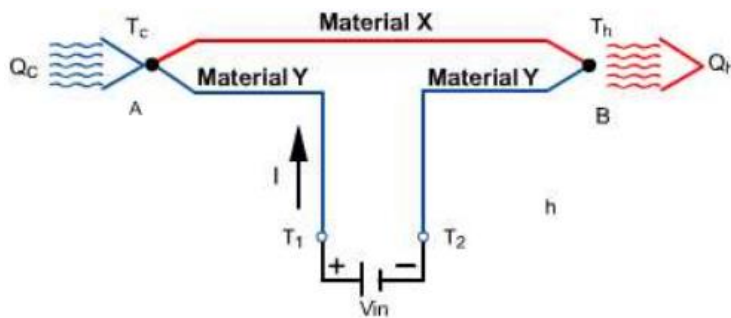


Ilustración 15. Efecto Peltier. (26)

Como se puede observar en la Ilustración 15 al aplicar un voltaje (V_{in}) a los terminales T_1 y T_2 , discurrirá una corriente eléctrica en el circuito. Como resultado de este flujo de corriente, se producirá un enfriamiento en la unión A ya que se absorbe calor (Q_c), mientras que en la unión B se desprenderá calor (Q_h) al calentarse. Si se revirtiese la dirección de la corriente eléctrica también se invertiría el flujo de calor. (3) (27)

$$Q = \pi * I \quad (109)$$

Donde:

Q : calor absorbido o cedido.

π : coeficiente Peltier entre los dos materiales.

I : intensidad que recorre el circuito.

10.1.3 Efecto Thomson

El matemático y físico británico William Thomson descubrió que cuando se hace pasar una corriente eléctrica a través de un conductor que tiene un gradiente de temperatura a lo largo de su longitud, este, absorberá o expulsará calor, de esta forma observo la interrelación y complementariedad entre el efecto Seebeck y el efecto Peltier. Que se absorba o se expulse calor depende de la diferencia de temperatura y de la dirección de la corriente eléctrica.

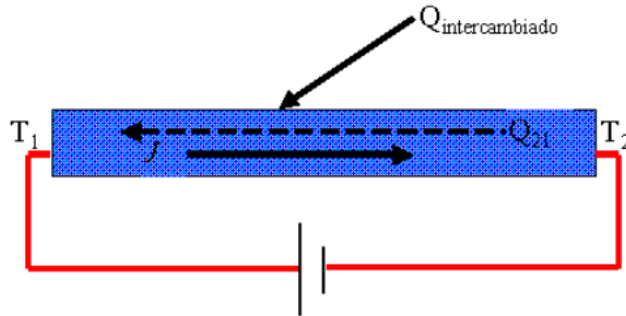


Ilustración 16. Efecto Thomson. (28)

En la Ilustración 16 podemos observar el esquema del funcionamiento de este efecto.

La diferencia que existe entre los efectos Seebeck y Peltier respecto al efecto Thomson consiste en que el Thomson se produce para un solo material y no necesita la unión de dos materiales distintos. Igual que el efecto Peltier, es también reversible. (28)

La ecuación que describe este efecto es (24):

$$Q = \mu * I * \Delta T \quad (110)$$

Donde:

Q: calor generado.

μ : coeficiente Thomson.

I: intensidad de corriente.

ΔT : gradiente de temperatura.

10.1.3.1 Relaciones de Thomson

William Thomson consiguió establecer una serie de relaciones entre los coeficientes de los tres efectos mencionados anteriormente.

- La primera relaciona el coeficiente Seebeck con el Peltier:

$$\pi = T * \alpha \quad (111)$$

- Mientras que la segunda los relaciona con el coeficiente Thomson:

$$\mu = T * \frac{\partial \alpha}{\partial \pi} \quad (112)$$

10.1.4 Efecto Joule

Fue descubierto por James Prescott Joule en 1852. Este efecto consiste en que, si por un conductor circula corriente eléctrica, debido a los choques de los electrones con las moléculas del conductor, parte de la energía cinética de estos electrones se transforma en calor provocando un aumento de temperatura en el conductor. Este calor generado es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente y directamente proporcional a la resistencia del conductor al paso de la corriente como se observa en la ecuación 113:

$$Q = I^2 * R \quad (113)$$

Siendo:

Q: potencia calorífica generada debido al efecto Joule.

I: corriente que atraviesa el material.

R: resistencia eléctrica del conductor.

10.2 Generadores termoeléctricos

Los generadores termoeléctricos (TEG) son unos dispositivos que convierten de forma directa la energía térmica provocada por un gradiente de temperatura en energía eléctrica. Esta conversión de energía se basa en el efecto Seebeck.

Esta tecnología nos ofrece una serie de ventajas frente a otras tecnologías como puede ser una gran fiabilidad, pequeño tamaño, capacidad de trabajo a altas temperaturas, además de que una energía limpia respetuosa con el medio ambiente. Por ello, tienen multitud de usos en varios campos tales como aparatos médicos o industriales, uso militar o en la industria aeroespacial.

Además de ventajas, estos dispositivos también muestran algunos inconvenientes como puede ser la baja eficiencia. El problema radica en que la mayoría de los materiales, cuando son grandes conductores de electricidad, también lo son del calor y viceversa, sin embargo, lo que interesa es que sean buenos conductores de electricidad, pero no del calor, por ello se buscan materiales con las propiedades adecuadas y se investiga cómo aumentar el valor de la figura de mérito para ganar en eficiencia. (29) Otro inconveniente que surge con esta tecnología es que es costosa, ya no solo que los generadores sean caros en el momento de compra sino que además dependiendo del material que se utilice en el TEG, deben llevarse a cabo procesos con un alto coste para obtener estos materiales. (30)

Están compuestos por un conjunto de componentes conectados, térmicamente en paralelo y eléctricamente en serie, formados a partir de dos metales distintos, a cada lado se encuentra una placa cerámica para asegurarse el aislamiento eléctrico del conjunto. Los semiconductores que forman estos módulos suelen ser semiconductores dopados, y se dividen en componentes tipo P (con un exceso de huecos) y componentes tipo N (con un exceso de electrones (31)). Al fluir el calor a través de la célula, los componentes del tipo N se cargan negativamente (existe un exceso de electrones en ellos), mientras que los componentes del tipo P están cargados positivamente (falta de electrones), esto da lugar a la formación del flujo eléctrico.

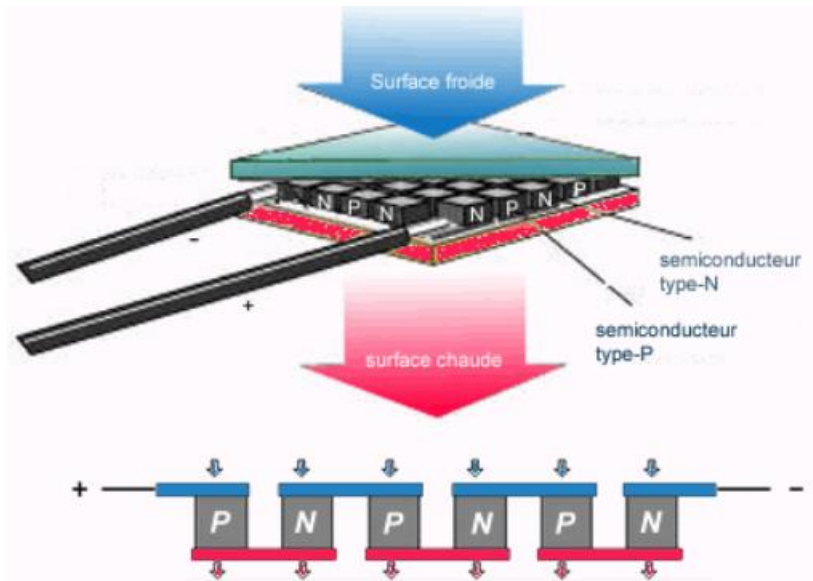


Ilustración 17. Geometría del TEG (31).

El potencial eléctrico es proporcional a la diferencia de temperatura y a la constante Seebeck y viene expresado por la siguiente ecuación:

$$V_{AB} = \alpha * (T_h - T_c) \quad (114)$$

Siendo:

V_{AB} : diferencia de potencial.

α : coeficiente Seebeck entre los dos materiales, se mide en V/K.

T_h : temperatura unión caliente.

T_c : temperatura unión fría.

La eficacia de los materiales termoelectricos viene dada por la figura de mérito Z que se define como:

$$Z = \frac{\alpha^2 * \sigma}{k} = \frac{\alpha^2}{\rho * k} \quad (115)$$

Donde:

α : coeficiente Seebeck.

σ : conductividad eléctrica.

k : conductividad térmica.

ρ : resistividad eléctrica.

Es muy común expresarlo como ZT, multiplicándolo por la temperatura promedio. Cuanto mayor sea el valor de ZT, mayor será la eficiencia termodinámica. (32)

10.3 Métodos de transmisión de calor

10.3.1 Conducción

Es la transferencia de energía de las partículas con mayor energía de una sustancia hacia las contiguas menos energéticas. Es un proceso basado en el contacto entre los cuerpos, sin transferencia de materia, fluyendo el calor entre los cuerpos con temperatura descendente (de más a menos).

Puede ocurrir en sólidos, líquidos y gases, aunque suele ser más común este proceso en sólidos ya que para que se dé una conducción pura en líquidos y gases es necesario que no haya ningún tipo de convección. En los sólidos se debe a la combinación de las moléculas en una red junto al transporte de energía mediante electrones libres, sin embargo, en el caso de sólidos y líquidos este fenómeno se produce debido a las colisiones entre las moléculas con un recorrido aleatorio. (3)

La ecuación que describe el proceso de conducción es la ley de Fourier y nos dice que la tasa de conducción de calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa misma dirección, pero de sentido contrario (18):

$$\dot{Q} = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (116)$$

Siendo:

\dot{Q} : cantidad de energía calorífica por unidad de tiempo.

k: conductividad térmica del material (capacidad del material para conducir calor) [W/m*K].

A: área.

$\frac{dT}{dx}$: gradiente de temperatura.

La transferencia de calor por conducción por tanto dependerá de la geometría, de las propiedades del material y de la diferencia de temperaturas. Materiales tales como el cobre y la plata que son buenos conductores eléctricos, también lo son del calor, sin embargo, otro como la madera o el poliestireno tienen bajos valores de k por ser malos conductores.

10.3.2 Convección

Consiste en la transferencia de energía entre un sólido y un líquido o gas adyacente que está en movimiento. Cuanto mayor es la velocidad de movimiento del fluido, mayor es la transferencia de calor. Existen dos tipos de convección en función de cómo sea el movimiento del fluido. (3)

Hay convección natural si el movimiento del fluido está ocasionado por fuerzas como puede ser la diferencia de densidad debido a la variación de temperatura en el fluido. Por otra parte, decimos que existe convección forzada cuando el fluido es forzado a fluir mediante métodos externos como puede ser mediante una bomba o un ventilador, por ejemplo.

La transferencia de calor por convección se expresa mediante la ley de enfriamiento de Newton (18):

$$\dot{Q} = h * A * (T_s - T_f) \quad (117)$$

Donde:

\dot{Q} : cantidad de energía calorífica por unidad de tiempo.

h: coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m²].

A: área.

T_s: temperatura de la superficie.

T_f: temperatura del fluido lejos de la superficie.

El coeficiente de transferencia de calor por convección no es una propiedad del fluido, sino que es un parámetro que depende que se determina de forma experimental que depende de factores como la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido o las propiedades y velocidad del fluido.

10.3.3 Radiación

A diferencia de los mecanismos de transferencia de calor previamente mencionados, la radiación no necesita la presencia de un medio para que se lleve a cabo ya que es la energía que emite la materia en forma de ondas electromagnéticas debido a los cambios en las configuraciones electrónicas sus átomos o moléculas, en nuestro caso, la radiación térmica es la que nos interesa que es la forma de radiación que emiten los cuerpos debido a su temperatura. Este tipo de transferencia es la más rápida y puede incluso darse en el vacío. (19) (3)

La cantidad de energía radiada podemos calcularla mediante la ley de Stefan-Boltzmann (18):

$$\dot{Q} = \varepsilon * \sigma * A * T_s^4 \quad (118)$$

Donde:

\dot{Q} : cantidad de energía calorífica por unidad de tiempo.

ε : emisividad (0< ε <1).

σ : constante de Stefan-Boltzmann (5'67*10⁻⁸ W/m²).

A: área.

T_s: temperatura absoluta del material radiante.

Para calcular el intercambio de radiación entre dos superficies es necesario tener en cuenta el factor de vista (F_{ij}) (19) que indica la relación entre la energía radiante que emite una superficie y la energía que radiada que intercepta otra y se define como la fracción de la radiación que sale de la superficie i que es interceptada por la superficie j. (19) En áreas finitas, el factor de vista viene dado por:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\phi_i \cos\phi_j}{\pi R_{ij}^2} dA_j \quad (119)$$

La radiación puede salir de una superficie debido a la reflexión y emisión que al alcanzar una segunda superficie experimenta reflexión y absorción, sin embargo, se puede simplificar para algunas superficies en las que no haya reflexión por lo que la energía solo sale como resultado de la emisión y toda la radiación incidente es absorbida, a estas superficies se les da el nombre de cuerpos negros (19).

10.4 Símbolos

T_h : temperatura caliente del modelo

T_{hi} : temperatura intermedia entre la caliente y la de la superficie caliente del TEG

T_{hsf} : temperatura superficie caliente del TEG

T_c : temperatura fría del modelo

T_{ci} : temperatura intermedia entre la fría y la de la superficie fría del TEG

T_{csf} : temperatura superficie fría del TEG

T_{salida} : temperatura de salida de los gases de la caldera

k : conductividad térmica del material

h : coeficiente de convección

Q : flujo de calor

Re : número de Reynolds

Ra : número de Rayleigh

Nu : número de Nusselt

Pr : número de Prandtl

R : resistencia térmica

D_h : diámetro hidráulico

ρ : densidad

ν : viscosidad cinemática

c_p : calor específico

A_c : área transversal de la aleta

L_c : longitud de aleta corregida

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

t : espesor

w : anchura de la aleta

A_f : área de la aleta

A_t : área total

R''_{tc} : resistencia específica de contacto

10.5 Hoja técnica TEG

10.5.1 TEG1-Pb12690



CARBON REDUCING TECHNOLOGY

MODULE TEG1-PB12690

OPERATING PARAMETERS:

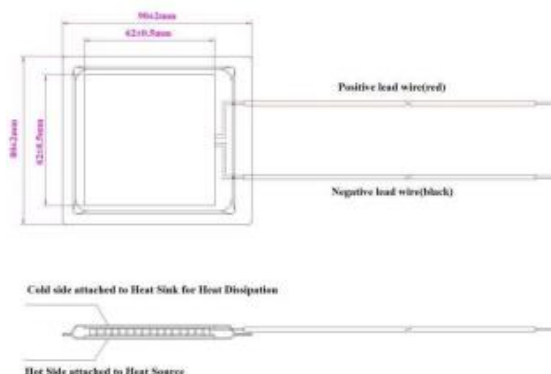
Description

Our high temperature power module is designed and manufactured to convert a heat source directly into electricity. The module is a lead tin telluride based thermoelectric module that can work optimally at 500 °C (932 °F) continuously, and up to 600°C (1112 °F) intermittently. The encapsulated thermoelectric module generates DC electricity as long as there is a temperature difference (ΔT) across the module. More power is generated when the temperature difference across the module becomes larger, and the efficiency of converting heat energy into electricity will increase. The encapsulated module is hermetically sealed in a metal casing to prevent oxidation and to protect the module integrity, resulting in long service life.

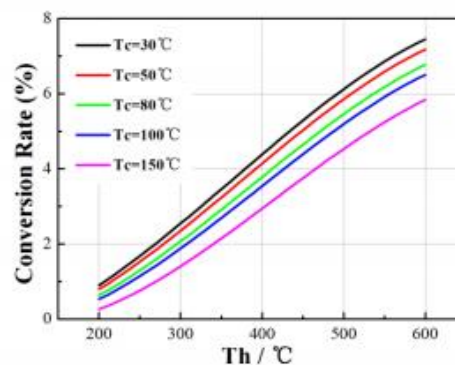


Hot Side Temperature / T_h	600
Cold Side Temperature / T_c	30
Open Circuit Voltage (V)	13.3
Matched Load Resistance (Ohms)	2.05
Matched load output (V)	6.65
Matched load output current (A)	3.27
Matched load output power (W)	21.7
Heat flow across the module (W)	≈ 273
Heat flow density ($W\ cm^{-2}$)	≈ 7.1
AC Resistance (ohms) Measured under 27 °C at 1,000 Hz	0.7-1.1

Geometric Characteristics Dimensions in millimeter



Conversion Rates for the module Vs T_h under various T_c



Noted: Conversion rate = Matched load output power/Heat flow through the module

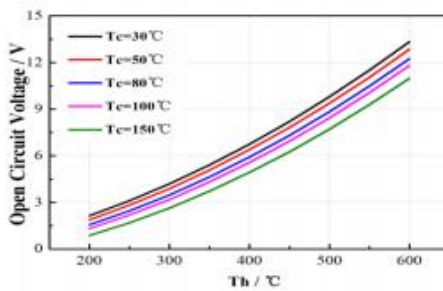


CARBON REDUCING TECHNOLOGY

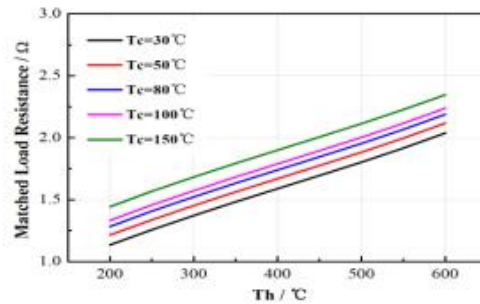
MODULE TEG1-PB12690

PERFORMANCE CURVES:

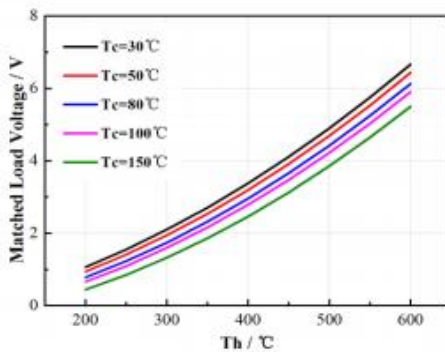
TEG1-PB1269



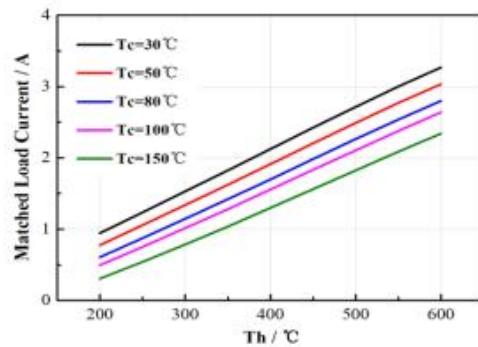
Open circuit voltage Vs T_h under various T_c



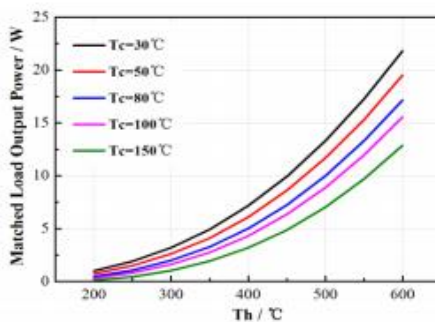
Matched load resistance Vs T_h under various T_c



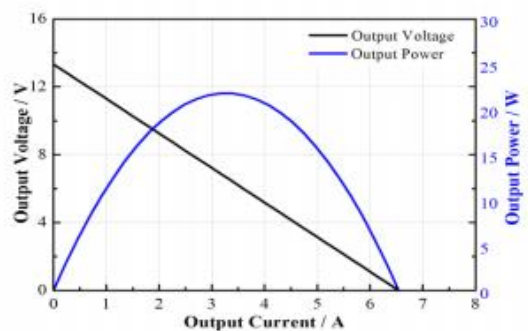
Matched load voltage Vs T_h under various T_c



Matched load current Vs T_h under various T_c



Matched load output power Vs T_h under various T_c



Output voltage and output power Vs output current at $T_h = 600^\circ\text{C}$ and $T_c = 30^\circ\text{C}$

10.5.2 TEG1-12611-6.0



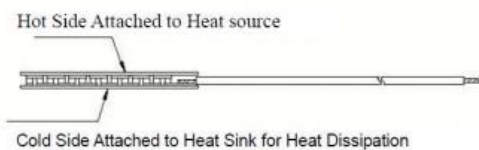
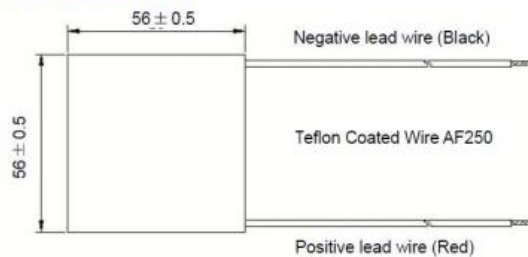
Specifications TEG Module TEG1-12611-6.0



SNAPSHOT SPECIFICATION OF TEG1-12611-6.0

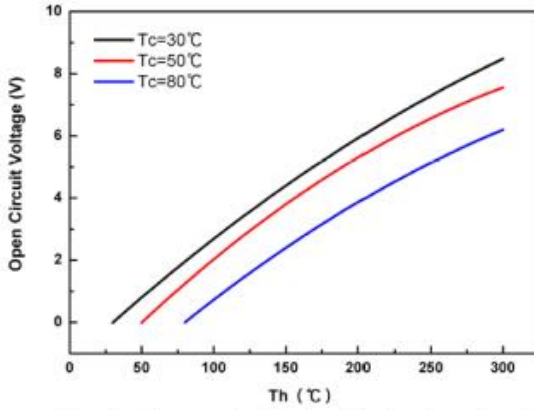
Hot Side Temperature (°C)	300
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	8.4
Matched Load Resistance (ohms)	1.2
Matched load output voltage (V)	4.2
Matched load output current (A)	3.4
Matched load output power (W)	14.6
Heat flow across the module(W)	≈ 365
Heat flow density(Wcm ⁻²)	≈ 11.6
AC Resistance(ohms) Measured under 27 °C at 1000Hz	0.5~0.7

Geometric Characteristics Dimensions in millimeter

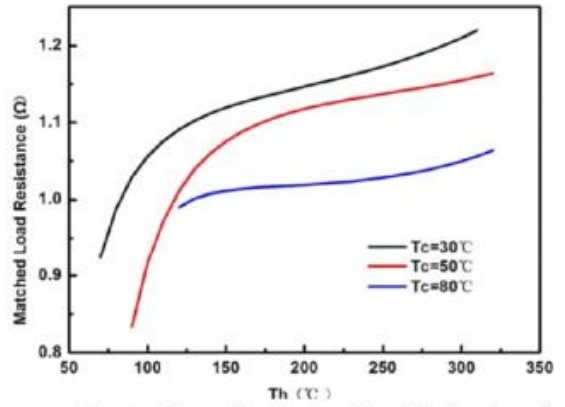




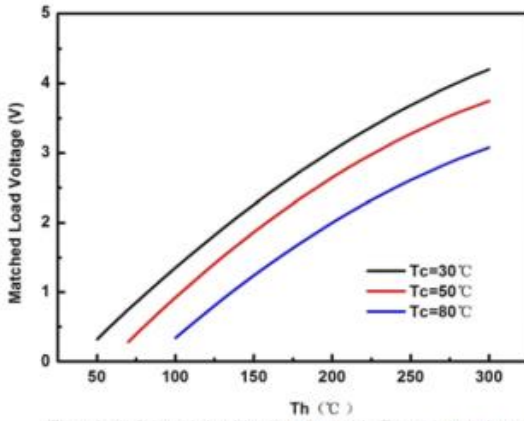
SNAPSHOT SPECIFICATION OF TEG1-12611-6.0



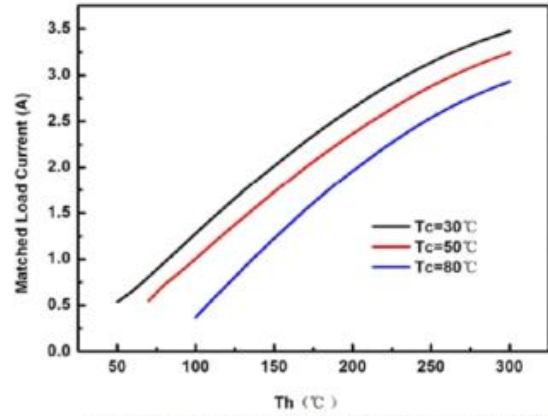
The chart for open circuit voltage Vs T_h under various T_c



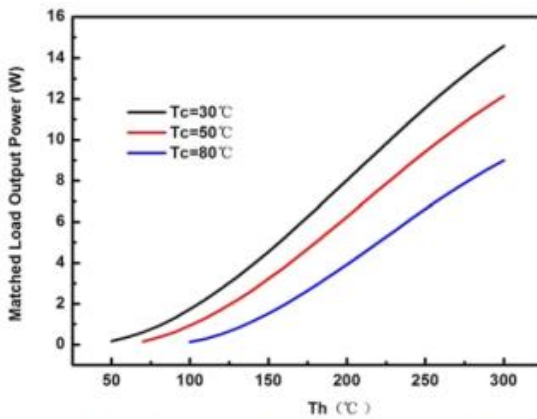
The chart for matched load resistance Vs T_h under various T_c



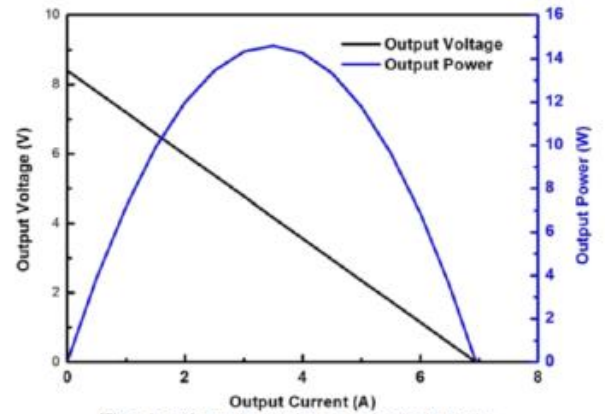
The chart for matched load voltage Vs T_h under various T_c



The chart for matched load current Vs T_h under various T_c



The chart for matched load output power Vs T_h under various T_c



The chart for output voltage and output power Vs output current under $T_h=300^\circ\text{C}$ and $T_c=30^\circ\text{C}$

10.5.3 TEG1-24111-6.0



Specification of Thermoelectric Module

TEG1-24111-6.0

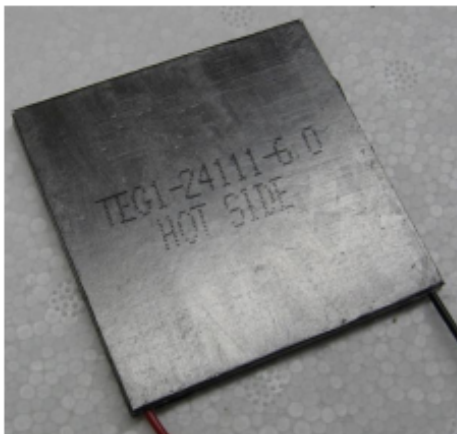
Description

OPERATING PARAMETERS:

Seebeck Effect thermoelectric power modules are design with high temperature bonding materials allowing them to withstand temperatures of up to 320°C (608°F). As long as the module is placed into a system, whereby the hot side is at a higher temperature than the cold side, D.C. power will be produced.

The TEG1-24111-6.0 module is designed to produce large voltage outputs as compared to standard 126 couple module. The ceramic surfaces are assembled with graphite sheets, which eliminates the need for thermal grease. These novel TEG modules work best in the 200 to 300C temperature range and offer superior performance over 150C hot side, compared to standard BiTe modules.

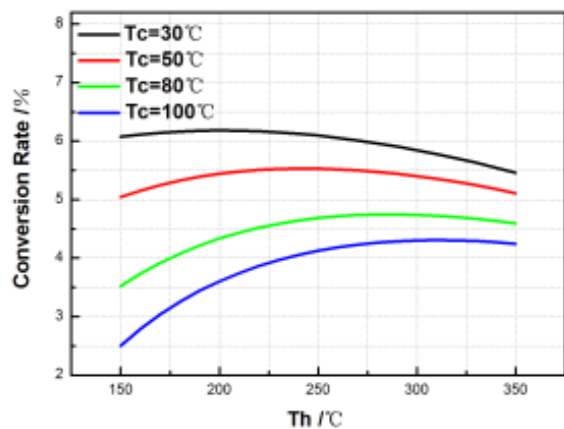
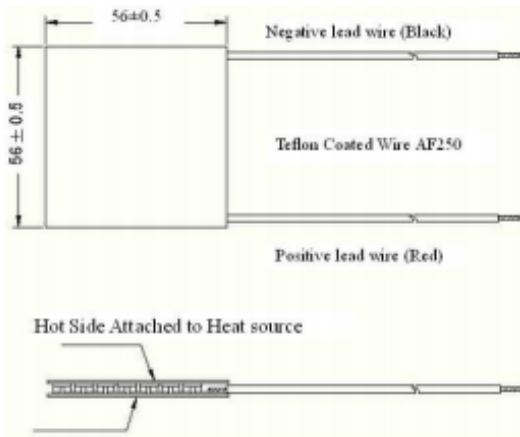
Specification of the Module



Hot Side Temperature (°C)	300
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	17.7
Matched Load Resistance (ohms)	4.4
Matched load output voltage (V)	8.8
Matched load output current (A)	2.0
Matched load output power (W)	17.6
Heat flow across the module (W)	≈ 301
Heat flow density (W cm ⁻²)	≈ 9.6
AC Resistance(ohms) Measured under 27 °C at 1000Hz	2.3 ~ 2.5

Note: Conversion rate = Matched load output power/heat flow through the module

Geometric Characteristics Dimensions in millimeter Conversion Rate of the modules Vs Th under various Tc



Cold Side Attached to Heat Sink for Heat Dissipation

Tecteg@rogers.com

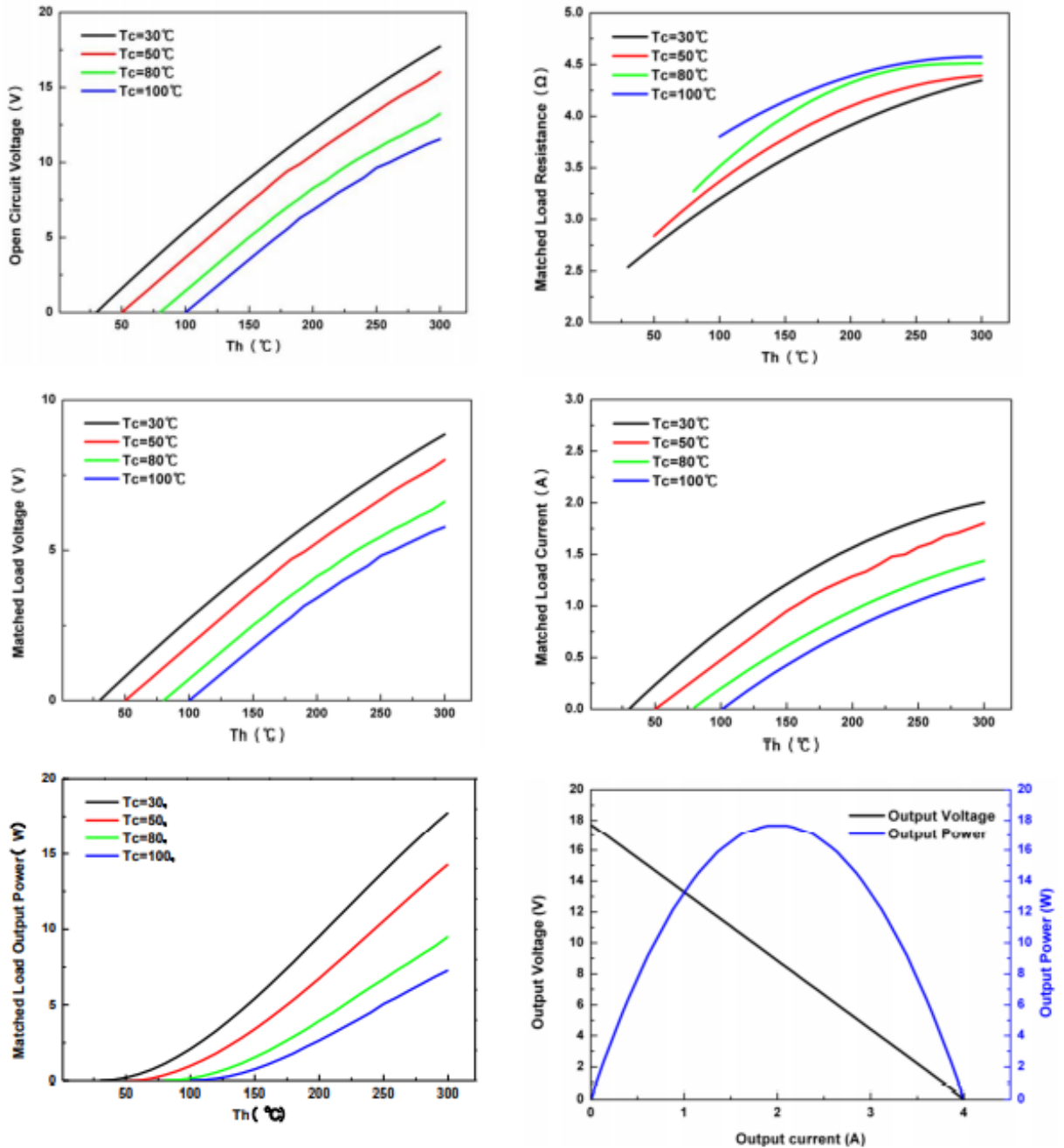
1-905-751-1362 World

1-800-769-2395 N. America



Performance Curves of the Module

TEG1-24111-6.0 ($T_H=300^\circ\text{C}$ and $T_C=30^\circ\text{C}$ to 100°C , tested under ideal lab set-up)



Tecteg@rogers.com

1-905-751-1362 World

1-800-769-2395 N. America

10.5.4 TEG1-Pb-12611-6.0

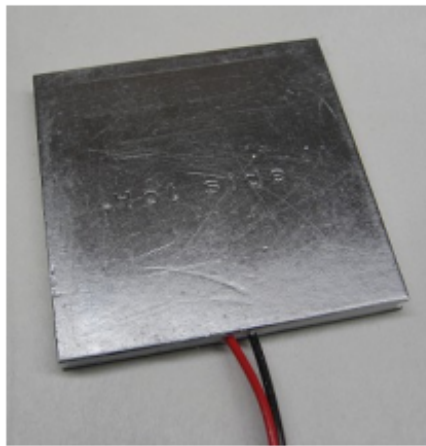


CARBON REDUCING TECHNOLOGY

MODULE TEG1-PB-12611-6.0

OPERATING PARAMETERS:

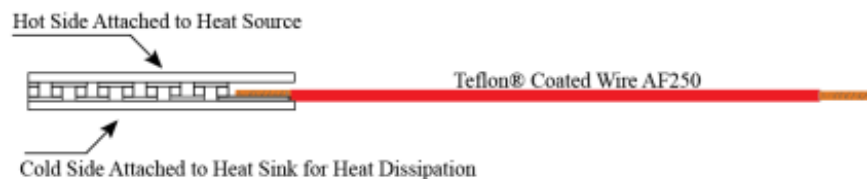
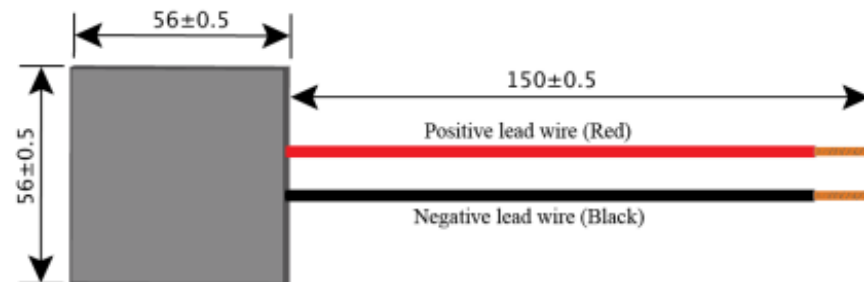
Seebeck Effect thermoelectric power modules are design with high temperature bonding materials that allow them to withstand temperatures of up to 360°C (680°F). As long as the module is placed into a system, whereby the hot side is at a higher temperature than the cold side, DC power will be produced. A unique new class of module is now available. Incorporating 2 optimized semi-conductors of N-type A material & P-type A material to form a **hybrid module** of superior performance & temperature stability. The TEG1-PB class of module is able to operate continuously in higher temperatures than traditional BiTe material only. The ceramic surfaces are equipped with graphite sheets, which displace the need for thermal grease. These novel modules work best in the 220 to 360C Temperature range and offer superior performance over 260C hot side, compared to standard BiTe modules.



Module Specifications

Hot Side Temperature (°C)	350
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	9.2
Matched Load Resistance (ohms)	0.97
Matched Load Output Voltage (V)	4.6
Matched Load Output Current (A)	4.7
Matched Load Output Power (W)	21.7
Heat Flow Across the Module (W)	~310
Heat Flow Density (W cm ⁻²)	~9.88
AC Resistance (ohms) Measured under 27 °C @ 1000 Hz	0.42~0.52

Geometric Characteristics (Dimensions In Millimeters)

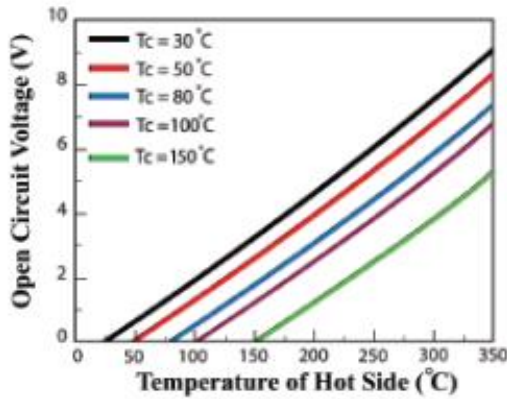




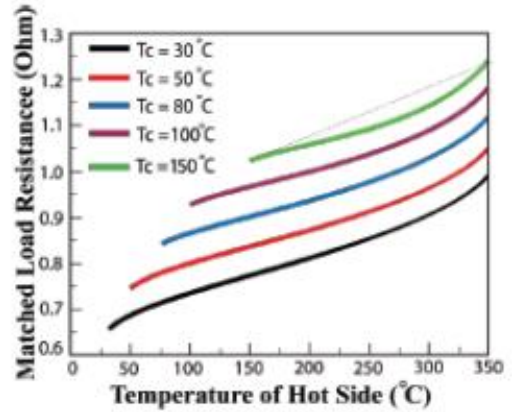
CARBON REDUCING TECHNOLOGY

MODULE TEG1-PB-12611-6.0

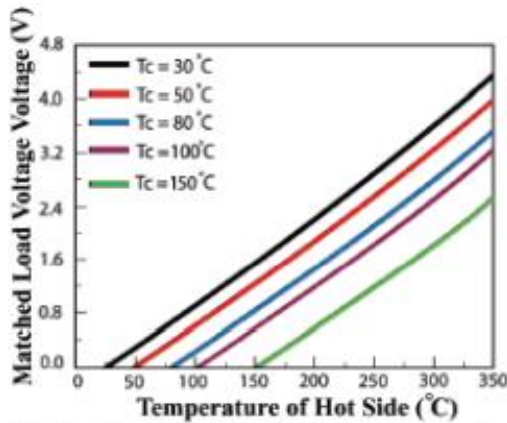
PERFORMANCE CURVES:



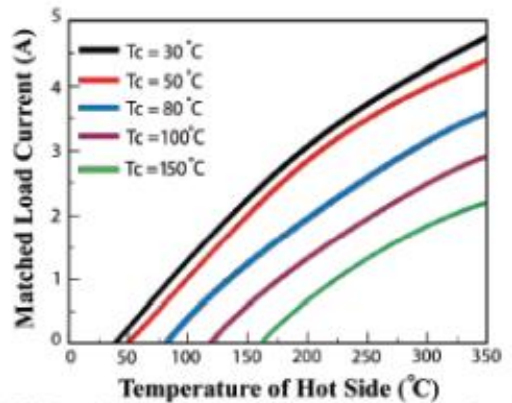
This chart shows open circuit voltage V_S T_h under various T_c .



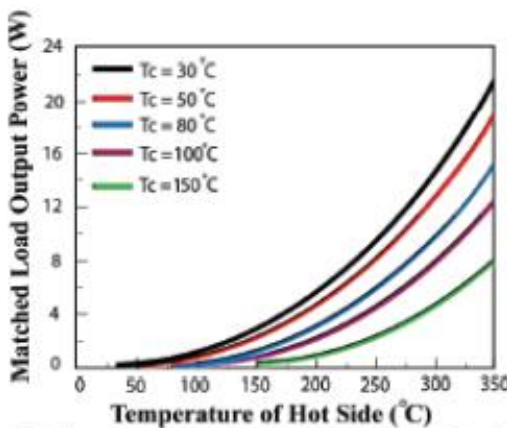
This graph shows open circuit voltage V_S T_h under various T_c .



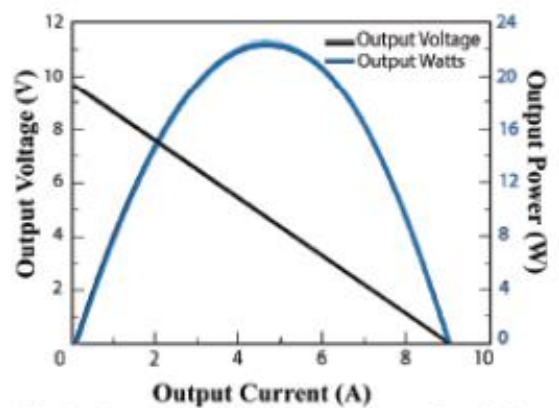
This chart shows the matched load voltage V_S T_h under various T_c .



This chart shows the matched load voltage V_S T_h under various T_c .



This chart shows the matched load output power V_S T_h under various T_c .



This chart shows output voltage and output power where V_S is output current under $T_h = 300^\circ\text{C}$ and $T_c = 30^\circ\text{C}$.

10.6 Código EES

10.6.1 Parte superior (refrigeración con agua)

"Combustion"

"Datos"

compmasaC=0,509

compmasaH=0,061

compmasaN=0,0009

compmasaS=0,0001

compmasaO=0,4249

compmasahumedad=0,072

compmasacenizas=0,004

compN2aire=0,79

compO2aire=0,21

excesoaire=0,50

Mm_CO2=MolarMass(CarbonDioxide)

Mm_H2O=MolarMass(H2O)

Mm_SO2=MolarMass(SulfurDioxide)

Mm_C=12

Mm_H2=2

Mm_S=32

Mm_O2=32

cp_CO2=Cp(CO2;T=T_h)

cp_N2=Cp(N2;T=T_h)

cp_O2=Cp(O2;T=T_h)

cp_SO2=Cp(SO2;T=T_h)

cp_H2Ovapor=Cp(H2O;T=T_h)

cp_cenizas=850

T_h=480+273

T_c=40+273

T_salida=55+273

T_ref=20+273

P_gases=101300 [Pa]

P_agua=P_gases

PCI=17,55*10⁶

Q_caldera=25*10³

"Cálculos"

"Productos de combustión"

CO2=(Mm_CO2/Mm_C)*compmasaC

H2O_vaporH2=(Mm_H2O/Mm_H2)*compmasaH

H2O_vaporhumedad=compmasahumedad

H2O_vapor=H2O_vaporH2+H2O_vaporhumedad

SO2=(Mm_SO2/Mm_S)*compmasaS

Cenizas=compmasacenizas

O2_aireesteq=Mm_O2*(compmasaC/Mm_C+(1/2)*(compmasaH/Mm_H2)+compmasaS/Mm_S-compmasaO/Mm_O2)

O2_aire=O2_aireesteq*(excesoaire+1)

N2_aire=(compN2aire/compO2aire)*O2_aire

gasessecos=CO2+SO2+O2_aire+N2_aire

gases totales=gasessecos+H2O_vapor

P_vapor=P_gases*fracmol_H2O

"Pérdidas y rendimiento PCI"

eta_PCI=1-sumaperdidas
sumaperdidas=perdidas_gasessecos+perdidas_H2Ovapor+perdidas_cenizas
perdidas_gasessecos=gasessecos*cp_gasessecos*((T_salida-T_ref)/PCI)
cp_gasessecos=(CO2*cp_CO2+N2_aire*cp_N2+O2_aire*cp_O2+SO2*cp_SO2)/gasessecos
perdidas_H2Ovapor=H2O_vapor*cp_H2Ovapor*((T_salida-T_ref)/PCI)
perdidas_cenizas=Cenizas*cp_cenizas*((T_salida-T_ref)/PCI)
m_combustible*PCI*eta_PCI=Q_caldera
m_gases=gasestotales*m_combustible
m_aire=m_combustible*N2_aire+m_combustible*O2_aire

{Se introduce la parte correspondiente al TEG que se quiera evaluar}

"TEG 12611-6.0 parte agua"

"Datos"

A_TEG1=0,056*0,056
T_hTEG1=300+273
T_cTEG1=30+273
V_1=8,4
I_1=3,4
Heatflow_TEG1=365
alpha_1=V_1/(T_hTEG1-T_cTEG1)
P_max=alpha_1*(T_hTEG1-T_cTEG1)-2*I_1*R_intTEG1
P_max=0
Heatflow_TEG1=0,5*(Q_h1datos+Q_c1datos)
Q_h1datos=alpha_1*I_1*T_hTEG1+k_1TEG*(T_hTEG1-T_cTEG1)-0,5*(I_1)^2*R_intTEG1
Q_c1datos=alpha_1*I_1*T_cTEG1+k_1TEG*(T_hTEG1-T_cTEG1)+0,5*(I_1)^2*R_intTEG1

"TEG 24111-6.0 parte agua"

"Datos"

A_TEG1=0,056*0,056
T_hTEG1=300+273
T_cTEG1=30+273
V_1=17,7
I_1=2
Heatflow_TEG1=301
alpha_1=V_1/(T_hTEG1-T_cTEG1)
P_max=alpha_1*(T_hTEG1-T_cTEG1)-2*I_1*R_intTEG1
P_max=0
Heatflow_TEG1=0,5*(Q_h1datos+Q_c1datos)
Q_h1datos=alpha_1*I_1*T_hTEG1+k_1TEG*(T_hTEG1-T_cTEG1)-0,5*(I_1)^2*R_intTEG1
Q_c1datos=alpha_1*I_1*T_cTEG1+k_1TEG*(T_hTEG1-T_cTEG1)+0,5*(I_1)^2*R_intTEG1

"TEG1-PB-12611-6.0 parte agua"

"Datos"

A_TEG1=0,056*0,056
T_hTEG1=350+273
T_cTEG1=30+273
V_1=9,2
I_1=4,7
Heatflow_TEG1=310
alpha_1=V_1/(T_hTEG1-T_cTEG1)

```
P_max=alpha_1*(T_hTEG1-T_cTEG1)-2*I_1*R_intTEG1
P_max=0
Heatflow_TEG1=0,5*(Q_h1datos+Q_c1datos)
Q_h1datos=alpha_1*I_1*T_hTEG1+k_1TEG*(T_hTEG1-T_cTEG1)-0,5*(I_1)^2*R_intTEG1
Q_c1datos=alpha_1*I_1*T_cTEG1+k_1TEG*(T_hTEG1-T_cTEG1)+0,5*(I_1)^2*R_intTEG1
```

"TEG1-Pb-12690 parte agua"

"Datos"

```
A_TEG1=0,056*0,056
T_hTEG1=600+273
T_cTEG1=30+273
V_1=13,3
I_1=3,27
Heatflow_TEG1=273
alpha_1=V_1/(T_hTEG1-T_cTEG1)
P_max=alpha_1*(T_hTEG1-T_cTEG1)-2*I_1*R_intTEG1
P_max=0
Heatflow_TEG1=0,5*(Q_h1datos+Q_c1datos)
Q_h1datos=alpha_1*I_1*T_hTEG1+k_1TEG*(T_hTEG1-T_cTEG1)-0,5*(I_1)^2*R_intTEG1
Q_c1datos=alpha_1*I_1*T_cTEG1+k_1TEG*(T_hTEG1-T_cTEG1)+0,5*(I_1)^2*R_intTEG1
```

"TdC parte agua"

"Convección aire"

"Datos"

```
R1=0,25
R2=0,165
R3=0,15
A_tapa1=3,14*(R1^2)
Per_tapa1=2*3,14*R1
A_interior1=3,14*(R3^2)
A_corona1=A_tapa1-A_interior1
Perint_1=2*3,14*R3
L_1=A_interior1/Perint_1
Dh_1=2*W
W=0,03
A_inter1=3,14*(R2^2)-A_interior1
x=0,5
H=0,04
nu_CO2=KinematicViscosity(CO2;T=T_h;P=P_gases)
nu_H2O=KinematicViscosity(H2O;T=T_h;P=P_gases)
nu_O2=KinematicViscosity(O2;T=T_h;P=P_gases)
nu_SO2=KinematicViscosity(SO2;T=T_h;P=P_gases)
nu_N2=KinematicViscosity(N2;T=T_h;P=P_gases)
rho_CO2=Density(CO2;T=T_h;P=P_gases)
rho_H2O=Density(H2O;T=T_h;P=P_gases)
rho_O2=Density(O2;T=T_h;P=P_gases)
rho_SO2=Density(SO2;T=T_h;P=P_gases)
rho_N2=Density(N2;T=T_h;P=P_gases)
cp_1CO2=Cp(CO2;T=T_h)
cp_1H2O=Cp(H2O;T=T_h)
cp_1O2=Cp(O2;T=T_h)
```

```

cp_1SO2=Cp(SO2;T=T_h)
cp_1N2=Cp(N2;T=T_h)
k_CO2=Conductivity(CO2;T=T_h)
k_H2O=Conductivity(H2O;T=T_h)
k_O2=Conductivity(O2;T=T_h)
k_SO2=Conductivity(SO2;T=T_h)
k_N2=Conductivity(N2;T=T_h)
"Cálculo"
nu_gases1=(CO2*nu_CO2+H2O_vapor*nu_H2O+O2_aire*nu_O2+SO2*nu_SO2+N2_aire*nu_
N2)/(CO2+H2O_vapor+O2_aire+SO2+N2_aire)
rho_gases1=(CO2*rho_CO2+H2O_vapor*rho_H2O+O2_aire*rho_O2+SO2*rho_SO2+N2_aire*r
ho_N2)/(CO2+H2O_vapor+O2_aire+SO2+N2_aire)
cp_gases1=(CO2*cp_1CO2+H2O_vapor*cp_1H2O+O2_aire*cp_1O2+SO2*cp_1SO2+N2_aire*c
p_1N2)/(CO2+H2O_vapor+O2_aire+SO2+N2_aire)
k_gases1=(CO2*k_CO2+H2O_vapor*k_H2O+O2_aire*k_O2+SO2*k_SO2+N2_aire*k_N2)/(CO2
+H2O_vapor+O2_aire+SO2+N2_aire)
"Libre"
R_convaire1=1/(h_convairelibre1*A_interior1)
Nusselt_gases1=(h_convairelibre1*L_1)/k_gases1
Ra_gases1=(9,8*B*(T_h+T_hi1)*((L_1)^3))/(nu_gases1*(k_gases1/(rho_gases1*cp_gases1)))
B=1/((T_h+T_hi1)/2)
Nusselt_gases1=0,15*(Ra_gases1^(1/3))
"Forzada chorro"
R_convforz1=1/(h_convforz1*A_corona1)
Nusselt_chorro1=(h_convforz1*Dh_1)/k_gases1
Nusselt_chorro1=(3,06*(Re_gases1^(m_1))*(Prandtl_gases1^0,42))/((x/W)+(H/W)+2,78)
Re_gases1=(v_gases1*Dh_1)/nu_gases1
v_gases1=m_gases/(rho_gases1*A_inter1)
m_1=0,695-(((x/(2*W))+((H/(2*W))^1,33)+3,06)^(-1))
Prandtl_gases1=(nu_gases1*rho_gases1*cp_gases1)/k_gases1

"Radiación gases"
"Datos"
epsilon_1=0,11
theta_1=5,67*(10^(-8))
Mm_comb=19
Mm_N2=MolarMass(N2)
H2O_vapormoles=(H2O_vapor*Mm_comb)/Mm_H2O
CO2moles=(CO2*Mm_comb)/Mm_CO2
SO2moles=(SO2*Mm_comb)/Mm_SO2
O2_airemoles=(O2_aire*Mm_comb)/Mm_O2
N2_airemoles=(N2_aire*Mm_comb)/Mm_N2
fracmol_CO2=CO2moles/(H2O_vapormoles+CO2moles+SO2moles+O2_airemoles+N2_airemol
es)
fracmol_H2O=H2O_vapormoles/(H2O_vapormoles+CO2moles+SO2moles+O2_airemoles+N2_
airemoles)
L=3,6*((2*3,14*(0,5^2)*0,04)/(2*3,14*(0,5^2)))
"Cálculo"
R_radgases1=1/(h_rad1*A_tapa1)
h_rad1=epsilon_1*theta_1*(T_h^2+T_hi1^2)*(T_h+T_hi1)

```

"Conducción acero"

"Datos"

e_acero1=0,005

k_acero1=Conductivity(Carbon_steel; T=((T_hi1+T_hs1)/2))

"Cálculo"

R_condacero1=e_acero1/(k_acero1*A_tapa1)

"Conducción aislante conducto"

"Datos"

e_aislante=0,006

k_aislante=Conductivity(Styrene; T=((T_hs1+T_cs1)/2))

"Cálculo"

A_aislante=A_conducto1-(nTEG*A_TEG1)

R_aislante1=e_aislante/(k_aislante*A_aislante)

Q_aislante1=(T_hs1-T_cs1)/R_aislante1

"Flujo exterior"

"Datos"

T_amb1=21+273

N2_ext=0,79

O2_ext=0,21

nu_N2ext=KinematicViscosity(N2;T=T_c;P=P_gases)

nu_O2ext=KinematicViscosity(O2;T=T_c;P=P_gases)

rho_N2ext=Density(N2;T=T_c;P=P_gases)

rho_O2ext=Density(O2;T=T_c;P=P_gases)

k_N2ext=Conductivity(N2;T=T_c)

k_O2ext=Conductivity(O2;T=T_c)

cp_N2ext=Cp(N2;T=T_c)

cp_O2ext=Cp(O2;T=T_c)

cp_ext1=(N2_ext*cp_N2ext+O2_ext*cp_O2ext)/(N2_ext+O2_ext)

nu_ext1=(N2_ext*nu_N2ext+O2_ext*nu_O2ext)/(N2_ext+O2_ext)

rho_ext1=(N2_ext*rho_N2ext+O2_ext*rho_O2ext)/(N2_ext+O2_ext)

k_ext1=(N2_ext*k_N2ext+O2_ext*k_O2ext)/(N2_ext+O2_ext)

A_ext1=A_tapa1-A_conducto1

L_ext1=A_ext1/(Per_tapa1-Per_conducto1)

e_aislanteext=0,1

k_aislanteext=Conductivity(Styrene; T=((T_hs1+T_amb1)/2))

"Conducción"

R_aislanteext1=e_aislanteext/(k_aislanteext*A_ext1)

"Convección"

R_convext1=1/(h_convext1*A_ext1)

Nusselt_ext1=(h_convext1*L_ext1)/k_ext1

Ra_ext1=(9,8*B_ext1*(T_hs1+T_amb1)*((L_ext1)^3))/(nu_ext1*(k_ext1/(rho_ext1*cp_ext1)))

B_ext1=1/((T_hs1+T_amb1)/2)

Nusselt_ext1=0,15*(Ra_ext1^(1/3))

"Flujo calor exterior"

Q_ext1=(T_hs1-T_amb1)/(R_aislanteext1+R_convext1)

"Flujo de calor caliente"

"Cálculo"

Q_h1+Q_aislante1+Q_ext1=(T_h-T_hs1)/(R_eq1+R_condacero1)

$$1/R_{eq1}=1/R_{radgases1}+1/R_{convaire1}+1/R_{convforz1}$$

"Conducción acero"

"Datos"

$$e_{acero1.1}=0,005$$

$$k_{acero1.1}=\text{Conductivity}(\text{Stainless_AISI302}; T=((T_{cs1}+T_{ci1})/2))$$

$$A_{conducto1}=0,5*0,056$$

$$\text{Per}_{conducto1}=2*(0,5+0,056)$$

"Cálculo"

$$R_{condacero1.1}=e_{acero1.1}/(k_{acero1.1}*A_{conducto1})$$

"Convección agua"

"Datos"

$$m_{agua}=0,555 \text{ \{2000 L/s\}}$$

$$\rho_{agua1}=\text{Density}(\text{Water}; T=T_c; P=P_{agua})$$

$$\nu_{agua1}=\text{KinematicViscosity}(\text{Water}; T=T_c; P=P_{agua})$$

$$A_{agua1}=L_{aleta}*hueco$$

$$k_{agua1}=\text{Conductivity}(\text{Water}; T=T_c; P=P_{agua})$$

$$cp_{agua1}=\text{Cp}(\text{Water}; T=T_c; P=P_{agua})$$

$$Dh_{agua1}=4*((A_{agua1})/(2*(L_{aleta}+hueco)))$$

$$\text{Perimetro}_{aleta}=2*(t+w)$$

"Cálculo"

$$\text{Prandtl}_{agua1}=(\nu_{agua1}*\rho_{agua1}*cp_{agua1})/k_{agua1}$$

$$Re_{agua1}=(v_{agua1}*Dh_{agua1})/\nu_{agua1}$$

$$v_{agua1}=(m_{agua}/\text{huecos}_1)/(\rho_{agua1}*A_{agua1})$$

$$\text{Nusselt}_{agua1}=(h_{convagua1}*Dh_{agua1})/k_{agua1}$$

$$\text{Nusselt}_{agua1}=(f_{agua1}/8)*(Re_{agua1}-1000)*\text{Prandtl}_{agua1}/(1+12,7*(f_{agua1}/8)^{0,5}*(\text{Prandtl}_{agua1}^{2/3}-1))$$

$$f_{agua1}=(0,790*\ln(Re_{agua1})-1,64)^{-2}$$

"Aletas"

$$\text{huecos}_1=6$$

$$n_{aletas}=6$$

$$t=0,002$$

$$\text{hueco}=0,00766$$

$$L_{aleta}=0,056$$

$$w_{aleta}=0,4$$

$$m=((h_{convagua1}*\text{Perimetro}_{aleta})/(k_{acero1.1}*A_c))^{0,5}$$

$$A_c=t*w$$

$$\text{Perimetro}_1=2*(t+w_{aleta})$$

$$L_c=L_{aleta}+(\text{hueco}/2)$$

$$A_{aleta}=2*w_{aleta}*L_c$$

$$\eta_{aleta}=\tanh(m*L_c)/(m*L_c)$$

$$A_f=2*L_c*w_{aleta}$$

$$A_t=n_{aletas}*A_f+w_{aleta}*(0,2-n_{aletas}*t)$$

"Cálculo R_convagua1"

$$R_{convagua1}=1/(h_{convagua1}*A_t*(1-(((n_{aletas}*A_f)/A_t)*(1-\eta_{aleta}))))$$

"Flujo de calor frio"

"Cálculo"

$$Q_{c1}+Q_{aislante1}=(T_{cs1}-T_c)/(R_{convagua1}+R_{condacero1.1})$$

"Temperaturas intermedias"

"Caliente"

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

$$Q_{h1}+Q_{aislante1}+Q_{ext1}=\frac{(T_{hi1}-T_{hs1})}{R_{condacero1}}$$

"Fria"

$$Q_{c1}+Q_{aislante1}=\frac{(T_{ci1}-T_c)}{R_{convagua1}}$$

"Temperaturas Rtc"

$$R''_{tc}=0,00010$$

$$R_{tc}=\frac{R''_{tc}}{A_{TEG1}}$$

$$Q_{h1}=\frac{(T_{hs1}-T_{hsf1})}{(R_{tc})}$$

$$Q_{c1}=\frac{(T_{csf1}-T_{cs1})}{R_{tc}}$$

"Temperaturas superficies"

$$Q_{h1}=n_{TEG}*(\alpha_1*I_{real}*T_{hsf1}+k_{1TEG}*(T_{hsf1}-T_{csf1})-0,5*(I_{real})^2*R_{intTEG1})$$

$$Q_{c1}=n_{TEG}*(\alpha_1*I_{real}*T_{csf1}+k_{1TEG}*(T_{hsf1}-T_{csf1})+0,5*(I_{real})^2*R_{intTEG1})$$

$$I_{real}=1,05$$

$$n_{TEG}=8$$

"Potencia"

$$Pot_1=Q_1$$

$$Q_1=Q_{h1}-Q_{c1}$$

10.6.2 Parte inferior (refrigeración con aire)

"Combustion"

"Datos"

$$compmasaC=0,509$$

$$compmasaH=0,061$$

$$compmasaN=0,0009$$

$$compmasaS=0,0001$$

$$compmasaO=0,4249$$

$$compmasahumedad=0,072$$

$$compmasacenizas=0,004$$

$$compN2aire=0,79$$

$$compO2aire=0,21$$

$$excesoaire=0,50$$

$$Mm_{CO2}=\text{MolarMass}(\text{CarbonDioxide})$$

$$Mm_{H2O}=\text{MolarMass}(\text{H2O})$$

$$Mm_{SO2}=\text{MolarMass}(\text{SulfurDioxide})$$

$$Mm_C=12$$

$$Mm_{H2}=2$$

$$Mm_S=32$$

$$Mm_{O2}=32$$

$$cp_{CO2}=\text{Cp}(\text{CO2};T=T_h)$$

$$cp_{N2}=\text{Cp}(\text{N2};T=T_h)$$

$$cp_{O2}=\text{Cp}(\text{O2};T=T_h)$$

$$cp_{SO2}=\text{Cp}(\text{SO2};T=T_h)$$

$$cp_{H2Ovapor}=\text{Cp}(\text{H2O};T=T_h)$$

$$cp_{cenizas}=850$$

$$T_h=300+273$$

$$T_c=30+273$$

$$T_{ref}=15+273$$

$$T_{salida}=55+273$$

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

```
P_gases=101300
P_agua=P_gases
PCI=17,55*10^6
Q_caldera=25*10^3
"Cálculos"
"Productos de combustión"
CO2=(Mm_CO2/Mm_C)*compmasaC
H2O_vaporH2=(Mm_H2O/Mm_H2)*compmasaH
H2O_vaporhumedad=compmasahumedad
H2O_vapor=H2O_vaporH2+H2O_vaporhumedad
SO2=(Mm_SO2/Mm_S)*compmasaS
Cenizas=compmasacenizas
O2_aireesteq=Mm_O2*(compmasaC/Mm_C+(1/2)*(compmasaH/Mm_H2)+compmasaS/Mm_
S-compmasaO/Mm_O2)
O2_aire=O2_aireesteq*(excesoaire+1)
N2_aire=(compN2aire/compO2aire)*O2_aire
gasessecos=CO2+SO2+O2_aire+N2_aire
gasestotales=gasessecos+H2O_vapor
"Pérdidas y rendimiento PCI"
eta_PCI=1-sumaperdidas
sumaperdidas=perdidas_gasessecos+perdidas_H2Ovapor+perdidas_cenizas
perdidas_gasessecos=gasessecos*cp_gasessecos*((T_salida-T_ref)/PCI)
cp_gasessecos=(CO2*cp_CO2+N2_aire*cp_N2+O2_aire*cp_O2+SO2*cp_SO2)/gasessecos
perdidas_H2Ovapor=H2O_vapor*cp_H2Ovapor*((T_salida-T_ref)/PCI)
perdidas_cenizas=Cenizas*cp_cenizas*((T_salida-T_ref)/PCI)
m_combustible*PCI*eta_PCI=Q_caldera
m_gases=gasestotales*m_combustible
m_aire=m_combustible*N2_aire+m_combustible*O2_aire
```

{Se introduce la parte correspondiente al TEG que se quiera evaluar}

"TEG 12611-6.0 parte aire"

"Datos"

A_TEG2=0,056*0,056

T_hTEG2=300+273

T_cTEG2=30+273

V_2=8,4

I_2=3,4

Heatflow_TEG2=365

alpha_2=V_2/(T_hTEG2-T_cTEG2)

P_max=alpha_2*(T_hTEG2-T_cTEG2)-2*I_2*R_intTEG2

P_max=0

Heatflow_TEG2=0,5*(Q_h2datos+Q_c2datos)

Q_h2datos=alpha_2*I_2*T_hTEG2+k_2TEG*(T_hTEG2-T_cTEG2)-0,5*(I_2)^2*R_intTEG2

Q_c2datos=alpha_2*I_2*T_cTEG2+k_2TEG*(T_hTEG2-T_cTEG2)+0,5*(I_2)^2*R_intTEG2

"TEG 24111-6.0 parte aire"

"Datos"

A_TEG2=0,056*0,056

T_hTEG2=300+273

T_cTEG2=30+273

V_2=17,7

I_2=2

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

```
Heatflow_TEG2=301
alpha_2=V_2/(T_hTEG2-T_cTEG2)
P_max=alpha_2*(T_hTEG2-T_cTEG2)-2*I_2*R_intTEG2
P_max=0
Heatflow_TEG2=0,5*(Q_h2datos+Q_c2datos)
Q_h2datos=alpha_2*I_2*T_hTEG2+k_2TEG*(T_hTEG2-T_cTEG2)-0,5*(I_2)^2*R_intTEG2
Q_c2datos=alpha_2*I_2*T_cTEG2+k_2TEG*(T_hTEG2-T_cTEG2)+0,5*(I_2)^2*R_intTEG2
```

"TEG1-PB-12611-6.0 parte aire"

"Datos"

```
A_TEG2=0,056*0,056
T_hTEG2=350+273
T_cTEG2=30+273
V_2=9,2
I_2=4,7
Heatflow_TEG2=310
alpha_2=V_2/(T_hTEG2-T_cTEG2)
P_max=alpha_2*(T_hTEG2-T_cTEG2)-2*I_2*R_intTEG2
P_max=0
Heatflow_TEG2=0,5*(Q_h2datos+Q_c2datos)
Q_h2datos=alpha_2*I_2*T_hTEG2+k_2TEG*(T_hTEG2-T_cTEG2)-0,5*(I_2)^2*R_intTEG2
Q_c2datos=alpha_2*I_2*T_cTEG2+k_2TEG*(T_hTEG2-T_cTEG2)+0,5*(I_2)^2*R_intTEG2
```

"TdC parte gases"

"Convección gases"

"Datos"

```
A_tapa2=0,2*(0,38/2)
Pertapa_2=2*(0,2+(0,38/2))
L_2=0,2
Dh_2=4*(A_tapa2/Pertapa_2)
k_gases2=Conductivity(Air;T=((T_h+T_hi2)/2))
cp_gases2=Cp(Air;T=(T_h+T_hi2)/2)
rho_gases2=Density(Air;T=(T_h+T_hi2)/2;P=P_gases)
nu_gases2=KinematicViscosity(Air;T=(T_h+T_hi2)/2;P=P_gases)
```

"Libre"

```
R_convairlibre2=1/(h_convairlibre2*A_tapa2)
Prandtl_gases2=((nu_gases2*rho_gases2)*cp_gases2)/k_gases2
Nusselt_gases2=(h_convairlibre2*L_2)/k_gases2
Ra_gases2=(9,8*Beta*(T_h+T_hi2)*(L_2^3))/(nu_gases2*(k_gases2/(rho_gases2*cp_gases2)))
Beta=1/((T_h+T_hi2)/2)
Nusselt_gases2=(0,825+(0,387*(Ra_gases2^(1/6)))/((1+(0,492/Prandtl_gases2)^(9/16))^(8/27)))^2
```

"Radiación de la llama"

"Datos"

```
a=0,19
b=0,2
c=0,2
A_llama=0,1*0,2
cte_Bolz=5,67*(10^(-8))
```

T_llama=1300

"Cálculos"

$F_{12} = (1/(2*3,14)) * ((a/((b^2+c^2)^{0,5})) * \arcsin(b/((a^2+b^2+c^2)^{0,5})) + (b/((b^2+c^2)^{0,5})) * \arcsin(a/((a^2+b^2+c^2)^{0,5}))) / 2$

$Q_{llama} = A_{llama} * (2 * F_{12}) * cte_Bolz * (T_{llama}^4 - T_{hi}^4)$

"Conducción acero"

"Datos"

e_acero2=0,005

k_acero2=Conductivity(Stainless_AISI302; T=((T_hi2+T_hs2)/2))

"Cálculo"

$R_{condacero2} = e_acero2 / (k_acero2 * A_tapa2)$

"Flujo de calor caliente"

$Q_{h2} + Q_{aislante2} = Q_{llama} + ((T_h - T_{hi2}) / R_{convairelibre2})$

"Conducción aislante"

"Datos"

e_aislante=0,012

k_aislante=Conductivity(Styrene; T=((T_hs2+T_cs2)/2))

"Cálculo"

$A_{aislante} = A_{tapa2} - (n_TEG * A_TEG2)$

$R_{aislante2} = e_aislante / (k_aislante * A_{aislante})$

$Q_{aislante2} = (T_{hs2} - T_{cs2}) / R_{aislante2}$

"Conducción acero"

"Datos"

e_acero2.2=0,006

k_acero2.2=Conductivity(Aluminum; T=((T_ci2+T_c)/2))

"Cálculo"

$R_{condacero2.2} = e_acero2.2 / (k_acero2.2 * A_tapa2)$

"Convección aire"

"Datos"

m_an=m_aire

$N2_an = m_an * 0,79$

$O2_an = m_an * 0,21$

$\nu_{N2an} = \text{KinematicViscosity}(N2; T=T_c; P=P_gases)$

$\nu_{O2an} = \text{KinematicViscosity}(O2; T=T_c; P=P_gases)$

$\rho_{N2an} = \text{Density}(N2; T=T_c; P=P_gases)$

$\rho_{O2an} = \text{Density}(O2; T=T_c; P=P_gases)$

$k_{N2an} = \text{Conductivity}(N2; T=T_c)$

$k_{O2an} = \text{Conductivity}(O2; T=T_c)$

$cp_{N2an} = \text{Cp}(N2; T=T_c)$

$cp_{O2an} = \text{Cp}(O2; T=T_c)$

$cp_an = (N2_an * cp_{N2an} + O2_an * cp_{O2an}) / (N2_an + O2_an)$

$\nu_an = (N2_an * \nu_{N2an} + O2_an * \nu_{O2an}) / (N2_an + O2_an)$

$\rho_an = (N2_an * \rho_{N2an} + O2_an * \rho_{O2an}) / (N2_an + O2_an)$

$k_an = (N2_an * k_{N2an} + O2_an * k_{O2an}) / (N2_an + O2_an)$

$Dh_aire2 = 4 * ((L * hueco) / (2 * (L + hueco)))$

$A_aire2 = L * hueco$

$k_{alum} = \text{Conductivity}(\text{Aluminum}; T = ((T_{ci2} + T_c)/2))$

"Cálculo h"

$Re_{aire2} = (v_{aire2} * Dh_{aire2}) / \nu_{an}$
 $v_{aire2} = (m_{an} / n_{huecos}) / (\rho_{an} * A_{aire2})$
 $Nusselt_{aire2} = (h_{convaire2} * Dh_{aire2}) / k_{an}$
 $Nusselt_{aire2} = 5,05$

"Aletas"

$n_{huecos} = 31$
 $n_{aletas} = 30$
 $t = 0,001$
 $hueco = 0,00558$
 $L = 0,05 - e_{acero2.2} - e_{aislante}$
 $w = 0,15$
 $m = ((h_{convaire2} * Perimetro_2) / (k_{alum} * A_c))^{0,5}$
 $A_c = t * w$
 $Perimetro_2 = 2 * (t + w)$
 $L_c = L$
 $A_{aleta} = 2 * w * L_c$
 $\eta_{aleta} = \tanh(m * L_c) / (m * L_c)$
 $A_f = 2 * L_c * w$
 $A_t = n_{aletas} * A_f + w * (0,2 - n_{aletas} * t)$

"Cálculo R_{an}"

$R_{an} = 1 / (h_{convaire2} * A_t * (1 - (((n_{aletas} * A_f) / A_t) * (1 - \eta_{aleta}))))$

"Flujo de calor frio"

$Q_{c2} + Q_{aislante2} = (T_{cs2} - T_c) / (R_{an} + R_{condacero2.2})$

"Temperaturas superficie"

$Q_{h2} = n_{TEG} * (\alpha_2 * I_{real} * T_{hsf2} + k_{2TEG} * (T_{hsf2} - T_{csf2}) - 0,5 * (I_{real})^2 * R_{intTEG2})$
 $Q_{c2} = n_{TEG} * (\alpha_2 * I_{real} * T_{csf2} + k_{2TEG} * (T_{hsf2} - T_{csf2}) + 0,5 * (I_{real})^2 * R_{intTEG2})$
 $n_{TEG} = 1$
 $I_{real} = 1,65$

"Temperaturas intermedias"

$Q_{h2} + Q_{aislante2} = (T_{hi2} - T_{hs2}) / (R_{condacero2})$
 $Q_{c2} + Q_{aislante2} = (T_{cs2} - T_{ci2}) / R_{condacero2.2}$

"Temperaturas R_{tc}"

$R''_{tc} = 0,00010$
 $R_{tc} = R''_{tc} / A_{TEG2}$
 $Q_{h2} = (T_{hs2} - T_{hsf2}) / (R_{tc})$
 $Q_{c2} = (T_{csf2} - T_{cs2}) / R_{tc}$

"Potencia total"

$Q_2 = Q_{h2} - Q_{c2}$
 $Pot_2 = Q_2$

10.7 Resultados EES

10.7.1 Parte superior (refrigeración con agua)

10.7.1.1 TEG1-12611-6.0

Los resultados con la configuración óptima son:

Unit Settings: SI K Pa J mass rad

$\alpha_1 = 0,03111$	A _{agua1} = 0,000429	A _{aislante} = 0,01859	A _{aleta} = 0,04786	A _c = 0,00006	A _{conductor1} = 0,028
A _{corona1} = 0,1256	A _{ext1} = 0,1683	A _f = 0,04786	A _{inter1} = 0,01484	A _{interior1} = 0,07065	A _f = 0,3624
A _{tapa1} = 0,1963	A _{TEG1} = 0,003136	B = 0,001542	B _{ext1} = 0,002388	Cenizas = 0,004	CO ₂ = 1,867
CO ₂ moles = 0,8059	compmasaC = 0,509	compmasacenizas = 0,004	compmasaH = 0,061	compmasahumedad = 0,072	compmasaN = 0,0009
compmasaO = 0,4249	compmasaS = 0,0001	compN ₂ aire = 0,79	compO ₂ aire = 0,21	CP _{1CO2} = 1149	CP _{1H2O} = 2119
CP _{1N2} = 1111	CP _{1O2} = 1041	CP _{1SO2} = 804,3	CP _{agua1} = 4182	CP _{cenizas} = 850	CP _{CO2} = 1149
CP _{ext1} = 1013	CP _{gases1} = 1154	CP _{gasessecos} = 1105	CP _{H2Ovapor} = 2119	CP _{H2} = 1111	CP _{H2ext} = 1038
CP _{O2} = 1041	CP _{O2ext} = 917,7	CP _{SO2} = 804,3	D _{H1} = 0,06	D _{agua1} = 0,01348	$\epsilon_1 = 0,11$
$\eta_{aleta} = 0,05447$	$\eta_{PCI} = 0,9709$	excesoaire = 0,5	$\epsilon_{acero1} = 0,005$	$\epsilon_{acero1.1} = 0,005$	$\epsilon_{aislante} = 0,006$
$\epsilon_{aislanteext} = 0,1$	fracmol _{CO2} = 0,09872	fracmol _{H2O} = 0,08029	f _{agua1} = 0,0401	gasessecos = 12,01	gases _{totales} = 12,64
H = 0,04	H _{2Ovapor} = 0,6215	H _{2OvaporH2} = 0,5495	H _{2Ovaporhumedad} = 0,072	H _{2Ovapormoles} = 0,6554	Heatflow _{TEG1} = 365
hueco = 0,00766	huecos ₁ = 6	h _{convagua1} = 1385	h _{convairelibre1} = 12,94	h _{convext1} = 14,81	h _{convforz1} = 12,75
h _{rad1} = 6,984	I ₁ = 3,4	I _{real} = 2	k _{1TEG} = 1,18	k _{acero1} = 34,69	k _{acero1.1} = 15,69
k _{agua1} = 0,6176	k _{aislante} = 0,1043	k _{aislanteext} = 0,1078	k _{CO2} = 0,05148	k _{ext1} = 0,02698	k _{gases1} = 0,05425
k _{H2O} = 0,06427	k _{N2} = 0,05257	k _{N2ext} = 0,02674	k _{O2} = 0,06012	k _{O2ext} = 0,02787	k _{SO2} = 0,03296
L = 0,144	L ₁ = 0,075	L _{aleta} = 0,056	L _c = 0,05983	L _{ext1} = 0,3674	m = 306,8
M _{mC} = 12	M _{mCO2} = 44,01	M _{mcomb} = 19	M _{mH2} = 2	M _{mH2O} = 18,02	M _{mH2} = 28,01
M _{mO2} = 32	M _{mS} = 32	M _{mSO2} = 64,06	m ₁ = 0,6115	m _{agua} = 0,555	m _{aire} = 0,01489
m _{combustible} = 0,001467	m _{gases} = 0,01854	N ₂ aire = 8,016	N ₂ airemoles = 5,437	N ₂ ext = 0,79	nTEG = 3
Nusselt _{agua1} = 30,22	Nusselt _{chorro1} = 14,1	Nusselt _{ext1} = 201,7	Nusselt _{gases1} = 17,88	V _{agua1} = 6,602E-07	V _{CO2} = 0,00004699
v _{ext1} = 0,00001685	V _{gases1} = 0,00007231	V _{H2O} = 0,00009488	V _{N2} = 0,00007492	V _{N2ext} = 0,00001676	V _{O2} = 0,00007805
V _{O2ext} = 0,00001717	V _{SO2} = 0,00002943	$\eta_{aletas} = 6$	O ₂ aire = 2,131	O ₂ airesteq = 1,421	O ₂ airemoles = 1,265
O ₂ ext = 0,21	PCI = 1,755E+07	perdidas _{cenizas} = 0,000006781	perdidas _{gasessecos} = 0,02646	perdidas _{H2Ovapor} = 0,002627	Perimetro ₁ = 0,804
Perimetro _{aleta} = 0,064	Perint ₁ = 0,942	Pe _{fconductor1} = 1,112	Pe _{tapa1} = 1,57	Pot ₁ = 17,3	Prandtl _{agua1} = 4,436
Prandtl _{gases1} = 0,7607	P _{agua} = 101300	P _{gases} = 101300	P _{max} = 0	P _{vapor} = 8133	Q ₁ = 17,3
Q _{aislante1} = 69,87	Q _{c1} = 681,9	Q _{c1datos} = 357,9	Q _{caldera} = 25000	Q _{ext1} = 42,22	Q _{H1} = 699,2
Q _{h1datos} = 372,1	R ₁ = 0,25	R ₂ = 0,165	R ₃ = 0,15	R _{ext1} = 2,430E+09	R _{gases1} = 1,203E+06
R _{agua1} = 4436	R _{gases1} = 2097	P _{agua1} = 992,3	PCO ₂ = 0,7121	Pe _{ext1} = 1,123	P _{gases1} = 0,4944
$\rho_{H2O} = 0,2915$	$\rho_{N2} = 0,4533$	$\rho_{N2ext} = 1,09$	$\rho_{O2} = 0,5178$	PO ₂ ext = 1,246	PSO ₂ = 1,037
R _{aislante1} = 3,093	R _{aislanteext1} = 5,512	R _{condacero1} = 0,0007345	R _{condacero1.1} = 0,01138	R _{convagua1} = 0,007949	R _{convaire1} = 1,094
R _{convext1} = 0,4013	R _{convforz1} = 0,6243	R _{eq1} = 0,2573	R _{intTEG1} = 1,235	R _{radgases1} = 0,7296	R _{tc} = 0,03189
R _{tc} = 0,0001	SO ₂ = 0,0002002	SO ₂ moles = 0,00005938	sumaperdidas = 0,0291	t = 0,002	$\theta_1 = 5,670E-08$
T _{amb1} = 294	T _c = 313	T _{ci1} = 319	T _{cs1} = 327,5	T _{csf1} = 349,3	T _{CTEG1} = 303
T _h = 753	T _{hi1} = 544,3	T _{hs1} = 543,7	T _{hsf1} = 521,4	T _{HTEG1} = 573	T _{ref} = 293
T _{salida} = 328	V ₁ = 8,4	V _{agua1} = 0,2173	V _{gases1} = 2,527	W = 0,03	Waleta = 0,4
x = 0,5					

Resultados de la tabla paramétrica que nos ha permitido conocer la intensidad óptima a la que se obtiene la máxima potencia para diferente número de TEGs:

Tabla 4. Tabla paramétrica TEG1-12611-6.0

	nTEG	I _{real}	Pot ₁	Q _{c1}	Q _{h1}	T _{hi1}	T _{hs1}	T _{hsf1}	T _{csf1}	T _{cs1}	T _{ci1}
Run 1	1	0	0	337,1	337,1	629,5	629	618,3	332,7	321,9	316,7
Run 2	1	0,2632	2,244	338,6	340,8	628,6	628,1	617,3	332,7	321,9	316,7
Run 3	1	0,5263	4,299	340,2	344,5	627,7	627,3	616,3	332,8	322	316,7
Run 4	1	0,7895	6,166	341,9	348	626,9	626,4	615,3	332,9	322	316,7
Run 5	1	1,053	7,845	343,7	351,5	626	625,5	614,3	333	322	316,7
Run 6	1	1,316	9,337	345,6	354,9	625,2	624,7	613,4	333,1	322,1	316,7
Run 7	1	1,579	10,64	347,6	358,2	624,4	623,9	612,5	333,2	322,1	316,7
Run 8	1	1,842	11,76	349,7	361,4	623,6	623,1	611,6	333,3	322,1	316,7
Run 9	1	2,105	12,69	351,9	364,6	622,8	622,4	610,7	333,4	322,2	316,8

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 10	1	2,368	13,44	354,2	367,7	622,1	621,6	609,9	333,5	322,2	316,8
Run 11	1	2,632	14	356,7	370,7	621,3	620,9	609,1	333,6	322,2	316,8
Run 12	1	2,895	14,37	359,2	373,6	620,6	620,2	608,3	333,7	322,3	316,8
Run 13	1	3,158	14,56	361,9	376,4	619,9	619,5	607,5	333,9	322,3	316,8
Run 14	1	3,421	14,57	364,6	379,2	619,3	618,8	606,7	334	322,4	316,9
Run 15	1	3,684	14,39	367,5	381,9	618,6	618,1	606	334,2	322,4	316,9
Run 16	1	3,947	14,03	370,5	384,5	618	617,5	605,2	334,3	322,5	316,9
Run 17	1	4,211	13,48	373,5	387	617,4	616,9	604,6	334,5	322,5	316,9
Run 18	1	4,474	12,75	376,7	389,5	616,8	616,3	603,9	334,6	322,6	316,9
Run 19	1	4,737	11,84	380	391,9	616,2	615,7	603,2	334,8	322,7	317
Run 20	1	5	10,75	383,4	394,2	615,6	615,2	602,6	335	322,7	317
Run 21	3	0	0	657,7	657,7	555,4	554,8	533,9	348,1	327,1	318,8
Run 22	3	0,2632	4,258	659,6	663,8	553,8	553,2	532	348,2	327,2	318,8
Run 23	3	0,5263	7,911	661,8	669,7	552,2	551,6	530,2	348,3	327,2	318,8
Run 24	3	0,7895	10,96	664,5	675,5	550,6	550,1	528,5	348,4	327,2	318,9
Run 25	3	1,053	13,41	667,6	681	549,2	548,6	526,9	348,6	327,3	318,9
Run 26	3	1,316	15,26	671	686,3	547,7	547,1	525,3	348,7	327,3	318,9
Run 27	3	1,579	16,52	674,9	691,4	546,4	545,8	523,7	348,9	327,4	318,9
Run 28	3	1,842	17,18	679,2	696,4	545	544,4	522,2	349,1	327,5	319
Run 29	3	2,105	17,26	683,8	701,1	543,8	543,2	520,8	349,4	327,6	319
Run 30	3	2,368	16,75	688,9	705,6	542,5	541,9	519,4	349,6	327,7	319
Run 31	3	2,632	15,65	694,4	710	541,3	540,7	518,1	349,9	327,8	319,1
Run 32	3	2,895	13,97	700,2	714,2	540,2	539,6	516,8	350,2	327,9	319,1
Run 33	3	3,158	11,72	706,5	718,2	539,1	538,5	515,6	350,5	328	319,2
Run 34	3	3,421	8,88	713,1	722	538,1	537,5	514,5	350,8	328,1	319,2
Run 35	3	3,684	5,471	720,2	725,7	537,1	536,5	513,4	351,2	328,2	319,3
Run 36	3	3,947	1,488	727,7	729,1	536,2	535,6	512,3	351,6	328,4	319,3
Run 37	3	4,211	-3,064	735,5	732,4	535,3	534,7	511,3	352	328,5	319,4
Run 38	3	4,474	-8,185	743,8	735,6	534,5	533,9	510,4	352,4	328,7	319,4
Run 39	3	4,737	-13,87	752,4	738,5	533,7	533,1	509,5	352,8	328,8	319,5
Run 40	3	5	-20,12	761,5	741,3	532,9	532,3	508,7	353,3	329	319,6
Run 41	6	0	0	862,8	862,8	507,7	507,1	479,6	357,7	330,2	320,1
Run 42	6	0,2632	5,359	864,3	869,7	505,7	505,1	477,3	357,8	330,2	320,1
Run 43	6	0,5263	9,47	866,8	876,3	503,8	503,2	475,2	357,9	330,3	320,1
Run 44	6	0,7895	12,34	870,2	882,5	502	501,3	473,2	358,1	330,3	320,1
Run 45	6	1,053	13,98	874,4	888,4	500,2	499,6	471,3	358,3	330,4	320,2
Run 46	6	1,316	14,4	879,7	894,1	498,6	497,9	469,4	358,6	330,5	320,2
Run 47	6	1,579	13,6	885,8	899,4	497	496,4	467,7	358,9	330,6	320,3
Run 48	6	1,842	11,59	892,8	904,4	495,6	494,9	466,1	359,2	330,8	320,3
Run 49	6	2,105	8,381	900,7	909,1	494,2	493,5	464,5	359,6	330,9	320,4
Run 50	6	2,368	3,974	909,6	913,6	492,9	492,2	463,1	360,1	331,1	320,4
Run 51	6	2,632	-1,623	919,3	917,7	491,7	491	461,8	360,6	331,3	320,5
Run 52	6	2,895	-8,403	930	921,6	490,5	489,9	460,5	361,1	331,4	320,6
Run 53	6	3,158	-16,36	941,6	925,2	489,5	488,8	459,3	361,7	331,7	320,7
Run 54	6	3,421	-25,49	954	928,5	488,5	487,9	458,2	362,3	331,9	320,8
Run 55	6	3,684	-35,79	967,4	931,6	487,6	487	457,2	363	332,2	320,9
Run 56	6	3,947	-47,24	981,6	934,4	486,8	486,1	456,3	363,7	332,4	321
Run 57	6	4,211	-59,85	996,8	936,9	486,1	485,4	455,5	364,5	332,7	321,1
Run 58	6	4,474	-73,62	1013	939,2	485,4	484,7	454,8	365,3	333	321,3
Run 59	6	4,737	-88,53	1030	941,3	484,8	484,1	454,1	366,2	333,3	321,4
Run 60	6	5	-104,6	1048	943,1	484,3	483,6	453,6	367,1	333,7	321,5
Run 61	8	0	0	938	938	491,1	490,4	460,5	361,2	331,3	320,5
Run 62	8	0,2632	5,665	939,3	944,9	489	488,3	458,2	361,2	331,3	320,5
Run 63	8	0,5263	9,653	941,8	951,5	487	486,3	456	361,4	331,3	320,6
Run 64	8	0,7895	11,98	945,7	957,7	485,1	484,4	453,9	361,6	331,4	320,6

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 65	8	1,053	12,65	950,8	963,5	483,3	482,6	451,9	361,8	331,5	320,6
Run 66	8	1,316	11,68	957,3	968,9	481,6	481	450,1	362,1	331,6	320,7
Run 67	8	1,579	9,082	964,9	974	480,1	479,4	448,3	362,5	331,8	320,7
Run 68	8	1,842	4,86	973,9	978,8	478,6	477,9	446,7	363	331,9	320,8
Run 69	8	2,105	-0,9725	984,1	983,1	477,3	476,6	445,2	363,5	332,1	320,9
Run 70	8	2,368	-8,408	995,6	987,2	476	475,3	443,9	364,1	332,3	321
Run 71	8	2,632	-17,44	1008	990,9	474,9	474,2	442,6	364,7	332,6	321,1
Run 72	8	2,895	-28,05	1022	994,3	473,8	473,2	441,5	365,4	332,8	321,2
Run 73	8	3,158	-40,24	1038	997,4	472,9	472,2	440,4	366,2	333,1	321,3
Run 74	8	3,421	-54	1054	1000	472	471,4	439,5	367,1	333,5	321,4
Run 75	8	3,684	-69,32	1072	1003	471,3	470,6	438,7	368	333,8	321,6
Run 76	8	3,947	-86,2	1091	1005	470,6	470	437,9	368,9	334,1	321,7
Run 77	8	4,211	-104,6	1111	1007	470,1	469,4	437,3	370	334,5	321,9
Run 78	8	4,474	-124,6	1133	1008	469,6	468,9	436,8	371,1	334,9	322,1
Run 79	8	4,737	-146,1	1155	1009	469,2	468,6	436,4	372,2	335,4	322,2
Run 80	8	5	-169,1	1179	1010	468,9	468,3	436	373,4	335,8	322,4

10.7.1.2 TEG1-24111-6.0

Los resultados con la configuración óptima son:

Unit Settings: SI K Pa J mass rad

$\alpha_1 = 0,06556$	$A_{\text{agua1}} = 0,000429$	$A_{\text{aislante}} = 0,01859$	$A_{\text{aleta}} = 0,04786$	$A_c = 0,00006$	$A_{\text{conductor1}} = 0,028$
$A_{\text{corona1}} = 0,1256$	$A_{\text{ext1}} = 0,1683$	$A_f = 0,04786$	$A_{\text{inter1}} = 0,01484$	$A_{\text{interior1}} = 0,07065$	$A_q = 0,3624$
$A_{\text{tapa1}} = 0,1963$	$A_{\text{TEG1}} = 0,003136$	$B = 0,001524$	$B_{\text{ext1}} = 0,002345$	$Cenizas = 0,004$	$CO_2 = 1,867$
$CO_2\text{moles} = 0,8059$	$compmasaC = 0,509$	$compmasacenizas = 0,004$	$compmasaH = 0,061$	$compmasahumedad = 0,072$	$compmasaN = 0,0009$
$compmasaO = 0,4249$	$compmasaS = 0,0001$	$compN_2\text{aire} = 0,79$	$compO_2\text{aire} = 0,21$	$CP_{CO_2} = 1149$	$CP_{H_2O} = 2119$
$CP_{N_2} = 1111$	$CP_{CO_2} = 1041$	$CP_{SO_2} = 804,3$	$CP_{\text{agua1}} = 4182$	$CP_{cenizas} = 850$	$CP_{CO_2} = 1149$
$CP_{\text{ext1}} = 1013$	$CP_{\text{gases1}} = 1154$	$CP_{\text{gasessecos}} = 1105$	$CP_{H_2O\text{vapor}} = 2119$	$CP_{N_2} = 1111$	$CP_{N_2\text{ext}} = 1038$
$CP_{O_2} = 1041$	$CP_{O_2\text{ext}} = 917,7$	$CP_{SO_2} = 804,3$	$Dh_1 = 0,06$	$Dh_{\text{agua1}} = 0,01348$	$e_1 = 0,11$
$\eta_{\text{aleta}} = 0,05444$	$\eta_{\text{PCI}} = 0,9709$	$excesoaire = 0,5$	$e_{\text{acero1}} = 0,005$	$e_{\text{acero1.1}} = 0,005$	$e_{\text{aislante}} = 0,006$
$e_{\text{aislanteext}} = 0,1$	$fracmolCO_2 = 0,09872$	$fracmolH_2O = 0,08029$	$f_{\text{agua1}} = 0,0401$	$gasessecos = 12,01$	$gasestotales = 12,64$
$H = 0,04$	$H_2O_{\text{vapor}} = 0,6215$	$H_2O_{\text{vaporH}_2} = 0,5495$	$H_2O_{\text{vaporhumedad}} = 0,072$	$H_2O_{\text{vapormoles}} = 0,6554$	$Heatflow_{\text{TEG1}} = 301$
$hueco = 0,00766$	$huecos_1 = 6$	$h_{\text{convagua1}} = 1385$	$h_{\text{convairelibre1}} = 12,94$	$h_{\text{convext1}} = 14,81$	$h_{\text{convforz1}} = 12,75$
$h_{\text{rad1}} = 7,202$	$I_1 = 2$	$I_{\text{real}} = 1,25$	$k_{1\text{TEG}} = 0,9021$	$k_{\text{acero1}} = 33,87$	$k_{\text{acero1.1}} = 15,67$
$k_{\text{agua1}} = 0,6176$	$k_{\text{aislante}} = 0,1029$	$k_{\text{aislanteext}} = 0,1062$	$k_{CO_2} = 0,05146$	$k_{\text{ext1}} = 0,02698$	$k_{\text{gases1}} = 0,05425$
$k_{H_2O} = 0,06427$	$k_{N_2} = 0,05257$	$k_{N_2\text{ext}} = 0,02674$	$k_{O_2} = 0,06012$	$k_{O_2\text{ext}} = 0,02787$	$k_{SO_2} = 0,03296$
$L = 0,144$	$L_1 = 0,075$	$L_{\text{aleta}} = 0,056$	$L_c = 0,05983$	$L_{\text{ext1}} = 0,3674$	$m = 307$
$Mm_C = 12$	$Mm_{CO_2} = 44,01$	$Mm_{\text{comb}} = 19$	$Mm_{H_2} = 2$	$Mm_{H_2O} = 18,02$	$Mm_{N_2} = 28,01$
$Mm_{O_2} = 32$	$Mm_S = 32$	$Mm_{SO_2} = 64,06$	$m_1 = 0,6115$	$m_{\text{agua}} = 0,555$	$m_{\text{aire}} = 0,01489$
$m_{\text{combustible}} = 0,001467$	$m_{\text{gases}} = 0,01854$	$N_2\text{aire} = 8,016$	$N_2\text{airemoles} = 5,437$	$N_2\text{ext} = 0,79$	$n_{\text{TEG}} = 3$
$Nusselt_{\text{agua1}} = 30,22$	$Nusselt_{\text{chorro1}} = 14,1$	$Nusselt_{\text{ext1}} = 201,7$	$Nusselt_{\text{gases1}} = 17,88$	$v_{\text{agua1}} = 6,602E-07$	$v_{CO_2} = 0,00004699$
$v_{\text{ext1}} = 0,00001685$	$v_{\text{gases1}} = 0,00007231$	$v_{H_2O} = 0,00009488$	$v_{N_2} = 0,00007492$	$v_{N_2\text{ext}} = 0,00001676$	$v_{O_2} = 0,00007805$
$v_{O_2\text{ext}} = 0,00001717$	$v_{SO_2} = 0,00002943$	$\eta_{\text{aletas}} = 6$	$O_2\text{aire} = 2,131$	$O_2\text{airesteq} = 1,421$	$O_2\text{airemoles} = 1,265$
$O_2\text{ext} = 0,21$	$PCI = 1,755E+07$	$perdidas_{\text{cenizas}} = 0,000006781$	$perdidas_{\text{gasessecos}} = 0,02646$	$perdidas_{H_2O\text{vapor}} = 0,002627$	$Perimetro_1 = 0,804$
$Perimetro_{\text{aleta}} = 0,064$	$Perint_1 = 0,942$	$Per_{\text{conductor1}} = 1,112$	$Per_{\text{tapa1}} = 1,57$	$Pot_1 = 26,54$	$Prandtl_{\text{agua1}} = 4,436$
$Prandtl_{\text{gases1}} = 0,7607$	$P_{\text{agua}} = 101300$	$P_{\text{gases}} = 101300$	$P_{\text{max}} = 0$	$P_{\text{vapor}} = 8133$	$Q_1 = 26,54$
$Q_{\text{aislante1}} = 74,11$	$Q_{c1} = 616$	$Q_{c1\text{datos}} = 292,2$	$Q_{\text{caldera}} = 25000$	$Q_{\text{ext1}} = 44,17$	$Q_{h1} = 642,5$
$Q_{h1\text{datos}} = 309,8$	$R1 = 0,25$	$R2 = 0,165$	$R3 = 0,15$	$R_{\text{aext1}} = 2,430E+09$	$R_{\text{gases1}} = 1,203E+06$
$Re_{\text{agua1}} = 4436$	$Re_{\text{gases1}} = 2097$	$p_{\text{agua1}} = 992,3$	$PCO_2 = 0,7121$	$p_{\text{ext1}} = 1,123$	$p_{\text{gases1}} = 0,4944$
$\rho_{H_2O} = 0,2915$	$\rho_{N_2} = 0,4533$	$\rho_{N_2\text{ext}} = 1,09$	$\rho_{O_2} = 0,5178$	$\rho_{O_2\text{ext}} = 1,246$	$\rho_{SO_2} = 1,037$
$R_{\text{aislante1}} = 3,137$	$R_{\text{aislanteext1}} = 5,594$	$R_{\text{condacero1}} = 0,0007523$	$R_{\text{condacero1.1}} = 0,0114$	$R_{\text{convagua1}} = 0,00795$	$R_{\text{convaire1}} = 1,094$
$R_{\text{convext1}} = 0,4013$	$R_{\text{convforz1}} = 0,6243$	$R_{\text{eq1}} = 0,2545$	$R_{\text{intTEG1}} = 4,425$	$R_{\text{radgases1}} = 0,7075$	$R_{\text{ic}} = 0,03189$
$R_{\text{ic}} = 0,0001$	$SO_2 = 0,0002002$	$SO_2\text{moles} = 0,00005938$	$sumaperdidas = 0,0291$	$t = 0,002$	$\theta_1 = 5,670E-08$
$T_{\text{amb1}} = 294$	$T_C = 313$	$T_{c1} = 318,5$	$T_{\text{cs1}} = 326,3$	$T_{\text{cs1}} = 346$	$T_{\text{TEG1}} = 303$
$T_H = 753$	$T_{H1} = 559,4$	$T_{Hs1} = 558,8$	$T_{\text{hs1}} = 538,3$	$T_{\text{HTEG1}} = 573$	$T_{\text{ref}} = 293$
$T_{\text{salida}} = 328$	$V_1 = 17,7$	$v_{\text{agua1}} = 0,2173$	$v_{\text{gases1}} = 2,527$	$W = 0,03$	$W_{\text{aleta}} = 0,4$
$x = 0,5$					

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Calculando los resultados de intensidad respecto potencia para varias cantidades de generadores termoeléctricos se obtiene:

Tabla 5. Tabla paramétrica TEG1-24111-6.

	nTEG	I_{real}	Pot ₁	Q _{c1}	Q _{h1}	T _{hi1}	T _{hs1}	T _{hsf1}	T _{csf1}	T _{cs1}	T _{ci1}
Run 1	1	0	0	275,5	275,5	644,2	643,8	635	329,6	320,8	316,2
Run 2	1	0,2105	3,991	278,3	282,3	642,6	642,1	633,1	329,7	320,9	316,2
Run 3	1	0,4211	7,536	281,4	289	641	640,6	631,3	329,9	320,9	316,2
Run 4	1	0,6316	10,64	284,8	295,4	639,4	639	629,6	330	321	316,3
Run 5	1	0,8421	13,3	288,3	301,6	638	637,5	627,9	330,2	321	316,3
Run 6	1	1,053	15,51	292,1	307,7	636,5	636,1	626,3	330,4	321,1	316,3
Run 7	1	1,263	17,29	296,2	313,5	635,1	634,7	624,7	330,6	321,2	316,3
Run 8	1	1,474	18,63	300,5	319,1	633,8	633,3	623,1	330,8	321,2	316,4
Run 9	1	1,684	19,54	305	324,5	632,5	632	621,7	331	321,3	316,4
Run 10	1	1,895	20,01	309,8	329,8	631,2	630,8	620,2	331,3	321,4	316,4
Run 11	1	2,105	20,04	314,8	334,8	630	629,5	618,9	331,5	321,5	316,5
Run 12	1	2,316	19,65	320	339,7	628,8	628,4	617,5	331,8	321,6	316,5
Run 13	1	2,526	18,83	325,5	344,3	627,7	627,3	616,3	332,1	321,7	316,6
Run 14	1	2,737	17,58	331,2	348,8	626,6	626,2	615,1	332,4	321,8	316,6
Run 15	1	2,947	15,9	337,2	353,1	625,6	625,1	613,9	332,6	321,9	316,6
Run 16	1	3,158	13,8	343,4	357,2	624,6	624,1	612,8	333	322	316,7
Run 17	1	3,368	11,27	349,9	361,1	623,7	623,2	611,7	333,3	322,1	316,7
Run 18	1	3,579	8,321	356,5	364,9	622,8	622,3	610,7	333,6	322,3	316,8
Run 19	1	3,789	4,953	363,5	368,4	621,9	621,4	609,7	334	322,4	316,8
Run 20	1	4	1,165	370,7	371,8	621,1	620,6	608,8	334,3	322,5	316,9
Run 21	3	0	0	577,6	577,6	576,5	576	557,5	344,1	325,7	318,2
Run 22	3	0,2105	8,09	581,8	589,9	573,3	572,7	553,9	344,3	325,8	318,2
Run 23	3	0,4211	14,7	586,9	601,6	570,2	569,6	550,5	344,6	325,8	318,3
Run 24	3	0,6316	19,83	593	612,8	567,2	566,7	547,1	344,9	325,9	318,3
Run 25	3	0,8421	23,51	599,9	623,4	564,4	563,9	544	345,2	326,1	318,4
Run 26	3	1,053	25,75	607,8	633,5	561,8	561,2	541	345,6	326,2	318,4
Run 27	3	1,263	26,55	616,5	643,1	559,2	558,7	538,2	346	326,4	318,5
Run 28	3	1,474	25,93	626,2	652,2	556,8	556,3	535,5	346,5	326,5	318,6
Run 29	3	1,684	23,91	636,8	660,7	554,6	554	532,9	347	326,7	318,6
Run 30	3	1,895	20,49	648,3	668,8	552,4	551,8	530,5	347,6	326,9	318,7
Run 31	3	2,105	15,69	660,7	676,4	550,4	549,8	528,2	348,2	327,2	318,8
Run 32	3	2,316	9,508	674	683,6	548,5	547,9	526,1	348,9	327,4	318,9
Run 33	3	2,526	1,965	688,3	690,2	546,7	546,1	524,1	349,6	327,7	319
Run 34	3	2,737	-6,932	703,4	696,5	545	544,4	522,2	350,4	327,9	319,1
Run 35	3	2,947	-17,17	719,5	702,3	543,5	542,9	520,5	351,2	328,2	319,3
Run 36	3	3,158	-28,75	736,4	707,7	542,1	541,5	518,9	352	328,6	319,4
Run 37	3	3,368	-41,66	754,3	712,6	540,8	540,2	517,4	352,9	328,9	319,5
Run 38	3	3,579	-55,88	773,1	717,2	539,6	539	516,1	353,9	329,2	319,7
Run 39	3	3,789	-71,41	792,7	721,3	538,5	537,9	514,9	354,9	329,6	319,8
Run 40	3	4	-88,24	813,3	725,1	537,5	536,9	513,8	355,9	330	320
Run 41	6	0	0	795,1	795,1	527,2	526,6	501,2	354,3	329	319,6
Run 42	6	0,2105	10,59	799	809,6	523	522,4	496,6	354,5	329	319,6
Run 43	6	0,4211	18,06	805,1	823,1	519,1	518,5	492,3	354,8	329,1	319,6
Run 44	6	0,6316	22,45	813,4	835,8	515,5	514,9	488,2	355,2	329,3	319,7
Run 45	6	0,8421	23,8	823,8	847,6	512,1	511,5	484,4	355,8	329,5	319,8
Run 46	6	1,053	22,15	836,4	858,5	508,9	508,3	480,9	356,4	329,7	319,9
Run 47	6	1,263	17,53	851,1	868,6	506	505,4	477,7	357,1	330	320
Run 48	6	1,474	9,98	867,9	877,9	503,3	502,7	474,7	358	330,3	320,1
Run 49	6	1,684	-0,4699	886,9	886,5	500,8	500,2	471,9	358,9	330,7	320,3

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 50	6	1,895	-13,79	908,1	894,3	498,6	497,9	469,4	360	331,1	320,4
Run 51	6	2,105	-29,96	931,3	901,3	496,5	495,9	467,1	361,2	331,5	320,6
Run 52	6	2,316	-48,94	956,7	907,7	494,7	494	465,1	362,5	332	320,8
Run 53	6	2,526	-70,71	984,1	913,4	493	492,4	463,2	363,9	332,5	321
Run 54	6	2,737	-95,26	1014	918,4	491,6	490,9	461,6	365,4	333	321,3
Run 55	6	2,947	-122,6	1045	922,8	490,3	489,6	460,2	367	333,6	321,5
Run 56	6	3,158	-152,6	1079	926,6	489,2	488,6	459	368,7	334,3	321,8
Run 57	6	3,368	-185,3	1115	929,8	488,3	487,7	458	370,5	335	322,1
Run 58	6	3,579	-220,8	1153	932,4	487,6	486,9	457,2	372,4	335,7	322,4
Run 59	6	3,789	-258,9	1193	934,4	487	486,4	456,6	374,5	336,4	322,7
Run 60	6	4	-299,7	1235	935,8	486,7	486	456,2	376,6	337,2	323
Run 61	8	0	0	879,4	879,4	508,7	508,1	480	358,2	330,2	320,1
Run 62	8	0,2105	11,32	882,9	894,2	504,3	503,6	475,1	358,4	330,2	320,1
Run 63	8	0,4211	18,42	889,5	907,9	500,2	499,5	470,5	358,7	330,3	320,1
Run 64	8	0,6316	21,36	899,2	920,6	496,3	495,7	466,3	359,2	330,5	320,2
Run 65	8	0,8421	20,21	912	932,2	492,8	492,2	462,4	359,8	330,8	320,3
Run 66	8	1,053	15,01	927,7	942,8	489,6	489	458,9	360,6	331,1	320,4
Run 67	8	1,263	5,822	946,6	952,4	486,7	486	455,7	361,6	331,4	320,6
Run 68	8	1,474	-7,312	968,4	961,1	484	483,4	452,7	362,7	331,8	320,8
Run 69	8	1,684	-24,35	993,2	968,9	481,7	481	450,1	364	332,3	321
Run 70	8	1,895	-45,24	1021	975,8	479,5	478,9	447,8	365,4	332,8	321,2
Run 71	8	2,105	-69,96	1052	981,9	477,7	477	445,7	367	333,4	321,4
Run 72	8	2,316	-98,47	1086	987,2	476,1	475,4	443,9	368,7	334,1	321,7
Run 73	8	2,526	-130,7	1122	991,7	474,7	474	442,4	370,5	334,8	322
Run 74	8	2,737	-166,7	1162	995,4	473,5	472,9	441,1	372,6	335,5	322,3
Run 75	8	2,947	-206,5	1205	998,4	472,6	472	440,1	374,7	336,3	322,6
Run 76	8	3,158	-249,8	1251	1001	471,9	471,3	439,4	377,1	337,2	323
Run 77	8	3,368	-296,9	1299	1002	471,5	470,8	438,8	379,5	338,1	323,4
Run 78	8	3,579	-347,6	1351	1003	471,2	470,5	438,5	382,1	339,1	323,8
Run 79	8	3,789	-402	1405	1003	471,1	470,4	438,4	384,9	340,1	324,2
Run 80	8	4	-459,9	1463	1003	471,3	470,6	438,6	387,8	341,2	324,7

10.7.1.3 TEG1-PB-12611-6.0

Los resultados con la configuración óptima son:

Unit Settings: SI K Pa J mass rad

$\alpha_1 = 0,02875$	$A_{\text{agua1}} = 0,000429$	$A_{\text{aislante}} = 0,01859$	$A_{\text{aleta}} = 0,04786$	$A_c = 0,00006$	$A_{\text{conductor1}} = 0,028$
$A_{\text{corona1}} = 0,1256$	$A_{\text{ext1}} = 0,1683$	$A_r = 0,04786$	$A_{\text{inter1}} = 0,01484$	$A_{\text{interior1}} = 0,07065$	$A_t = 0,3624$
$A_{\text{tapa1}} = 0,1963$	$A_{\text{TEG1}} = 0,003136$	$B = 0,001514$	$B_{\text{ext1}} = 0,002322$	$\text{Cenizas} = 0,004$	$\text{CO2} = 1,867$
$\text{CO2moles} = 0,8059$	$\text{compmasaC} = 0,509$	$\text{compmasacenizas} = 0,004$	$\text{compmasaH} = 0,061$	$\text{compmasahumedad} = 0,072$	$\text{compmasaN} = 0,0009$
$\text{compmasaO} = 0,4249$	$\text{compmasaS} = 0,0001$	$\text{compN2aire} = 0,79$	$\text{compO2aire} = 0,21$	$\text{CP1CO2} = 1149$	$\text{CP1H2O} = 2119$
$\text{CP1N2} = 1111$	$\text{CP1O2} = 1041$	$\text{CP1SO2} = 804,3$	$\text{CPagua1} = 4182$	$\text{CPcenizas} = 850$	$\text{CPCO2} = 1149$
$\text{CPext1} = 1013$	$\text{CPgases1} = 1154$	$\text{CPgasessecos} = 1105$	$\text{CPH2Ovapor} = 2119$	$\text{CPN2} = 1111$	$\text{CPN2ext} = 1038$
$\text{CPO2} = 1041$	$\text{CPO2ext} = 917,7$	$\text{CPSO2} = 804,3$	$\text{Dh1} = 0,06$	$\text{Dhagua1} = 0,01348$	$\epsilon_1 = 0,11$
$\eta_{\text{aleta}} = 0,05442$	$\eta_{\text{PCI}} = 0,9709$	$\text{excesoaire} = 0,5$	$\epsilon_{\text{acero1}} = 0,005$	$\epsilon_{\text{acero1.1}} = 0,005$	$\epsilon_{\text{aislante}} = 0,006$
$\epsilon_{\text{aislanteext}} = 0,1$	$\text{fracmolCO2} = 0,09872$	$\text{fracmolH2O} = 0,08029$	$\epsilon_{\text{agua1}} = 0,0401$	$\text{gasesssecos} = 12,01$	$\text{gasestotales} = 12,64$
$H = 0,04$	$\text{H2Ovapor} = 0,6215$	$\text{H2OvaporH2} = 0,5495$	$\text{H2Ovaporhumedad} = 0,072$	$\text{H2Ovapormoles} = 0,6554$	$\text{HeatflowTEG1} = 310$
$\text{hueco} = 0,00766$	$\text{huecos1} = 6$	$h_{\text{convagua1}} = 1385$	$h_{\text{convairelibre1}} = 11,54$	$h_{\text{convext1}} = 14,81$	$h_{\text{convforz1}} = 12,75$
$h_{\text{rad1}} = 7,327$	$I_1 = 4,7$	$I_{\text{real}} = 2,7$	$k_{\text{1TEG}} = 0,7732$	$k_{\text{acero1}} = 33,41$	$k_{\text{acero1.1}} = 15,66$
$k_{\text{agua1}} = 0,6176$	$k_{\text{aislante}} = 0,1021$	$k_{\text{aislanteext}} = 0,1054$	$k_{\text{CO2}} = 0,05148$	$k_{\text{ext1}} = 0,02698$	$k_{\text{gases1}} = 0,05425$
$k_{\text{H2O}} = 0,06427$	$k_{\text{N2}} = 0,05257$	$k_{\text{N2ext}} = 0,02674$	$k_{\text{O2}} = 0,06012$	$k_{\text{O2ext}} = 0,02787$	$k_{\text{SO2}} = 0,03296$
$L = 0,144$	$L_1 = 0,075$	$L_{\text{aleta}} = 0,056$	$L_c = 0,05983$	$L_{\text{ext1}} = 0,3674$	$m = 307,1$
$\text{MmC} = 12$	$\text{MmCO2} = 44,01$	$\text{Mmcomb} = 19$	$\text{MmH2} = 2$	$\text{MmH2O} = 18,02$	$\text{MmN2} = 28,01$
$\text{MmO2} = 32$	$\text{MmS} = 32$	$\text{MmSO2} = 64,06$	$m_1 = 0,6115$	$m_{\text{agua}} = 0,555$	$m_{\text{aire}} = 0,01489$
$m_{\text{combustible}} = 0,001467$	$m_{\text{gases}} = 0,01854$	$\text{N2aire} = 8,016$	$\text{N2airemoles} = 5,437$	$\text{N2ext} = 0,79$	$n_{\text{TEG}} = 3$
$\text{Nusselt}_{\text{agua1}} = 30,22$	$\text{Nusselt}_{\text{chorro1}} = 14,1$	$\text{Nusselt}_{\text{ext1}} = 201,7$	$\text{Nusselt}_{\text{gases1}} = 15,95$	$v_{\text{agua1}} = 6,602\text{E-}07$	$v_{\text{CO2}} = 0,00004699$

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera domestica de biomasa

Vext1 = 0,00001685 VO2ext = 0,00001717 O2ext = 0,21 Perimetroaleta = 0,064 Prandtlgases1 = 0,7607 Qaislante1 = 76,53 Qh1datos = 320,8 Reagua1 = 4436 rho2 = 0,2915 Raislante1 = 3,16 Rconvext1 = 0,4013 R''tc = 0,0001 Tamb1 = 294 Th = 753 Tsalida = 328 x = 0,5	Vgases1 = 0,00007231 VSO2 = 0,00002943 PCI = 1,755E+07 Perint1 = 0,942 Pagua = 101300 Qc1 = 565,9 R1 = 0,25 Regases1 = 2097 rho2 = 0,4533 Raislanteext1 = 5,641 Rconvforz1 = 0,6243 SO2 = 0,0002002 Tc = 313 Thit = 567,8 V1 = 9,2	VH2O = 0,00009488 naletas = 6 perdidas_cenizas = 0,000006781 Pefconducto1 = 1,112 P gases = 101300 Qc1datos = 299,2 R2 = 0,165 Pagua1 = 992,3 rho2ext = 1,09 Rcondacero1 = 0,0007626 Req1 = 0,2594 SO2moles = 0,00005938 Tcit = 318,1 Ths1 = 567,2 Vagua1 = 0,2173	VN2 = 0,00007492 O2aire = 2,131 perdidas_gasessecos = 0,02646 Pefropa1 = 1,57 Pmax = 0 Qcaldera = 25000 R3 = 0,15 rhoCO2 = 0,7121 rhoO2 = 0,5178 Rcondacero1.1 = 0,01141 RintTEG1 = 0,9787 sumaperdidas = 0,0291 Tcs1 = 325,4 Thsf1 = 548,4 Vgases1 = 2,527	VN2ext = 0,00001676 O2airesteq = 1,421 perdidas_H2Ovapor = 0,002627 Pot1 = 26,31 P vapor = 8133 Qext1 = 45,22 Raext1 = 2,430E+09 Pext1 = 1,123 rho2ext = 1,246 Rconvagua1 = 0,007951 Rradgases1 = 0,6955 t = 0,002 Tcsf1 = 343,5 ThTEG1 = 623 W = 0,03	VO2 = 0,00007805 O2airemoles = 1,265 Perimetro1 = 0,804 Prandtlagua1 = 4,436 Q1 = 26,31 Qh1 = 592,3 Ra_gases1 = 1,203E+06 P_gases1 = 0,4944 rhoSO2 = 1,037 Rconvaire1 = 1,226 Rtc = 0,03189 theta1 = 5,670E-08 TcTEG1 = 303 Tref = 293 Waleta = 0,4
--	--	--	---	--	---

Calculando los resultados de intensidad respecto potencia para varias cantidades de generadores termoelectricos se obtiene:

Tabla 6. Tabla paramétrica TEG1-Pb-12611-6.0

	nTEG	I _{real}	Pot ₁	Q _{c1}	Q _{h1}	T _{hi1}	T _{hs1}	T _{hsf1}	T _{csf1}	T _{cs1}	T _{ci1}
Run 1	1	0	0	242,4	242,4	649,6	649,2	641,4	327,9	320,2	316
Run 2	1	0,2632	2,295	244	246,3	648,6	648,2	640,4	328	320,2	316
Run 3	1	0,5263	4,438	245,7	250,2	647,7	647,3	639,3	328,1	320,3	316
Run 4	1	0,7895	6,428	247,5	253,9	646,8	646,4	638,3	328,2	320,3	316
Run 5	1	1,053	8,266	249,4	257,6	645,9	645,5	637,2	328,3	320,3	316
Run 6	1	1,316	9,952	251,3	261,3	645	644,6	636,2	328,4	320,4	316
Run 7	1	1,579	11,49	253,4	264,8	644,1	643,7	635,3	328,5	320,4	316
Run 8	1	1,842	12,87	255,5	268,3	643,3	642,9	634,3	328,6	320,4	316
Run 9	1	2,105	14,1	257,6	271,8	642,4	642	633,4	328,7	320,5	316,1
Run 10	1	2,368	15,19	259,9	275,1	641,6	641,2	632,4	328,8	320,5	316,1
Run 11	1	2,632	16,12	262,3	278,4	640,8	640,4	631,5	328,9	320,5	316,1
Run 12	1	2,895	16,9	264,7	281,6	640	639,6	630,6	329	320,6	316,1
Run 13	1	3,158	17,53	267,2	284,7	639,3	638,8	629,8	329,2	320,6	316,1
Run 14	1	3,421	18,02	269,8	287,8	638,5	638,1	628,9	329,3	320,7	316,1
Run 15	1	3,684	18,35	272,5	290,8	637,8	637,4	628,1	329,4	320,7	316,2
Run 16	1	3,947	18,54	275,2	293,8	637,1	636,6	627,3	329,5	320,8	316,2
Run 17	1	4,211	18,57	278,1	296,6	636,4	635,9	626,5	329,7	320,8	316,2
Run 18	1	4,474	18,46	281	299,5	635,7	635,2	625,7	329,8	320,9	316,2
Run 19	1	4,737	18,21	284	302,2	635	634,6	624,9	330	320,9	316,2
Run 20	1	5	17,8	287,1	304,9	634,4	633,9	624,2	330,1	321	316,3
Run 21	3	0	0	526	526	585,6	585	568,3	341,5	324,8	317,8
Run 22	3	0,2632	4,891	528,5	533,4	583,6	583,1	566,1	341,6	324,8	317,8
Run 23	3	0,5263	9,271	531,2	540,5	581,7	581,2	563,9	341,8	324,8	317,9
Run 24	3	0,7895	13,14	534,3	547,5	579,8	579,3	561,8	341,9	324,9	317,9
Run 25	3	1,053	16,51	537,7	554,2	578	577,5	559,8	342,1	324,9	317,9
Run 26	3	1,316	19,38	541,4	560,8	576,3	575,7	557,8	342,3	325	317,9
Run 27	3	1,579	21,75	545,4	567,2	574,5	574	555,9	342,5	325,1	318
Run 28	3	1,842	23,62	549,8	573,4	572,9	572,3	554,1	342,7	325,2	318
Run 29	3	2,105	25	554,4	579,4	571,3	570,7	552,2	342,9	325,2	318
Run 30	3	2,368	25,88	559,3	585,2	569,7	569,2	550,5	343,2	325,3	318,1
Run 31	3	2,632	26,28	564,5	590,8	568,2	567,6	548,8	343,4	325,4	318,1
Run 32	3	2,895	26,19	570,1	596,3	566,7	566,2	547,1	343,7	325,5	318,1
Run 33	3	3,158	25,62	575,9	601,5	565,3	564,7	545,6	344	325,6	318,2
Run 34	3	3,421	24,57	582,1	606,6	563,9	563,4	544	344,3	325,7	318,2

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 35	3	3,684	23,03	588,5	611,6	562,6	562	542,5	344,6	325,8	318,3
Run 36	3	3,947	21,02	595,3	616,3	561,3	560,7	541,1	344,9	326	318,3
Run 37	3	4,211	18,54	602,4	620,9	560	559,5	539,7	345,3	326,1	318,4
Run 38	3	4,474	15,58	609,7	625,3	558,8	558,3	538,4	345,7	326,2	318,4
Run 39	3	4,737	12,15	617,4	629,6	557,7	557,1	537,1	346,1	326,4	318,5
Run 40	3	5	8,259	625,4	633,6	556,6	556	535,8	346,5	326,5	318,6
Run 41	6	0	0	742,5	742,5	536	535,4	511,7	351,7	328	319,2
Run 42	6	0,2632	6,722	744,8	751,5	533,4	532,8	508,8	351,8	328	319,2
Run 43	6	0,5263	12,36	747,7	760,1	530,9	530,3	506	351,9	328,1	319,2
Run 44	6	0,7895	16,94	751,4	768,4	528,4	527,8	503,3	352,1	328,1	319,2
Run 45	6	1,053	20,44	755,9	776,3	526,1	525,5	500,8	352,3	328,2	319,3
Run 46	6	1,316	22,9	761	783,9	523,9	523,3	498,3	352,6	328,3	319,3
Run 47	6	1,579	24,31	766,9	791,2	521,7	521,1	495,9	352,9	328,4	319,3
Run 48	6	1,842	24,68	773,5	798,2	519,7	519,1	493,6	353,2	328,5	319,4
Run 49	6	2,105	24,03	780,9	804,9	517,7	517,1	491,4	353,6	328,7	319,5
Run 50	6	2,368	22,35	788,9	811,3	515,8	515,2	489,3	354	328,8	319,5
Run 51	6	2,632	19,65	797,7	817,4	514	513,4	487,3	354,4	329	319,6
Run 52	6	2,895	15,95	807,2	823,2	512,3	511,7	485,4	354,9	329,2	319,7
Run 53	6	3,158	11,25	817,5	828,7	510,6	510	483,6	355,4	329,4	319,7
Run 54	6	3,421	5,553	828,4	834	509,1	508,4	481,9	356	329,6	319,8
Run 55	6	3,684	-1,131	840,1	839	507,6	507	480,2	356,6	329,8	319,9
Run 56	6	3,947	-8,798	852,5	843,7	506,2	505,6	478,7	357,2	330	320
Run 57	6	4,211	-17,44	865,6	848,1	504,9	504,2	477,2	357,9	330,3	320,1
Run 58	6	4,474	-27,05	879,4	852,3	503,6	503	475,8	358,6	330,5	320,2
Run 59	6	4,737	-37,63	893,9	856,3	502,4	501,8	474,5	359,3	330,8	320,3
Run 60	8	5	-98,7	1041	942,6	481,5	480,9	450,8	366,4	333,2	321,3
Run 61	8	0	0	829,1	829,1	516,7	516,1	489,7	355,6	329,2	319,7
Run 62	8	0,2632	7,375	831	838,4	513,9	513,3	486,5	355,7	329,2	319,7
Run 63	8	0,5263	13,29	833,9	847,2	511,2	510,6	483,6	355,9	329,3	319,7
Run 64	8	0,7895	17,75	837,9	855,7	508,6	508	480,7	356,1	329,4	319,7
Run 65	8	1,053	20,77	842,9	863,7	506,1	505,5	478	356,3	329,5	319,8
Run 66	8	1,316	22,37	849	871,3	503,8	503,1	475,3	356,6	329,6	319,8
Run 67	8	1,579	22,55	856,1	878,6	501,5	500,9	472,9	357	329,7	319,9
Run 68	8	1,842	21,34	864,2	885,5	499,4	498,7	470,5	357,4	329,9	319,9
Run 69	8	2,105	18,74	873,3	892,1	497,3	496,7	468,2	357,9	330	320
Run 70	8	2,368	14,76	883,5	898,3	495,4	494,8	466,1	358,4	330,2	320,1
Run 71	8	2,632	9,409	894,7	904,1	493,6	492,9	464,1	359	330,4	320,2
Run 72	8	2,895	2,706	906,9	909,6	491,8	491,2	462,2	359,6	330,7	320,3
Run 73	8	3,158	-5,345	920,2	914,8	490,2	489,6	460,4	360,3	330,9	320,4
Run 74	8	3,421	-14,73	934,4	919,7	488,7	488	458,7	361	331,2	320,5
Run 75	8	3,684	-25,45	949,7	924,3	487,3	486,6	457,1	361,8	331,5	320,6
Run 76	8	3,947	-37,49	966	928,5	485,9	485,3	455,7	362,6	331,8	320,7
Run 77	8	4,211	-50,84	983,3	932,5	484,7	484	454,3	363,5	332,1	320,9
Run 78	8	4,474	-65,5	1002	936,1	483,5	482,9	453	364,4	332,5	321
Run 79	8	4,737	-81,45	1021	939,5	482,5	481,8	451,9	365,4	332,8	321,2
Run 80	8	5	-98,7	1041	942,6	481,5	480,9	450,8	366,4	333,2	321,3

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera domestica de biomasa

10.7.1.4 TEG1-Pb-12690

Los resultados con la configuración óptima son:

Unit Settings: SI K Pa J mass rad

$\alpha_1 = 0,02333$	$A_{agua1} = 0,000429$	$A_{aislante} = 0,002912$	$A_{aleta} = 0,04786$	$A_c = 0,00006$	$A_{conductor1} = 0,028$
$A_{corona1} = 0,1256$	$A_{ext1} = 0,1683$	$A_f = 0,04786$	$A_{inter1} = 0,01484$	$A_{anterior1} = 0,07065$	$A_t = 0,3624$
$A_{vape1} = 0,1963$	$A_{TEG1} = 0,003136$	$B = 0,001526$	$B_{ext1} = 0,00235$	$cenizas = 0,004$	$CO_2 = 1,867$
$CO_2moles = 0,8059$	$compmasaC = 0,509$	$compmasacenizas = 0,004$	$compmasaH = 0,061$	$compmasahumedad = 0,072$	$compmasaN = 0,0009$
$compmasaO = 0,4249$	$compmasaS = 0,0001$	$compN_2aire = 0,79$	$compO_2aire = 0,21$	$cp_{CO_2} = 1149$	$cp_{H_2O} = 2119$
$cp_{N_2} = 1111$	$cp_{IO_2} = 1041$	$cp_{SO_2} = 804,3$	$cp_{agua1} = 4182$	$cp_{cenizas} = 850$	$cp_{CO_2} = 1149$
$cp_{ext1} = 1013$	$cp_{gases1} = 1154$	$cp_{gasessecos} = 1105$	$cp_{H_2Ovapor} = 2119$	$cp_{N_2} = 1111$	$cp_{N_2ext} = 1038$
$cp_{O_2} = 1041$	$cp_{O_2ext} = 917,7$	$cp_{SO_2} = 804,3$	$Dh_1 = 0,06$	$Dh_{agua1} = 0,01348$	$\epsilon_1 = 0,11$
$\eta_{aleta} = 0,05444$	$\eta_{PCI} = 0,9709$	$excesoaire = 0,5$	$e_{acero1} = 0,005$	$e_{acero1,1} = 0,005$	$e_{aislante} = 0,006$
$e_{aislanteext} = 0,1$	$fracmol_{CO_2} = 0,09872$	$fracmol_{H_2O} = 0,08029$	$f_{agua1} = 0,0401$	$gasessecos = 12,01$	$gases totales = 12,64$
$H = 0,04$	$H_2O_{vapor} = 0,6215$	$H_2O_{vaporH_2} = 0,5495$	$H_2O_{vaporhumedad} = 0,072$	$H_2O_{vapor moles} = 0,6554$	$Heatflow_{TEG1} = 273$
$hueco = 0,00766$	$huecos_1 = 6$	$h_{convagua1} = 1385$	$h_{convaire1} = 11,54$	$h_{convext1} = 14,81$	$h_{convforz1} = 12,75$
$h_{rad1} = 7,178$	$I_1 = 3,27$	$I_{real} = 1$	$k_{1TEG} = 0,4002$	$k_{acero1} = 33,96$	$k_{acero1,1} = 15,67$
$k_{agua1} = 0,6176$	$k_{aislante} = 0,1031$	$k_{aislanteext} = 0,1064$	$k_{CO_2} = 0,05148$	$k_{ext1} = 0,02698$	$k_{gases1} = 0,05425$
$k_{H_2O} = 0,06427$	$k_{N_2} = 0,02527$	$k_{N_2ext} = 0,02674$	$k_{O_2} = 0,06012$	$k_{O_2ext} = 0,02787$	$k_{SO_2} = 0,03296$
$L = 0,144$	$L_1 = 0,075$	$L_{aleta} = 0,056$	$L_c = 0,05983$	$L_{ext1} = 0,3674$	$m = 307$
$Mm_c = 12$	$Mm_{CO_2} = 44,01$	$Mm_{comb} = 19$	$Mm_{H_2} = 2$	$Mm_{H_2O} = 18,02$	$Mm_{N_2} = 28,01$
$Mm_{O_2} = 32$	$Mm_S = 32$	$Mm_{SO_2} = 64,06$	$m_1 = 0,6115$	$m_{agua} = 0,555$	$m_{aire} = 0,01489$
$m_{combustible} = 0,001467$	$m_{gases} = 0,01854$	$N_2_{aire} = 8,016$	$N_2_{aire moles} = 5,437$	$N_2_{ext} = 0,79$	$n_{TEG} = 8$
$Nusselt_{agua1} = 30,22$	$Nusselt_{chorro1} = 14,1$	$Nusselt_{ext1} = 201,7$	$Nusselt_{gases1} = 15,95$	$v_{agua1} = 6,602E-07$	$v_{CO_2} = 0,00004699$
$v_{ext1} = 0,00001685$	$v_{gases1} = 0,00007231$	$v_{H_2O} = 0,00009488$	$v_{N_2} = 0,00007492$	$v_{N_2ext} = 0,00001676$	$v_{O_2} = 0,00007805$
$v_{O_2ext} = 0,00001717$	$v_{SO_2} = 0,00002943$	$\eta_{aletas} = 6$	$O_2_{aire} = 2,131$	$O_2_{airesteq} = 1,421$	$O_2_{aire moles} = 1,265$
$O_2_{ext} = 0,21$	$PCI = 1,755E+07$	$perdidas_{cenizas} = 0,000006781$	$perdidas_{gasessecos} = 0,02646$	$perdidas_{H_2Ovapor} = 0,002627$	$Perimetro_1 = 0,804$
$Perimetro_{aleta} = 0,064$	$Perint_1 = 0,942$	$Perconductor1 = 1,112$	$Perf_{vape1} = 1,57$	$Pot_1 = 18,71$	$Perandtl_{agua1} = 4,436$
$Prandtl_{gases1} = 0,7607$	$P_{agua} = 101300$	$P_{gases} = 101300$	$P_{max} = 0$	$P_{vapor} = 8133$	$Q_1 = 18,71$
$Q_{aislante1} = 11,55$	$Q_{c1} = 673$	$Q_{c1datos} = 262,1$	$Q_{caldera} = 25000$	$Q_{ext1} = 43,96$	$Q_{h1} = 691,7$
$Q_{h1datos} = 283,9$	$R1 = 0,25$	$R2 = 0,165$	$R3 = 0,15$	$Ra_{ext1} = 2,430E+09$	$Ra_{gases1} = 1,203E+06$
$Re_{agua1} = 4436$	$Re_{gases1} = 2097$	$Pagua1 = 992,3$	$pc_{CO_2} = 0,7121$	$p_{ext1} = 1,123$	$p_{gases1} = 0,4944$
$Re_{H_2O} = 0,2915$	$pn_{H_2} = 0,4533$	$pn_{N_2} = 1,09$	$po_2 = 0,5178$	$po_2ext = 1,246$	$ps_{O_2} = 1,037$
$R_{aislante1} = 19,99$	$R_{aislanteext1} = 5,585$	$R_{condacero1} = 0,0007503$	$R_{condacero1,1} = 0,0114$	$R_{convagua1} = 0,00795$	$R_{convaire1} = 1,226$
$R_{convext1} = 0,4013$	$R_{convforz1} = 0,6243$	$R_{eq1} = 0,2614$	$R_{intTEG1} = 2,034$	$R_{radgases1} = 0,7099$	$R_{TC} = 0,03189$
$R_{tc} = 0,0001$	$SO_2 = 0,0002002$	$SO_2moles = 0,00005938$	$sumaperdidas = 0,0291$	$t = 0,002$	$\theta_1 = 5,670E-08$
$T_{amb1} = 294$	$T_c = 313$	$T_{ci1} = 318,4$	$T_{cs1} = 326,2$	$T_{csf1} = 347,7$	$T_{cTEG1} = 303$
$T_h = 753$	$T_{hit} = 557,7$	$T_{hs1} = 557,1$	$T_{hsf1} = 535,1$	$T_{hTEG1} = 873$	$T_{ref} = 293$
$T_{salida} = 328$	$V_1 = 13,3$	$v_{agua1} = 0,2173$	$v_{gases1} = 2,527$	$W = 0,03$	$W_{aleta} = 0,4$
$x = 0,5$					

Resultados de la tabla paramétrica que nos ha permitido conocer la intensidad óptima a la que se obtiene la máxima potencia para diferente número de TEGs:

Tabla 7. Tabla paramétrica TEG1-Pb-12690

nTEG	I_{real}	Pot ₁	Q _{c1}	Q _{h1}	T _{hi1}	T _{hs1}	T _{hsf1}	T _{csf1}	T _{cs1}	T _{ci1}	
Run 1	1	0	0	138,7	138,7	674,1	673,8	669,3	322,8	318,3	315,2
Run 2	1	0,2105	1,608	140	141,6	673,4	673,1	668,6	322,8	318,4	315,2
Run 3	1	0,4211	3,028	141,4	144,4	672,8	672,4	667,8	322,9	318,4	315,2
Run 4	1	0,6316	4,26	142,9	147,2	672,1	671,8	667,1	323	318,4	315,2
Run 5	1	0,8421	5,304	144,5	149,8	671,5	671,2	666,4	323	318,4	315,2
Run 6	1	1,053	6,161	146,2	152,3	670,9	670,6	665,7	323,1	318,5	315,2
Run 7	1	1,263	6,83	148	154,8	670,3	670	665	323,2	318,5	315,3
Run 8	1	1,474	7,313	149,8	157,2	669,8	669,4	664,4	323,3	318,5	315,3
Run 9	1	1,684	7,608	151,8	159,4	669,2	668,9	663,8	323,4	318,6	315,3
Run 10	1	1,895	7,718	153,9	161,6	668,7	668,4	663,2	323,5	318,6	315,3
Run 11	1	2,105	7,641	156,1	163,7	668,2	667,9	662,7	323,6	318,6	315,3
Run 12	1	2,316	7,378	158,4	165,8	667,8	667,4	662,1	323,7	318,7	315,3
Run 13	1	2,526	6,93	160,8	167,7	667,3	667	661,6	323,9	318,7	315,3

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 14	1	2,737	6,296	163,2	169,5	666,9	666,5	661,1	324	318,8	315,4
Run 15	1	2,947	5,478	165,8	171,3	666,5	666,1	660,6	324,1	318,8	315,4
Run 16	1	3,158	4,474	168,5	173	666,1	665,7	660,2	324,2	318,9	315,4
Run 17	1	3,368	3,286	171,3	174,6	665,7	665,3	659,8	324,4	318,9	315,4
Run 18	1	3,579	1,914	174,1	176,1	665,4	665	659,4	324,5	319	315,4
Run 19	1	3,789	0,3574	177,1	177,5	665	664,7	659	324,7	319	315,5
Run 20	1	4	-1,383	180,2	178,8	664,7	664,3	658,6	324,8	319,1	315,5
Run 21	3	0	0	345,8	345,8	632	631,6	620,5	332,5	321,5	316,5
Run 22	3	0,2105	3,944	348,4	352,4	630,3	629,9	618,7	332,7	321,5	316,5
Run 23	3	0,4211	7,29	351,4	358,7	628,7	628,3	616,9	332,8	321,6	316,5
Run 24	3	0,6316	10,04	354,7	364,8	627,2	626,8	615,1	333	321,7	316,5
Run 25	3	0,8421	12,2	358,4	370,6	625,7	625,3	613,5	333,1	321,7	316,6
Run 26	3	1,053	13,76	362,4	376,1	624,3	623,9	611,9	333,3	321,8	316,6
Run 27	3	1,263	14,74	366,7	381,5	623	622,5	610,4	333,6	321,9	316,6
Run 28	3	1,474	15,13	371,4	386,5	621,7	621,2	608,9	333,8	321,9	316,7
Run 29	3	1,684	14,94	376,4	391,3	620,5	620	607,5	334	322	316,7
Run 30	3	1,895	14,16	381,8	395,9	619,3	618,8	606,2	334,3	322,1	316,7
Run 31	3	2,105	12,8	387,5	400,3	618,2	617,7	605	334,6	322,2	316,8
Run 32	3	2,316	10,87	393,5	404,4	617,2	616,7	603,8	334,9	322,4	316,8
Run 33	3	2,526	8,36	399,9	408,3	616,2	615,7	602,7	335,2	322,5	316,9
Run 34	3	2,737	5,277	406,6	411,9	615,2	614,8	601,6	335,6	322,6	316,9
Run 35	3	2,947	1,622	413,7	415,3	614,4	613,9	600,7	335,9	322,7	317
Run 36	3	3,158	-2,602	421,1	418,5	613,6	613,1	599,8	336,3	322,9	317
Run 37	3	3,368	-7,394	428,8	421,5	612,8	612,3	598,9	336,7	323	317,1
Run 38	3	3,579	-12,75	436,9	424,2	612,1	611,7	598,1	337,1	323,2	317,2
Run 39	3	3,789	-18,67	445,4	426,7	611,5	611	597,4	337,5	323,3	317,2
Run 40	3	4	-25,15	454,2	429	610,9	610,4	596,8	338	323,5	317,3
Run 41	6	0	0	551,5	551,5	589,8	589,3	571,7	342,1	324,5	317,7
Run 42	6	0,2105	6,139	554,6	560,8	587,3	586,7	568,9	342,2	324,5	317,7
Run 43	6	0,4211	11,03	558,6	569,6	584,8	584,3	566,1	342,4	324,6	317,8
Run 44	6	0,6316	14,67	563,3	578	582,5	582	563,6	342,6	324,7	317,8
Run 45	6	0,8421	17,07	568,8	585,9	580,3	579,8	561,1	342,9	324,8	317,8
Run 46	6	1,053	18,25	575,1	593,3	578,3	577,8	558,8	343,2	324,9	317,9
Run 47	6	1,263	18,21	582,2	600,4	576,3	575,8	556,7	343,6	325	317,9
Run 48	6	1,474	16,96	590	607	574,5	574	554,6	344	325,2	318
Run 49	6	1,684	14,5	598,7	613,2	572,8	572,2	552,7	344,4	325,3	318,1
Run 50	6	1,895	10,84	608,1	618,9	571,2	570,6	550,9	344,9	325,5	318,1
Run 51	6	2,105	5,992	618,3	624,3	569,7	569,1	549,2	345,4	325,7	318,2
Run 52	6	2,316	-0,03854	629,3	629,3	568,3	567,8	547,7	346	325,9	318,3
Run 53	6	2,526	-7,246	641,1	633,8	567	566,5	546,3	346,6	326,1	318,4
Run 54	6	2,737	-15,62	653,6	638	565,9	565,3	545	347,2	326,4	318,5
Run 55	6	2,947	-25,16	667	641,8	564,8	564,3	543,8	347,9	326,6	318,6
Run 56	6	3,158	-35,86	681,1	645,2	563,8	563,3	542,7	348,6	326,9	318,7
Run 57	6	3,368	-47,71	696	648,3	563	562,4	541,8	349,4	327,2	318,8
Run 58	6	3,579	-60,71	711,7	651	562,2	561,7	540,9	350,2	327,5	318,9
Run 59	6	3,789	-74,84	728,2	653,4	561,6	561	540,2	351	327,8	319,1
Run 60	6	4	-90,11	745,5	655,4	561,1	560,5	539,6	351,9	328,1	319,2
Run 61	8	0	0	648,4	648,4	570,2	569,7	549	346,5	325,8	318,3
Run 62	8	0,2105	7,104	651,5	658,6	567,3	566,7	545,7	346,6	325,8	318,3
Run 63	8	0,4211	12,51	655,7	668,2	564,5	564	542,6	346,8	325,9	318,3
Run 64	8	0,6316	16,22	661	677,2	561,9	561,3	539,7	347,1	326	318,3
Run 65	8	0,8421	18,27	667,4	685,7	559,4	558,9	537	347,4	326,1	318,4
Run 66	8	1,053	18,65	675	693,6	557,1	556,6	534,5	347,8	326,3	318,5
Run 67	8	1,263	17,38	683,6	701	555	554,4	532,1	348,2	326,4	318,5
Run 68	8	1,474	14,48	693,4	707,9	553	552,4	529,8	348,7	326,6	318,6

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 69	8	1,684	9,958	704,3	714,3	551,1	550,5	527,8	349,3	326,8	318,7
Run 70	8	1,895	3,821	716,3	720,1	549,4	548,8	525,9	349,9	327,1	318,8
Run 71	8	2,105	-3,916	729,4	725,5	547,8	547,2	524,1	350,6	327,3	318,9
Run 72	8	2,316	-13,24	743,6	730,4	546,4	545,8	522,5	351,3	327,6	319
Run 73	8	2,526	-24,15	759	734,8	545,1	544,5	521,1	352,1	327,9	319,1
Run 74	8	2,737	-36,63	775,4	738,8	543,9	543,3	519,8	352,9	328,2	319,3
Run 75	8	2,947	-50,67	793	742,3	542,9	542,3	518,6	353,8	328,5	319,4
Run 76	8	3,158	-66,25	811,6	745,4	542	541,4	517,6	354,8	328,9	319,5
Run 77	8	3,368	-83,38	831,4	748	541,2	540,6	516,7	355,8	329,3	319,7
Run 78	8	3,579	-102	852,3	750,2	540,5	539,9	516	356,8	329,7	319,9
Run 79	8	3,789	-122,2	874,3	752	540	539,4	515,4	358	330,1	320
Run 80	8	4	-143,9	897,3	753,4	539,6	539	515	359,1	330,5	320,2

10.7.2 Parte inferior (refrigeración con aire)

10.7.2.1 TEG1-12611-6.0

Los resultados con la configuración óptima son:

Unit Settings: SI K Pa J mass rad

a = 0,19	$\alpha_2 = 0,03111$	$A_{aire2} = 0,0001786$	$A_{aislante} = 0,03173$	$A_{aleta} = 0,01044$	$A_c = 0,00015$
$A_f = 0,01044$	$A_{lama} = 0,02$	$A_t = 0,3386$	$A_{tapaz} = 0,038$	$A_{TEG2} = 0,003136$	b = 0,2
$\beta = 0,001762$	c = 0,2	Cenizas = 0,004	CO2 = 1,867	compmasaC = 0,509	compmasacenizas = 0,004
compmasaH = 0,061	compmasahumedad = 0,072	compmasaN = 0,0009	compmasaO = 0,4249	compmasaS = 0,0001	compN2aire = 0,79
compO2aire = 0,21	$c_{Pan} = 1012$	$c_{Pcenizas} = 850$	$c_{PCO2} = 1062$	$c_{Pgases2} = 1043$	$c_{Pgasessecos} = 1058$
$c_{PH2Ovapor} = 1994$	$c_{PH2} = 1072$	$c_{PH2an} = 1038$	$c_{PO2} = 998,1$	$c_{PO2an} = 915$	$c_{PSO2} = 755,3$
$cte_{Bolz} = 5,670E-08$	$D_{H2} = 0,1949$	$D_{Haire2} = 0,009503$	$\eta_{aleta} = 0,9553$	$\eta_{PCI} = 0,9682$	excesoaire = 0,5
$e_{acero2} = 0,005$	$e_{acero2.2} = 0,006$	$e_{aislante} = 0,012$	$F_{I2} = 0,06685$	gasessecos = 12,01	gases totales = 12,64
$H2O_{vapor} = 0,6215$	$H2O_{vaporH2} = 0,5495$	$H2O_{vaporhumedad} = 0,072$	HeatflowTEG2 = 365	hueco = 0,00558	$h_{convaire2} = 13,95$
$h_{convairelibre2} = 10,83$	$I_2 = 3,4$	$I_{real} = 1,55$	$k_{2TEG} = 1,18$	$k_{acero2} = 19,47$	$k_{acero2.2} = 239,9$
$k_{aislante} = 0,096$	$k_{alum} = 239,9$	$k_{an} = 0,02625$	$k_{gases2} = 0,04383$	$k_{N2an} = 0,02603$	$k_{O2an} = 0,02709$
$L = 0,032$	$L_2 = 0,2$	$L_c = 0,03479$	m = 10,82	$Mm_c = 12$	$Mm_{CO2} = 44,01$
$Mm_{H2} = 2$	$Mm_{H2O} = 18,02$	$Mm_{O2} = 32$	$Mm_S = 32$	$Mm_{SO2} = 64,06$	$m_{aire} = 0,01493$
$m_{an} = 0,01493$	$m_{combustible} = 0,001471$	$m_{gases} = 0,01859$	$N2_{aire} = 8,016$	$N2_{an} = 0,01179$	$Nusselt_{aire2} = 5,05$
$Nusselt_{gases2} = 49,44$	$v_{an} = 0,0000159$	$v_{gases2} = 0,00004687$	$v_{N2an} = 0,00001582$	$v_{O2an} = 0,0000162$	$\eta_{aletas} = 30$
$\eta_{huecos} = 31$	$\eta_{TEG} = 2$	$O2_{aire} = 2,131$	$O2_{aireesteq} = 1,421$	$O2_{an} = 0,003135$	PCI = 1,755E+07
$perdidas_{cenizas} = 0,000007749$	$perdidas_{gasessecos} = 0,02896$	$perdidas_{H2Ovapor} = 0,002825$	$Perimetro_2 = 0,302$	$Peritapa_2 = 0,78$	Pot2 = 7,587
$Prandtl_{gases2} = 0,6939$	$P_{agua} = 101300$	$P_{gases} = 101300$	$P_{max} = 0$	$Q_2 = 7,587$	$Q_{aislante2} = 41,69$
$Q_{c2} = 373,2$	$Q_{c2datos} = 357,9$	$Q_{caldera} = 25000$	$Q_{h2} = 380,8$	$Q_{h2datos} = 372,1$	$Q_{lama} = 417,9$
$Ra_{gases2} = 4,953E+07$	$Re_{aire2} = 1390$	$Pan = 1,16$	$R_{gases2} = 0,6219$	$PN2an = 1,126$	$PO2an = 1,287$
$R_{aislante2} = 3,94$	$R_{an} = 0,2208$	$R_{condacero2} = 0,006759$	$R_{condacero2.2} = 0,0006582$	$R_{convairelibre2} = 2,429$	$Re_{inTEG2} = 1,235$
$R_{ic} = 0,03189$	$R'_{ic} = 0,0001$	SO2 = 0,0002002	sumaperdidas = 0,03179	t = 0,001	$T_c = 303$
$T_{ci2} = 394,6$	$T_{cs2} = 394,9$	$T_{csf2} = 406,8$	$T_{cTEG2} = 303$	$T_h = 573$	$T_{hi2} = 562$
$T_{hs2} = 559,1$	$T_{hsf2} = 547$	$T_{inTEG2} = 573$	$T_{lama} = 1300$	$T_{ref} = 288$	$T_{salida} = 328$
$V_2 = 8,4$	$v_{aire2} = 2,325$	w = 0,15			

Resultados de la tabla paramétrica que nos ha permitido conocer la intensidad óptima a la que se obtiene la máxima potencia para diferente número de TEGs:

Tabla 8. Tabla paramétrica TEG1-12611-6.0

	I_{real}	n_{TEG}	Pot ₂	T_{hi2}	T_{hs2}	T_{hsf2}	T_{csf2}	T_{cs2}	T_{ci2}
Run 1	0	1	0	660	657,6	648,1	394,3	384,7	384,5
Run 2	0,2368	1	1,783	657,5	655,2	645,6	394,2	384,7	384,4
Run 3	0,4737	1	3,392	655,1	652,8	643,1	394,2	384,6	384,4
Run 4	0,7105	1	4,828	652,8	650,5	640,7	394,1	384,6	384,3
Run 5	0,9474	1	6,092	650,6	648,2	638,5	394,2	384,6	384,3

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 6	1,184	1	7,184	648,5	646,1	636,2	394,2	384,6	384,4
Run 7	1,421	1	8,107	646,4	644	634,1	394,3	384,7	384,4
Run 8	1,658	1	8,861	644,4	642	632	394,4	384,7	384,5
Run 9	1,895	1	9,447	642,4	640	630	394,5	384,9	384,6
Run 10	2,132	1	9,865	640,6	638,1	628,1	394,7	385	384,8
Run 11	2,368	1	10,12	638,8	636,3	626,3	394,9	385,2	384,9
Run 12	2,605	1	10,2	637	634,6	624,5	395,1	385,4	385,1
Run 13	2,842	1	10,12	635,4	632,9	622,8	395,4	385,6	385,3
Run 14	3,079	1	9,882	633,8	631,3	621,1	395,7	385,8	385,6
Run 15	3,316	1	9,476	632,3	629,8	619,6	396	386,1	385,9
Run 16	3,553	1	8,908	630,8	628,3	618,1	396,4	386,4	386,2
Run 17	3,789	1	8,178	629,4	626,9	616,6	396,8	386,7	386,5
Run 18	4,026	1	7,287	628,1	625,6	615,3	397,2	387,1	386,9
Run 19	4,263	1	6,235	626,8	624,3	614	397,7	387,5	387,2
Run 20	4,5	1	5,024	625,6	623,1	612,7	398,2	387,9	387,7
Run 21	0	2	0	577,6	574,8	563	406,5	394,8	394,5
Run 22	0,2368	2	2,128	574,8	572	560,2	406,4	394,6	394,3
Run 23	0,4737	2	3,903	572,2	569,4	557,5	406,3	394,5	394,3
Run 24	0,7105	2	5,328	569,8	567	555	406,3	394,5	394,2
Run 25	0,9474	2	6,404	567,4	564,6	552,6	406,3	394,5	394,3
Run 26	1,184	2	7,134	565,2	562,4	550,3	406,5	394,6	394,4
Run 27	1,421	2	7,52	563,1	560,2	548,1	406,7	394,8	394,5
Run 28	1,658	2	7,565	561,1	558,2	546,1	406,9	395	394,7
Run 29	1,895	2	7,271	559,2	556,4	544,2	407,3	395,3	395
Run 30	2,132	2	6,639	557,5	554,6	542,4	407,7	395,6	395,3
Run 31	2,368	2	5,672	555,9	553	540,7	408,1	396	395,7
Run 32	2,605	2	4,372	554,3	551,4	539,1	408,7	396,5	396,2
Run 33	2,842	2	2,739	552,9	550	537,6	409,3	397	396,7
Run 34	3,079	2	0,7761	551,6	548,7	536,3	410	397,6	397,3
Run 35	3,316	2	-1,516	550,4	547,5	535	410,7	398,2	398
Run 36	3,553	2	-4,135	549,3	546,4	533,9	411,5	398,9	398,7
Run 37	3,789	2	-7,08	548,3	545,4	532,9	412,4	399,7	399,4
Run 38	4,026	2	-10,35	547,4	544,5	532	413,4	400,5	400,2
Run 39	4,263	2	-13,94	546,6	543,7	531,1	414,4	401,4	401,1
Run 40	4,5	2	-17,86	545,9	543	530,4	415,5	402,4	402,1
Run 41	0	3	0	540,8	537,8	525	411,8	399	398,7
Run 42	0,2368	3	2,237	538	535	522,2	411,6	398,8	398,5
Run 43	0,4737	3	3,942	535,4	532,4	519,5	411,5	398,7	398,4
Run 44	0,7105	3	5,12	532,9	529,9	517	411,5	398,7	398,5
Run 45	0,9474	3	5,774	530,7	527,6	514,6	411,7	398,9	398,6
Run 46	1,184	3	5,909	528,5	525,5	512,4	411,9	399,1	398,8
Run 47	1,421	3	5,527	526,6	523,5	510,4	412,3	399,4	399,1
Run 48	1,658	3	4,633	524,8	521,7	508,5	412,8	399,8	399,5
Run 49	1,895	3	3,228	523,1	520,1	506,8	413,4	400,3	400
Run 50	2,132	3	1,317	521,6	518,5	505,3	414,1	400,9	400,6
Run 51	2,368	3	-1,1	520,3	517,2	503,9	414,9	401,5	401,2
Run 52	2,605	3	-4,018	519,1	516	502,7	415,8	402,3	402
Run 53	2,842	3	-7,436	518	514,9	501,6	416,8	403,2	402,9
Run 54	3,079	3	-11,35	517,1	514	500,6	417,9	404,2	403,9
Run 55	3,316	3	-15,76	516,4	513,2	499,8	419,1	405,2	404,9
Run 56	3,553	3	-20,67	515,7	512,6	499,2	420,5	406,4	406,1
Run 57	3,789	3	-26,07	515,2	512,1	498,7	421,9	407,6	407,3
Run 58	4,026	3	-31,96	514,9	511,8	498,3	423,5	409	408,7
Run 59	4,263	3	-38,33	514,6	511,5	498	425,1	410,4	410,1
Run 60	4,5	3	-45,2	514,6	511,4	497,9	426,9	411,9	411,6

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 61	0	4	0	520	516,9	503,6	414,7	401,3	401
Run 62	0,2368	4	2,262	517,2	514,1	500,7	414,5	401,1	400,8
Run 63	0,4737	4	3,816	514,6	511,5	498	414,5	401,1	400,8
Run 64	0,7105	4	4,665	512,2	509,1	495,5	414,6	401,2	400,9
Run 65	0,9474	4	4,817	510	506,9	493,3	414,8	401,4	401,1
Run 66	1,184	4	4,275	508,1	504,9	491,2	415,2	401,7	401,4
Run 67	1,421	4	3,045	506,3	503,1	489,4	415,8	402,2	401,9
Run 68	1,658	4	1,129	504,7	501,5	487,8	416,5	402,8	402,5
Run 69	1,895	4	-1,467	503,3	500,1	486,3	417,3	403,5	403,2
Run 70	2,132	4	-4,741	502,1	498,9	485,1	418,3	404,4	404,1
Run 71	2,368	4	-8,689	501	497,8	484	419,5	405,4	405,1
Run 72	2,605	4	-13,31	500,2	497	483,1	420,7	406,5	406,2
Run 73	2,842	4	-18,6	499,5	496,3	482,4	422,2	407,7	407,4
Run 74	3,079	4	-24,55	499	495,8	481,9	423,8	409,1	408,8
Run 75	3,316	4	-31,18	498,7	495,5	481,6	425,5	410,6	410,3
Run 76	3,553	4	-38,46	498,6	495,4	481,4	427,4	412,2	411,9
Run 77	3,789	4	-46,41	498,6	495,4	481,4	429,4	414	413,6
Run 78	4,026	4	-55,02	498,8	495,6	481,6	431,6	415,9	415,5
Run 79	4,263	4	-64,29	499,1	495,9	482	433,9	417,9	417,5
Run 80	4,5	4	-74,23	499,7	496,4	482,5	436,4	420	419,7

10.7.2.2 TEG1-24111-6.0

Los resultados con la configuración óptima son:

Unit Settings: SI K Pa J mass rad

a = 0,19	$\alpha_2 = 0,06556$	$A_{aire2} = 0,0001786$	$A_{aislante} = 0,03173$	$A_{aleta} = 0,01044$	$A_c = 0,00015$
$A_f = 0,01044$	$A_{lama} = 0,02$	$A_4 = 0,3386$	$A_{tapa2} = 0,038$	$A_{TEG2} = 0,003136$	b = 0,2
$\beta = 0,001733$	c = 0,2	Cenizas = 0,004	CO2 = 1,867	compmasaC = 0,509	compmasacenizas = 0,004
compmasaH = 0,061	compmasahumedad = 0,072	compmasaH = 0,0009	compmasaO = 0,4249	compmasaS = 0,0001	compN2aire = 0,79
compO2aire = 0,21	$c_{Pan} = 1012$	CPcenizas = 850	CPCO2 = 1062	CPgases2 = 1046	CPgasessecos = 1058
$c_{PH2Ovapor} = 1994$	$c_{PH2} = 1072$	$c_{PH2an} = 1038$	CPPO2 = 998,1	CPZOan = 915	CPSO2 = 755,3
$cte_{Boilz} = 5,670E-08$	$Dh_2 = 0,1949$	$Dh_{aire2} = 0,009503$	$\eta_{aleta} = 0,9553$	$\eta_{PCI} = 0,9682$	excesoaire = 0,5
$\epsilon_{acero2} = 0,005$	$\epsilon_{acero2.2} = 0,006$	$\epsilon_{aislante} = 0,012$	$F_{12} = 0,06685$	gasessecos = 12,01	gases totales = 12,64
$H_2O_{vapor} = 0,6215$	$H_2O_{vaporH2} = 0,5495$	$H_2O_{vaporhumedad} = 0,072$	Heatflow _{TEG2} = 301	hueco = 0,00558	$h_{convaire2} = 13,95$
$h_{convairelibre2} = 10,8$	$l_2 = 2$	$l_{real} = 1$	$k_{2TEG} = 0,9021$	$k_{acero2.2} = 19,73$	$k_{acero2.2} = 239,7$
$k_{aislante} = 0,09443$	$K_{alum} = 239,7$	$k_{an} = 0,02625$	$k_{gases2} = 0,04442$	$k_{N2an} = 0,02603$	$k_{O2an} = 0,02709$
L = 0,032	$L_2 = 0,2$	$L_c = 0,03479$	m = 10,82	M _{mC} = 12	M _{mCO2} = 44,01
$M_{mH2} = 2$	$M_{mH2O} = 18,02$	$M_{mO2} = 32$	$M_{mS} = 32$	$M_{mSO2} = 64,06$	$m_{aire} = 0,01493$
$m_{an} = 0,01493$	$m_{combustible} = 0,001471$	$m_{gases} = 0,01859$	$N_2_{aire} = 8,016$	$N_2_{an} = 0,01179$	$Nusselt_{aire2} = 5,05$
$Nusselt_{gases2} = 48,63$	$v_{an} = 0,0000159$	$v_{gases2} = 0,00004819$	$v_{N2an} = 0,00001582$	$v_{O2an} = 0,0000162$	$n_{aleta} = 30$
$\eta_{huecos} = 31$	$\eta_{TEG} = 2$	$O_2_{aire} = 2,131$	$O_2_{airesteq} = 1,421$	$O_2_{an} = 0,003135$	PCI = 1,755E+07
$perdidas_{cenizas} = 0,000007749$	$perdidas_{gasessecos} = 0,02896$	$perdidas_{H_2Ovapor} = 0,002825$	Perimetro ₂ = 0,302	Pertapa ₂ = 0,78	Pot ₂ = 12,65
$Prandtl_{gases2} = 0,6937$	$P_{agua} = 101300$	$P_{gases} = 101300$	$P_{max} = 0$	Q ₂ = 12,65	$Q_{aislante2} = 46,66$
$Q_{c2} = 353,1$	$Q_{c2datos} = 292,2$	$Q_{caldera} = 25000$	$Q_{h2} = 365,7$	$Q_{h2datos} = 309,9$	$Q_{lama} = 415,7$
$R_{gases2} = 4,683E+07$	$R_{\epsilon_{aire2}} = 1390$	$p_{an} = 1,16$	$p_{gases2} = 0,6116$	$p_{N2an} = 1,126$	$p_{O2an} = 1,287$
$R_{aislante2} = 4,005$	$R_{an} = 0,2208$	$R_{condacero2} = 0,00667$	$R_{condacero2.2} = 0,0006587$	$R_{convairelibre2} = 2,436$	$R_{intTEG2} = 4,425$
$R_{tc} = 0,03189$	$R'_{tc} = 0,0001$	SO2 = 0,0002002	sumaperdidas = 0,03179	t = 0,001	$T_c = 303$
$T_{cO2} = 391,3$	$T_{ca2} = 391,5$	$T_{caH2} = 402,8$	$T_{cTEG2} = 303$	$T_H = 573$	$T_{h2} = 581,2$
$T_{hs2} = 578,4$	$T_{hsH2} = 566,8$	$T_{hTEG2} = 573$	$T_{lama} = 1300$	$T_{ref} = 288$	$T_{solida} = 328$
$V_2 = 17,7$	$v_{aire2} = 2,325$	w = 0,15			

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Resultados de la tabla paramétrica que nos ha permitido conocer la intensidad óptima a la que se obtiene la máxima potencia para diferente número de TEGs:

Tabla 9. Tabla paramétrica TEG1-24111-6.0

	I_{real}	n_{TEG}	Pot_2	T_{hi2}	T_{hs2}	T_{hsf2}	T_{csf2}	T_{cs2}	T_{ci2}
Run 1	0	1	0	697,6	695,4	686,8	388,4	379,8	379,6
Run 2	0,1132	1	2,134	694,6	692,4	683,7	388,4	379,8	379,5
Run 3	0,2263	1	4,111	691,6	689,4	680,7	388,3	379,7	379,5
Run 4	0,3395	1	5,932	688,7	686,6	677,8	388,3	379,7	379,5
Run 5	0,4526	1	7,596	686	683,8	674,9	388,3	379,7	379,5
Run 6	0,5658	1	9,107	683,2	681	672,1	388,4	379,7	379,5
Run 7	0,6789	1	10,46	680,6	678,4	669,4	388,4	379,8	379,5
Run 8	0,7921	1	11,67	678	675,8	666,7	388,5	379,8	379,6
Run 9	0,9053	1	12,72	675,5	673,3	664,1	388,6	379,9	379,7
Run 10	1,018	1	13,63	673,1	670,8	661,6	388,8	380	379,8
Run 11	1,132	1	14,38	670,7	668,5	659,2	389	380,2	379,9
Run 12	1,245	1	14,99	668,4	666,2	656,9	389,2	380,3	380,1
Run 13	1,358	1	15,45	666,2	663,9	654,6	389,4	380,5	380,3
Run 14	1,471	1	15,76	664,1	661,8	652,4	389,6	380,7	380,5
Run 15	1,584	1	15,93	662	659,7	650,2	389,9	381	380,7
Run 16	1,697	1	15,95	660	657,6	648,1	390,2	381,2	381
Run 17	1,811	1	15,83	658	655,7	646,1	390,5	381,5	381,3
Run 18	1,924	1	15,56	656,1	653,8	644,2	390,9	381,8	381,6
Run 19	2,037	1	15,15	654,3	651,9	642,3	391,3	382,1	381,9
Run 20	2,15	1	14,61	652,5	650,2	640,4	391,7	382,5	382,2
Run 21	0	2	0	607,8	605,1	594,1	402,2	391,2	390,9
Run 22	0,1132	2	2,682	604,2	601,6	590,5	402,1	391	390,8
Run 23	0,2263	2	5,039	600,9	598,2	587	401,9	390,9	390,6
Run 24	0,3395	2	7,072	597,6	595	583,7	401,9	390,8	390,6
Run 25	0,4526	2	8,785	594,5	591,8	580,5	401,9	390,8	390,6
Run 26	0,5658	2	10,18	591,5	588,8	577,4	402	390,9	390,6
Run 27	0,6789	2	11,26	588,7	585,9	574,5	402,1	391	390,7
Run 28	0,7921	2	12,03	585,9	583,2	571,6	402,3	391,1	390,9
Run 29	0,9053	2	12,5	583,3	580,6	568,9	402,5	391,3	391,1
Run 30	1,018	2	12,65	580,8	578	566,4	402,9	391,6	391,3
Run 31	1,132	2	12,5	578,4	575,6	563,9	403,2	391,9	391,6
Run 32	1,245	2	12,05	576,1	573,3	561,6	403,7	392,3	392
Run 33	1,358	2	11,3	574	571,2	559,3	404,2	392,7	392,4
Run 34	1,471	2	10,26	571,9	569,1	557,2	404,7	393,2	392,9
Run 35	1,584	2	8,914	569,9	567,1	555,2	405,3	393,7	393,4
Run 36	1,697	2	7,278	568,1	565,3	553,3	406	394,3	394
Run 37	1,811	2	5,349	566,4	563,5	551,5	406,8	394,9	394,6
Run 38	1,924	2	3,129	564,7	561,9	549,8	407,5	395,6	395,3
Run 39	2,037	2	0,6211	563,2	560,3	548,2	408,4	396,3	396
Run 40	2,15	2	-2,174	561,8	558,9	546,7	409,3	397,1	396,8
Run 41	0	3	0	565	562,2	550	408,4	396,2	395,9
Run 42	0,1132	3	2,902	561,4	558,5	546,2	408,2	396	395,7
Run 43	0,2263	3	5,31	557,9	555	542,7	408,1	395,9	395,6
Run 44	0,3395	3	7,231	554,6	551,7	539,3	408	395,8	395,5
Run 45	0,4526	3	8,669	551,5	548,6	536	408,1	395,9	395,6
Run 46	0,5658	3	9,63	548,5	545,6	533	408,3	396	395,7

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 47	0,6789	3	10,12	545,7	542,8	530,1	408,5	396,2	395,9
Run 48	0,7921	3	10,13	543,1	540,1	527,4	408,9	396,5	396,2
Run 49	0,9053	3	9,687	540,6	537,6	524,8	409,3	396,9	396,6
Run 50	1,018	3	8,778	538,3	535,3	522,5	409,9	397,3	397,1
Run 51	1,132	3	7,41	536,1	533,1	520,2	410,5	397,9	397,6
Run 52	1,245	3	5,588	534,1	531,1	518,1	411,3	398,5	398,2
Run 53	1,358	3	3,314	532,2	529,2	516,2	412,1	399,2	398,9
Run 54	1,471	3	0,5907	530,4	527,4	514,4	413	400	399,7
Run 55	1,584	3	-2,579	528,8	525,8	512,7	414,1	400,9	400,6
Run 56	1,697	3	-6,194	527,4	524,3	511,2	415,2	401,9	401,6
Run 57	1,811	3	-10,25	526	523	509,8	416,4	402,9	402,6
Run 58	1,924	3	-14,75	524,8	521,8	508,6	417,7	404,1	403,8
Run 59	2,037	3	-19,68	523,8	520,7	507,5	419,1	405,3	405
Run 60	2,15	3	-25,06	522,8	519,8	506,5	420,6	406,6	406,3
Run 61	0	4	0	540,1	537,2	524,2	412	399,1	398,8
Run 62	0,1132	4	2,999	536,4	533,4	520,4	411,7	398,8	398,5
Run 63	0,2263	4	5,339	532,9	529,9	516,8	411,6	398,7	398,4
Run 64	0,3395	4	7,027	529,6	526,6	513,5	411,6	398,7	398,4
Run 65	0,4526	4	8,071	526,6	523,5	510,3	411,8	398,8	398,5
Run 66	0,5658	4	8,476	523,7	520,6	507,4	412	399	398,8
Run 67	0,6789	4	8,249	521	518	504,6	412,5	399,4	399,1
Run 68	0,7921	4	7,395	518,6	515,5	502,1	413	399,8	399,6
Run 69	0,9053	4	5,92	516,3	513,2	499,7	413,7	400,4	400,1
Run 70	1,018	4	3,827	514,2	511,1	497,6	414,5	401,1	400,8
Run 71	1,132	4	1,121	512,3	509,2	495,6	415,5	401,9	401,6
Run 72	1,245	4	-2,194	510,6	507,4	493,8	416,5	402,9	402,6
Run 73	1,358	4	-6,115	509	505,9	492,2	417,7	403,9	403,6
Run 74	1,471	4	-10,64	507,6	504,5	490,8	419,1	405,1	404,8
Run 75	1,584	4	-15,76	506,4	503,2	489,5	420,5	406,3	406
Run 76	1,697	4	-21,49	505,4	502,2	488,4	422,1	407,7	407,4
Run 77	1,811	4	-27,8	504,5	501,3	487,5	423,9	409,2	408,9
Run 78	1,924	4	-34,72	503,7	500,6	486,8	425,7	410,8	410,5
Run 79	2,037	4	-42,23	503,2	500	486,2	427,7	412,5	412,2
Run 80	2,15	4	-50,32	502,8	499,6	485,7	429,8	414,4	414,1

Integración de generadores termoelectricos (TEG) en una caldera domestica de biomasa

10.7.2.3 TEG1-PB-12611-6.0

Los resultados con la configuración óptima son:

Unit Settings: SI K Pa J mass rad

a = 0,19	α ₂ = 0,02875	A _{aire2} = 0,0001786	A _{aislante} = 0,03173	A _{ajeta} = 0,01044	A _c = 0,00015
A _f = 0,01044	A _{lama} = 0,02	A _t = 0,3386	A _{tapa2} = 0,038	A _{TEG2} = 0,003136	b = 0,2
β = 0,001709	c = 0,2	Cenizas = 0,004	CO ₂ = 1,867	compmasaC = 0,509	compmasacenizas = 0,004
compmasaH = 0,061	compmasahumedad = 0,072	compmasaN = 0,0009	compmasaO = 0,4249	compmasaS = 0,0001	compN ₂ aire = 0,79
compO ₂ aire = 0,21	c _{Pan} = 1012	c _{Pcenizas} = 850	c _{PCO₂} = 1062	c _{Pgases2} = 1047	c _{Pgasessecos} = 1058
c _{PH₂Ovapor} = 1994	c _{PN₂} = 1072	c _{PN₂an} = 1038	c _{PO₂} = 998,1	c _{PO₂an} = 915	c _{PSO₂} = 755,3
cte _{Bolz} = 5,670E-08	D _{h₂} = 0,1949	D _{h_{aire2}} = 0,009503	η _{ajeta} = 0,9552	η _{PCI} = 0,9682	excesoaire = 0,5
e _{acero2} = 0,005	e _{acero2.2} = 0,006	e _{aislante} = 0,012	F ₁₂ = 0,06685	gasessecos = 12,01	gases totales = 12,64
H ₂ O _{vapor} = 0,6215	H ₂ O _{vapor} h ₂ = 0,5495	H ₂ O _{vapor} humedad = 0,072	Heatflow _{TEG2} = 310	hueco = 0,00558	h _{convaire2} = 13,95
h _{convairelibre2} = 10,77	l ₂ = 4,7	l _{real} = 2,25	k _{2TEG} = 0,7732	k _{acero2.2} = 239,6	k _{acero2.2} = 239,6
K _{aislante} = 0,09307	K _{alum} = 239,6	K _{an} = 0,02625	k _{gases2} = 0,04491	K _{N₂an} = 0,02603	K _{O₂an} = 0,02709
L = 0,032	L ₂ = 0,2	L _c = 0,03479	m = 10,83	M _{m_C} = 12	M _{m_{CO₂}} = 44,01
M _{m_{H₂}} = 2	M _{m_{H₂O}} = 18,02	M _{m_{O₂}} = 32	M _{m_S} = 32	M _{m_{SO₂}} = 64,06	m _{aire} = 0,01493
m _{an} = 0,01493	m _{combustible} = 0,001471	m _{gases} = 0,01859	N ₂ aire = 8,016	N ₂ an = 0,01179	Nussell _{aire2} = 5,05
Nussell _{gases2} = 47,98	v _{an} = 0,0000159	v _{gases2} = 0,00004931	v _{N₂an} = 0,00001562	v _{O₂an} = 0,0000162	n _{aletas} = 30
η _{hucos} = 31	η _{TEG} = 2	O ₂ aire = 2,131	O ₂ airesleq = 1,421	O ₂ an = 0,003135	PCI = 1,755E+07
perdidas _{cenizas} = 0,000007749	perdidas _{gasessecos} = 0,02896	perdidas _{H₂Ovapor} = 0,002825	Perimetro ₂ = 0,302	Pertapa ₂ = 0,78	Pot ₂ = 13,76
Prandtl _{gases2} = 0,6936	P _{agua} = 101300	P _{gases} = 101300	P _{max} = 0	Q ₂ = 13,76	Q _{aislante2} = 50,46
Q _{c2} = 339,7	Q _{c2} datos = 299,2	Q _{caldera} = 25000	Q _{h₂} = 353,4	Q _{h₂datos} = 320,8	Q _{lama} = 413,8
R _{gases2} = 4,474E+07	R _{aire2} = 1390	P _{an} = 1,16	ρ _{gases2} = 0,6032	ρ _{N₂an} = 1,126	ρ _{O₂an} = 1,287
R _{aislante2} = 4,064	R _{an} = 0,2209	R _{condacero2} = 0,006598	R _{condacero2.2} = 0,000659	R _{convairelibre2} = 2,442	R _{intTEG2} = 0,9787
R _{tc} = 0,03189	R' _{tc} = 0,0001	SO ₂ = 0,0002002	sumaperdidas = 0,03179	t = 0,001	T _c = 303
T _{ci2} = 389,2	T _{cs2} = 389,4	T _{csf2} = 400,2	T _{cTEG2} = 303	T _h = 573	T _{hi2} = 597,1
T _{hs2} = 594,5	T _{hsf2} = 583,2	T _{hTEG2} = 623	T _{lama} = 1300	T _{ref} = 288	T _{salida} = 328
V ₂ = 9,2	v _{aire2} = 2,325	w = 0,15			

Resultados de la tabla paramétrica que nos ha permitido conocer la intensidad óptima a la que se obtiene la máxima potencia para diferente número de TEGs:

Tabla 10. Tabla paramétrica TEG1-Pb-12611-6.0

	I _{real}	η _{TEG}	Pot ₂	T _{hi2}	T _{hs2}	T _{hsf2}	T _{csf2}	T _{cs2}	T _{ci2}
Run 1	0	1	0	719,7	717,6	709,6	384,9	376,9	376,6
Run 2	0,2632	1	2,363	716,3	714,2	706,1	384,8	376,8	376,6
Run 3	0,5263	1	4,54	713	710,9	702,7	384,8	376,8	376,5
Run 4	0,7895	1	6,53	709,7	707,7	699,4	384,8	376,8	376,5
Run 5	1,053	1	8,337	706,6	704,5	696,2	384,9	376,8	376,6
Run 6	1,316	1	9,961	703,6	701,5	693	384,9	376,8	376,6
Run 7	1,579	1	11,4	700,6	698,5	690	385	376,9	376,7
Run 8	1,842	1	12,67	697,7	695,6	687,1	385,2	377	376,8
Run 9	2,105	1	13,75	695	692,8	684,2	385,3	377,1	376,9
Run 10	2,368	1	14,66	692,3	690,1	681,4	385,5	377,3	377,1
Run 11	2,632	1	15,39	689,7	687,5	678,7	385,7	377,5	377,3
Run 12	2,895	1	15,94	687,1	685	676,1	386	377,7	377,5
Run 13	3,158	1	16,33	684,7	682,5	673,6	386,3	377,9	377,7
Run 14	3,421	1	16,54	682,4	680,1	671,2	386,6	378,2	378
Run 15	3,684	1	16,57	680,1	677,9	668,9	387	378,5	378,3
Run 16	3,947	1	16,44	677,9	675,6	666,6	387,3	378,8	378,6
Run 17	4,211	1	16,14	675,8	673,5	664,4	387,7	379,1	378,9
Run 18	4,474	1	15,67	673,7	671,5	662,3	388,2	379,5	379,3
Run 19	4,737	1	15,03	671,8	669,5	660,3	388,6	379,9	379,7
Run 20	5	1	14,23	669,9	667,6	658,3	389,1	380,3	380,1
Run 21	0	2	0	626,9	624,4	613,8	399,4	388,9	388,6

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 22	0,2632	2	3,047	622,8	620,3	609,6	399,3	388,7	388,4
Run 23	0,5263	2	5,704	618,9	616,3	605,6	399,2	388,6	388,3
Run 24	0,7895	2	7,976	615,1	612,6	601,7	399,1	388,5	388,3
Run 25	1,053	2	9,867	611,5	608,9	598	399,2	388,6	388,3
Run 26	1,316	2	11,38	608,1	605,5	594,5	399,3	388,6	388,4
Run 27	1,579	2	12,52	604,8	602,2	591,1	399,5	388,8	388,5
Run 28	1,842	2	13,29	601,7	599	587,9	399,7	389	388,7
Run 29	2,105	2	13,69	598,7	596,1	584,8	400	389,2	389
Run 30	2,368	2	13,73	595,9	593,2	581,9	400,4	389,6	389,3
Run 31	2,632	2	13,41	593,2	590,5	579,1	400,9	390	389,7
Run 32	2,895	2	12,74	590,6	587,9	576,5	401,4	390,4	390,2
Run 33	3,158	2	11,7	588,2	585,5	574	402	390,9	390,7
Run 34	3,421	2	10,32	585,9	583,2	571,7	402,7	391,5	391,2
Run 35	3,684	2	8,589	583,8	581	569,4	403,5	392,1	391,9
Run 36	3,947	2	6,51	581,8	579	567,3	404,3	392,8	392,6
Run 37	4,211	2	4,086	579,9	577,1	565,4	405,2	393,6	393,3
Run 38	4,474	2	1,32	578,1	575,3	563,6	406,1	394,4	394,1
Run 39	4,737	2	-1,786	576,4	573,7	561,9	407,2	395,3	395
Run 40	5	2	-5,231	574,9	572,1	560,3	408,3	396,2	396
Run 41	0	3	0	580,9	578,1	566,3	406,2	394,4	394,1
Run 42	0,2632	3	3,335	576,6	573,8	561,9	406	394,1	393,9
Run 43	0,5263	3	6,08	572,5	569,7	557,7	405,8	394	393,7
Run 44	0,7895	3	8,241	568,7	565,8	553,7	405,8	394	393,7
Run 45	1,053	3	9,826	565	562,2	550	405,9	394	393,8
Run 46	1,316	3	10,84	561,6	558,7	546,5	406,1	394,2	393,9
Run 47	1,579	3	11,29	558,4	555,5	543,1	406,5	394,5	394,2
Run 48	1,842	3	11,19	555,3	552,5	540	406,9	394,9	394,6
Run 49	2,105	3	10,53	552,5	549,6	537,1	407,5	395,3	395,1
Run 50	2,368	3	9,317	549,9	547	534,4	408,2	395,9	395,6
Run 51	2,632	3	7,566	547,4	544,5	531,9	408,9	396,6	396,3
Run 52	2,895	3	5,276	545,1	542,2	529,5	409,8	397,3	397
Run 53	3,158	3	2,451	543	540,1	527,3	410,8	398,2	397,9
Run 54	3,421	3	-0,9057	541,1	538,1	525,4	412	399,2	398,9
Run 55	3,684	3	-4,79	539,4	536,4	523,5	413,2	400,2	399,9
Run 56	3,947	3	-9,2	537,8	534,8	521,9	414,5	401,4	401,1
Run 57	4,211	3	-14,13	536,3	533,3	520,4	416	402,6	402,3
Run 58	4,474	3	-19,59	535,1	532,1	519,1	417,6	404	403,7
Run 59	4,737	3	-25,56	534	530,9	517,9	419,2	405,4	405,1
Run 60	5	3	-32,04	533	530	516,9	421	407	406,7
Run 61	0	4	0	553,5	550,6	538	410,2	397,5	397,3
Run 62	0,2632	4	3,471	549,1	546,2	533,5	409,9	397,3	397
Run 63	0,5263	4	6,151	545	542,1	529,3	409,7	397,1	396,9
Run 64	0,7895	4	8,051	541,2	538,2	525,3	409,8	397,2	396,9
Run 65	1,053	4	9,181	537,6	534,6	521,7	410	397,3	397
Run 66	1,316	4	9,549	534,3	531,3	518,2	410,3	397,6	397,3
Run 67	1,579	4	9,164	531,2	528,2	515,1	410,9	398	397,8
Run 68	1,842	4	8,032	528,4	525,3	512,2	411,5	398,6	398,3
Run 69	2,105	4	6,161	525,8	522,7	509,5	412,4	399,3	399
Run 70	2,368	4	3,557	523,4	520,3	507	413,3	400,2	399,9
Run 71	2,632	4	0,2259	521,2	518,2	504,8	414,5	401,1	400,8

Integración de generadores termoeléctricos (TEG) en una caldera doméstica de biomasa

Run 72	2,895	4	-3,828	519,3	516,2	502,8	415,8	402,3	402
Run 73	3,158	4	-8,6	517,6	514,5	501	417,2	403,5	403,2
Run 74	3,421	4	-14,09	516,1	513	499,5	418,8	404,9	404,6
Run 75	3,684	4	-20,28	514,8	511,7	498,1	420,6	406,4	406,1
Run 76	3,947	4	-27,19	513,7	510,5	497	422,5	408,1	407,7
Run 77	4,211	4	-34,8	512,8	509,6	496	424,6	409,8	409,5
Run 78	4,474	4	-43,11	512	508,9	495,3	426,8	411,8	411,4
Run 79	4,737	4	-52,13	511,5	508,4	494,7	429,1	413,8	413,5
Run 80	5	4	-61,85	511,1	508	494,3	431,7	416	415,7