



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

Evaluación técnico económica de la generación termoeléctrica (efecto Seebeck) en sistemas aislados de la red eléctrica.

Techno-economic evaluation of thermoelectric generators (Seebeck effect) in off-grid electrical systems.

Autor/es

**Daniel Fernández Barlés**

Director/es

**Rodolfo Dufo López**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2020

# **Evaluación técnico económica de la generación termoeléctrica (efecto Seebeck) en sistemas aislados de la red eléctrica.**

## **RESUMEN**

En este TFM se ha realizado un estudio sobre el estado del arte de los generadores termoeléctricos (TEG), en el que se expone el estado del arte, sus propiedades, las aplicaciones más extendidas y algunos ejemplos comerciales de módulos termoeléctricos.

Se ha observado que a pesar de sus múltiples ventajas, su uso sigue siendo residual en la actualidad. Aunque, por otra parte en muchos sectores del mercado, las compañías están trabajando en el desarrollo de estos equipos para su futura implementación.

Se han realizado varios estudios de optimización de un sistema híbrido por medio del software *iHoga* para una casa aislada de la red eléctrica situada en Lanuza (Huesca), Red Devil (Alaska), Camboya; en el que uno de los componentes del sistema escogido por el programa es el TEG.

## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	PROPIEDADES.....	6
3.	MATERIALES.....	8
4.	APLICACIONES.....	9
	4.1 Generación de electricidad en ambientes extremos.....	9
	4.2 Misiones espaciales.....	9
	4.3 Aprovechamiento del calor residual en industrias.....	10
	4.4 Automoción.....	10
	4.5 Aviones y helicópteros.....	11
	4.6 Barcos.....	11
	4.7 Ambientes domésticos en países en desarrollo.....	11
	4.8 Ambientes domésticos en países desarrollados.....	12
	4.9 Microgeneración.....	12
5.	EJEMPLOS COMERCIALES.....	13
6.	ESTUDIOS DE CASOS DE HÍBRIDACIÓN EN AMBIENTES AISLADOS.....	14
	6.1 Componentes de la simulación.....	15
	6.2 Caso práctico.....	19
	6.2.1 Lanuza.....	19
	6.2.2 Alaska.....	20
	6.2.3 Camboya.....	21
	6.3 Resultados.....	22
	6.3.1 Lanuza.....	22
	6.3.2 Alaska.....	23
	6.3.3 Camboya.....	24
	6.4 Análisis de sensibilidad.....	24
7.	CONCLUSIÓN.....	25
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	27
9.	ANEXOS.....	30

## 1. INTRODUCCIÓN

El acceso a la red eléctrica es un gran problema para la gente que vive en las áreas rurales de países en desarrollo. Una solución sostenible a este problema es la capacidad de generar energía eléctrica de forma independiente, preferiblemente de actividades rutinarias, como por ejemplo del uso de estufas para cocinar. Una opción interesante es el uso de un generador termoeléctrico (TEG) colocados en la estufa, que es capaz de generar energía eléctrica a partir de la energía térmica liberada por la estufa. Además el TEG reduce el consumo de combustible y reduce la emisión de gases de la estufa, un factor muy importante en países en desarrollo, ya que los gases emitidos por estufas rudimentarias en países en desarrollo producen problemas de salud.[1]

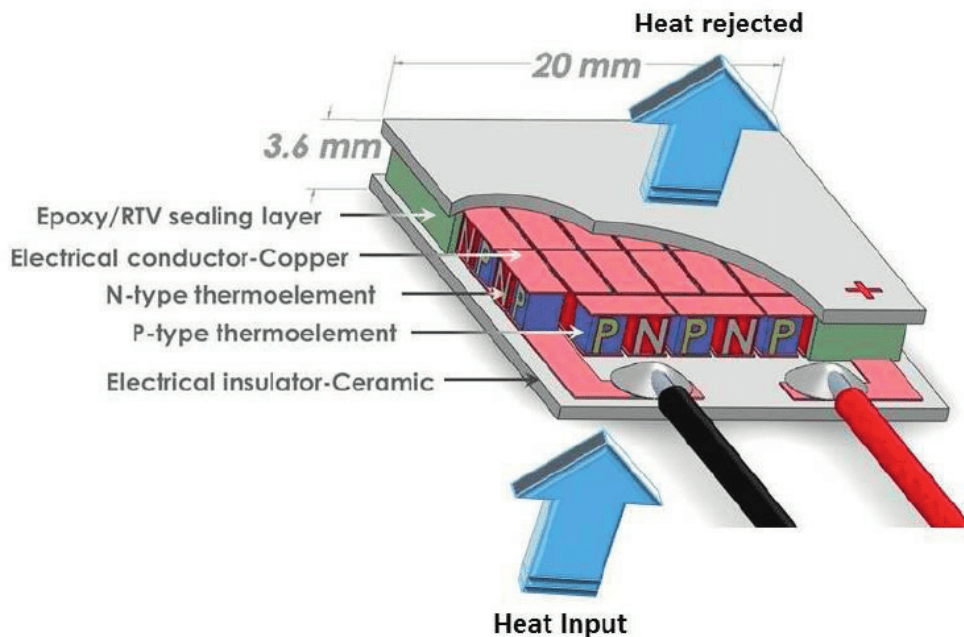


Figura 1 Ejemplo de módulo termoeléctrico[2]

El efecto termoeléctrico es un fenómeno físico que consiste en la generación de corriente eléctrica sometiendo la unión de dos materiales distintos a una diferencia de temperatura, o viceversa. Existen tres fenómenos termoeléctricos, que son el efecto Seebeck, el efecto Peltier y el efecto Thomson.

A principios del siglo XIX, el físico estonio de origen alemán Thomas Johann Seebeck descubrió que la aguja de una brújula se desviaba cuando se formaba un circuito cerrado de dos materiales distintos al calentar uno de ellos. En ese momento Seebeck no reconoció una

corriente eléctrica implicada, por lo que lo nombró como efecto termomagnético. Actualmente el efecto Seebeck establece que al calentar la unión de dos metales o aleaciones de diferente composición se genera una diferencia de potencial entre los extremos libres, proporcional a la diferencia de temperaturas alcanzada. Esto permite convertir directamente una diferencia de temperaturas en energía eléctrica.[3]

Años más tarde el físico Jean Peltier descubrió el efecto inverso al anteriormente mencionado. Al someter la unión de dos materiales de distinta naturaleza a una corriente eléctrica, se desprende o se absorbe calor en la unión.[3]

A mitad del siglo XIX el físico William Thomson observó experimentalmente la existencia del tercer efecto termoeléctrico, el efecto Thomson. Este consiste en el calentamiento o enfriamiento de un solo conductor cuando lo atraviesa una corriente eléctrica en presencia de un gradiente de temperatura. [3]

Cuando se produjo el descubrimiento del fenómeno termoeléctrico produjo poco interés, y por tanto un progreso lento en sus aplicaciones, sobre todo debido a que su descubrimiento coincidió con el del electromagnetismo.[3]

Los módulos termoeléctricos consisten en un varios termopares formados por semiconductores de tipo p y tipo n, los cuales se encuentran conectados en serie por bandas metálicas. Estos termopares se encuentran entre dos láminas cerámicas, aislantes eléctricamente pero conductoras térmicamente.

Los equipos que convierten directamente la energía térmica en energía eléctrica, por medio del efecto Seebeck, se denominan generadores termoeléctricos. Los TEG están conformados por uno o varios módulos termoeléctricos además de la posibilidad de incluir también intercambiadores de calor, para aumentar la transferencia de calor que atraviesa los módulos termoeléctricos, baterías para el almacenamiento de la energía eléctrica o convertidores de energía (con o sin seguimiento de máxima potencia), que pueden ser CC/CA, en el caso de que el TEG alimente directamente al consumidor final, ya que los módulos generan energía en corriente continua (CC), mientras que la mayoría de aparatos eléctricos domésticos consumen energía en corriente alterna (CA); o pueden ser CC/CC con el fin de ajustar el voltaje al valor de trabajo del sistema de almacenamiento instalado, o al valor correspondiente a las necesidades del usuario final.

Se han llevado a cabo diversos estudios de materiales y aplicaciones (industriales, espaciales, etc.), además de alguna aplicación doméstica específica en los últimos años. Los TEGs pueden abastecer la demanda en aplicaciones de baja potencia fuera de la red eléctrica, así como en hogares situados en localizaciones remotas. Los TEGs pueden ser utilizados para aprovechar el calor residual en automóviles, aviones y helicópteros, barcos e industrias; para proporcionar energía eléctrica en condiciones extremas (misiones espaciales); y como microgeneradores para alimentar sensores.

El uso de los TEGs en sistemas domésticos aislados de la red eléctrica (situados en calderas o estufas) sigue siendo residual en la actualidad. En este tipo de aplicaciones, los TEGs normalmente están compuestos por varios módulos termoelectricos comerciales conectados en serie o en paralelo. Estos módulos se sitúan en la estufa, de tal manera que la cara caliente está en contacto con el intercambiador de calor conectado al flujo de calor (gases calientes de escape) y la cara fría está normalmente en contacto con un circuito de agua o un depósito de agua. [4]

Los TEGs pueden ser competitivos en aplicaciones aisladas donde la energía térmica para calefacción es necesaria durante muchas horas al día, y donde las instalaciones fotovoltaicas no pueden proporcionar la energía suficiente durante largos períodos debido a la baja radiación o la acumulación de nieve. Los TEGs también pueden ser utilizados en sistemas aislados en países en desarrollo, donde las estufas de leña y los hornos son utilizados para cocinar y para calefacción, usando la energía eléctrica generada para alimentar el ventilador que mejora la combustión de la leña y evita la acumulación de humo, al mismo tiempo que proporciona electricidad para otras aplicaciones de bajo consumo. [4]

En este trabajo se pretende evaluar la viabilidad técnica y económica de generadores termoelectricos (efecto Seebeck) que utilicen el calor residual de estufas o calderas para obtener energía eléctrica en sistemas aislados de la red. Se estudiará el estado del arte, viendo las características y precios de los componentes comerciales. También, se evaluará la energía eléctrica generada en distintas configuraciones, incluyendo sistemas híbridos con fotovoltaica, diesel y baterías. Y por último, se obtendrán conclusiones acerca de la viabilidad de la termoelectricidad en sistemas aislados.

## 2. PROPIEDADES

A continuación se van a presentar las principales ventajas de los TEGs. Para empezar, los TEGs realizan una conversión de energía directa, a diferencia de los motores de combustión que primero convierten la energía térmica en mecánica y después esta energía mecánica en energía eléctrica por medio de un alternador. En segundo lugar, no existen partes móviles, ni fluidos de trabajo en el interior del TEG, por lo tanto, no requieren de mantenimiento ni costes adicionales. También, poseen una larga vida útil, especialmente cuando trabajan con fuentes de calor constantes. Además, no hay efecto de escala, es decir, los TEGs se pueden usar tanto para la micro generación en espacios limitados, como para producir kilovatios (kW). Por último, no producen ningún tipo de ruido y funcionan en cualquier posición, lo que los hace especialmente adecuados para sistemas integrados.

A pesar de estas ventajas, durante muchos años el uso de los TEGs se ha limitado a aplicaciones espaciales, donde su extrema fiabilidad justifica su uso para producir electricidad en la mayoría de las sondas enviadas al espacio (Voyager, Apollo, Pioneer, Curiosity, etc.). La baja eficiencia y su alto coste suponen una barrera para su desarrollo en aplicaciones más comunes. [5]

La relación entre la diferencia de potencial generada y la diferencia de temperatura es el coeficiente Seebeck  $\alpha$  (V/K).

$$\Delta V = \alpha \Delta T$$

La eficiencia (definida como la relación entre la energía eléctrica producida  $W_{elec}$  y la energía térmica que entra a la cara caliente  $Q_h$ ) de un módulo termoelectrico usado como generador se aproxima a la siguiente relación para una carga eléctrica óptima:

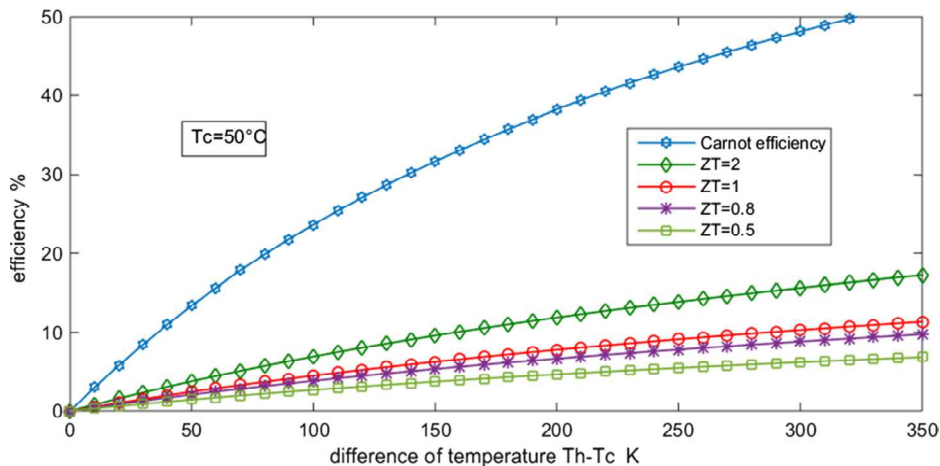
$$\eta_{TEMAX} = \frac{W_{elec}}{Q_H} = \frac{\Delta T}{T_H} \cdot \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_C}{T_H}}$$

Donde  $T_H$  (K) es la temperatura de la cara caliente de los módulos termoelectricos,  $T_C$  (K) es la temperatura de la cara fría de los módulos, y  $\Delta T = T_H - T_C$  es la diferencia de temperatura entre las caras.

$$Z = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2}{((\lambda_p \cdot \rho_p)^{1/2} + (\lambda_n \cdot \rho_n)^{1/2})^2}$$

$Z$  ( $K^{-1}$ ) es el factor de mérito de los materiales termoeléctricos y se expresa en función de las resistividades eléctricas  $\rho_p$  y  $\rho_n$  ( $\Omega m$ ), las conductividades térmicas  $\lambda_p$  y  $\lambda_n$  ( $W/K m$ ), y los coeficientes de Seebeck  $\alpha_p$  y  $\alpha_n$  ( $V/K$ ) de cada uno de los dos materiales del termopar. El factor de mérito se suele adimensionalizar multiplicando por la temperatura media  $T$  ( $T = (T_H - T_C) / 2$ ).  $ZT$  es el factor de mérito adimensional y es una forma práctica de comparar las propiedades de los materiales en términos de eficiencia y así poder jugar un rol importante en maximizar la potencia. Los materiales poseen un alto factor de mérito cuanto mayor sea el coeficiente de Seebeck y más baja sea su conductividad térmica.

En las últimas décadas, el Teluro de Bismuto ( $Bi_2Te_3$ ) ha sido el único material utilizado en los módulos termoeléctricos de uso industrial. Para estos módulos el valor medio de  $ZT$  se encuentra entre 0,5 y 0,8, para el rango usual de temperaturas, con una eficiencia típica del 5%. La figura 2 muestra la eficiencia en función de la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría, para distintos valores de  $ZT$  en módulos de aplicaciones industriales. [5]



**Figura 2 Eficiencia frente a diferencia de temperaturas para distintos valores de  $ZT$ [5]**

En los próximos años se espera conseguir un valor medio de  $ZT=1$  para estos módulos termoeléctricos de uso industrial. La previsión de los laboratorios expertos que están trabajando en la investigación de los materiales de los módulos termoeléctricos es desarrollar



materiales con un ZT de valor aproximado a 2, que consiga una eficiencia superior al 10%. [5]

A simple vista se observa que su baja eficiencia es un obstáculo en el desarrollo de los TEGs, por lo que investigadores y fabricantes han intentado optimizar los tres inconvenientes principales: mejorar el ZT, incrementar el rango de operación de los materiales para trabajar con mayores diferencias de temperatura, y finalmente encontrar materiales de bajo coste para contrarrestar el efecto negativo de la baja eficiencia.

### 3. MATERIALES

Durante muchos años, los únicos módulos disponibles para uso industrial (con la excepción del espacio) a precio razonable eran los módulos de Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. Existen una serie de compañías de diferentes continentes que trabajan con TEGs es: HiZ (EEUU), Marlow (EEUU). TECTEG (Canadá), Thermonamic (China), Lairdtech, KELK (Japón), QuickOhm (Alemania) y Kryotherm (Rusia). El valor de ZT es aproximadamente 1 sobre 50 °C y decrece a mayores temperaturas. La temperatura máxima de operación se encuentre entre 200 °C y 300 °C dependiendo del fabricante. La escasez de Bismuto y Teluro en la corteza terrestre y los océanos es un problema para el desarrollo de estos módulos. Estos factores limitan el desarrollo de los TEGs compuestos por Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. El peso también es una limitación importante para aplicaciones empotradas (embedded applications). [5]

Desde hace más de diez años, los laboratorios de I+D han estado buscando, de manera fructífera, materiales económicos, respetuosos con el medio ambiente y que se puedan producir comercialmente a gran escala. Esta investigación ha sido fructífera. En los últimos años se han comenzado a comercializar módulos de nuevos materiales como, por ejemplo: aleaciones Heusler, esmaltitas, óxidos, siliciuros de magnesio y tetraedritas.

También se han realizado estudios utilizando como material termoeléctricos SnSe, con el que se obtenían valores de ZT de 2,6 en zonas de gran temperatura [6], y valores de ZT de 1,34 en zonas de baja temperatura. [7]

Los materiales termoeléctricos se pueden clasificar en tres grandes grupos: inorgánicos, orgánicos e híbridos. El primer grupo se refiere a materiales formados por compuestos inorgánicos, como por ejemplo el telururo de bismuto (BiTe), seleniuro de estaño

(SnSe), telururo de plomo (PbTe) y aleaciones silicio germanio (SiGe). El segundo grupo se refiere a los materiales cuyo componente principal es un polímero conductor, como por ejemplo (3,4- etilendioxitiofeno)-poli(estireno sulfonato) (PEDOT:PSS), polianilina (PANI) y polipirrol (PPY). Finalmente los materiales híbridos son los que están compuestos por un material inorgánico como aditivo en una matriz orgánica. Por ejemplo un material híbrido es el BiTe-PEDOT:PSS.[8] Se han conseguido materiales termoeléctricos híbridos en experimentos realizados en laboratorios con un valor de ZT de 2, aunque el objetivo es conseguir valores de ZT de 3 o superiores. [9]

## 4. APLICACIONES

Los TEGs se pueden clasificar según diversos criterios. La siguiente clasificación en nueve grandes grupos según la naturaleza de la fuente de calor y las condiciones de uso de los módulos.

### 4.1 Generación de electricidad en ambientes extremos

La producción de electricidad en ambientes extremos requiere de unas especificaciones muy estrictas. Suelen ser aplicaciones críticas que requieren una fuente de energía muy fiable durante largos periodos de tiempo. Las condiciones climatológicas pueden ser extremas: mucho calor, mucho frío, muy húmedas o muy secas. El mantenimiento debe ser el mínimo posible (en muchos casos, el acceso a estos lugares solo es posible en helicóptero o requiere varias horas de camino) o inexistente.[5]

### 4.2 Misiones espaciales

La industria espacial ha usado TEGs desde el principio de la carrera espacial, junto con generadores térmicos basados en tecnología nuclear: generadores termoeléctricos radioisotópicos (RTPGs). Los RTPGs no se basan en fisión ni fusión nuclear, si no en la desintegración radiactiva natural del plutonio 238 (mayoritariamente en la forma  $^{238}\text{PuO}_2$ , dióxido de plutonio) [10]. El primer uso de un TEG, formado por plomo y telurio (Pb-Te) data del año 1961, del satélite Transit, perteneciente a la marina de los Estados Unidos. [11].

Los RTGs eran utilizados debido a su bajo peso y su gran fiabilidad. Pueden funcionar durante décadas después de su puesta en marcha y producir electricidad en misiones remotas donde la radiación solar es insuficiente para que funcionen los paneles solares.

En conclusión, los RTGs son por consiguiente compactos, continuos y una fuente de energía eléctrica altamente fiable para explorar el espacio.

### 4.3 Aprovechamiento del calor residual en industrias

En muchas fábricas existen procesos con una alta temperatura que expulsan energía térmica directamente al medio ambiente, esto es lo que se conoce como calor residual. Los TEGs son una buena alternativa para aprovechar este calor residual y convertirlo en energía eléctrica. Araiz et al con su modelo de TEG instalado en una fábrica de material aislante para construcción demuestran que se puede aprovechar el calor residual de procesos industriales con la instalación de TEGs a un precio competitivo.[12]

### 4.4 Automoción

Normalmente la energía consumida en la combustión de la gasolina en los motores se descompone de la siguiente forma: 25% en circulación, 30% en refrigeración, 5% en otras pérdidas, y 40% en gases de escape. Si se convirtiera esta energía perdida en electricidad, incluso con una eficiencia del 3%, podría llegar a 900W. Según el centro de investigación de Fiat, 800-1.000 Wel suponen una reducción de 12-14 g/km CO<sub>2</sub>. [5]

Los diferentes estudios realizados por los fabricantes han demostrado la viabilidad técnica de los TEGs para el sector automovilístico, pero el coste de los TEGs compuestos por Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> sigue siendo demasiado elevado. La ruta a seguir para el futuro es desarrollar TEGs conformados por materiales con menores costes de producción.

Ramírez et al consiguen una reducción de un 2,81% de CO y de 2,76% de CO<sub>2</sub> mediante el uso de un TEG en motores diesel y biodiesel y una potencia eléctrica de hasta 86 W. [13]

También se han realizado estudios en motores de automóviles híbridos en los que se obtiene una potencia de 25kW, que permite circular al vehículo a una velocidad constante de 120 km/h. [14]

## 4.5 Aviones y helicópteros

Una considerable cantidad de calor es emitida por los motores de los aviones de reacción y por los motores de los helicópteros.

El mayor inconveniente para el uso de los TEGs en la aviación es su peso. Estudios realizados con módulos compuestos por Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> muestran que la electricidad producida en condiciones de trabajo reales es significativa pero insuficiente si se tiene en cuenta el peso de la cara fría. La integración de TEGs (0,05 kW/kg- módulo) no cumple con el requerimiento de la densidad energética (0,5 kW/kg) para aviación. El itinerario para el futuro es probablemente considerar la inclusión de los TEGs a la hora de diseñar los motores de avión o añadir los TEG en un área en la que ya haya flujo frío y caliente. Los nuevos materiales termoeléctricos más ligeros también contribuirán, pero hay que seguir teniendo en cuenta su peso.[5]

## 4.6 Barcos

Las propiedades de los TEGs los convierten en equipos apropiados para aprovechar el calor liberado por los motores de los barcos, ya que la necesidad de un mínimo mantenimiento es importante en largos viajes por mar, el peso no es ningún problema y se dispone de una fuente fría (agua) gratis y en abundancia.[5]

Por contra, tradicionalmente, el calor liberado por los motores ya se usa para calentar el combustible y los camarotes, y para generar agua fresca. Debido a esto la temperatura del calor residual decrece hasta unos niveles por debajo de los óptimos para el uso de TEGs.[5]

## 4.7 Ambientes domésticos en países en desarrollo

En los países en desarrollo, se estima que 860 millones de personas (10% de la población mundial) tienen necesidad de una fuente de generación eléctrica, al no tener acceso a la red eléctrica [14]. La biomasa es la principal fuente de energía que tienen estas áreas rurales, la madera se quema con una baja eficiencia térmica, menor de un 10% en hogueras y solo un 35-40% en estufas con chimenea. Esto contribuye a la deforestación local, incrementa el trabajo para mujeres y niños y es una causa de inseguridad para aquellas personas que tienen que recolectar leña lejos de sus hogares, en países inestables políticamente. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el uso de leña para cocinar y calentarse causa alrededor de 400.000 muertes prematuras al año en la India, la mayoría en mujeres y niño, lo

cual hace primordial para la seguridad y salud la instalación de estufas de leña eficientes que requieren el uso de extractores de humo para mejorar la combustión. Además la energía eléctrica también es necesaria para los usos domésticos de los habitantes del hogar, no solo para la estufa..

Los TEGs son una solución que proporciona unos pocos vatios para iluminación o para cargar los teléfonos móviles y para alimentar los extractores eléctricos. La baja eficiencia de los módulos termoeléctricos no supone un problema cuando la contribución de los TEGs permite una mejora en la eficiencia de la combustión. Para tres horas de combustión, una familia gasta alrededor de 5-10kg de leña, lo que significa una cantidad de 17-34kWh aproximadamente. Mejorar esta combustión es una contribución mayor al ahorro de consumo de energía global que los 5-30kW que produce el TEG. En este caso concreto, las principales características necesarias en el TEG es proporcionar suficiente energía eléctrica para alimentar el extractor, además de algo de iluminación, y ser resistente, ya que el mantenimiento en áreas aisladas es complicado.[5]

Se han realizado numerosos ensayos para cuantificar el comportamiento de los TEGs situados en estufas.[16,17,18]. Li et al consiguen una eficiencia del TEG de 3,66 mediante refrigeración por agua.[19]. Rinalde et al realizan ensayos con módulos termoeléctricos comerciales con los que consiguen una potencia máxima de 12,3W [20].

#### 4.8 Ambientes domésticos en países desarrollados

Los TEGs no están limitados al sector doméstico en países en desarrollo. En países desarrollados, la cantidad de estufas de alto rendimiento está creciendo de manera rápida por razones económicas y medioambientales. Estas estufas sofisticadas necesitan sistemas inteligentes para controlar la combustión con el fin de conseguir las mínimas emisiones posibles requeridas. Para ello, son necesarios componentes eléctricos como: sensores, ventiladores, válvulas, actuadores o microcontroladores. [5]

#### 4.9 Microgeneración

Para ser competitivas, las industrias necesitan sensorizar sus productos y sus fábricas. Incorporando nuevos sensores en las fábricas, los fabricantes pueden mejorar la calidad del producto y reducir la inactividad. Los sensores actuales necesitan únicamente unos pocos

cientos de microvatios o unos pocos milivatios para su funcionamiento. Alimentar estos equipos requiere frecuentemente la instalación de un largo cableado, para proporcionar muy poca energía.

Los fabricantes buscan microgeneradores que produzcan unos pocos milivatios para alimentar estos instrumentos y hacerlos autónomos. En las fábricas, los flujos de calor son numerosos: tuberías con fluidos calientes, hornos, tuberías de vapor, motores, aires acondicionados, calefacción, etc. Los TEGs son un candidato ideal para este desafío debido a su bajo mantenimiento y un buen comportamiento en ambientes difíciles. Los TEGs de menor tamaño (unos pocos milímetros) son una solución para alimentar estos sensores permanentemente.

Addanki et al. han fabricado un TEG que se integra en aparatos portátiles que es capaz de generar pequeñas potencias para aplicaciones instantáneas. Concretamente genera  $85 \mu\text{W}$  y  $0,85\text{mV}$  para una diferencia de temperatura de  $85\text{K}$ . [21]

## 5. EJEMPLOS COMERCIALES

A finales del siglo XX los TEGs comerciales eran diseñados casi exclusivamente para su aplicación en la industria del petróleo ya que su actividad se centra en áreas remotas (plataformas en el mar, transporte), por la empresa Gentherm (anteriormente Global thermoelectric)

Sin embargo en los últimos años se ha producido una irrupción en el mercado de varios fabricantes de módulos termoeléctricos alrededor del mundo, como por ejemplo Hi-Z o Marlow de Estados Unidos, TECTEG de Canadá, Thermonamic de China, QuickOhm de Alemania o Kryotherm de Rusia. Esta aparición de competencia en el mercado ha supuesto una considerable reducción en el precio de mercado de los módulos, lo que convierte esta tecnología en una opción factible para su uso doméstico en zonas aisladas de la red eléctrica de países en desarrollo; aunque se sigue encontrando una gran variación en el precio de los módulos entre los distintos fabricantes, por lo que se puede considerar que es un mercado que se encuentra aún en proceso de desarrollo.

A continuación se muestra una tabla con varios ejemplos de módulos comerciales con sus características más relevantes.

Modelo	Compañía	Material	Potencia (W)	Dimensiones (mm)	Máx Temperatura (°C)
TEP1-1263-3.4	Thermonamic	Bi2Te3	5,4	30x30	300
PBTAGS-200.004A	TECTEG	PbTe	1,3	9x21	600
HP-199-1.4-0.8	TE Technology	Bi2Te3	57,96	40x40	80
HZ-20HV	Hi-Z	Bi2Te3	25,5	68x74,5	250
TG 12-8	Marlow	Al2O3	7,95	44,7x40,1	230

**Tabla 1 Modelos comerciales**

## 6. ESTUDIOS DE CASOS DE HÍBRIDACIÓN EN AMBIENTES AISLADOS

A continuación se van a evaluar distintos casos de sistemas aislados de la red eléctrica mediante el software *iHOGA*[22] en los que se optimiza el suministro de energía con sistemas de energía renovable, como: fotovoltaica, eólica, baterías y TEGs; además de grupos electrógenos alimentados con diésel como sistema auxiliar.

*iHoga* (Improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithms) es un programa desarrollado en el lenguaje C++ para la simulación y optimización de sistemas híbridos aislados con energías renovables donde puede haber consumo de energía eléctrica (CC y/o CA) y/o demanda de hidrógeno (que necesita de una fuente de energía eléctrica externa para su funcionamiento), así como demanda de agua de un depósito, bombeada previamente. El programa puede simular y optimizar sistemas de cualquier tamaño. También puede simular y optimizar sistemas conectados a la red eléctrica y definir diferentes casos de balance neto (*Net Metering*) y facturación neta (*Net Billing*).

La optimización se consigue minimizando los costes totales del sistema a lo largo de toda su vida útil, donde se contemplan los costes de la inversión inicial, que incluye el coste de los equipos y de su instalación, los costes de operación y mantenimiento y los costes de sustitución si algún equipo posee una vida útil inferior al periodo de simulación.

Asimismo, el programa permite que se tengan en cuenta varios objetivos para la optimización, donde otras variables pueden ser minimizadas, como las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes o la demanda eléctrica que el sistema no puede cubrir. Existen muchos casos que

estas variables son contraproducentes entre sí, por lo que el programa ofrece varias soluciones. También puede controlar la estrategia a seguir (determinar cuando entra el sistema de baterías o el grupo electrógeno; elegir hasta qué nivel se deben cargar las baterías, ...).

Hasta ahora se han llevado a cabo diversos estudios que incorporaban los TEGs a un sistema fotovoltaico[23]. Sin embargo, no se haya casi ningún estudio[4] en el que se abastezca el consumo de electricidad de un sistema aislado por un sistema híbrido compuesto por paneles fotovoltaicos y un TEG situado en una estufa, todo ello con almacenamiento en baterías, ni se han estudiado sistemas que combinen el TEG con aerogeneradores, grupos electrógenos o cualquier otro sistema híbrido.

En adelante, se va a presentar un estudio de optimización de un sistema híbrido compuesto por paneles fotovoltaicos, TEG, almacenamiento en baterías, aerogeneradores y grupo electrógeno; cuyo objetivo es la minimización del coste neto total; para varios modelos de casas situadas en diferentes localizaciones y que poseen un sistema eléctrico aislado de la red. Para la simulación se utiliza un modelo estándar simplificado del TEG [24], ya que no se pueden utilizar modelos más complejos en una estructura de optimización, donde se simulan cientos o miles de casos diferentes (cada combinación de componentes de TEG, paneles fotovoltaicos, baterías, aerogeneradores o grupos debe ser simulada al menos durante un año, en intervalos de un minuto). El número de posibles combinaciones de componentes a simular es normalmente muy elevado, por lo que el tiempo de simulación de todas las combinaciones sería inadmisibile. Para evitar este problema, ha sido aplicado un algoritmo genético (una técnica de optimización heurística), para mejorar la optimización en un tiempo de simulación razonable.

## **6.1 Componentes de la simulación**

El sistema híbrido puede comprender paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, TEG, grupos electrógenos y baterías, incluyendo el controlador de carga de las baterías, el MPPT de los TEGs y el inversor (en caso de haya consumo de corriente alterna), como se muestra en la figura 2. Normalmente, el sistema óptimo no incluye todos los componentes posibles (por ejemplo, si la radiación solar en la respectiva localización es baja, probablemente los paneles fotovoltaicos no serán parte de la combinación óptima de componentes).



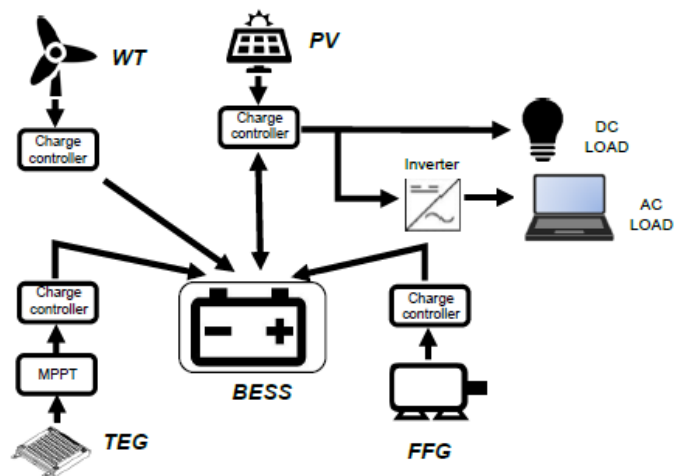


Figura 3 Componentes del sistema[4]

### Paneles Fotovoltaicos

Para simular el desempeño de los paneles fotovoltaicos, el programa necesita la irradiación solar de todo el año dividida en los intervalos de tiempo usados en la simulación. En la mayoría de los casos no se disponen de datos tan exhaustivos, por lo que deben ser generados usando la radiación solar media sobre una superficie horizontal para cada mes del año. Estos datos se obtienen de la base de datos de la NASA [25]. Se pueden modificar otros parámetros como: la colocación e inclinación de los paneles, las sombras que pueden generar diversos objetos situados en las proximidades, o si el sistema cuenta con equipo de seguimiento solar. El programa también permite definir el modelo de panel fotovoltaico a instalar con todas sus características (económicas y técnicas).

### Aerogeneradores

Para calcular la energía generada por los aerogeneradores, el programa necesita los datos de la velocidad del viento en los intervalos de tiempo utilizados en la simulación. Como en la mayoría de los casos no se dispone de estos datos, se descargan los datos de la media mensual de la velocidad del viento de la base de datos de la NASA[25]. Los datos que necesita el programa para la simulación se calculan con la media mensual, el factor de forma (distribución de Weibull) y el factor de correlación siguiendo el método presente en la Ref. [26]. El programa también permite indicar el modelo de aerogenerador a instalar, definiendo todas sus características (económicas y técnicas).

## **Baterías**

La predicción de la vida útil de las baterías en sistemas aislados es un factor muy importante a la hora de realizar la planificación, ya que las baterías suelen ser los componentes más caros del sistema. Debido a esto, el programa necesita un modelo que pueda predecir correctamente la vida útil de las baterías. Actualmente, la mayoría de los sistemas de almacenamiento con baterías en sistemas aislados utilizan baterías de plomo-ácido, puesto que las de Li-ion, a pesar de la disminución de su precio, no son competitivas respecto a estas [27]. Además, se han desarrollado modelos matemáticos que describen el funcionamiento de los sistemas de almacenamiento de las baterías de plomo-ácido.

*iHOGA* permite elegir entre cuatro modelos diferentes para simular el comportamiento de las baterías de plomo-ácido, que son el modelo Ah, el modelo KiBaM, el modelo de Copetti y el modelo de Schiffer. El programa también permite indicar el modelo de baterías a instalar, definiendo todas sus características (económicas y técnicas).

*iHOGA* permite elegir entre cuatro modelos diferentes para simular el comportamiento de las baterías de plomo-ácido, que son el modelo Ah, el modelo KiBaM, el modelo de Copetti y el modelo de Schiffer. El programa también permite indicar el modelo de baterías a instalar, definiendo todas sus características (económicas y técnicas).

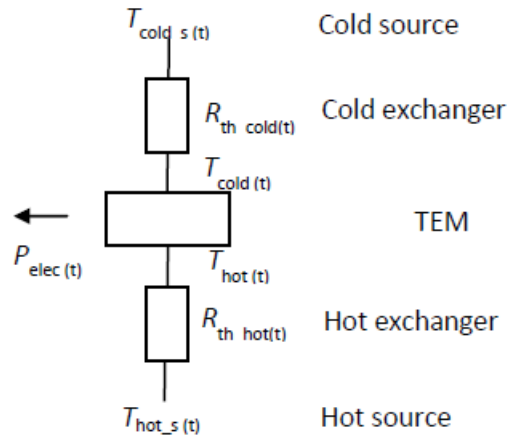
## **Grupo electrógeno**

El grupo electrógeno, alimentado por combustibles fósiles, entra en funcionamiento cuando la producción de energía por medio de los otros componentes del sistema no puede abastecer toda la demanda eléctrica. El programa permite elegir entre dos estrategias de funcionamiento del grupo [28]:

- Estrategia de seguimiento de la carga: se basa en que cuando la energía generada por las fuentes de energía renovable no sean capaces de abastecer la demanda, las baterías cubrirán esa necesidad. Si las baterías no son capaces de satisfacer la demanda, entrará en funcionamiento el grupo para cubrir el resto de la carga.
- Estrategia de ciclo de carga: La diferencia con la estrategia anterior, es que cuando entre el funcionamiento el grupo, trabajará a potencia nominal, por lo que la potencia sobrante generada se utilizará para cargar las baterías.

## TEG

El modelo usado para representar los módulos termoeléctricos es el modelo estándar simplificado, compuesto por varios termopares conectados en serie.



**Figura 4 Esquema de funcionamiento del TEG[4]**

Se supone que los módulos termoeléctricos están conectados mediante sus intercambiadores de calor a fuentes de calor perfectas, tanto en la cara caliente, como en la fría con sus respectivas temperaturas durante los intervalos de tiempo de simulación, asumiendo además las hipótesis de que no existen pérdidas y que el flujo de calor entre las dos caras pasa completamente a través de los módulos termoeléctricos.

Para cada intervalo de la simulación, el programa utiliza el modelo estándar simplificado para calcular las temperaturas de las caras fría y caliente del módulo termoeléctrico. Este modelo incluye los coeficientes de Seebeck y las conductividades térmicas y eléctricas dependientes de la temperatura. A partir de estas temperaturas utiliza las ecuaciones matriciales del modelo simplificado[24] para calcular el voltaje en circuito abierto y la potencia generada.

El programa también permite indicar el modelo de los módulos termoeléctricos a instalar, definiendo todas sus características (económicas y técnicas).

Se ha considerado el coste del TEG como 8€/W como el precio estándar del mercado actual.[4]

## 6.2 Caso práctico

Se han estudiado cuatro casos de optimización de sistemas híbridos de energía renovable para una casa con sistema eléctrico aislado de la red en varias localizaciones, que son, Lanuza (Huesca, España), Nepal, Camboya y Red Devil (Alaska, EEUU).

### 6.2.1 Lanuza

Se ha estudiado un caso de optimización de sistemas híbridos de energía renovable para una casa con sistema eléctrico aislado de la red, situada en Lanuza (Huesca). En la década de los 70, este pueblo fue expropiado por la construcción de un embalse que iba a anegar el casco urbano. Sin embargo, las previsiones no se cumplieron y el agua sólo inundó las casas más bajas del pueblo.

Se han considerado dos casos con distinto consumo eléctrico en la vivienda, el primero de 830Wh de media diaria, considerando una casa pequeña como segunda residencia que se utiliza espontáneamente y con pocos aparatos eléctricos en su interior (nevera pequeña, iluminación, televisión, carga de móvil). El segundo consumo eléctrico es de 3,63kWh de media diaria, considerando la casa como una residencia permanente de una familia de tres personas con los electrodomésticos habituales en España (nevera, televisión, microondas, iluminación, carga de móviles, carga de ordenadores), sin aire acondicionado (Este consumo está extraído del consumo horario de mi propia vivienda, obtenido a través de la página web de Endesa). Todo el consumo eléctrico que se produce es en corriente alterna, ya que los equipos existentes se alimentan en corriente alterna. Debido a esto, es necesaria la instalación de un inversor, ya que las placas fotovoltaicas generan electricidad en corriente continua.

La localidad está situada en las coordenadas de latitud  $42^{\circ} 45' N$  y de longitud  $0^{\circ} 18' O$ . Los datos de radiación solar y velocidad del viento se han obtenido de la base de datos oficial de la NASA, en función de las coordenadas. La media diaria de estos datos es respectivamente  $4,08\text{kWh/m}^2$ ,  $2,02\text{m/s}$ . La altitud sobre el nivel del mar es de 1284m.

La inclinación de los paneles se ha escogido en función del mes más desfavorable, en este caso, diciembre, con una media diaria de  $3,1\text{kWh/m}^2$ , para el que el ángulo óptimo de inclinación es de  $65^{\circ}$  y posición de azimut de  $0^{\circ}$ . Utilizando estos valores y la correlación de Collares-Pereira[29] se obtiene la radiación solar sobre la superficie de los paneles. Por otro

lado la velocidad del viento cada minuto se calcula usando un valor de la distribución de Weibull igual a 2.

En el anexo I se recogen todos los datos detallados de consumo eléctrico, radiación solar y velocidad del viento.

Los parámetros incluidos en la optimización son que la capacidad de autonomía con el sistema de almacenamiento por baterías debe ser de mínimo 2 días, no hay un mínimo de generación de energía por medio de fuentes renovables y que la generación del sistema propuesto tiene que cubrir todo el consumo anual.

### 6.2.2 Alaska

El segundo caso estudiado es en la localidad de Red Devil, situada en el estado de Alaska (EEUU). Esta localidad según el censo oficial tiene una población de 21 habitantes, y una densidad demográfica de 0,32 personas/km<sup>2</sup>. [30] Es una zona fría con una temperatura media de 3,64°C [31].

Se han considerado dos casos con distinto consumo eléctrico en la vivienda, el primero de 830Wh de media diaria, considerando una casa pequeña como segunda residencia que se utiliza espontáneamente y con pocos aparatos eléctricos en su interior (nevera pequeña, iluminación, televisión, carga de móvil). El segundo consumo eléctrico es de 3,63kWh de media diaria, considerando la casa como una residencia permanente de una familia de tres personas con los electrodomésticos habituales en Estados Unidos (nevera, televisión, microondas, iluminación, carga de móviles, carga de ordenadores), sin aire acondicionado (Este consumo está extraído del consumo horario de mi propia vivienda, obtenido a través de la página web de Endesa). Todo el consumo eléctrico que se produce es en corriente alterna, ya que los equipos existentes se alimentan en corriente alterna. Debido a esto, es necesaria la instalación de un inversor, ya que las placas fotovoltaicas generan electricidad en corriente continua.

La localidad está situada en las coordenadas de latitud 61° 77' N y de longitud 157° 20' O. Los datos de radiación solar y velocidad del viento se han obtenido de la base de datos oficial de la NASA, en función de las coordenadas. La media diaria de estos datos es respectivamente 2,6kWh/m<sup>2</sup> para superficie horizontal y 3,03 kWh/m<sup>2</sup> para la superficie inclinada, 2,06m/s. La altitud sobre el nivel del mar es de 87m.

La inclinación de los paneles se ha escogido en función del mes más desfavorable, en este caso, diciembre, con una media diaria de  $0,13\text{kWh/m}^2$  para superficie horizontal y  $0,74\text{kWh/m}^2$  para la superficie inclinada, para el que el ángulo óptimo de inclinación es de  $85^\circ$  y posición de azimut de  $0^\circ$ . Utilizando estos valores y la correlación de Collares-Pereira[29] se obtiene la radiación solar sobre la superficie de los paneles. Por otro lado la velocidad del viento cada minuto se calcula usando un valor de la distribución de Weibull igual a 2.

En el anexo I se recogen todos los datos detallados de consumo eléctrico, radiación solar y velocidad del viento.

Los parámetros incluidos en la optimización son que la capacidad de autonomía con el sistema de almacenamiento por baterías debe ser de mínimo 2 días, no hay un mínimo de generación de energía por medio de fuentes renovables y que la generación del sistema propuesto tiene que cubrir todo el consumo anual.

### 6.2.3 Camboya

El segundo caso estudiado es en la zona noreste de Camboya. Esta es una zona sin una población grande.

Se han considerado un consumo eléctrico en la vivienda de  $830\text{Wh}$  de media diaria, ligeramente inferior al consumo medio de Camboya que se sitúa en  $1,22\text{kWh}$  de media diaria[32]. Para estimar esta carga se han tenido en cuenta para estimar esta carga que el consumo eléctrico proviene de un pequeño frigorífico, iluminación, una televisión y una radio. Todo el consumo eléctrico que se produce es en corriente alterna, ya que los equipos existentes se alimentan en corriente alterna. Debido a esto, es necesaria la instalación de un inversor, ya que las placas fotovoltaicas generan electricidad en corriente continua.

La localidad está situada en las coordenadas de latitud  $12^\circ 92' \text{ N}$  y de longitud  $106^\circ 37' \text{ E}$ . Los datos de radiación solar y velocidad del viento se han obtenido de la base de datos oficial de la NASA, en función de las coordenadas. La media diaria de estos datos es respectivamente  $5,31\text{kWh/m}^2$  sobre la superficie horizontal y de  $5,41\text{kWh/m}^2$  sobre la superficie inclinada,  $1,55\text{m/s}$ . La altitud sobre el nivel del mar es de  $8\text{m}$ .

La inclinación de los paneles se ha escogido en función del mes más desfavorable, en este caso, septiembre, con una media diaria de  $4,66\text{kWh/m}^2$  sobre superficie horizontal y  $4,74\text{kWh/m}^2$  sobre superficie horizontal, para el que el ángulo óptimo de inclinación es de  $5^\circ$  y

posición de azimut de 0°. Utilizando estos valores y la correlación de Collares-Pereira[29] se obtiene la radiación solar sobre la superficie de los paneles. Por otro lado la velocidad del viento cada minuto se calcula usando un valor de la distribución de Weibull igual a 2.

En el anexo I se recogen todos los datos detallados de consumo eléctrico, radiación solar y velocidad del viento.

Los parámetros incluidos en la optimización son que la capacidad de autonomía con el sistema de almacenamiento por baterías debe ser de mínimo 2 días, no hay un mínimo de generación de energía por medio de fuentes renovables y que la generación del sistema propuesto tiene que cubrir todo el consumo anual.

### 6.3 Resultados

Con los parámetros expuestos anteriormente, se han contemplado un total de 2974 combinaciones posibles de componentes, así como dos posibles estrategias a seguir, las explicadas anteriormente, en el caso de que el grupo electrógeno esté presente. El tiempo de cálculo que necesita el programa para evaluar estos casos y ofrecer los resultados es de 21 minutos y 26 segundos.

A continuación se muestran los resultados del caso óptimo que ofrece el programa para cada localización.

#### 6.3.1 Lanuza

A continuación se muestran los resultados de Lanuza para el caso de que sea una segunda residencia con un consumo eléctrico pequeño.

	Componentes	Energía generada anual (kWh)
Fotovoltaica	1x325Wp	279
Aerogeneradores	0	0
Baterías	97Ah (1.164 Wh)	170
Grupo electrógeno	0,5kW (gasolina)	0
TEG	4x8W (32W)	161
Inversor	0,35 kW	-
Total	-	303
Excedente	-	68

**Tabla 2 Componentes del sistema**

	Costes
Coste neto	<b>4.296 €</b>
Coste unitario	<b>0,57 €/kWh</b>

**Tabla 3 Coste del sistema**

A continuación se muestran los resultados de Lanuza para el caso de que sea una residencia familiar compuesta por tres personas.

	Componentes	Energía generada anual (kWh)
Fotovoltaica	13x325Wp	279
Aerogeneradores	0	0
Baterías	97Ah (1.164 Wh)	170
Grupo electrógeno	0	0
TEG	0	161
Inversor	1,35 kW	-
Total	-	303
Excedente	-	68

**Tabla 4 Componentes del sistema**

	Costes
Coste neto	<b>14.681,9 €</b>
Coste unitario	<b>0,52 €/kWh</b>

**Tabla 5 Coste del sistema**

### 6.3.2 Alaska

A continuación se muestran los resultados de Alaska para el caso óptimo que ofrece el programa.

	Componentes	Energía generada anual (kWh)
Fotovoltaica	1x325Wp	224
Aerogeneradores	0	0
Baterías	97Ah (1.164 Wh)	110
Grupo electrógeno	0,5kW (gasolina)	0
TEG	6x8W (48W)	248
Inversor	0,35 kW	-
Total	-	303
Excedente	-	114

**Tabla 6 Componentes del sistema**

	Costes
Coste neto	<b>4.314 €</b>
Coste unitario	<b>0,57 €/kWh</b>

**Tabla 7 Coste del sistema**



### 6.3.3 Camboya

A continuación se muestran los resultados de Camboya para el caso óptimo que ofrece el programa.

	Componentes	Energía generada anual (kWh)
Fotovoltaica	2x325Wp	552
Aerogeneradores	0	0
Baterías	97Ah (1.164 Wh)	198
Grupo electrógeno	0	0
TEG	2x8W (16W)	82
Inversor	0,35 kW	-
Total	-	303
Excedente	-	255

**Tabla 8 Componentes del sistema**

	Costes
Coste neto	<b>4.635 €</b>
Coste unitario	<b>0,61 €/kWh</b>

**Tabla 9 Coste del sistema**

## 6.4 Análisis de sensibilidad

Se ha realizado un análisis de sensibilidad para comprobar hasta que precio unitario, el TEG sería competitivo en cada localización.

En el caso de Lanuza, en la situación del consumo pequeño el TEG es parte de la solución óptima hasta que alcanza un valor de 25€/W. En este caso, en el que el TEG ya no forma parte de la solución óptima, el coste neto alcanza un valor de 4.668 €, lo que supone un incremento del 8% respecto al caso base. En la situación del consumo mayor, para que el TEG fuera parte de la situación óptima su coste debería ser de 5 €/W, lo que supone una reducción del 37,5%, en este caso el coste neto del sistema óptimo sería de 14.331€.

En el caso de Alaska, aunque el coste del TEG ascienda a 100€/W sigue formando parte del sistema óptimo, debido a la escasa radiación solar que se produce en esta localización.

En el caso de Camboya el TEG es parte de la solución óptima hasta que alcanza un valor de 25€/W.

## 7. CONCLUSIÓN

En este trabajo se han presentado los generadores termoeléctricos y su capacidad de transformar directamente la energía térmica que pasa a través de ellos en energía eléctrica.

Actualmente, existen numerosas investigaciones sobre materiales termoeléctricos para superar los principales obstáculos que impiden el desarrollo de los TEGs. Los principales objetivos de estas investigaciones son tres. El primero es mejorar la eficiencia, entendida como la relación entre la energía eléctrica producida y la energía térmica que fluye a través de los módulos termoeléctricos. El segundo es incrementar el rango de temperaturas en el que pueden operar los materiales con dos finalidades, la primera es no restringir diversos usos en los que la temperatura de la cara caliente es muy elevada y la segunda es posibilitar una mayor diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría, ya que cuanto mayor sea la diferencia, mayor será la energía eléctrica producida. Por último, se están buscando nuevos materiales con propiedades termoeléctricas que supongan un menor coste de producción.

Los TEGs poseen numerosas aplicaciones en diversos sectores en los que existe un calor residual, el cual se puede aprovechar para la producción de electricidad. Desde su descubrimiento, el uso de los TEGs se ha encontrado mayoritariamente en misiones espaciales, aprovechando su gran fiabilidad y nula necesidad de mantenimiento. Numerosos fabricantes del sector automovilístico se encuentran trabajando en el desarrollo de los TEGs para aprovechar el calor de los gases de escape, sin embargo su coste actual es un gran impedimento para su implantación.

Una aplicación importante de los TEGs se encuentra en su implantación, generalmente, en la salida de los gases calientes de la estufa en hogares en países en desarrollo con bajo consumo eléctrico y aislados de la red. Esto supone numerosas ventajas, ya que aprovechan el calor residual proveniente de la estufa, utilizada para cocinar y como sistema de calefacción, para alimentar las pequeñas cargas eléctricas necesarias, como por ejemplo la iluminación.

Actualmente existen numerosas empresas, situadas alrededor del mundo, que comercializan módulos termoeléctricos. Estos módulos son generalmente de dimensiones reducidas (aproximadamente 40x40mm) y consiguen producir una potencia eléctrica baja,

comúnmente entre 2 y 30W, para una temperatura de la cara caliente de aproximadamente 200-300°C. La mayoría de los módulos comerciales están fabricados con Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. El precio de los módulos es muy diverso dependiendo del fabricante, ya que varía desde 1,4\$/W para los módulos de la empresa HiZ (50\$ y potencia máxima de 36W) hasta 6\$/W para los módulos de Tecteg (30\$ y potencia máxima de 5,2W).

Se ha estudiado con el programa informático iHoga cuatro casos de optimización de un sistema híbrido formado por paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, grupo electrógeno, sistema de almacenamiento por baterías y TEG situados en Lanuza (Huesca), Alaska y Camboya, en los que el objetivo es conseguir el mínimo coste neto posible considerando una vida útil del sistema de 20 años.

De los cuatro casos estudiados el TEG forma parte del sistema óptimo en tres de ellos, en el único que no forma parte del sistema óptimo es en el caso de Lanuza para una vivienda familiar compuesta por tres personas, en el que sería necesario reducir el coste del TEG hasta 5€/W.

Esto demuestra que con la tecnología y coste actual, la instalación de un TEG es factible como sistema auxiliar para una casa con estufa, ya su utilidad como sistema de calefacción y cocinar (Lanuza y Alaska) o solo usada para cocinar (Camboya), con un consumo reducido.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sakdanuphab R., Sakikalavek A. (2017). Design, empirical modelling and analysis of a waste heat recovery system coupled to a traditional cooking stove. *Energy Conversion and Management*, 139, 182-193
- [2] Yadollah A., Date A., Singh R., Akbarzadeh A. (2014). Base-load Thermoelectric Power Generation Using Evacuated Tube Collector and Water Storage Tank. *Energy Procedia*, 57, 2112-2120.
- [3] Rowe D.M. (1995). *CRC handbook of thermoelectrics*. London: CRC press.
- [4] Dufo R., Champier D., Gibout S., Lujano J.M., Domínguez J.A. (2019). Optimisation of off-grid hybrid renewable systems with thermoelectric generator. *Energy Conversion and Management*, 196, 1051-1067.
- [5] Champier D. (2017). Thermoelectric generators: A review of applications. *Energy Conversion and Management*, 140, 167-181.
- [6] Zhao L, Lo SH, Zhang Y, Sun H., Tan G., Uher C., Wolverton C., Dravid V, Kanatzidis G. (2014). Ultralow thermal conductivity and high thermoelectric figure of merit in SnSe crystals. *Nature*, 508,373-377.
- [7] Zhao L, Tan G, Hao S, He J., Pei Y., Chi H, Wang H., Gong S., Xu H., Dravid V., Uher C., Snyder J., Wolverton C., Kanatzidis M. (2016). Ultrahigh power factor and thermoelectric performance in hole-doped single-crystal SnSe. *Science*, 351, 141-144.
- [8] Soleimani Z., Zoras S., Ceranic B., Shahzad S., Cui Y. (2020). A review of recent developments of thermoelectric materials for room-temperature applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37.
- [9] Jin H, Li J, Iocozzia J, Zeng X, Wei P, Yang C, Li N., Zhaoping L., He H., Zhu T., Wang J., Lin Z., Wang S. (2019). Hybrid organic-inorganic thermoelectric materials and devices. *Angewandte Chemie International Edition*, 58, Issue 43.
- [10] Cataldo RL, Bennett GL. (2011). U.S. space radioisotope power systems and applications: past, present and future, radioisotopes - applications in physical sciences.

- [11] Schwartz LI, Shure HJ. (1965). Survey of electric power plants for space applications. In: Fifty-Eight National Meeting of the American Institute of Chemical Engineers Philadelphia, Pennsylvania, 5–9.
- [12] Áraiz M., Casi A., Catalán L., Martínez A., Astrain D. (2020), Prospects of waste-heat recovery from a real industry using thermoelectric generators: Economic and power output analysis. *Energy Conversion and Management*, 205.
- [13] Ramírez R., Sagastume A., Cabello JJ., Valencia K., Hernández B., Duarte J. (2019). Evaluation of the energy recovery potential of thermoelectric generators in diesel engines. *Journal of Cleaner Production*, 241.
- [14] Bou Nader W. (2020). Thermoelectric generator optimization for hybrid electric vehicles. *Applied Thermal Engineering*, 167.
- [15] IEA – Energy access database n.d. <https://www.iea.org/sdg/electricity/>.
- [16] Sornek K., Filipowick M., Zoladek M., Kot R., Milkut M. (2019). Comparative analysis of selected thermoelectric generators operating with wood-fired stove. *Energy*, 166, 1303-1313.
- [17] Nuwayhid R., Shihadeh A., Ghaddar N. (2005). Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling. *Energy Conversion and Management*, 46, 1631-1643.
- [18] Nuwayhid R., Rowe D.M., Min G. (2003). Low cost stove-top thermoelectric generator for regions with unreliable electricity supply. *Renewable Energy*, 28, 205-22.
- [19] Li G., Zheng Y., Hu J., Guo W. (2019). Experiments and a simplified theoretical model for a water-cooled stove-powered thermoelectric generator. *Energy*, 185, 437-448.
- [20] Rinalde G.F., Juanicó L.E., Tagliavolante E., Gortari S., Molina M.G. (2010). Development of thermoelectric generators for electrification of isolated rural homes. *International journal of hydrogen energy*, 35, 5818-5822.
- [21] Addanki S., Nedumaran D. (2019). Simulation and fabrication of thermoelectric generators for hand held electronic gadgets. *Materials Science & Engineering B*, 251.
- [22] Dufo R. Optimisation of off-grid hybrid renewable systems with thermoelectric generator 2019.

[23] Sun D, Shen L, Yao Y, Chen H, Jin S, He H. (2017). The real-time study of solar thermoelectric generator. *Appl Therm Eng*,119,347–59.

[24] Fraisse G, Ramousse J, Sgorlon D, Goupil C. (2013). Comparison of different modeling approaches for thermoelectric elements. *Energy Conversion and Management*. 65,351-356.

[25] NASA Prediction of Worldwide Energy Resources n.d. <https://power.larc.nasa.gov/>.

[26] Dufo-López R, Bernal-Agustín JL. (2012). New methodology for the generation of hourly wind speed data applied to the optimisation of stand-alone systems. *Energy Procedia*,14,1973–1978.

[27] Krieger EM, Cannarella J, Arnold CB. (2013) A comparison of lead-acid and lithium-based battery behavior and capacity fade in off-grid renewable charging applications. *Energy*,60,492–500.

[28] Barley C, Winn C. (1996). Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems. *Sol Energy* 933,58,165–179.

[29] Collares Pereira M, Rabl A. (1979). The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Sol Energy*,22,155–164.

[30] <http://worldpopulationreview.com/us-cities/red-devil-ak-population/>

[31] [https://www.yr.no/place/USA/Alaska/Red\\_Devil/statistics.html](https://www.yr.no/place/USA/Alaska/Red_Devil/statistics.html)

[32] Cambodia. Beyond Connections. Energy Access Diagnostic Report Based on the Multi-Tier Framework. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. 2018.

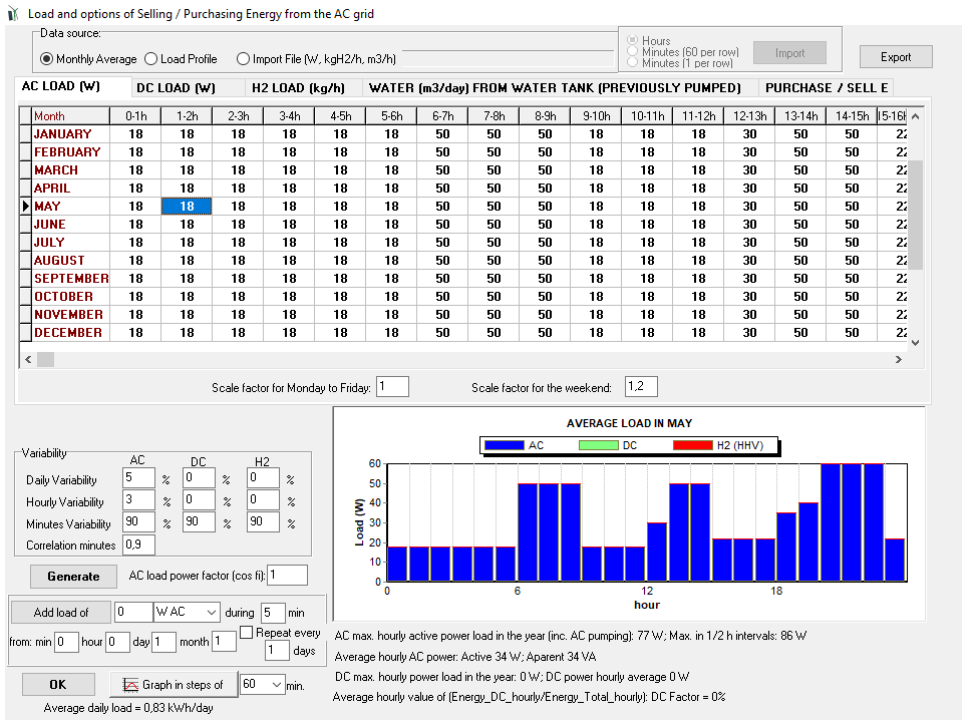
## 9. ANEXOS

### ANEXO I PARÁMETROS SISTEMA HÍBRIDO

En este anexo se van a mostrar todos los parámetros escogidos en *iHoga* para la simulación del caso híbrido que se ha presentado en el apartado 6.

#### CONSUMO ELÉCTRICO

A continuación se muestra el consumo eléctrico elegido para los casos de segunda residencia en Lanuza, Alaska y Camboya.



La tabla siguiente muestra el consumo eléctrico horario, en corriente alterna.

	0-1 h	1-2 h	2-3 h	3-4 h	4-5 h	5-6 h	6-7 h	7-8 h	8-9 h	9-10 h	10-11 h	11-12 h	12-13 h	13-14 h	14-15 h	15-16 h	16-17 h	17-18 h	18-19 h	19-20 h	20-21 h	21-22 h	22-23 h	23-24 h
Enero	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Febrero	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Marzo	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Abril	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Mayo	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Junio	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Julio	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Agosto	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Septiembre	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Octubre	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Noviembre	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W
Diciembre	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	18 W	50 W	50 W	50 W	18 W	18 W	18 W	30 W	50 W	50 W	22 W	22 W	22 W	35 W	40 W	60 W	60 W	60 W	22 W

Tabla 8 Consumo eléctrico horario

A continuación se muestra en una tabla el consumo eléctrico horario para el caso de vivienda familiar compuesta por tres personas en Lanuza.

	0-1 h	1-2 h	2-3 h	3-4 h	4-5 h	5-6 h	6-7 h	7-8 h	8-9 h	9-10 h	10-11 h	11-12 h	12-13 h	13-14 h	14-15 h	15-16 h	16-17 h	17-18 h	18-19 h	19-20 h	20-21 h	21-22 h
Enero	43 W	44 W	93 W	37 W	38 W	101 W	35 W	39 W	527 W	133 W	106 W	129 W	80 W	295 W	119 W	44 W	63 W	96 W	46 W	62 W	461 W	494 W
Febrero	43 W	44 W	93 W	37 W	38 W	101 W	35 W	39 W	527 W	133 W	106 W	129 W	80 W	295 W	119 W	44 W	63 W	96 W	46 W	62 W	461 W	494 W
Marzo	70 W	130 W	50 W	60 W	130 W	70 W	60 W	150 W	240 W	120 W	80 W	110 W	120 W	440 W	260 W	120 W	220 W	70 W	60 W	240 W	190 W	570 W
Abril	70 W	130 W	50 W	60 W	130 W	70 W	60 W	150 W	240 W	120 W	80 W	110 W	120 W	440 W	260 W	120 W	220 W	70 W	60 W	240 W	190 W	570 W
Mayo	70 W	130 W	50 W	60 W	130 W	70 W	60 W	150 W	240 W	120 W	80 W	110 W	120 W	440 W	260 W	120 W	220 W	70 W	60 W	240 W	190 W	570 W
Junio	140 W	80 W	80 W	30 W	100 W	50 W	40 W	110 W	230 W	80 W	30 W	120 W	100 W	540 W	190 W	190 W	120 W	120 W	140 W	160 W	60 W	30 W
Julio	140 W	80 W	80 W	30 W	100 W	50 W	40 W	110 W	230 W	80 W	30 W	120 W	100 W	540 W	190 W	190 W	120 W	120 W	140 W	160 W	60 W	30 W
Agosto	140 W	80 W	80 W	30 W	100 W	50 W	40 W	110 W	230 W	80 W	30 W	120 W	100 W	540 W	190 W	190 W	120 W	120 W	140 W	160 W	60 W	30 W
Septiembre	70 W	90 W	30 W	80 W	80 W	30 W	90 W	120 W	280 W	70 W	40 W	100 W	50 W	190 W	250 W	80 W	110 W	40 W	60 W	100 W	30 W	370 W
Octubre	70 W	90 W	30 W	80 W	80 W	30 W	90 W	120 W	280 W	70 W	40 W	100 W	50 W	190 W	250 W	80 W	110 W	40 W	60 W	100 W	30 W	370 W
Noviembre	70 W	90 W	30 W	80 W	80 W	30 W	90 W	120 W	280 W	70 W	40 W	100 W	50 W	190 W	250 W	80 W	110 W	40 W	60 W	100 W	30 W	370 W
Diciembre	43 W	44 W	93 W	37 W	38 W	101 W	35 W	39 W	527 W	133 W	106 W	129 W	80 W	295 W	119 W	44 W	63 W	96 W	46 W	62 W	461 W	494 W

Tabla 9 Consumo eléctrico horario

## DATOS SOLARES

A continuación se muestran los parámetros escogidos para obtener los datos de energía solar en cada localización.

### Lanuza

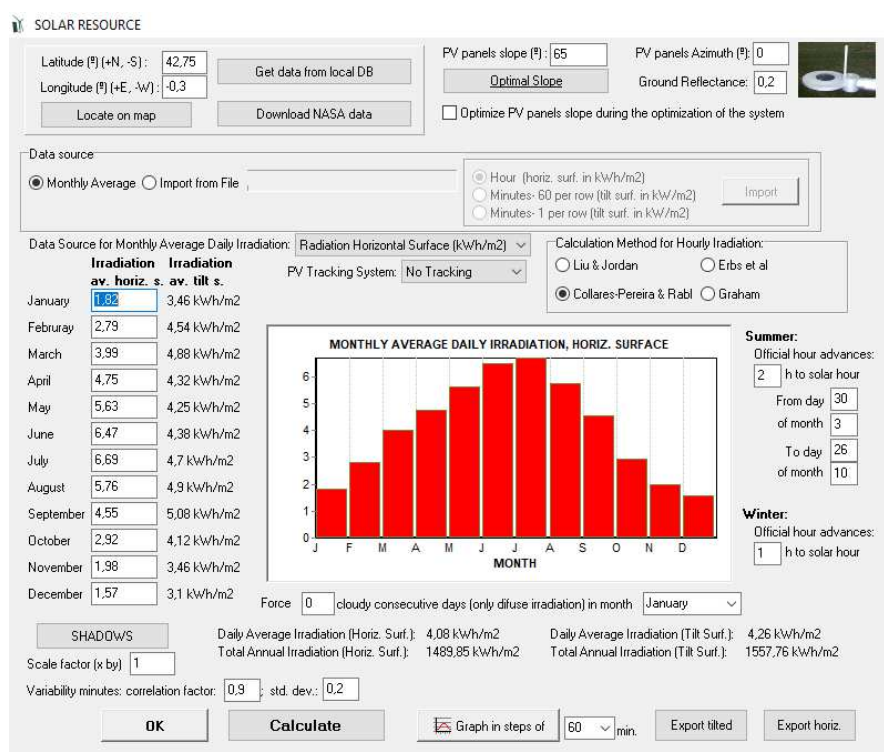


Figura 5 Datos Solares Lanuza



## Alaska

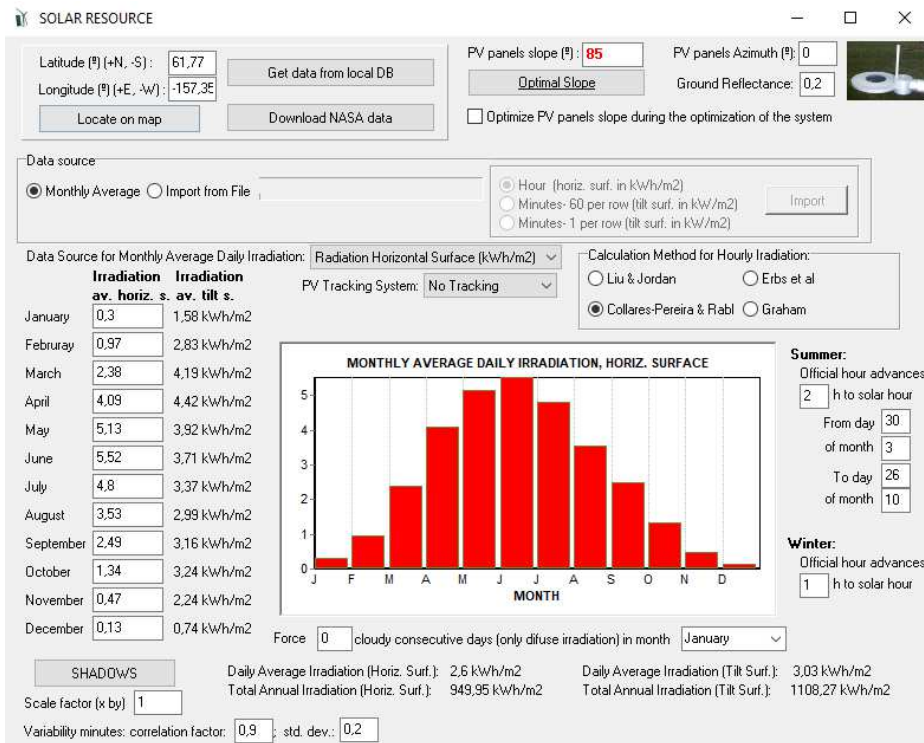


Figura 6 Datos Solares Alaska

## Camboya

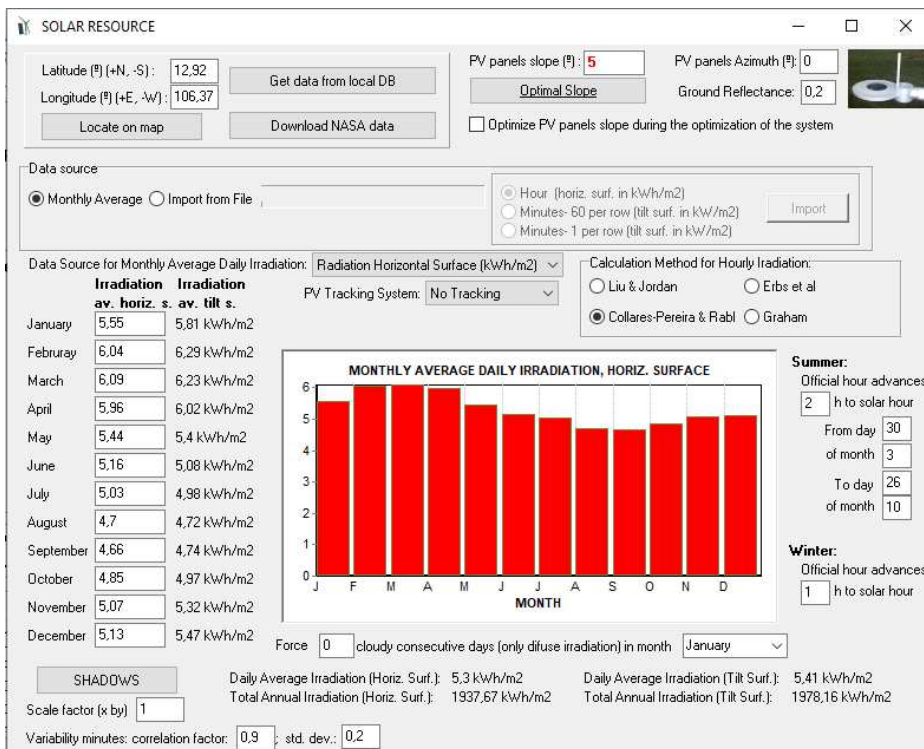


Figura 7 Datos Solares Camboya

## DATOS EÓLICOS

A continuación se muestran los parámetros escogidos para obtener los datos eólicos para cada localización.

### Lanuzá

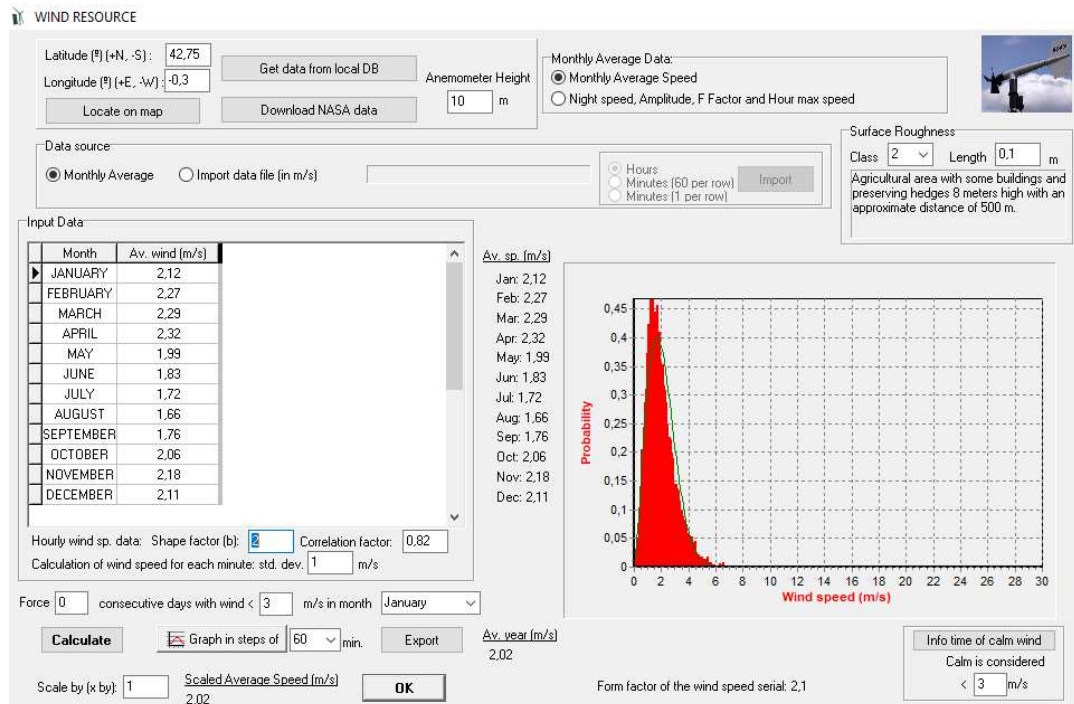


Figura 8 Datos Eólicos Lanuzá

## Alaska

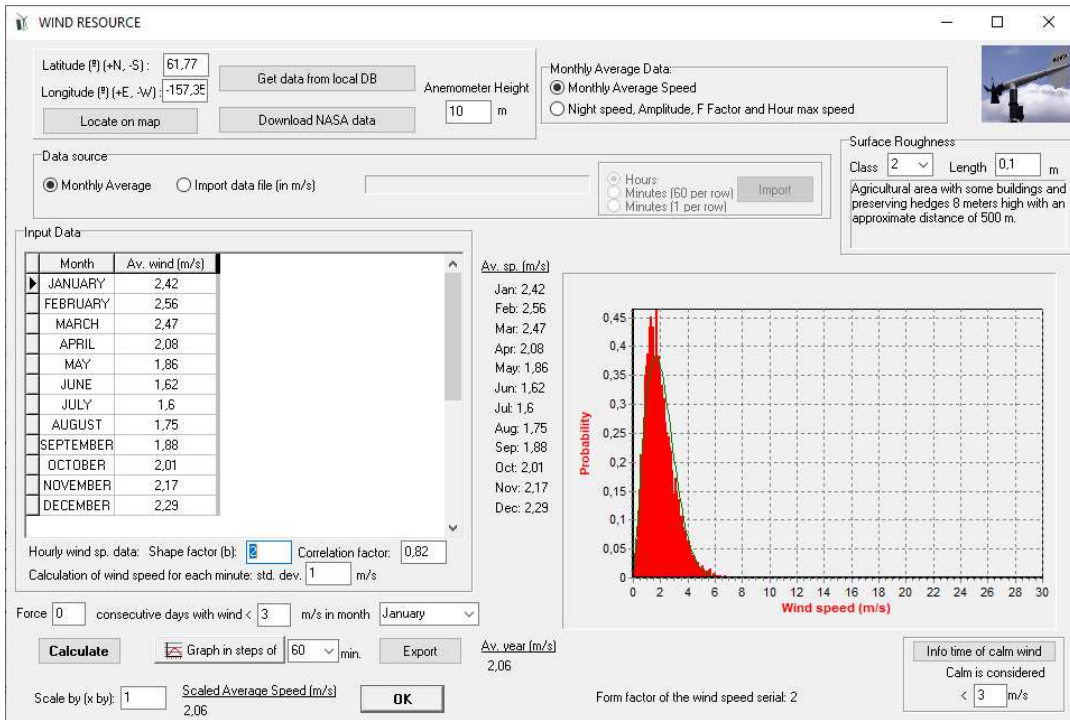


Tabla 10 Datos Eólicos Alaska

## Camboya

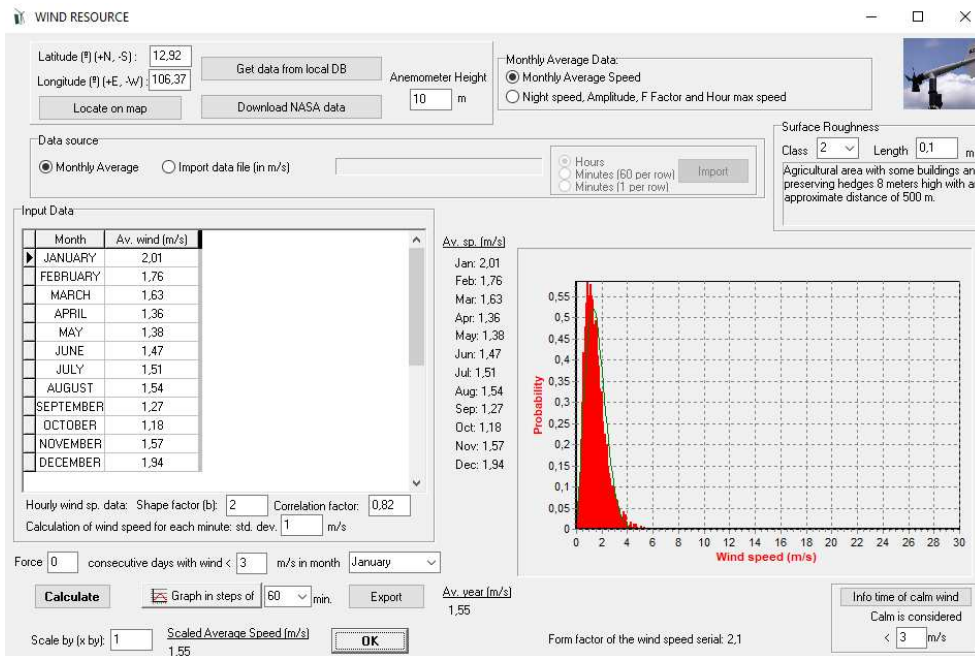


Figura 9 Datos Eólicos Camboya

## TEMPERATURAS TEG

En la siguiente tabla se muestra la temperatura media horaria de la cara caliente del TEG para todos los meses del año para los casos de Lanuza y Alaska.

	0-1 h	1-2 h	2-3 h	3-4 h	4-5 h	5-6 h	6-7 h	7-8 h	8-9 h	9-10 h	10-11 h	11-12 h	12-13 h	13-14 h	14-15 h	15-16 h	16-17 h	17-18 h	18-19 h	19-20 h	20-21 h	21-22 h	22-23 h	23-24 h	
Enero	20	20	20	20	20	20	600	700	600	600	600	600	450	700	600	500	450	450	600	600	700	700	700	700	450
Febrero	20	20	20	20	20	20	600	700	600	600	600	600	450	700	600	500	450	450	600	600	700	700	700	700	450
Marzo	20	20	20	20	20	20	600	700	600	450	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	450	300	
Abril	20	20	20	20	20	20	600	700	600	300	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	20	20	
Mayo	20	20	20	20	20	20	600	700	600	300	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	20	20	
Junio	20	20	20	20	20	20	600	700	600	300	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	20	20	
Julio	20	20	20	20	20	20	600	700	600	300	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	20	20	
Agosto	20	20	20	20	20	20	600	700	600	300	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	20	20	
Septiembre	20	20	20	20	20	20	600	700	600	300	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	20	20	
Octubre	20	20	20	20	20	20	600	700	600	300	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	450	300	
Noviembre	20	20	20	20	20	20	600	700	600	450	300	300	700	600	500	300	300	600	600	700	700	700	700	450	
Diciembre	20	20	20	20	20	20	600	700	600	600	600	450	700	600	500	450	450	600	600	700	700	700	700	450	

**Figura 10 Temperaturas de la cara caliente del TEG**

En la siguiente tabla se muestra la temperatura media horaria de la cara caliente del TEG para todos los meses del año para el caso de Camboya.

	0-1 h	1-2 h	2-3 h	3-4 h	4-5 h	5-6 h	6-7 h	7-8 h	8-9 h	9-10 h	10-11 h	11-12 h	12-13 h	13-14 h	14-15 h	15-16 h	16-17 h	17-18 h	18-19 h	19-20 h	20-21 h	21-22 h	22-23 h	23-24 h
Enero	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Febrero	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Marzo	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Abril	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Mayo	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Junio	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Julio	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Agosto	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Septiembre	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Octubre	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Noviembre	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	
Diciembre	30	30	30	30	30	30	30	700	30	30	30	30	30	650	650	30	30	30	30	30	30	700	700	

**Figura 11 Temperaturas de la cara caliente del TEG**

En la siguiente tabla se muestra la temperatura media horaria de la cara fría del TEG para todos los meses del año.

	0-1 h	1-2 h	2-3 h	3-4 h	4-5 h	5-6 h	6-7 h	7-8 h	8-9 h	9-10 h	10-11 h	11-12 h	12-13 h	13-14 h	14-15 h	15-16 h	16-17 h	17-18 h	18-19 h	19-20 h	20-21 h	21-22 h	22-23 h	23-24 h
Enero	8	8	8	8	8	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	12	12	40	30	20	20	20	20	20
Febrero	8	8	8	8	8	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	12	12	40	30	20	20	20	20	20
Marzo	8	20	20	20	20	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	30	40	30	20	20	20	20	20	20
Abril	8	20	20	20	20	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	30	40	30	20	20	20	20	20	20
Mayo	8	20	20	20	20	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	30	40	30	20	20	20	20	20	20
Junio	8	20	20	20	20	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	30	40	30	20	20	20	20	20	20
Julio	8	20	20	20	20	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	30	40	30	20	20	20	20	20	20
Agosto	8	20	20	20	20	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	30	40	30	20	20	20	20	20	20
Septiembre	8	20	20	20	20	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	30	40	30	20	20	20	20	20	20
Octubre	8	20	20	20	20	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	30	40	30	20	20	20	20	20	20
Noviembre	8	8	8	8	8	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	12	12	40	30	20	20	20	20	20
Diciembre	8	8	8	8	8	40	40	30	30	30	30	40	40	30	30	12	12	40	30	20	20	20	20	20

**Figura 12 Temperaturas de la cara fría del TEG**

## PANELES FOTOVOLTAICOS

A continuación se muestran los modelos de paneles fotovoltaicos incluidos en la simulación.

PV PANELS

Add PV panel: Zero

Add PV panels family: SIM12-Aterza

Name	Nominal Voltage [V]	Shortcut Current [A]	Nominal Power [Wp]	Acquisition Cost [€]	O&M Cost [€/yr]	Expected Lifespan [years]	NOCT [°C]	Coef. T [%/°C]	CO2 Emissions in Manufacturing... [kgCO2 equiv./kWp]	Weight [kg]
aSi12-Schott: ASI100 a	12	6,79	100	110	0	25	49	-0,2	800	20,8
Canadian: CS6U-325	24	9,34	325	200	0	25	45	-0,41	800	22,4

Fixed Operation and Maintenance Cost: 0 €/yr

Efficiency due to degradation of the modules, losses in wires, dirt in panels, etc.: 0,8

PV inverter or battery charge regulator includes Maximum Power Point Tracking (MPPT)

PV generator is connected to AC bus (it has its own inverter) -> Number of PV panels in serial: 2

Annual Inflation Rate for PV Panels Cost: -2 %

Max. Variation of PV Panels Cost (e.g., for an expected 70% reduction on current PV panels cost, introduce "-70%"): -70 %

Limit is reached in 53,6 years

OK

Figura 13 Paneles fotovoltaicos

# AEROGENERADORES

A continuación se muestran los modelos de aerogeneradores incluidos en la simulación.

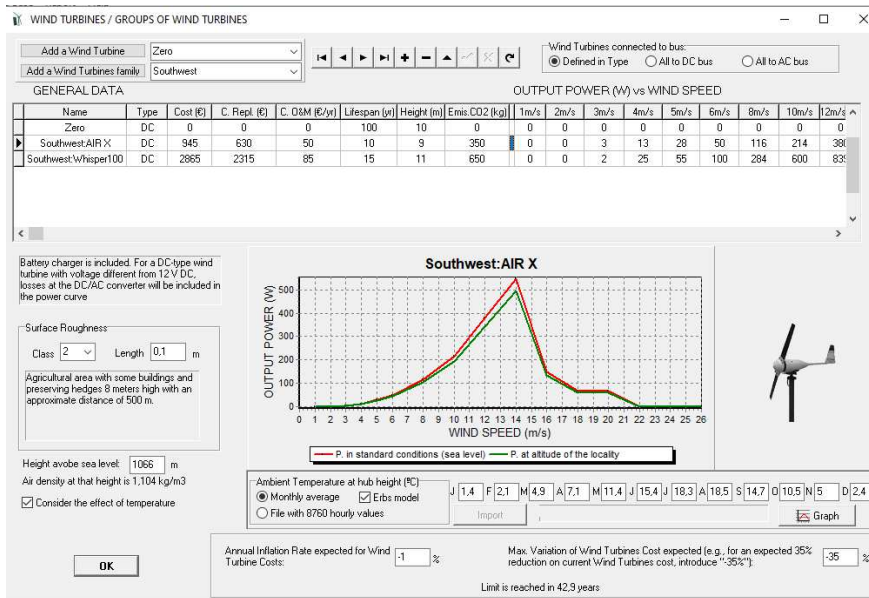


Figura 14 Aerogeneradores

# TEG

A continuación se muestran los modelos de TEG que se han incluido en la simulación.

Para los casos de Lanuza y Camboya los TEGs incluidos en la simulación son los que se indican en la figura siguiente.

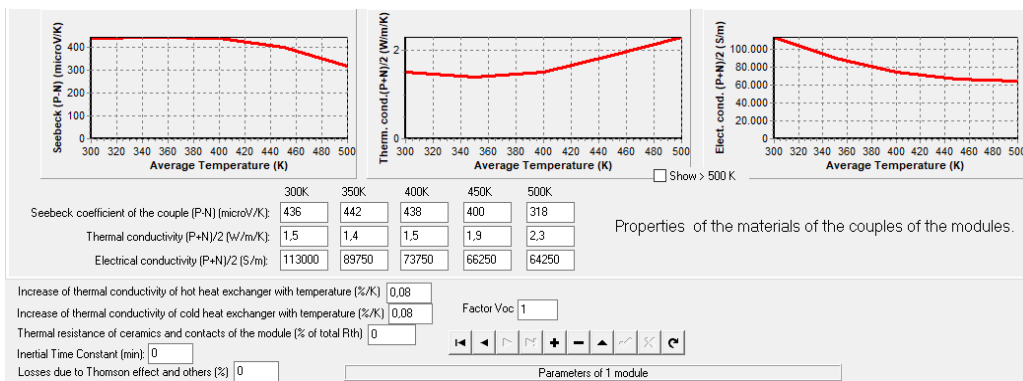
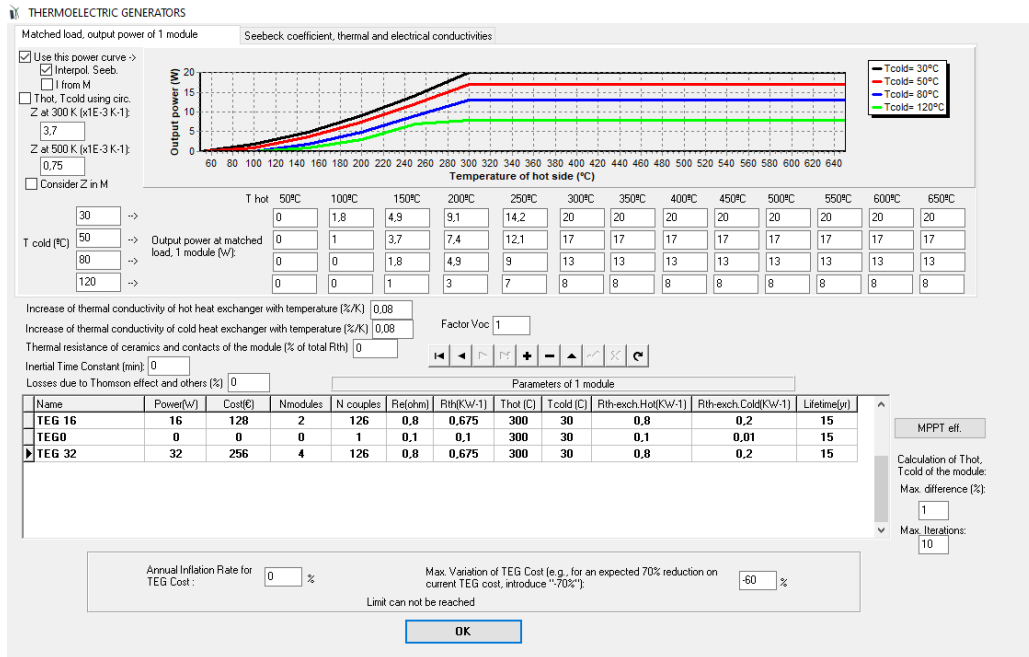


Figura 15 TEG



Para la simulación de Alaska se han incluido los siguientes modelos de TEG

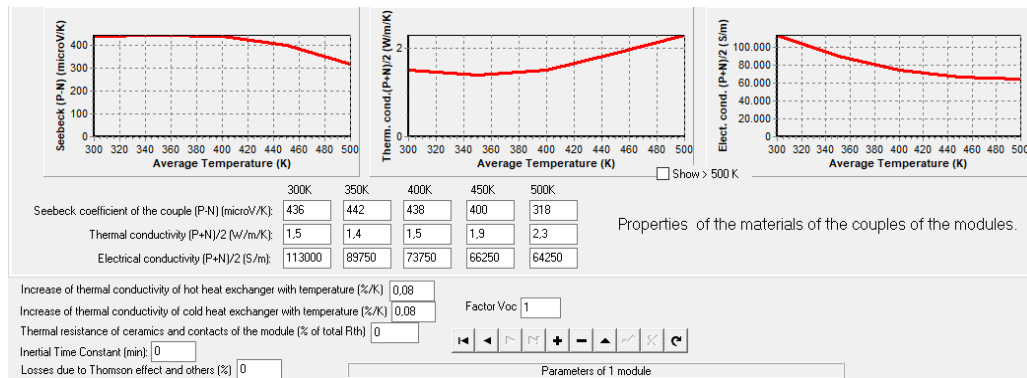
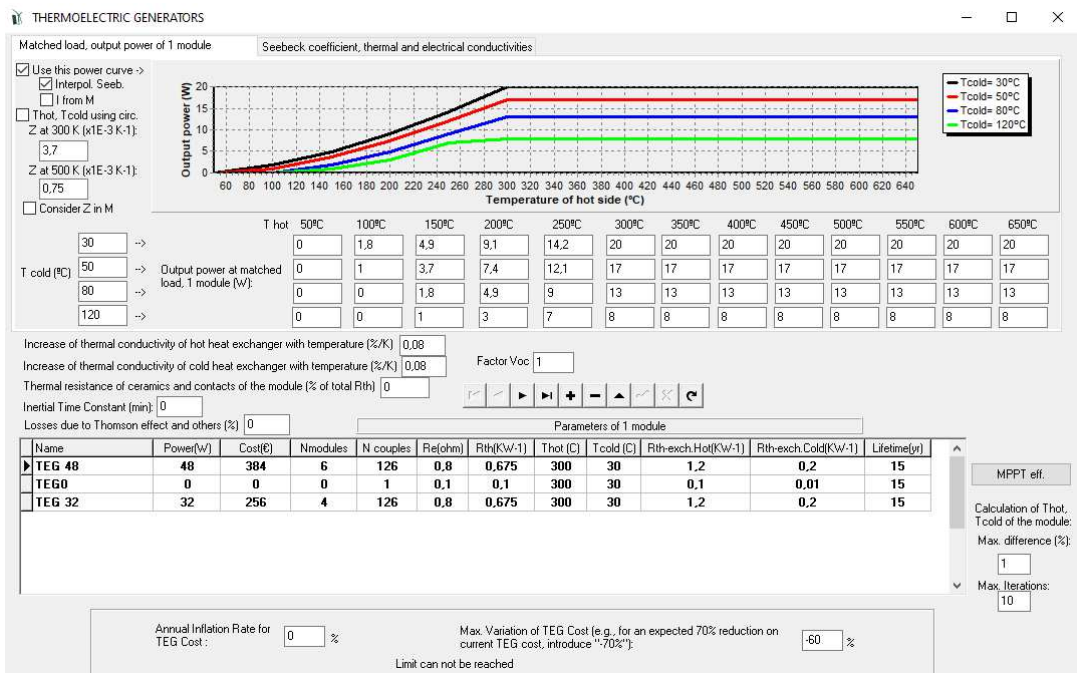


Figura 16 TEG



## BATERÍAS

A continuación se muestran los modelos de baterías que se han incluido en la simulación.

BATTERIES

Add Battery: Zero  
Add Batteries family: OPZS-Hawker

Name	C.nom. (Ah)	Vn (V)	Acq. Cost (€)	O&M unit (€/yr)	SOC min. (%)	Self disch. (%-mon)	I <sub>max</sub> (A)	Global Effic. (%)	Float life at 20 °C (yr)	Cycles to Failure vs. Depth of Discharge										TYPE	Weight(kg)
										10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%			
Zero	0	2	0	0	20	0	0	100	100	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	LA	0,1
Trajent 2V-22TMM	97	12	150	1,5	20	5	19,4	80	12	3000	1500	1100	800	600	450	400	300	250	LA	25	
Kostal Pico-3.6kWh	23,5	153	7900	30	10	2	12	95	15	48000	24000	16000	12000	9600	8000	6860	6000	5330	Li	120	
Kostal Pico-6kWh	23,5	258	10700	30	10	2	12	95	15	48000	24000	16000	12000	9600	8000	6860	6000	5330	Li	153	

Batteries Model:  Ah  Li model Ah  
 KiBatt (Marwell-McGowan 1993)  
 Copeti 1994  
 Schiffer 2007

Fixed Operation and Maintenance Cost: 50 €/yr  
 Equivalent CO2 emissions (manufacturing...): 55 kg CO2 equiv / kWh capacity  
 SOC at the beginning of simulation: 100 % of SOCmax

Temp. J 18 F 18 M 20 A 20 M 20 J 22 Mean (°C)  
 Bat. (°C) J 22 A 22 S 22 O 20 N 18 D 18 20  
 Except Schiffer model, consider Tmean >= T float life

Lead-acid battery model:  Rainflow (cycle counting)  Modified  
 Full equivalent cycles

If there is an AC Gen., every 14 days or 8 equivalent full cycles charge battery bank at least up to 95 %

Annual Inflation Rate expected for Batteries Cost: -2 %  
 Max. Variation of Wind Batteries expected (e.g., for an expected 60% reduction on current Batteries cost, introduce "50%"): -60 %  
 Limit is reached in 45,4 years

Number of full equivalent cycles 4799,8

OK

Figura 17 Baterías

## INVERSORES

A continuación se muestran los modelos de inversores que se han incluido en la simulación.

INVERTERS AND BI-DI CONVERTERS

Add from Database: ZERO  
 Include only VDC suitable from family: STECA

Without Rectifier (charger)  
 Rectifier w/o PV batt. controller  
 Rectifier + MPPT PV batt. controller

Name	Power (VA)	Lifespan (yr)	Acq. cost (€)	Batt. Charger	I <sub>max</sub> ch.DC (A)	Ef. charger (%)	VDCmin(V)	VDCmax(V)	PV batt. controller	F <sub>max</sub> ren(w)	0%
Generic: 350	350	10	210	NO	0	100	12	24	NO	1E15	10
Generic: 700	700	10	480	NO	0	100	12	24	NO	1E15	10
STECA-SOLARX PI 550	450	10	421	NO	0	100	10,5	16	NO	1E15	10

If bi-di inverters include battery charge regulator, all of them must be of the same family (same control data)

Control Data:  MPPT  
 Select the minimum inverter required to supply the maximum AC load

Select inverter

Max. output power in simultaons of:  
 30 minutes: 20 % higher than nominal  
 15 minutes: 30 % higher than nominal  
 10 minutes: 30 % higher than nominal  
 <=5 minutes: 30 % higher than nominal

If P. max. renewable DC > P. max. ren.  
 Limit P. from renew. DC to P max. ren.  
 Discard that combination  
 Only in bi-di converters

OK

Maximum power demanded by load is 96,78 VA. The inverter selected is the one of 350 VA  
 Average power is 9,8% of rated power of the selected inverter. Inverter average efficiency considered will be 92,8 %

Figura 18 Inversores

## GRUPO ELECTRÓGENO

A continuación se muestran los modelos de grupos electrógenos que se han incluido en la simulación.

AC GENERATORS

Add from Database: Zero

Name	Rated power (Pn) [kVA]	Acquisition cost [€]	O&M cost [€/h]	Expected lifespan [h]	Minimum power [% of Pn]	FUEL	FUEL		Fuel inflation rate [%]	CO2 Emissions [kg CO2/unit]	Fuel curve coefficients		Weight [kg]
							Unit	[€/unit]			A [unit/kW/h]	B [unit/kW/h]	
Zero	0	0	0	100000	30	Diesel	litre	0	0	0	0,246	0,08145	0
Diesel 3kVA a	3	300	0,17	10000	30	Diesel	litre	1	5	3,5	0,246	0,08145	130
Gasoline 1kVA	1	400	0,2	1000	30	Gasoline	litre	1,4	5	3,1	0,5	0,2	8,5
Gasoline 0.5kVA	0,5	250	0,2	1000	30	Gasoline	litre	1,4	5	3,1	0,5	0,2	6,5

Equivalent CO2 emissions (generator manufacturing...): 215 kg CO2 equiv. / kVA rated power

Generator runs all the time (AC grid reference)

Spinning reserve (+1 gen.)

Only if partial load > Pmin

AC Generator Availability

OK

Fuel consumption (litre/h) = Pn (kW) · B + P (kW) · A

Gasoline 0.5kVA fuel Gasoline

CONSUMPTION (litre/h)

OUTPUT POWER (kW)

Extra seging and O&M when running out of optimal conditions (50-80%):

- Factor for 30%: 1,25
- Factor for 100%: 1,5

Maximum output power in simulations of:

- 30 minutes: 20 % higher than nominal
- 15 minutes: 30 % higher than nominal
- 10 minutes: 30 % higher than nominal
- <=5 minutes: 30 % higher than nominal

Each start is considered that consumes 5 minutes of lifespan

Figura 19 Grupo electrógeno

## CONTROLADOR DE CARGA DE LAS BATERÍAS

A continuación se muestran los modelos de los controladores de carga de las baterías que se han incluido en la simulación.

PV BATTERY CHARGE CONTROLLERS AND BATTERY CHARGER

**PV BATTERY CHARGE CONTROLLER 12 V**

Add from data base: STECA: PR 1010

Include only VDC suitable and MPPT as selected from family: STECA

Name	I <sub>max</sub> (A)	V <sub>DCmin</sub> (V)	V <sub>DCmax</sub> (V)	Cost (€)	MPPT
STECA: TAROM 440	40	48	48	298	NO
STECA: P TAROM 4055	55	48	48	1500	NO
STECA: P TAROM 4140	149	48	48	2215	NO

Acquisition cost (€):  +  \* I<sub>reg,max</sub> (A)

(If the controller is included in the bi-di inverter, the controllers of this screen will not be considered and automatically the cost of the controller will be considered 0)

Lifespan:  years

Control data

PV charge controllers include MPPT     Consider only first one of the table

All the PV charge controllers must be of the same family (same control data)

**RECTIFIER (BATTERY CHARGER) (CONV. AC/DC) 230 Vac / 12 Vdc**

Acquisition cost (€):  +  \* P<sub>nom</sub> (kW)

Lifespan:  years    Efficiency:  %

(If battery charger is included in inverter, this cost will automatically be 0; if the battery charger is included in the AC generator, you must indicate here 0 for costs)

OK

Figura 20 Controlador de carga de las baterías

## PARÁMETROS GENERALES

A continuación se muestran los parámetros generales del sistema escogidos para la simulación.

The image shows a software interface with several tabs: GENERAL DATA, OPTIMIZATION, CONTROL STRATEGIES, FINANCIAL DATA, and RESULTS CHART. The GENERAL DATA tab is active, displaying various configuration options.

**COMPONENTS**

- PV panels
- Wind Turbines
- Hydro T.
- Battery bank
- AC Generator
- Inverter
- H2 (F.C. - Elyzer.)

**MIN. AND MAX. No COMPONENTS IN PARALLEL:**

Bateries in parallel:	Min: 0	Max: 3
PV pan. in parallel:	Min: 0	Max: 4
Wind T. in parallel:	Min: 0	Max: 3
AC Gen. in parallel:	Min: 1	Max: 1

**CONSTRAINTS:**

Maximum Unmet Load allowed: 0 % annual

Unmet load refers to:

- E. not supplied by the stand-alone system
- E. not supplied by the system nor by the AC grid

**OPTIMIZATION PARAMETERS SELECTED BY:**

HOGA  USER

**Maximum execution time:**

0 h. 15 min. Parameters

Minimum time for the Genetic Algorithms

**Simulation:**

Step (min.): 60 Simulation starts: hour 0 day 1 month 1

Compare with Worth Month Method (PV-bat.)  
Days of battery autonomy: 4

**CONSTRAINTS** dialog box:

If a combination of components and strategy does not meet any of the following restrictions, this solution will be discarded (for that combination it is assigned infinite cost).

Maximum Unmet Load allowed: 0 % of annual load  
(Max. energy not supplied by the stand-alone system. This Energy can be purchased from the AC grid if such AC grid exists and also the purchase is allowed on the LOAD/AC GRID screen)

Minimum number of days of autonomy (batteries+hidrogen): 4 days  
 if there is AC generator or fuel cell using external fuel or purchasing unmet load from AC grid is allowed, number of days of autonomy = infinity)

Nominal capacity of batteries bank (Ah) < 20 x [shortcut current of PV generator + current from Wind Turbines group at 14m/s] (A)  
 if there is AC generator or fuel cell using external fuel or purchasing unmet load from AC grid is allowed, do not take into account this constraint)

Minimum renewable fraction: 0 %

Maximum Levelized Cost of Energy: 100 €/kWh

OK

Figura 21 Parámetros generales

## ANEXO II RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En este anexo se muestran los resultados ofrecidos por *iHoga* de los casos óptimos de las simulaciones realizada.

A continuación se muestra un resumen de los resultados, con los componentes escogidos en el sistema óptimo, la estrategia a seguir por el sistema, además de una gráfica con los resultados de todos los casos evaluados en términos de coste neto y emisiones de CO<sub>2</sub> para cada uno de los casos.

### Lanuzza consumo pequeño

#### Project: caso práctico.hoga. Generation # 15

DC Voltage: 12 V. AC Voltage: 230 V

#### COMPONENTS

PV pan. Canadian: CS6U-325 (325 Wp): 1 s. x 1 p. P total = 0,325 kWp, 65° slope

Batt. Trojan12V.27TMX (Cn=97 Ah): 1 s. x 1 p. E total = 1,1 kWh (0,9 d.aut)

Without Wind Turbines

TEG TEG 32 of 32 W

1 x AC Gen. Gasoline 0.5kVA of rated power 0,5 kVA

Without Fuel Cell

Without Electrolyzer

Inverter Generic: 350, rated power 350 VA

PV Battery charge controller STECA: TAROM 440 of 40 A

Battery charger (AC/DC converter) of 500 W

#### CONTROL STRATEGY

LOAD FOLLOWING. SOC min. batteries = 20 %

**IF THE POWER PRODUCED BY THE RENEWABLE SOURCES IS HIGHER THAN LOAD: CHARGE**

The Batteries are charged with the spare power from renewable

**IF THE POWER PRODUCED BY THE RENEWABLE SOURCES IS LESS THAN LOAD: DISCHARGE**

The power not supplied to meet the load will be supplied by the Batteries (if they cannot supply the whole, the rest will be supplied by the AC Generator).

P1gen = INF W

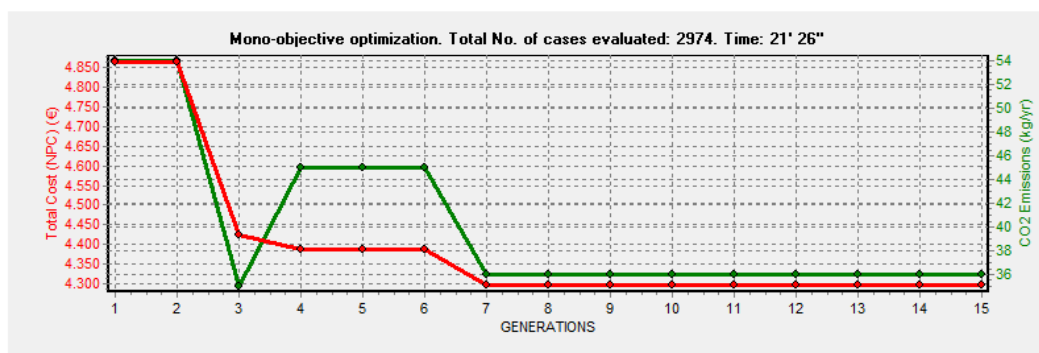
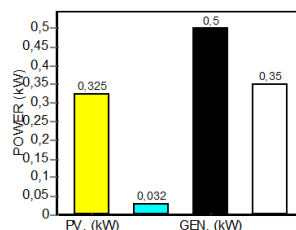


Figura 22 Resumen general de resultados

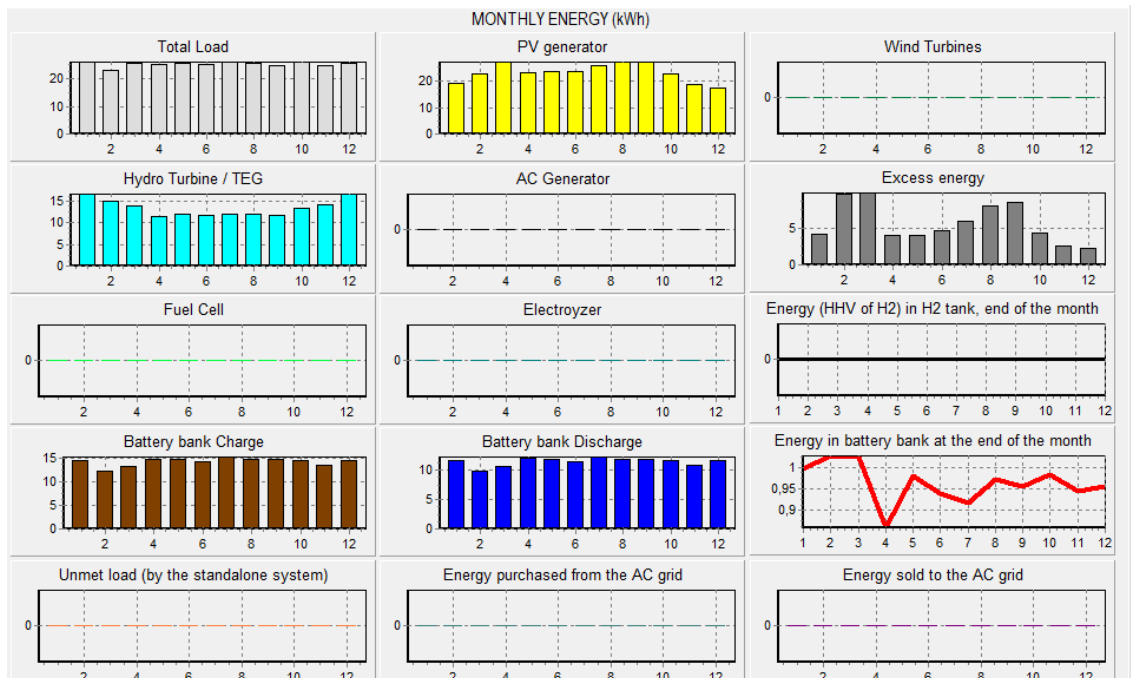
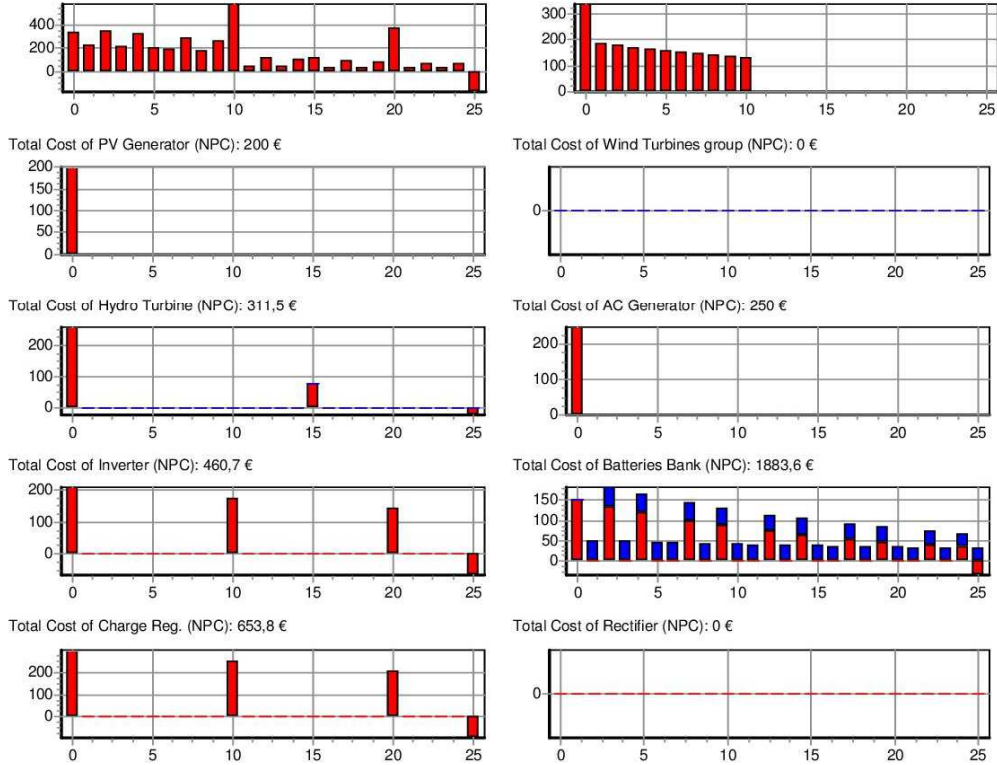
**Project: caso práctico.hoga. Generation # 13**

**Total Cost (NPC): 4296,4 € (0,57 €/kWh). Initial cost of investment: 1691,3 €. Loan of 80 %, annual quota: 192,6 €.**

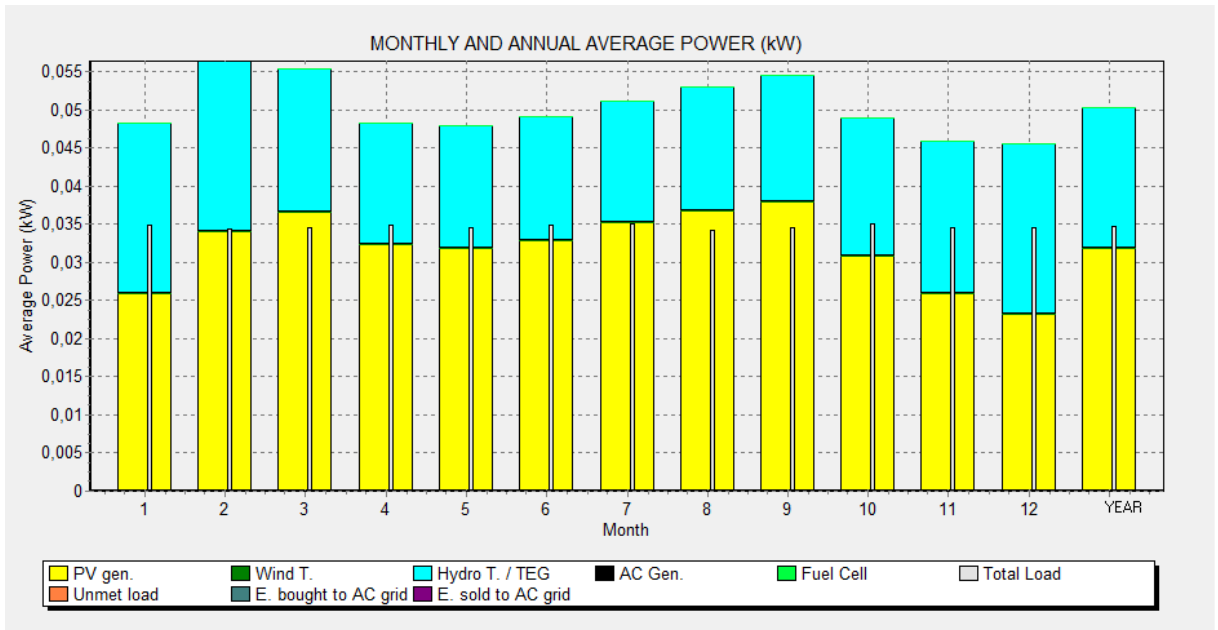
**Distribution of costs (NPC). RED: acquisition costs, replacement costs and incomes for final sale. BLUE: O&M. Currency: €**

**TOTAL COST (NPC): 4296,4 €**

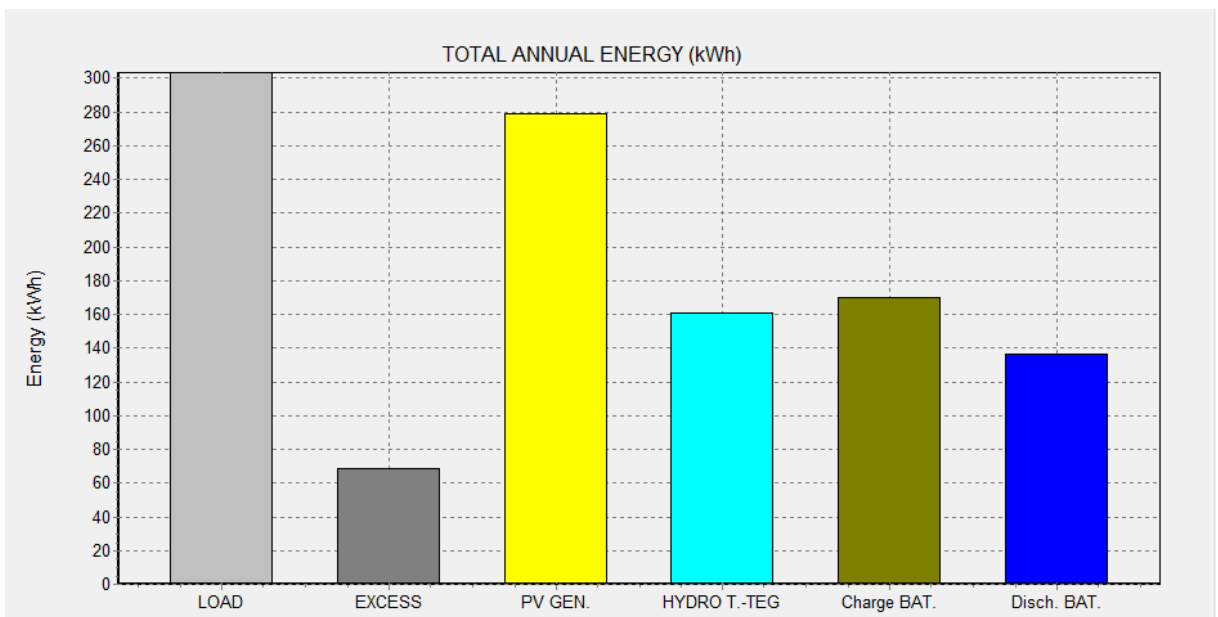
**Financial Cost (NPV): initial payment + annual quotas: 1900,7 €**



**Figura 23 Energía generada mensualmente**



**Figura 24 Potencia media mensual por componente**



**Figura 25 Energía anual generada**

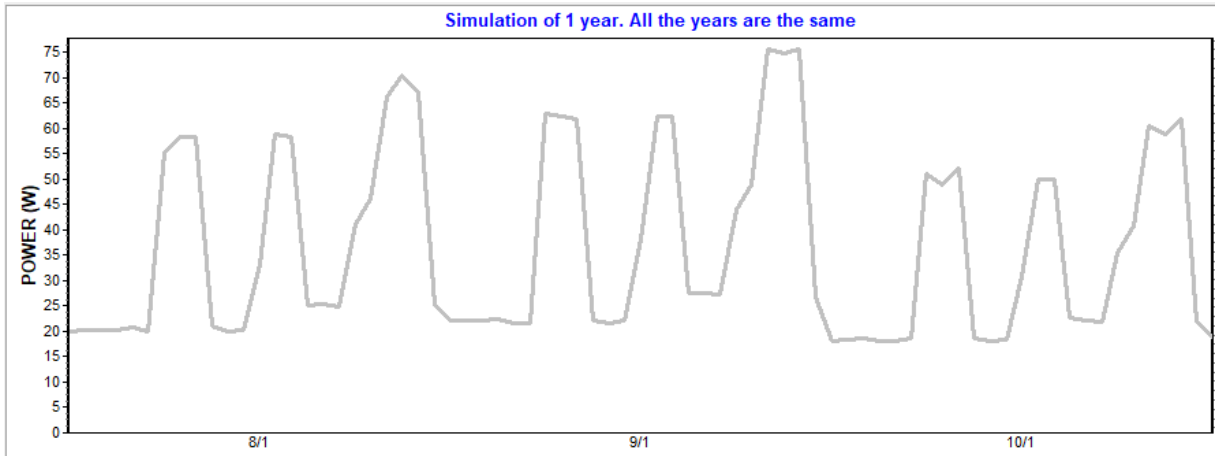


Figura 26 Consumo eléctrico en 3 días

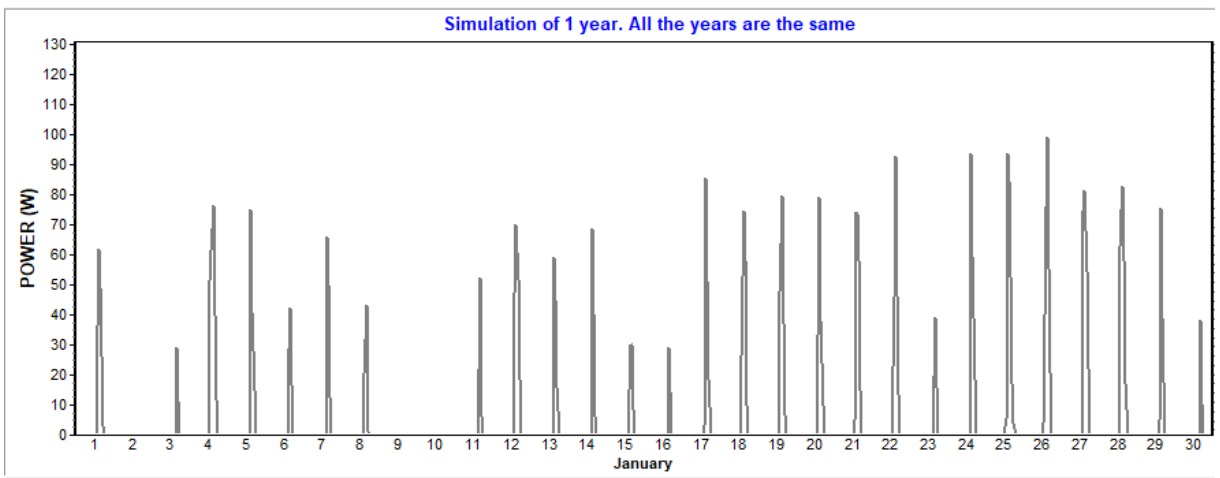


Figura 27 Exceso de energía en 3 días

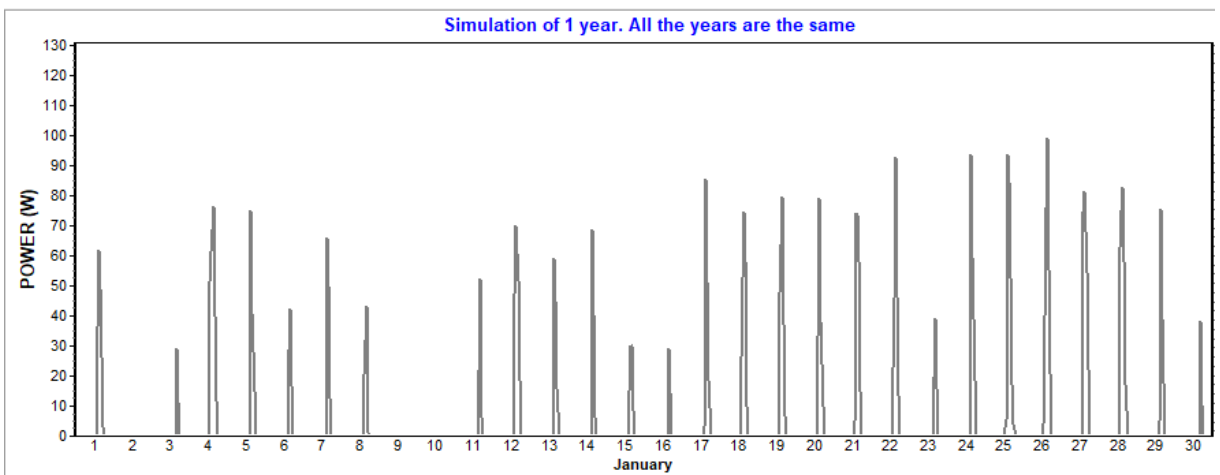


Figura 28 Carga de las baterías en 3 días



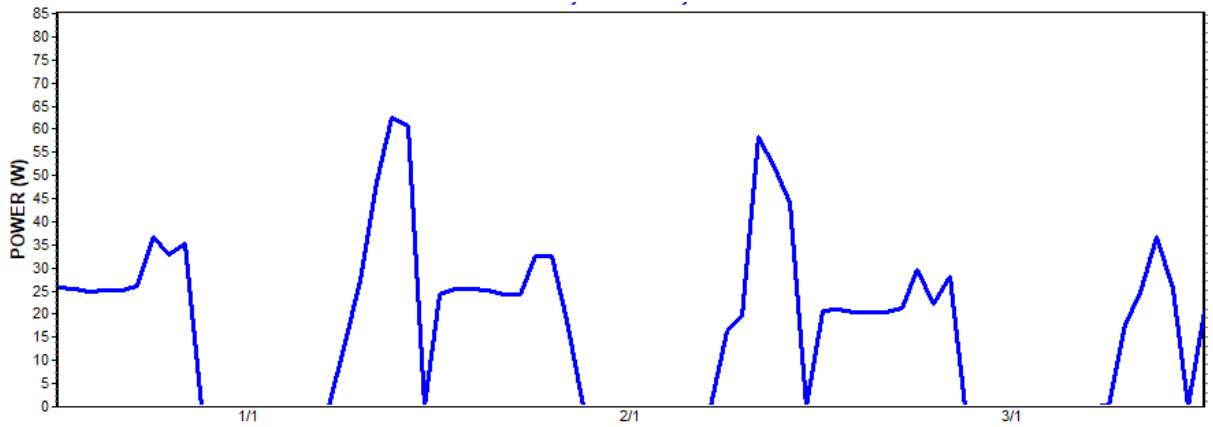


Figura 29 Descarga de las baterías en 3 días

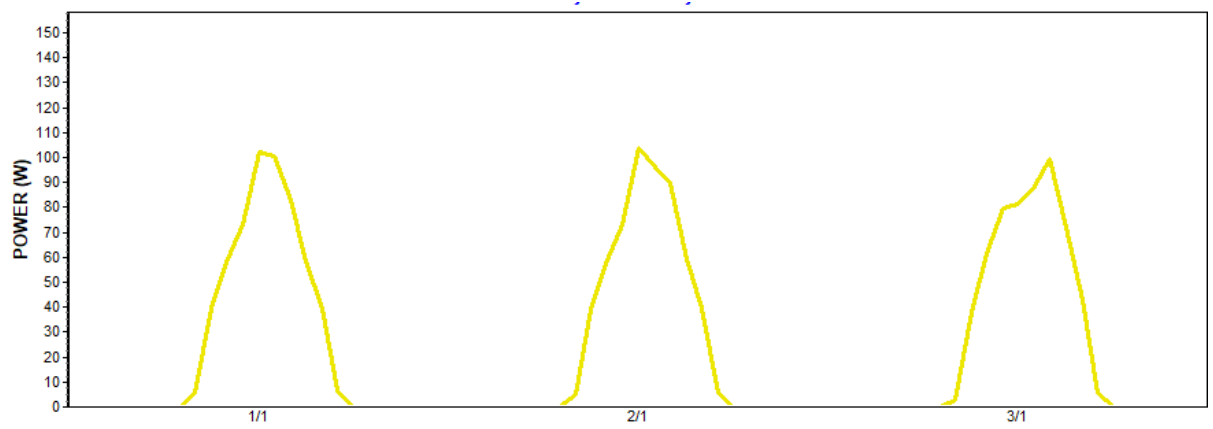


Figura 30 Energía generada por paneles en 3 días

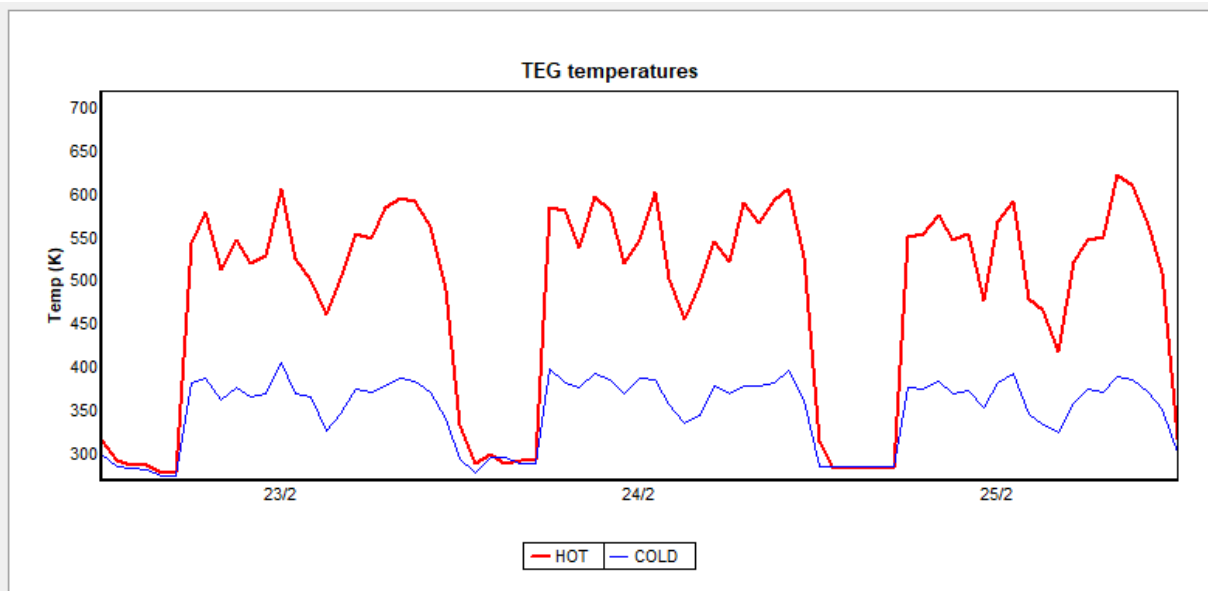


Figura 31 Temperaturas de las caras del TEG

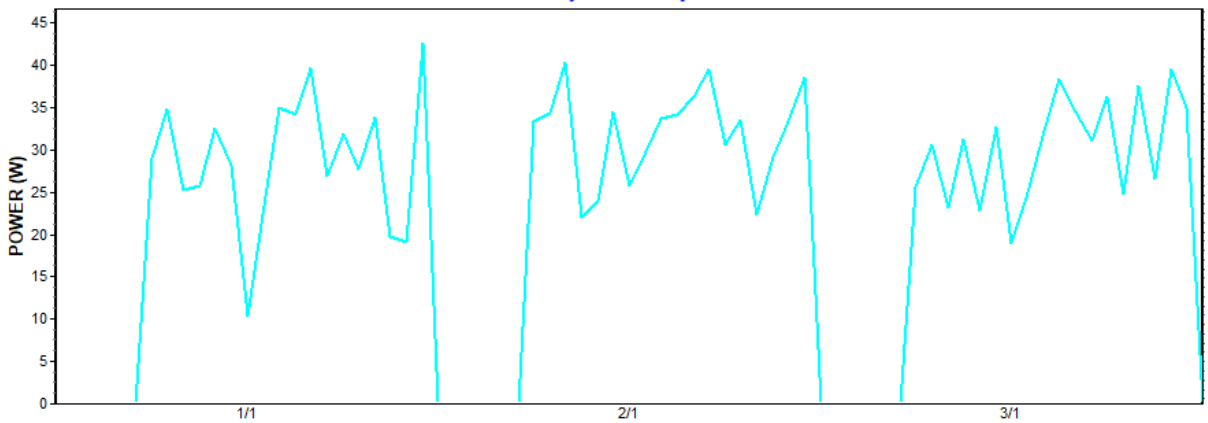


Figura 32 Energía generada TEG en 3 días

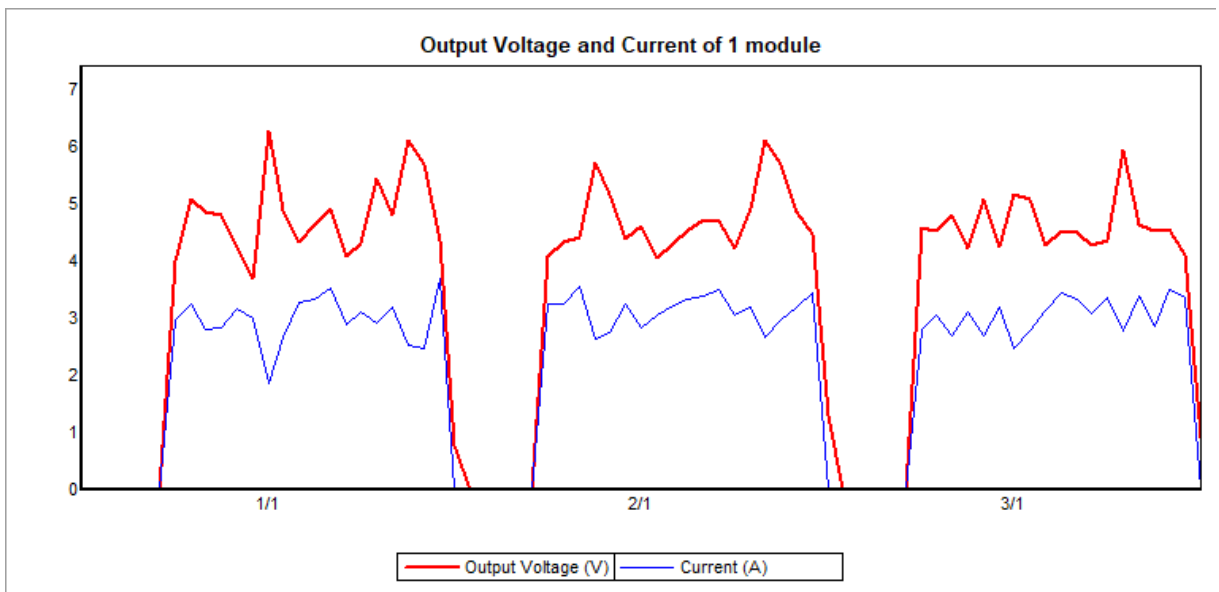


Figura 33 Voltaje e intensidad del TEG en 3 días

### Lanuzo consumo grande

**Project: Consumo casa\_hoga. Generation # 15**

DC Voltage: 12 V. AC Voltage: 230 V

**COMPONENTS**

PV pan. Canadian: CS6U-325 (325 Wp): 1 s. x 13 p. P<sub>Total</sub> = 4,225 kWp, 65° slope

Batt. Trojan12V.27TMX (Cn=97 Ah): 1 s. x 10 p. E<sub>total</sub> = 11,6 kWh (2 d.aut)

Without Wind Turbines

Without TEG

Without AC Generator

Without Fuel Cell

Without Electrolyzer

Inverter STECA: SOLARIX 550X3, rated power 1350 VA

PV Battery charge controller Generic of 158 A

Without battery charger

**CONTROL STRATEGY**

LOAD FOLLOWING. SOC min. batteries = 20 %

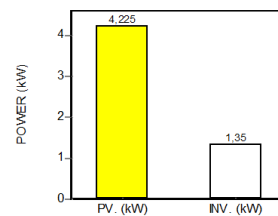
**IF THE POWER PRODUCED BY THE RENEWABLE SOURCES IS HIGHER THAN LOAD. CHARGE**

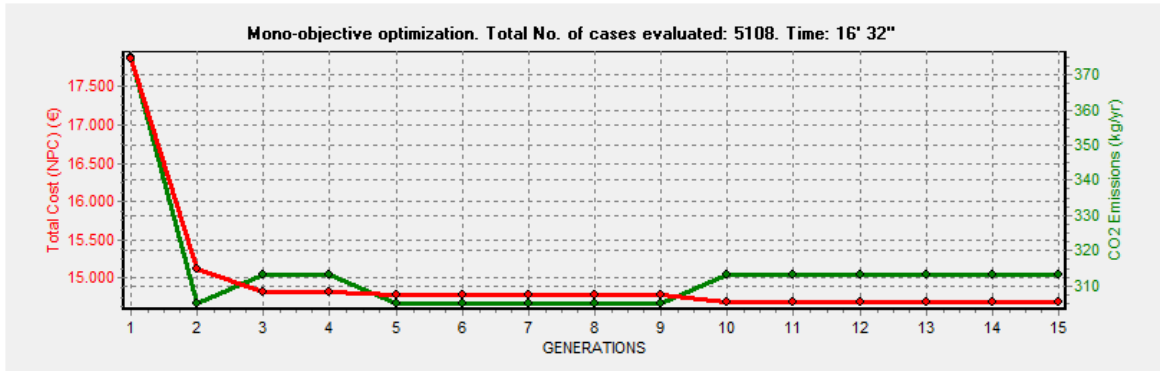
The Batteries are charged with the spare power from renewable

**IF THE POWER PRODUCED BY THE RENEWABLE SOURCES IS LESS THAN LOAD. DISCHARGE**

The whole not supplied power to meet the load must be supplied by the Batteries. If the Batteries cannot supply the whole, the rest will be unmet load.

There is no AC Generator





**Figura 34 Resumen general de resultados**

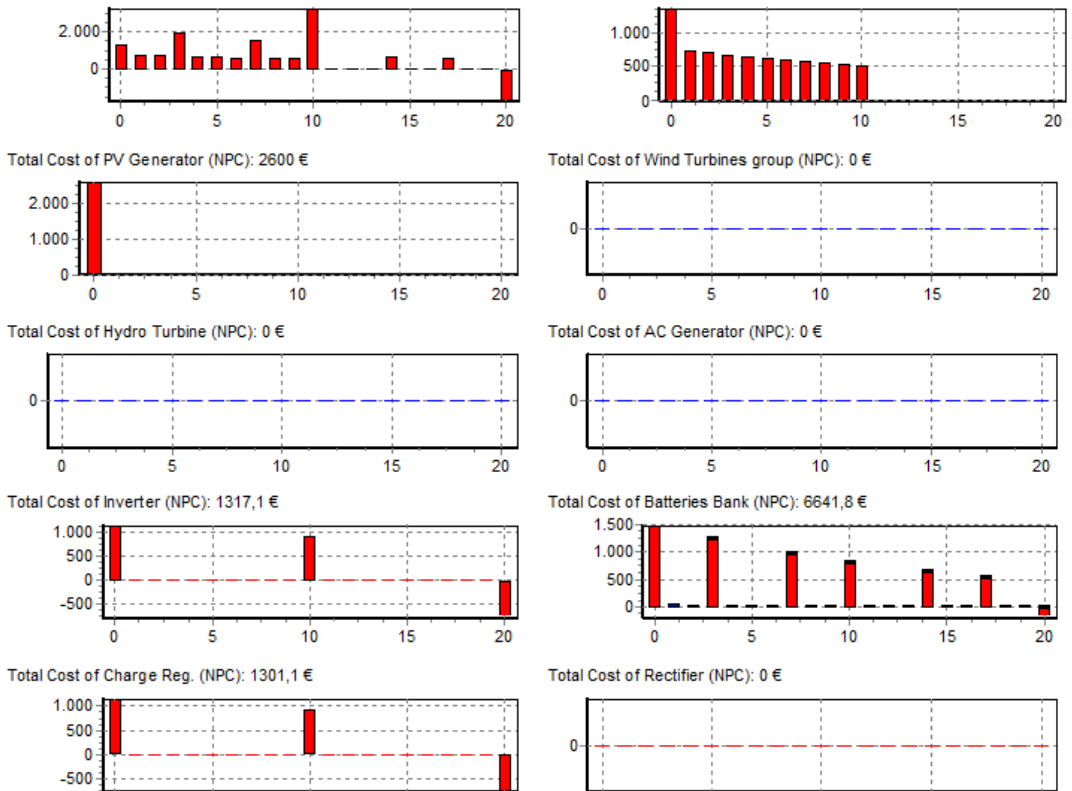
**Project: Consumo casa.hoga. Generation # 14**

**Total Cost (NPC): 14681,9 € (0,52 €/kWh). Initial cost of investment: 6813,7 €. Loan of 80 %, annual quota: 776,1 €.**

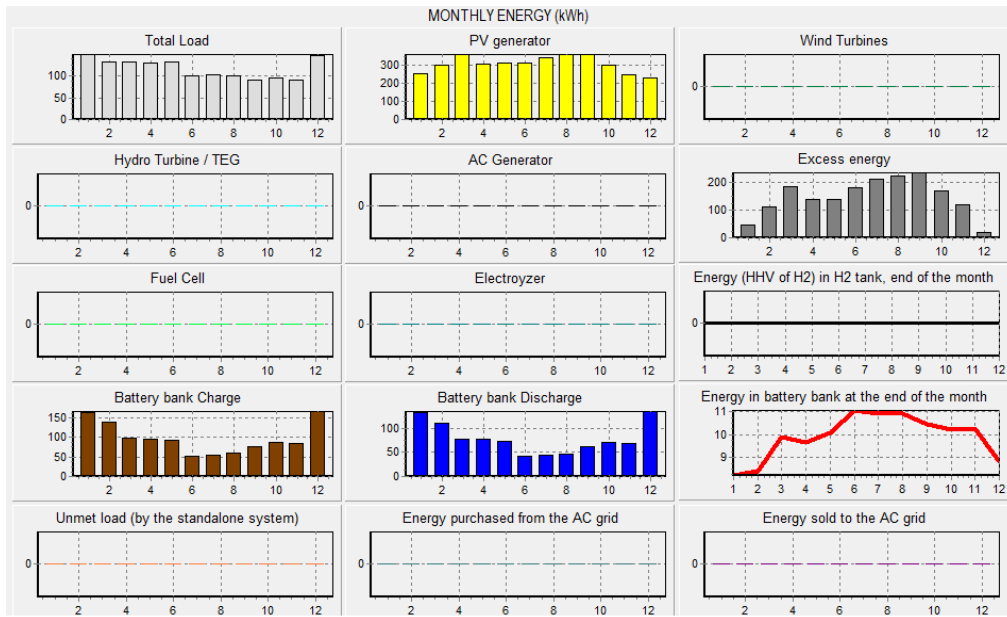
**Distribution of costs (NPC). RED: acquisition costs, replacement costs and incomes for final sale. BLUE: O&M. Currency: €**

**TOTAL COST (NPC): 13131,6 €**

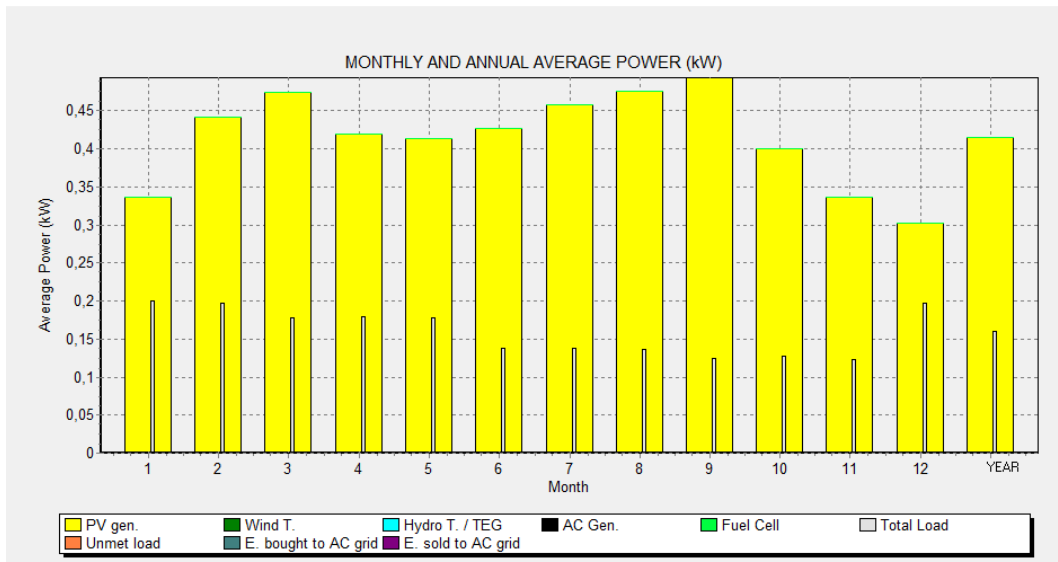
**Financial Cost (NPV): initial payment + annual quotas: 7657,6 €**



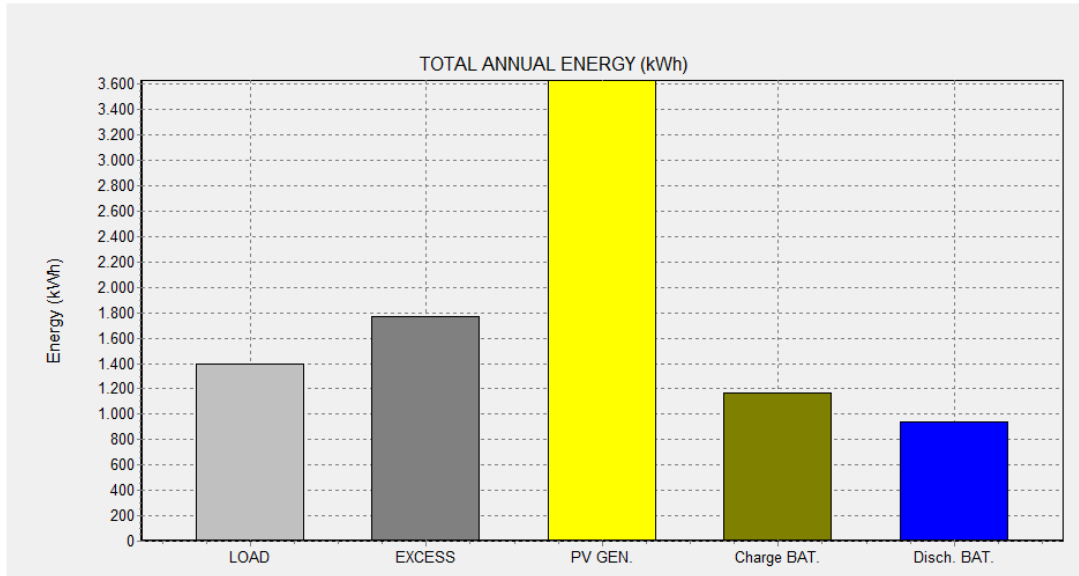
**Figura 35 Gráficas de costes por año**



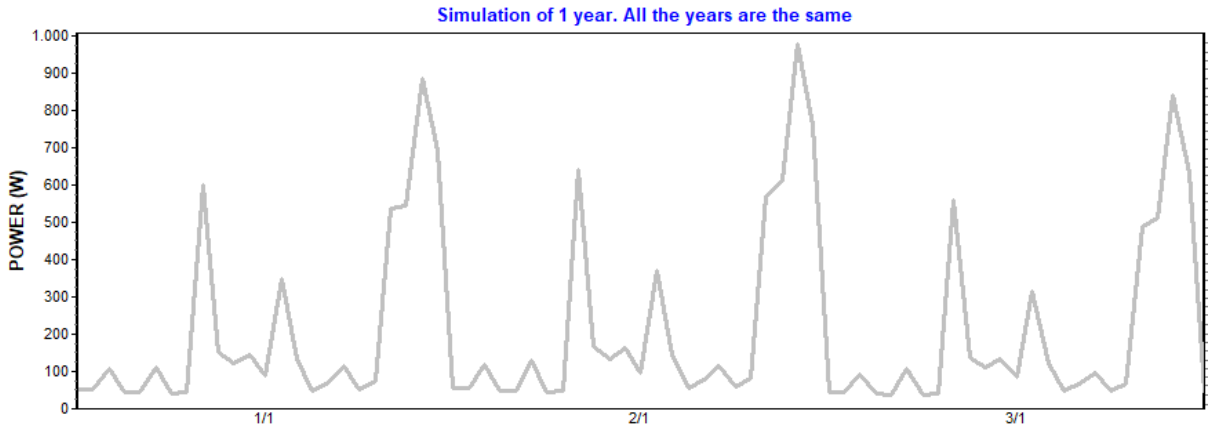
**Figura 36 Energia generada mensualmente**



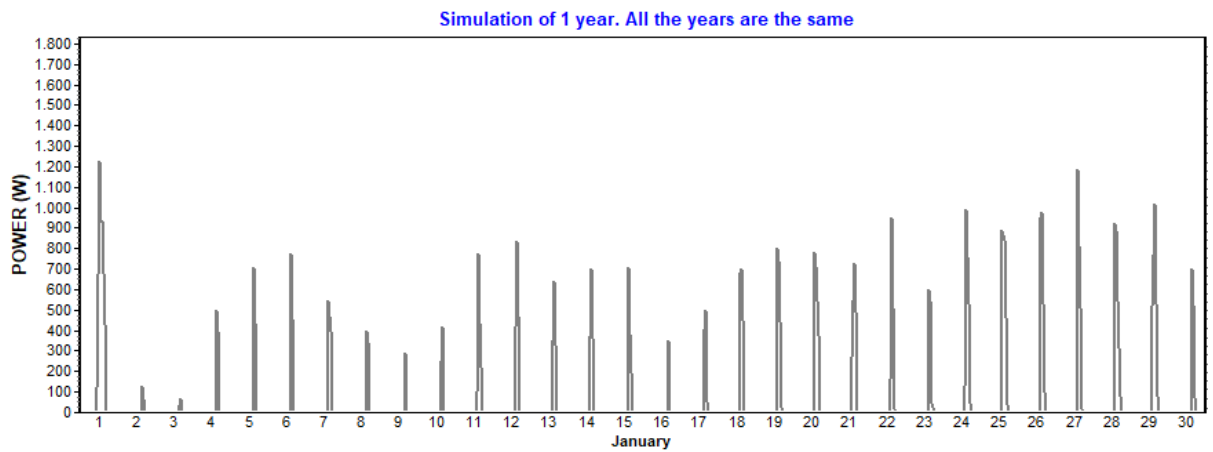
**Figura 37 Potencia media mensual por componente**



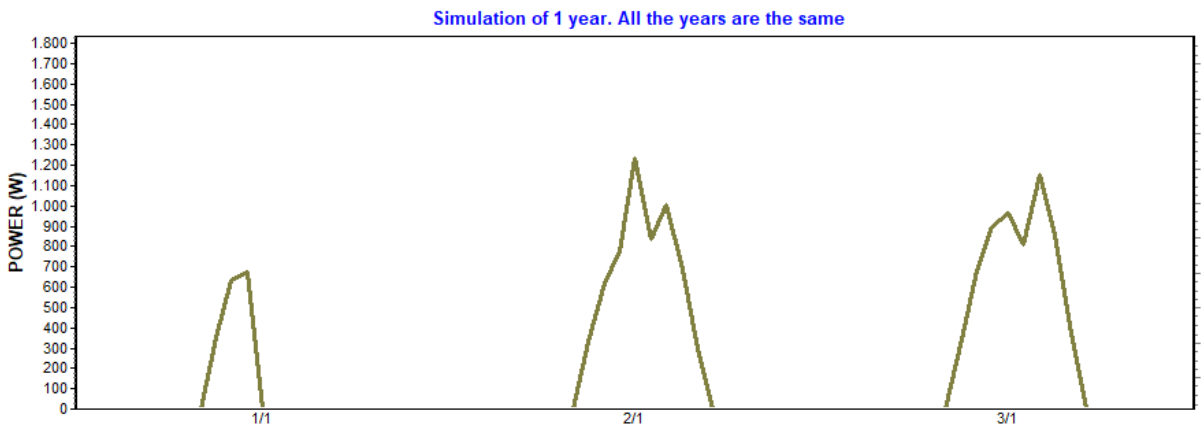
**Figura 38 Energía anual generada**



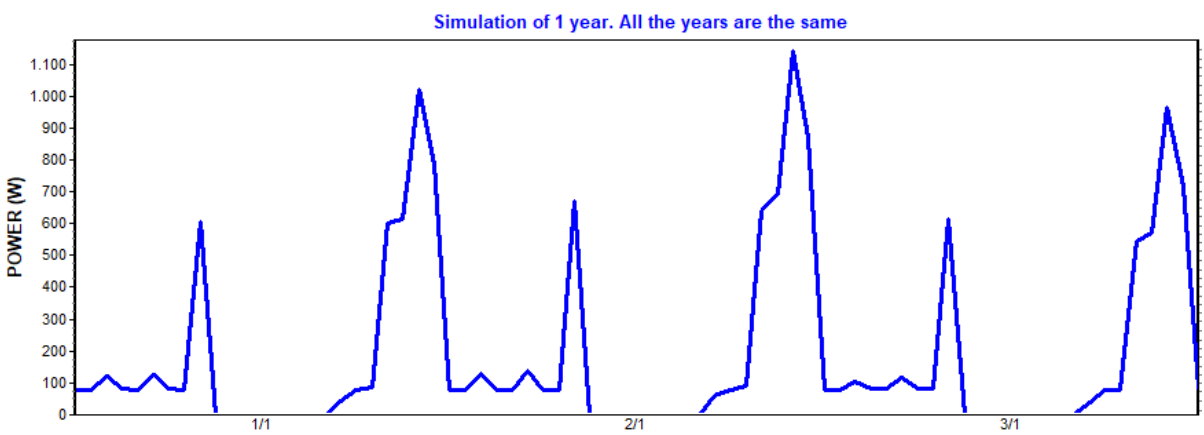
**Figura 39 Consumo eléctrico en 3 días**



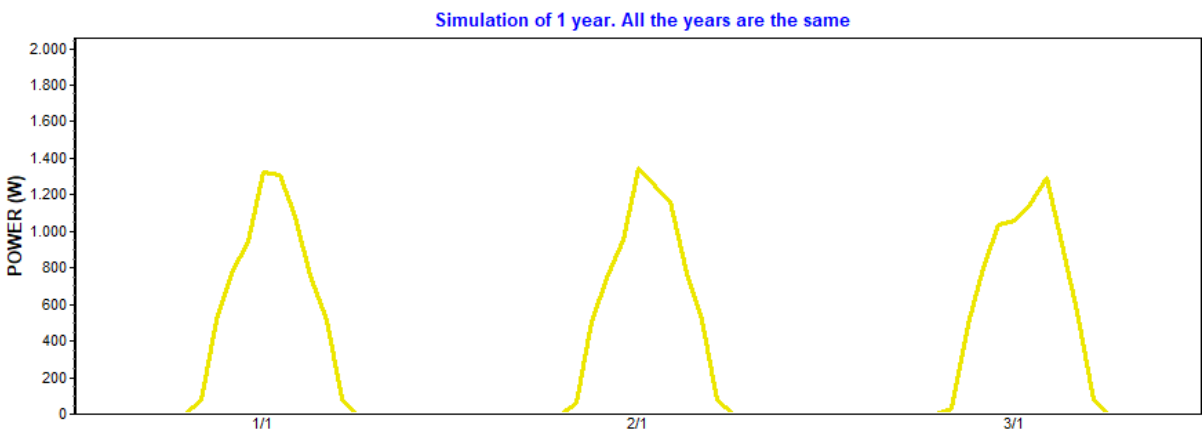
**Figura 40 Exceso de energía en 1 mes**



**Figura 41 Carga de baterías en 3 días**



**Figura 42 Descarga de baterías en 3 días**



**Figura 43 Energía generada por los paneles en 3 días**

# Alaska

## Project: Alaska\_hoga\_Generation # 15

DC Voltage: 12 V. AC Voltage: 230 V

### COMPONENTS

PV pan. Canadian: CS6U-325 (325 Wp): 1 s. x 1 p. P total = 0,325 kWp, 85° slope

Batt. Trojan12V 27TMX (Cn=97 Ah): 1 s. x 2 p. E total = 2,3 kWh (1,9 d.aut)

Without Wind Turbines

TEG TEG 48 of 48 W

1 x AC Gen. Gasoline 0.5kVA of rated power 0,5 kVA

Without Fuel Cell

Without Electrolyzer

Inverter Generic: 350, rated power 350 VA

PV Battery charge controller STECA: TAROM 440 of 40 A

Battery charger (AC/DC converter) of 500 W

### CONTROL STRATEGY

LOAD FOLLOWING. SOC min. batteries = 20 %

**IF THE POWER PRODUCED BY THE RENEWABLE SOURCES IS HIGHER THAN LOAD: CHARGE**

The Batteries are charged with the spare power from renewable

**IF THE POWER PRODUCED BY THE RENEWABLE SOURCES IS LESS THAN LOAD: DISCHARGE**

The power not supplied to meet the load will be supplied by the Batteries (if they cannot supply the whole, the rest will be supplied by the AC Generator).

P<sub>gen</sub> = INF W

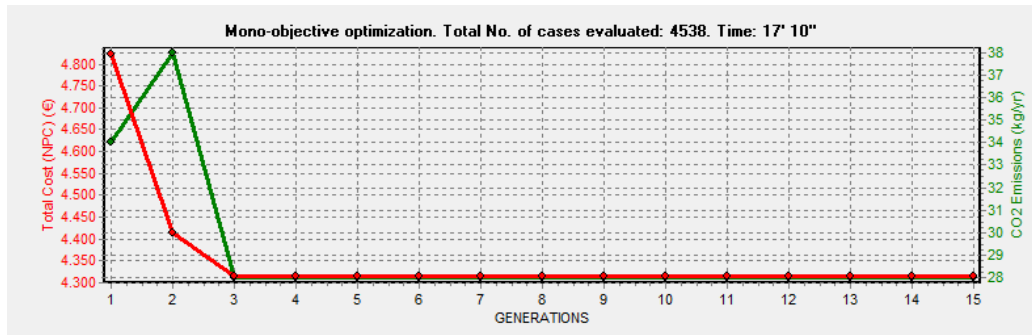
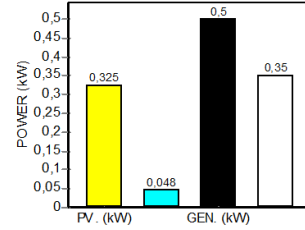
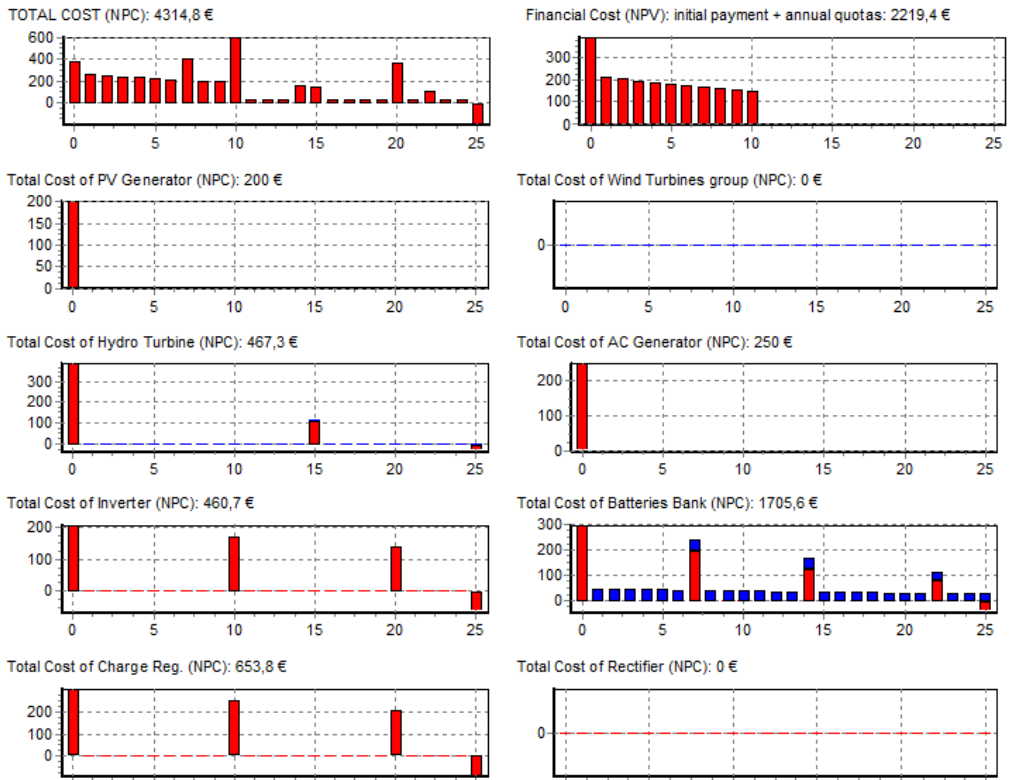


Figura 44 Resumen general de resultados

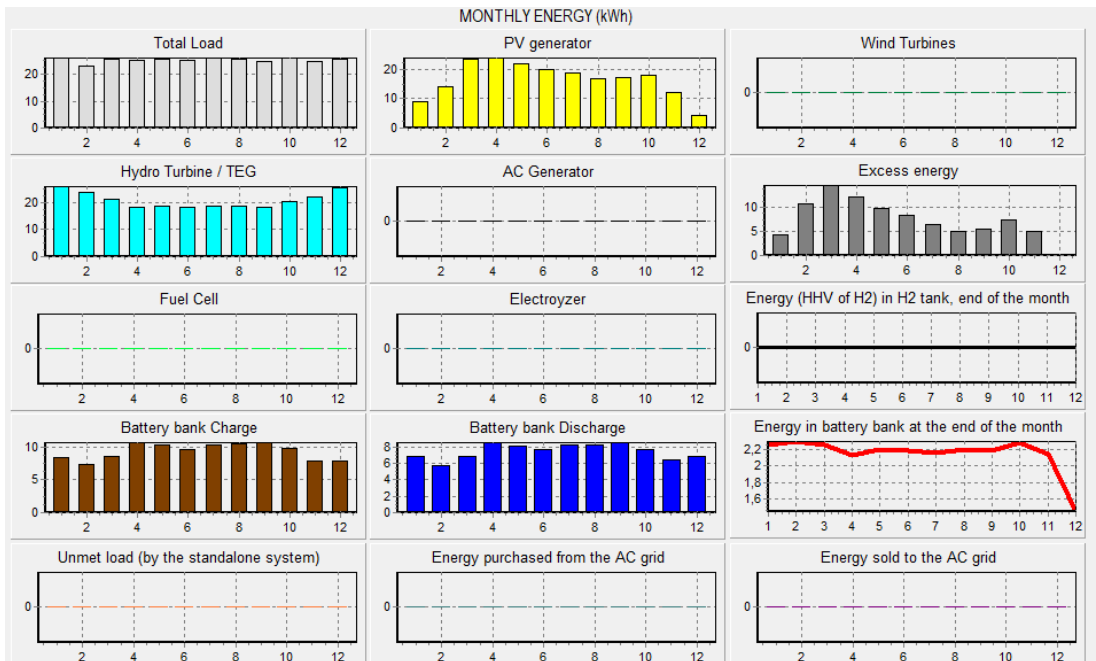
**Project: Alaska.hoga. Generation # 15**

**Total Cost (NPC): 4314,8 € (0,57 €/kWh). Initial cost of investment: 1974,8 €. Loan of 80 %, annual quota: 224,9 €.**

**Distribution of costs (NPC). RED: acquisition costs, replacement costs and incomes for final sale. BLUE: O&M. Currency: €**



**Figura 45 Gráficas de costes por año**



**Figura 46 Energía generada mensualmente**



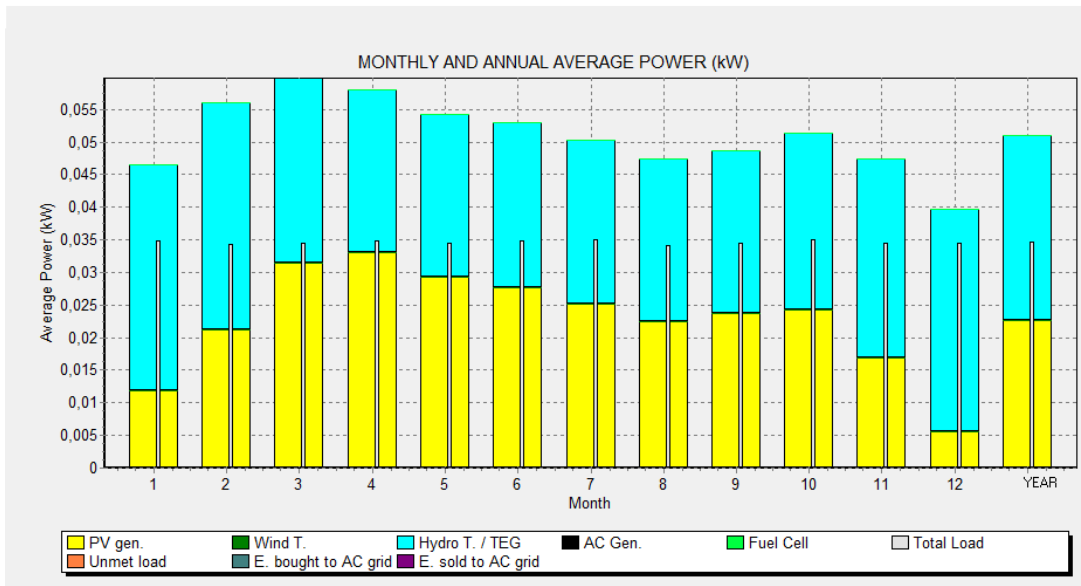


Figura 47 Potencia media mensual por componente

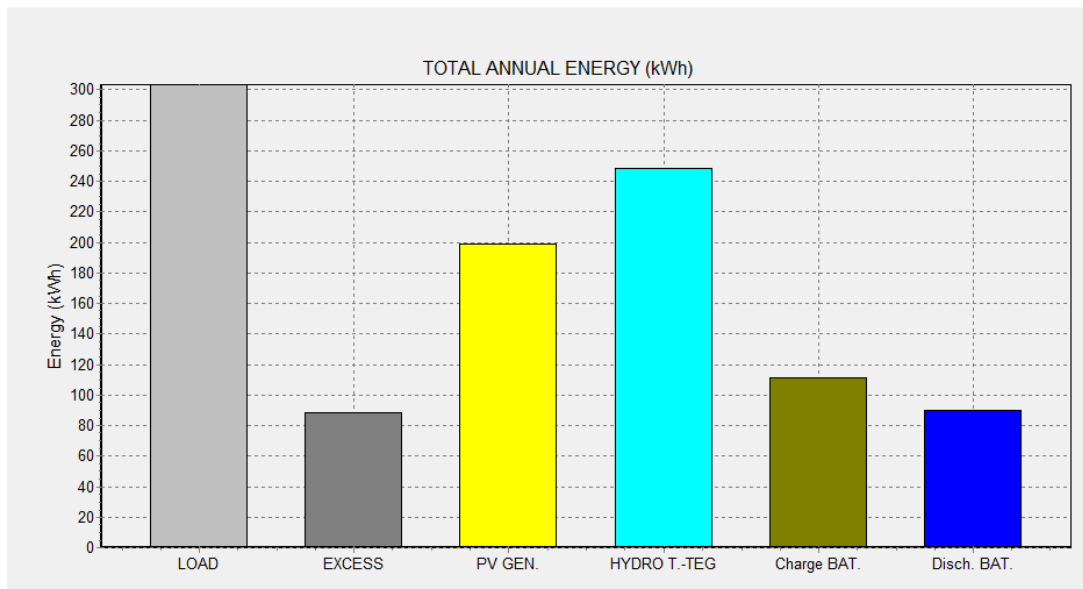


Figura 48 Energía generada anual

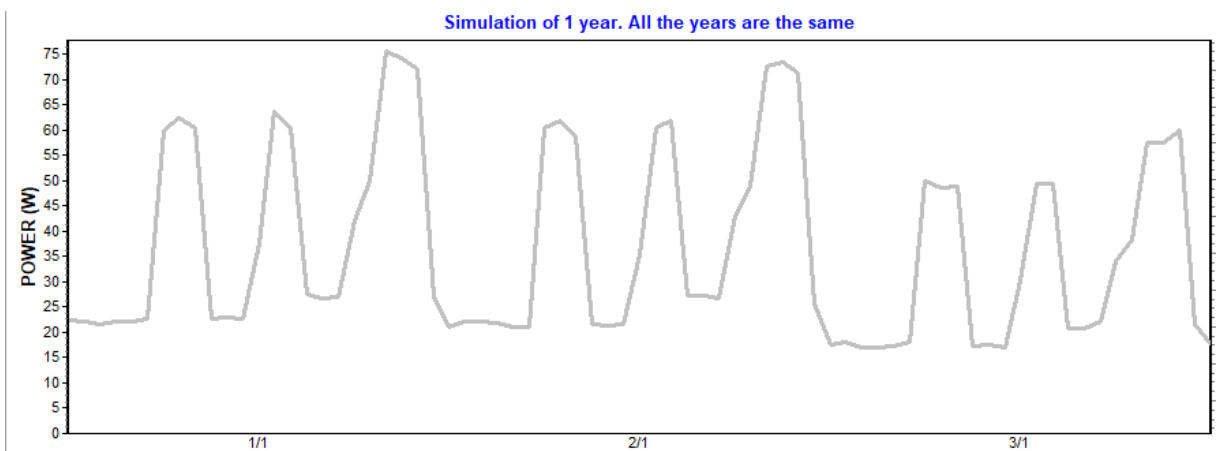
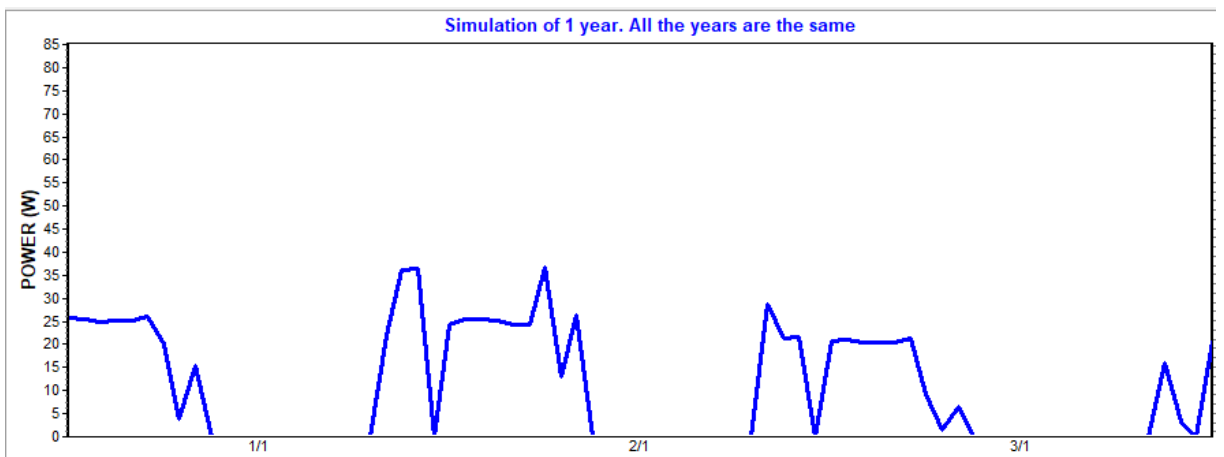
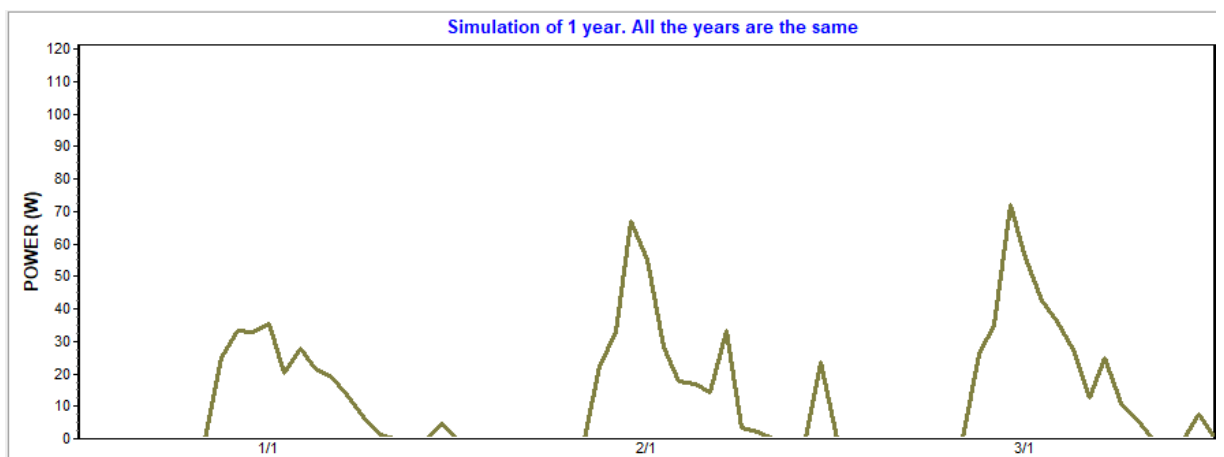
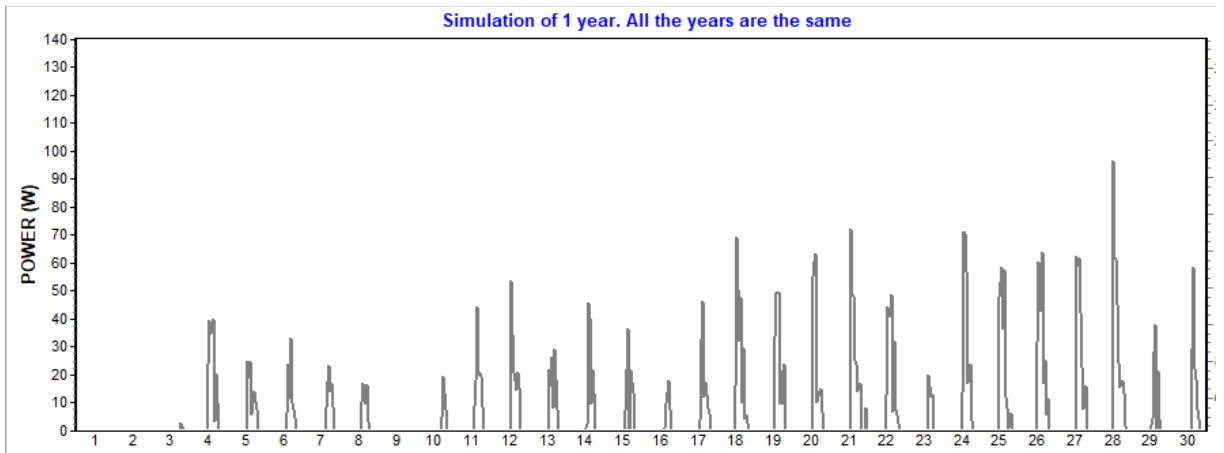
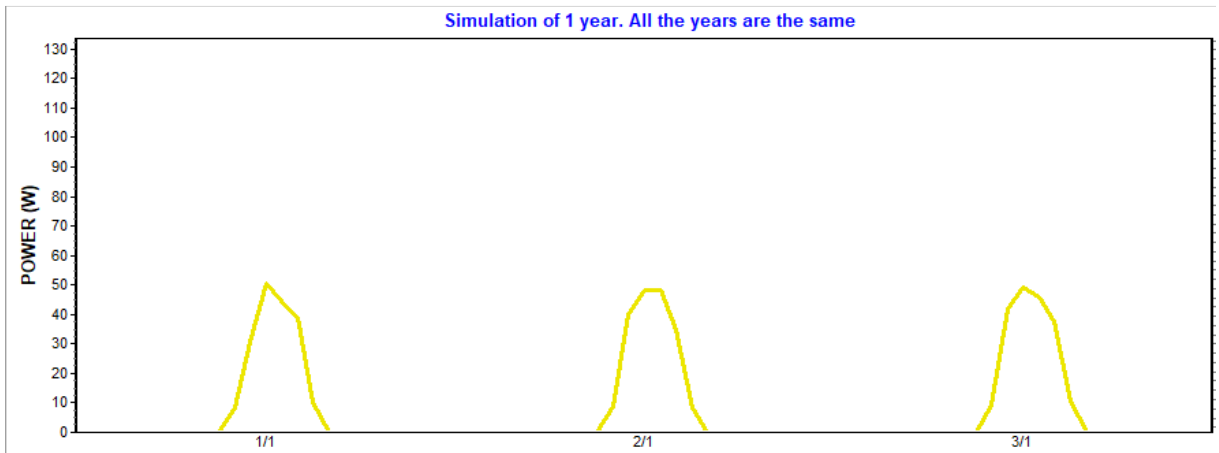
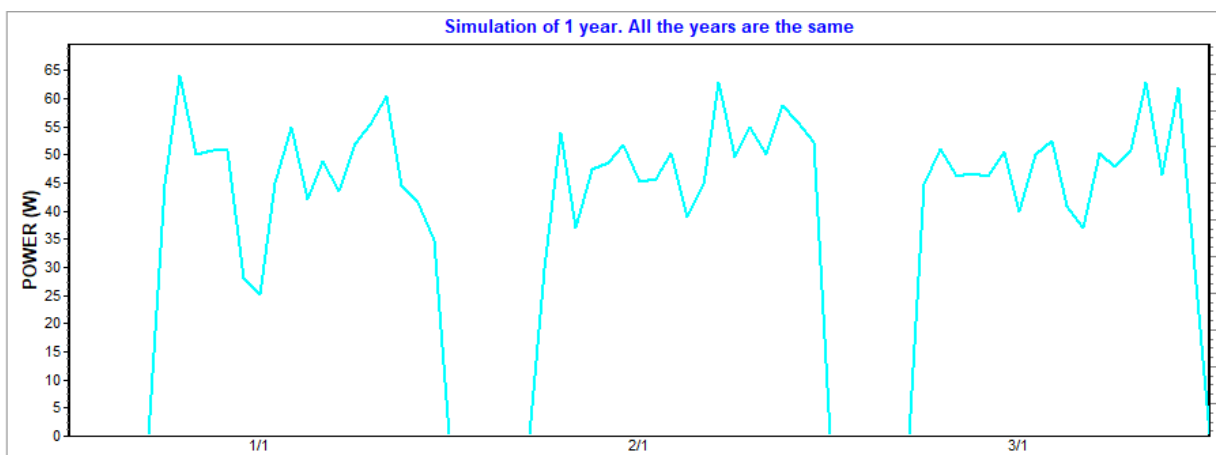


Figura 49 Consumo eléctrico en 3 días

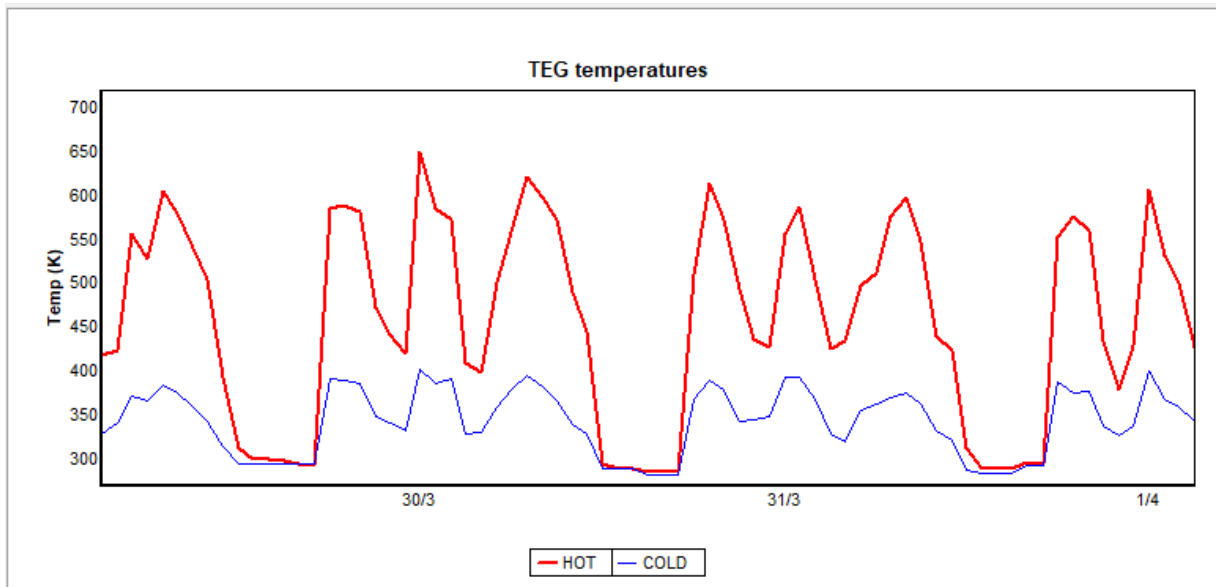




**Figura 53 Energía generada por los paneles en 3 días**



**Figura 54 Energía generada por el TEG en 3 días**



**Figura 55 Temperaturas de las caras del TEG en 3 días**

Output Voltage and Current of 1 module

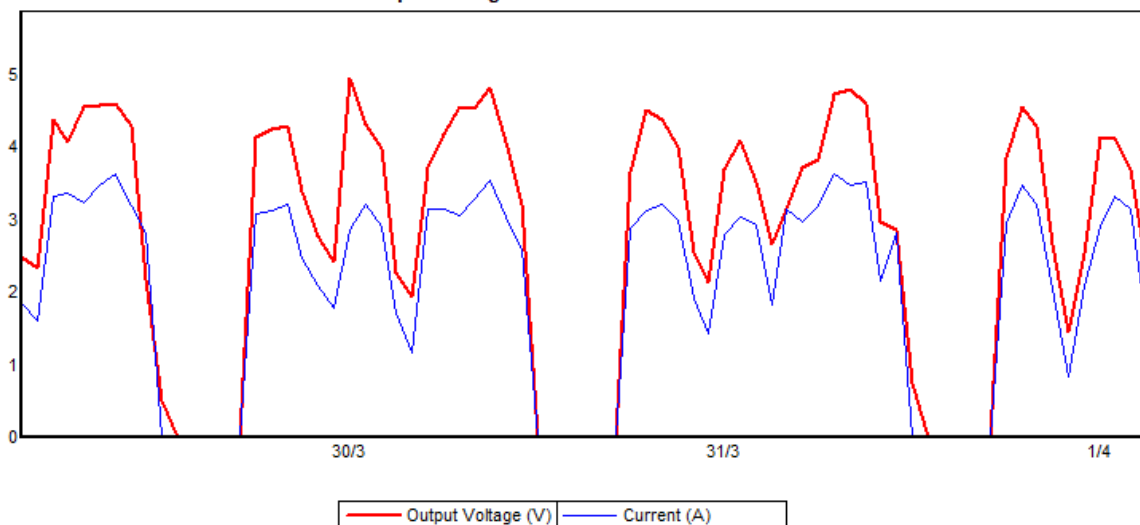


Figura 56 Voltaje e intensidad del TEG en 3 días

## Camboya

### Project: Camboya.hoga. Generation # 15

DC Voltage: 12 V. AC Voltage: 230 V

#### COMPONENTS

PV pan. Canadian: CS6U-325 (325 Wp): 1 s. x 2 p. P total = 0,65 kWp, 5° slope

Batt. Trojan12V-27TMX (Cn=97 Ah): 1 s. x 3 p. E total = 3,4 kWh (2,8 d.aut)

Without Wind Turbines

TEG TEG 16 of 16 W

Without AC Generator

Without Fuel Cell

Without Electrolyzer

Inverter Generic: 350, rated power 350 VA

PV Battery charge controller STECA: TAROM 440 of 40 A

Without battery charger

#### CONTROL STRATEGY

LOAD FOLLOWING: SOC min. batteries = 20 %

**IF THE POWER PRODUCED BY THE RENEWABLE SOURCES IS HIGHER THAN LOAD: CHARGE**

The Batteries are charged with the spare power from renewable

**IF THE POWER PRODUCED BY THE RENEWABLE SOURCES IS LESS THAN LOAD: DISCHARGE**

The whole not supplied power to meet the load must be supplied by the Batteries. If the Batteries cannot supply the whole, the rest will be unmet load.

There is no AC Generator

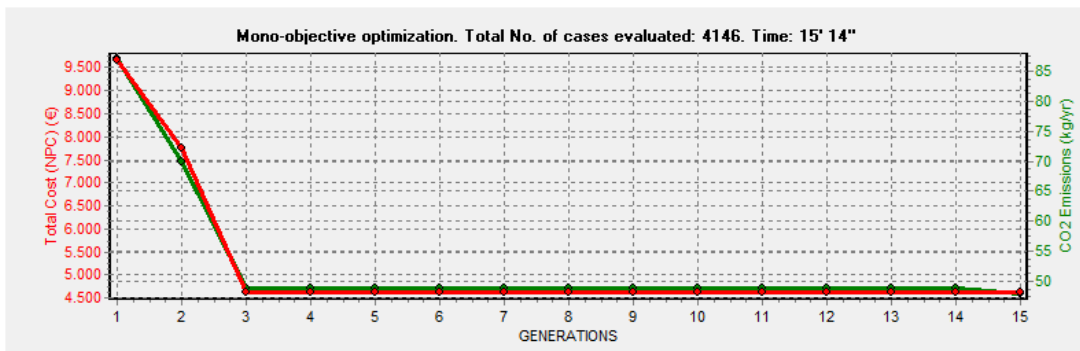
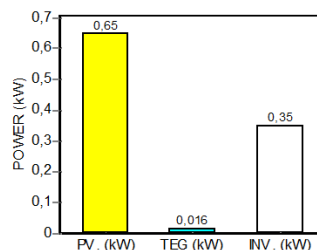
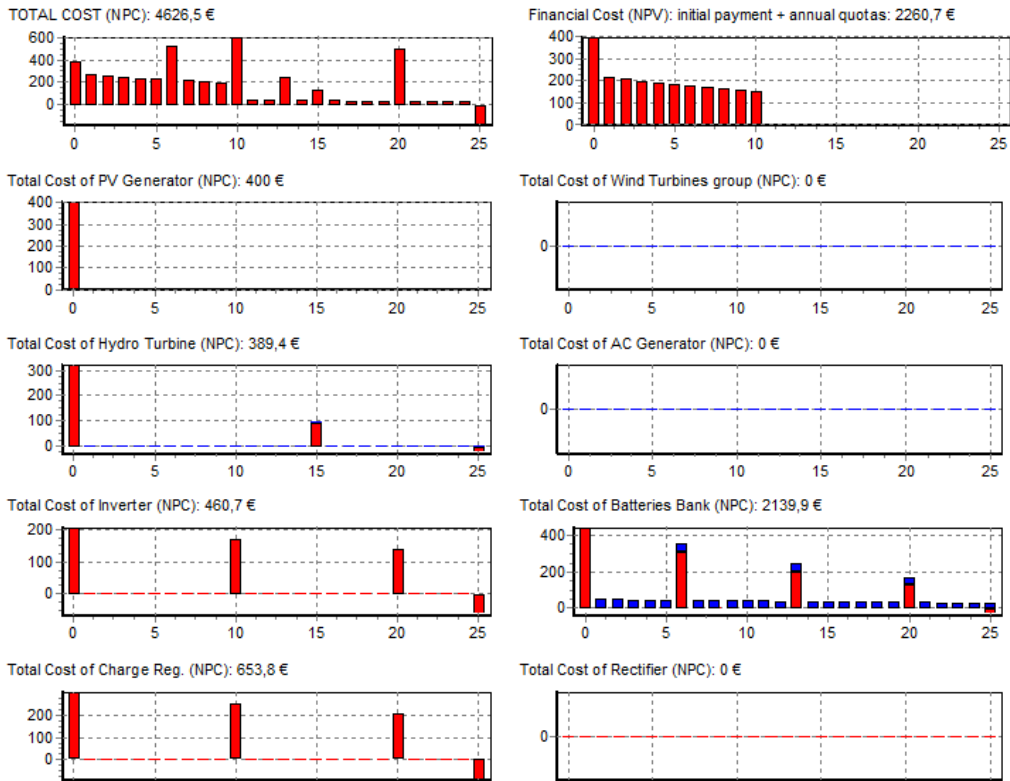


Figura 57 Resumen general de resultados

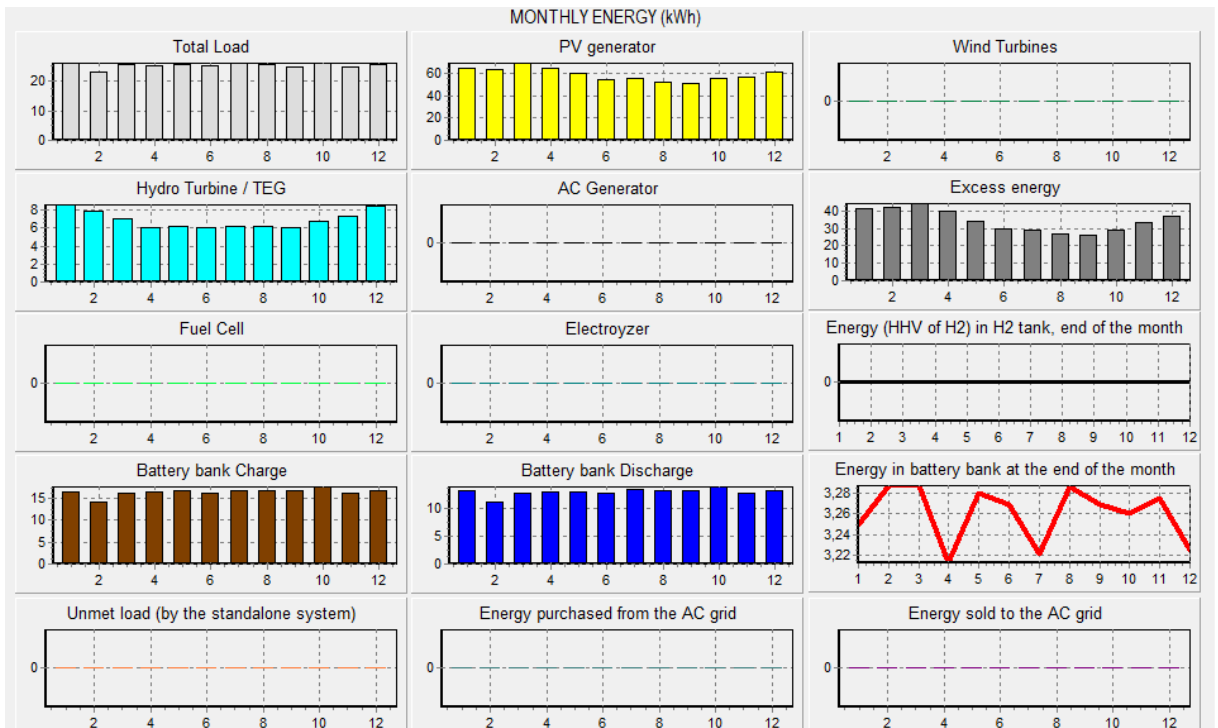
**Project: Camboya.hoga. Generation # 15**

**Total Cost (NPC): 4626,5 € (0,61 €/kWh). Initial cost of investment: 2011,6 €. Loan of 80 %, annual quota: 229,1 €.**

**Distribution of costs (NPC). RED: acquisition costs, replacement costs and incomes for final sale. BLUE: O&M. Currency: €**



**Figura 58 Gráfica de costes por año**



**Figura 59 Energía generada mensualmente**

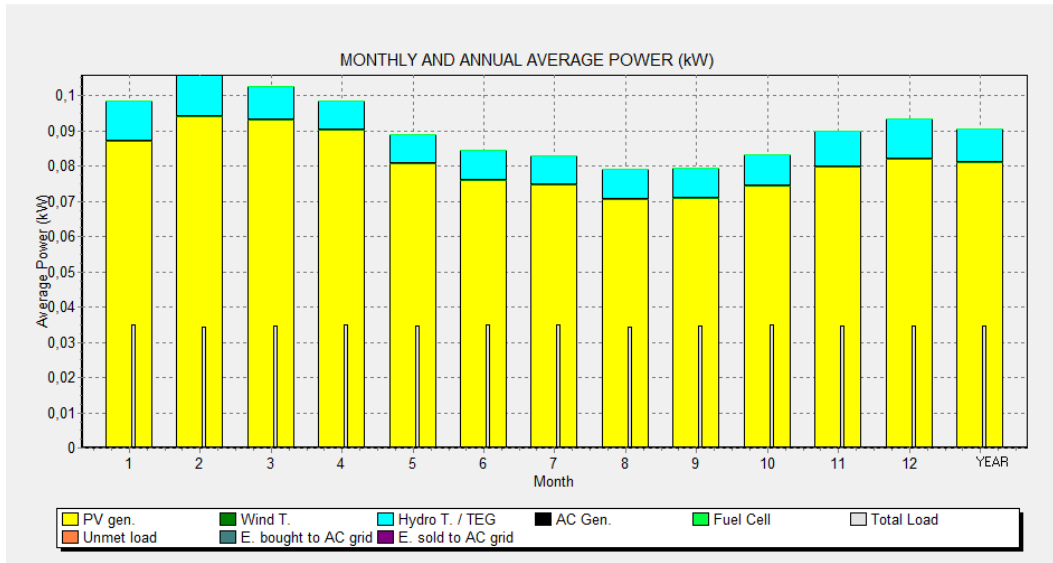


Figura 60 Potencia media mensual por componente

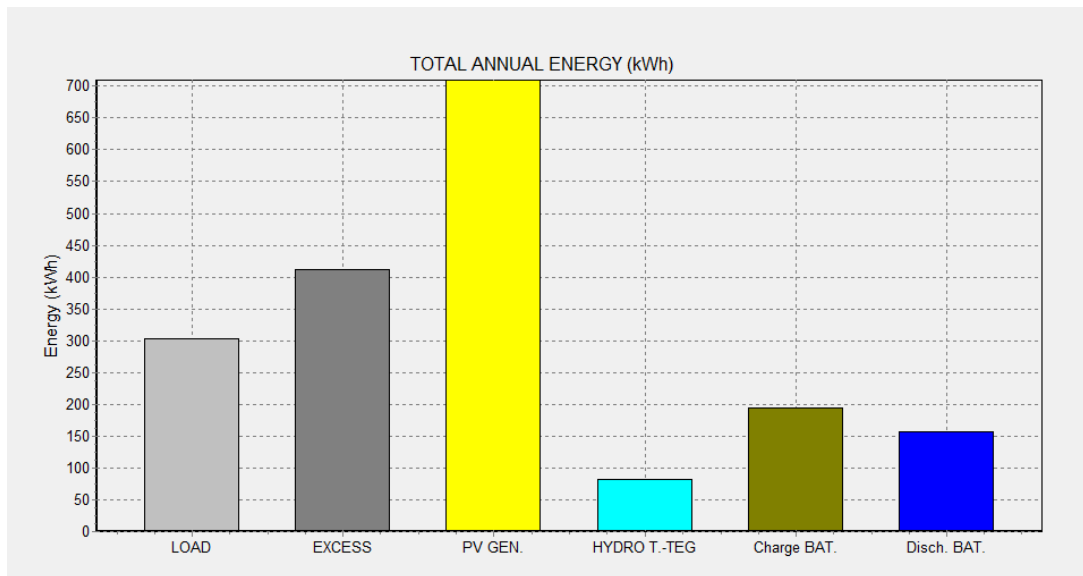


Figura 61 Energía generada anual

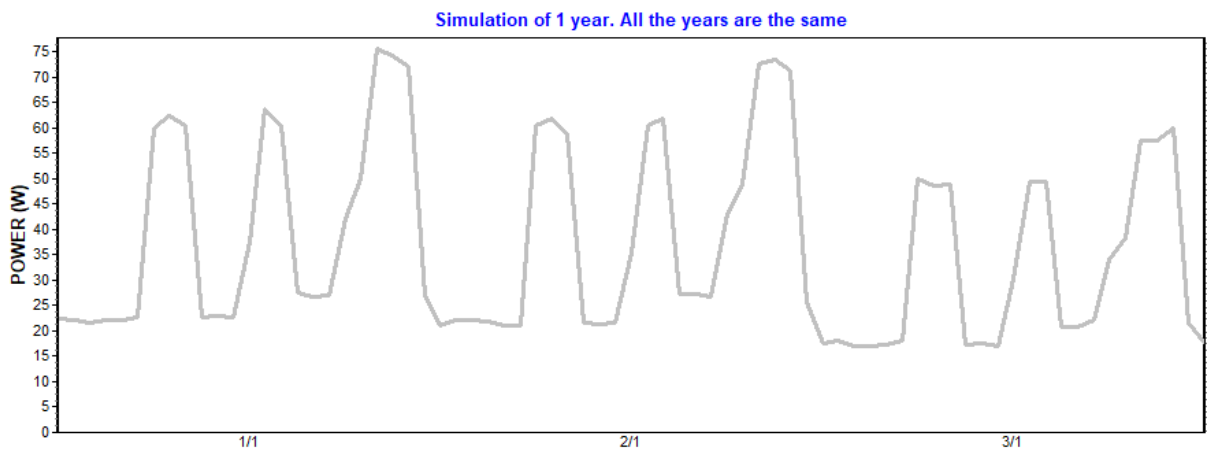
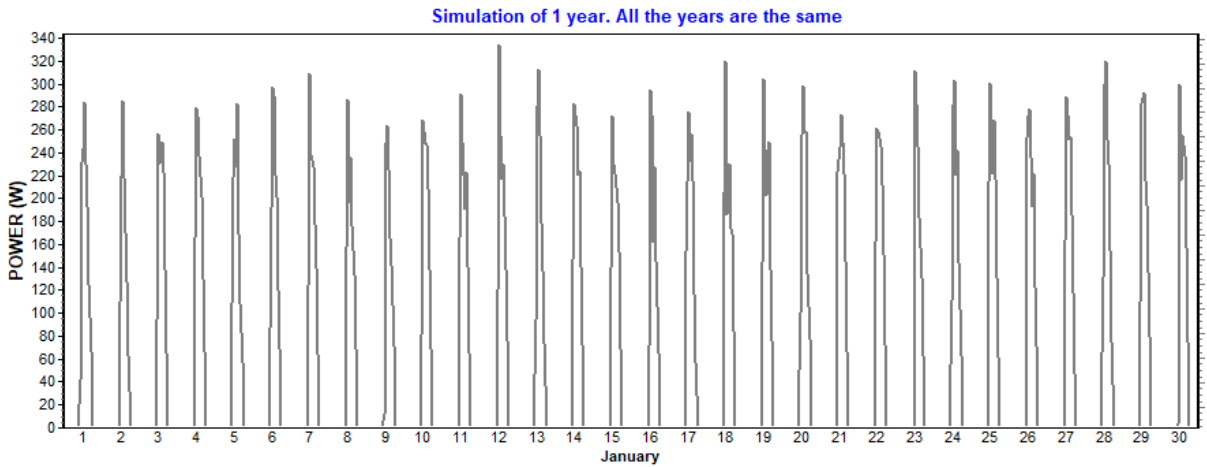
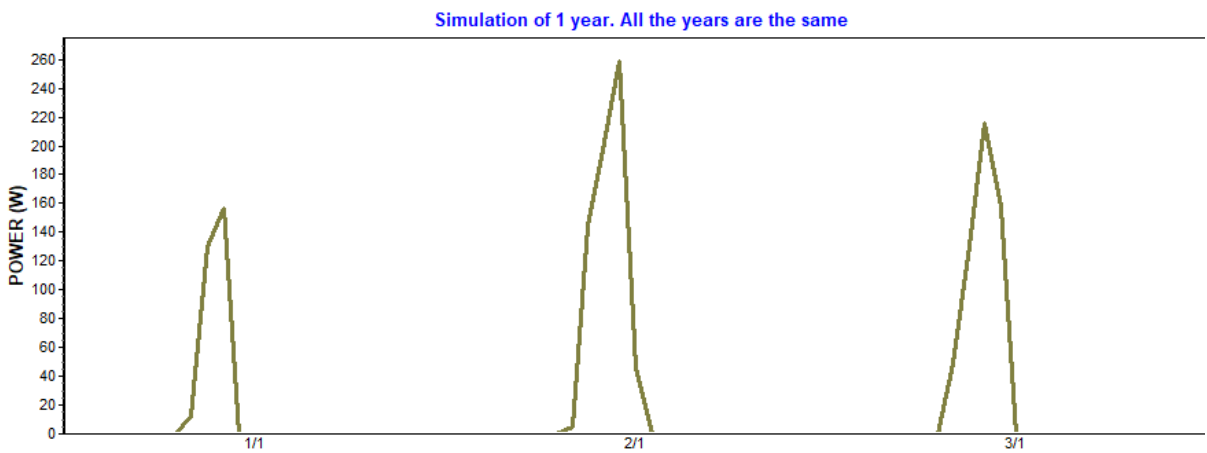


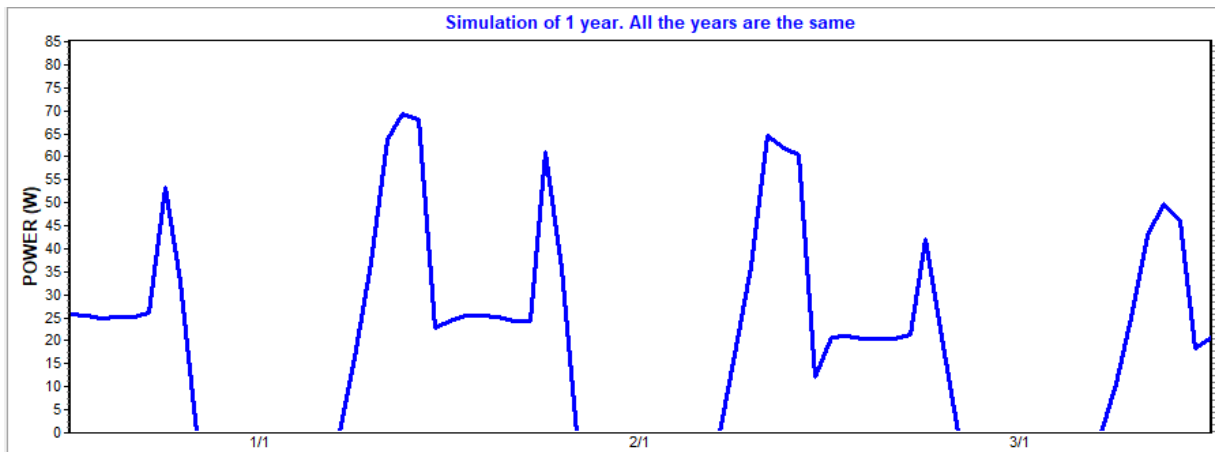
Figura 62 Consumo eléctrico en 3 días



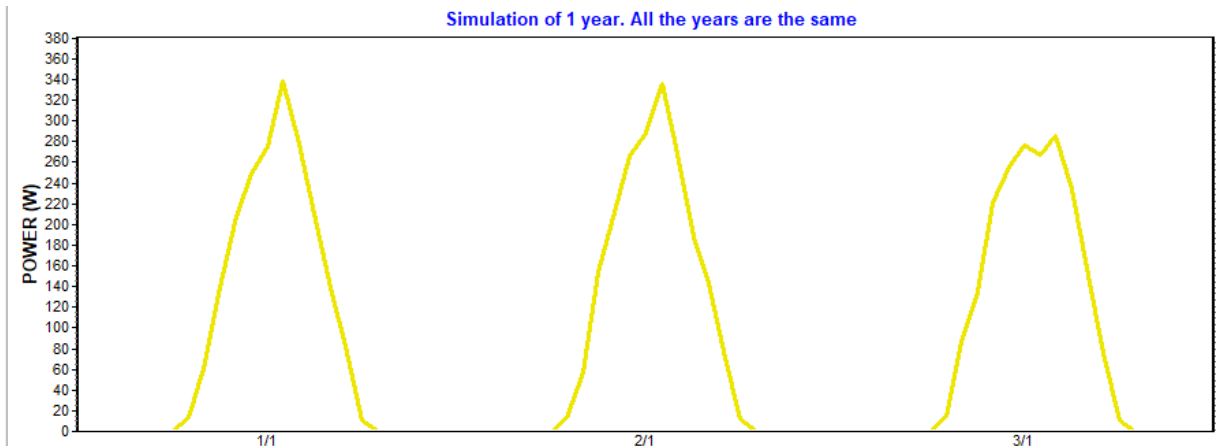
**Figura 63 Exceso de energía en 1 mes**



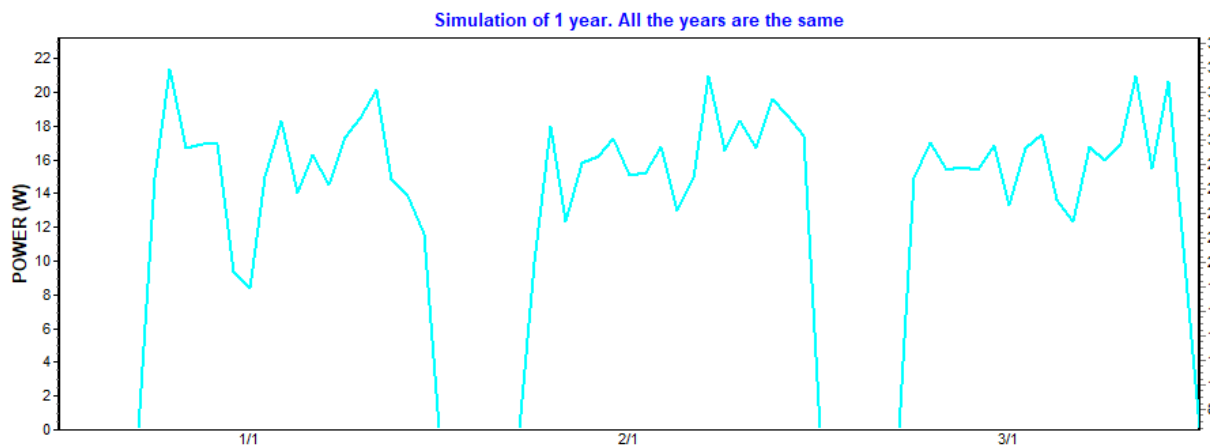
**Figura 64 Carga de las baterías en 3 días**



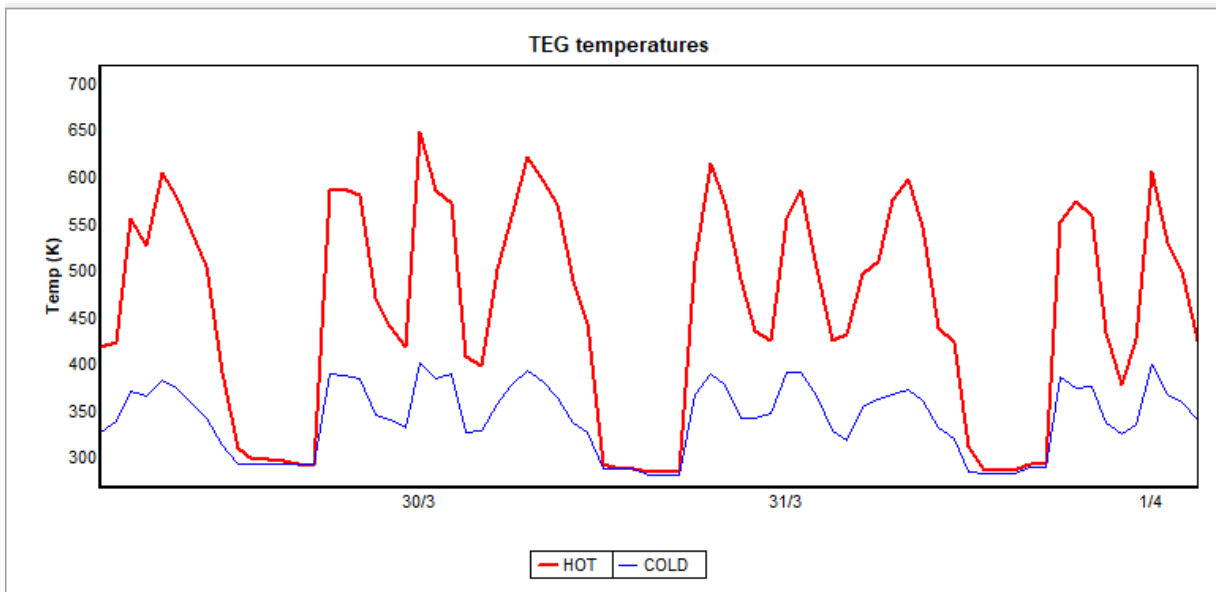
**Figura 65 Descarga de las baterías en 3 días**



**Figura 66 Energía generada por los paneles en 3 días**

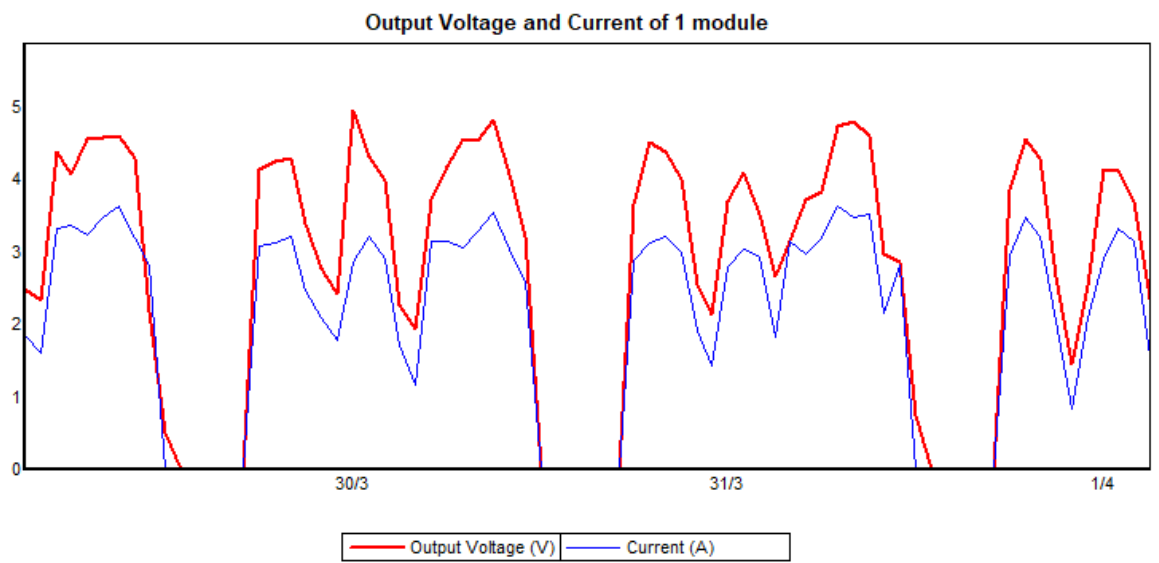


**Figura 67 Energía generada por el TEG en 3 días**



**Figura 68 Temperatura de las caras del TEG en 3 días**





**Figura 69 Voltaje e intensidad del TEG en 3 días**

## **ANEXO III FICHAS TÉCNICAS**

En este apartado se muestran las fichas técnicas de los módulos termoeléctricos comerciales presentados en el apartado 5.

**TEP1-1263-3.4**

**PBTAGS-200.004A**

**HP-199-1.4-0.8**

**HZ-20HB**

**TG12-8**

## Specification of Thermoelectric Module

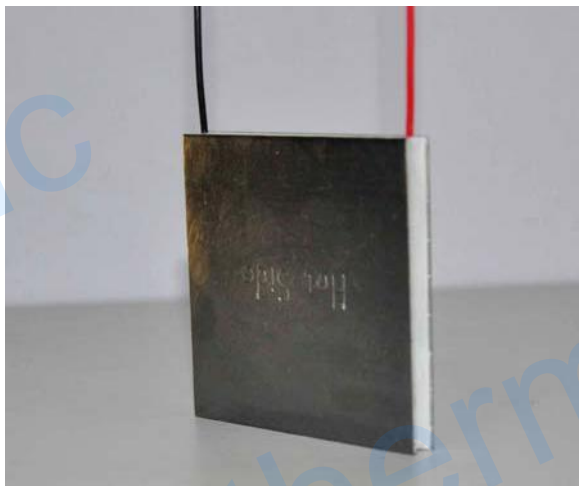
### TEP1-1263-3.4

### Description

The power module is designed and manufactured by our unique technology for converting heat source directly into electricity. The module is Bi-Te based thermoelectric module that can work at the temperature of as high as 330 °C (626 °F) heat source continuously and up to 400 °C (752 °F) intermittently. The thermoelectric module will generate DC electricity as long as there is a temperature difference across the module. The more power will be generated when the temperature difference across the module becomes larger, and the efficiency of converting heat energy into electricity will increase therefore. The module is stuck with the high thermal conductivity graphite sheet on its both sides of the ceramic plates to provide low contact thermal resistance, hence you do not need to apply thermal grease or other heat transfer compound when you install the module. The graphite sheet can work well in extremely high temperature .

### Patent NO.: ZL 2010 1 0193517.9

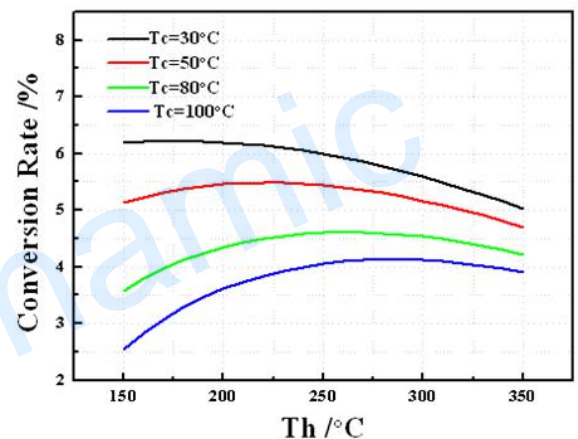
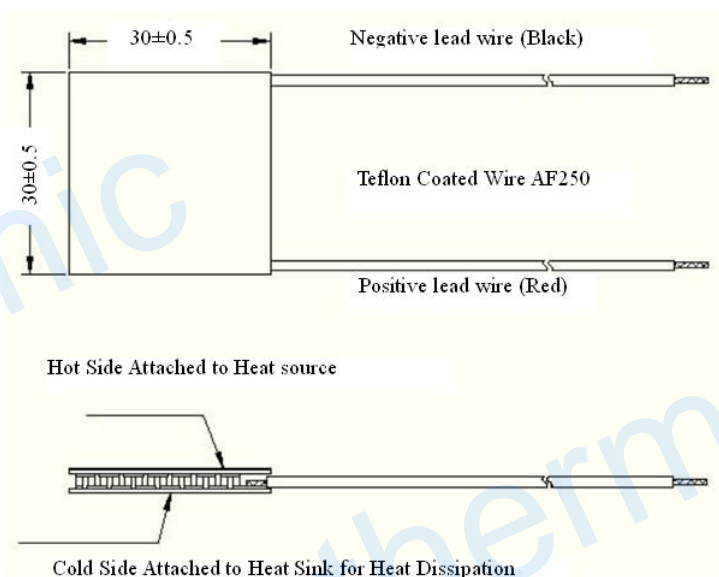
### Specification of the Module



Hot Side Temperature (°C)	300
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	10.8
Matched Load Resistance (ohms)	5.4
Matched load output voltage (V)	5.4
Matched load output current (A)	1.0
Matched load output power (W)	5.4
Heat flow across the module(W)	≈ 96
Heat flow density (W cm <sup>-2</sup> )	≈ 10.7
AC Resistance(ohms) Measured under 27 °C at 1000 Hz	2.8 ~ 4.2

### Geometric Characteristics Dimensions in millimeter

### Conversion Rate of the modules Vs Th under various Tc



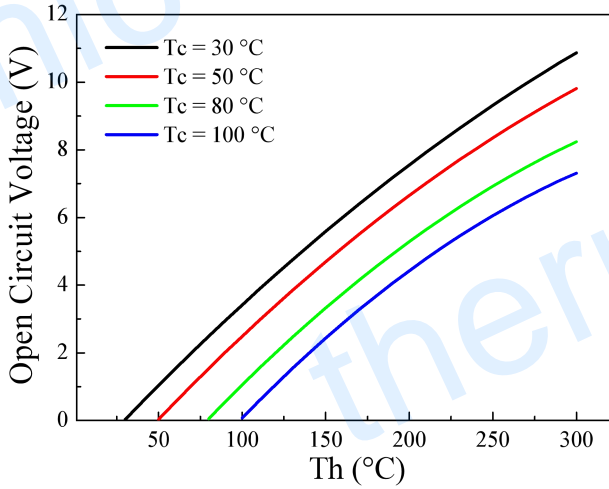
**Noted:** Conversion rate = Matched load output power/Heat flow through the module

Creative technology with fine manufacturing processes provides you the reliable and quality products.

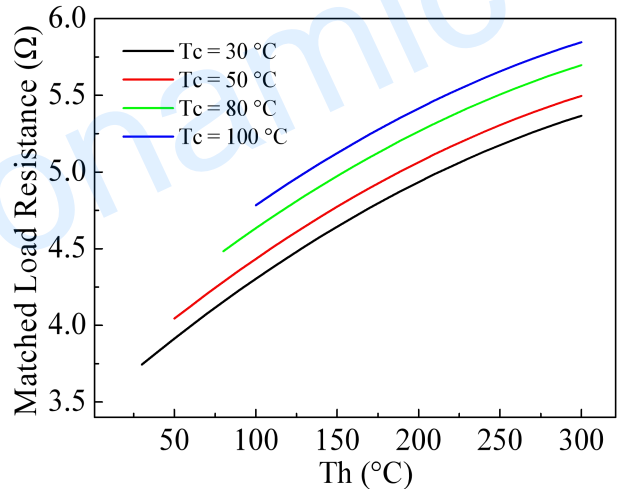
Tel: +86-791-88198288 Fax: +86-791-88198308 Email: [sales@thermonamic.com.cn](mailto:sales@thermonamic.com.cn) Web Site: [www.thermonamic.com.cn](http://www.thermonamic.com.cn)

## Performance Curves of the Module

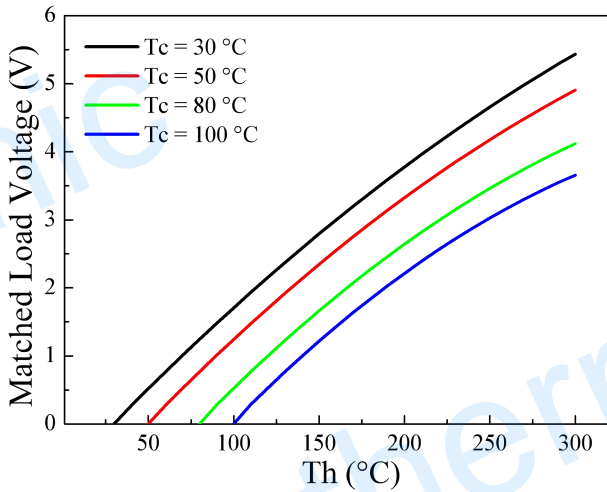
### TEP1-1263-3.4



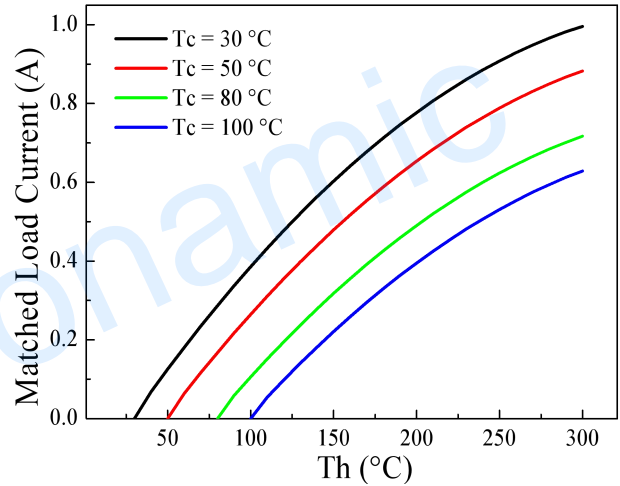
The chart for open circuit voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



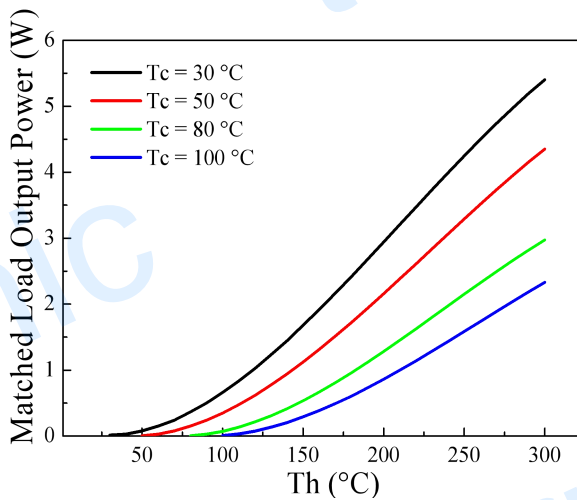
The chart for matched load resistance Vs  $T_h$  under various  $T_c$



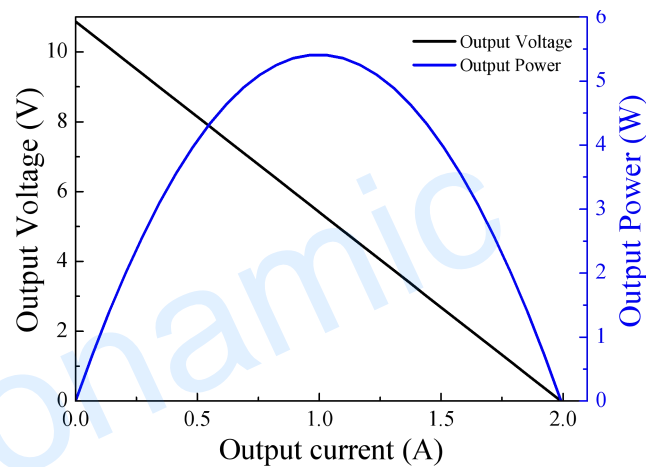
The chart for matched load voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



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  $T_c$



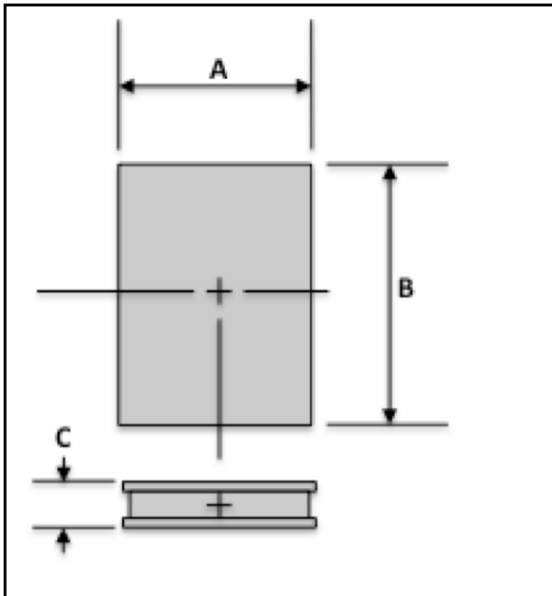
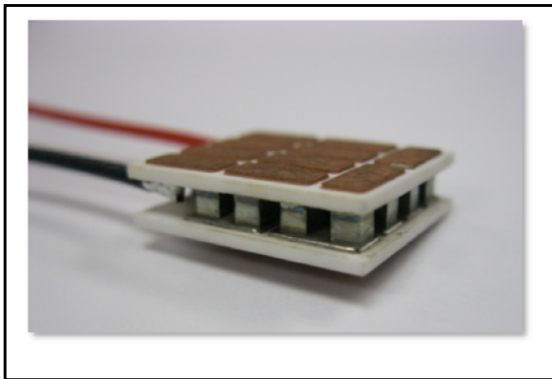
The chart for output voltage and output power Vs output current under  $T_h=300$  °C and  $T_c=30$  °C



Email: [tecteg@rogers.com](mailto:tecteg@rogers.com)  
 Direct line: 905-751-1362

## PBTAGS-200.004A

- **Produce up to 1.3 watts of power**
- **Operates up to 600C<sup>1</sup>**
- **Fully Encapsulated Module**  
(Greatly simplifies generator construction)
- **Long Life**  
(Up to 20 years)
- **High Performance PbTe and TAGS**  
(Up to 12% efficient)



A (cm)	B (cm)	C (cm)
0.9	2.1	0.5

Power Module is designed as a solid state converter of heat to electricity at higher temperatures up to 600°C. It consists of 4 couples of high performing PbTe and TAGS based materials produced using Patent protected proprietary single crystal growth and device technologies. Individual dice are sandwiched between high temperature ceramic plates. Long operational life is possible when used in a reducing atmosphere.

### Applications

#### Power Supplies

- Use waste heat to generate a source of power in remote locations.
- Burn a hydrocarbon fuel to generate a source of power in remote locations.
- Cathodic protection
- Telecommunications

#### Self Powered Devices

- Heaters
- Water Heaters
- Furnaces
- Vehicle Engine Heaters

#### Waste Heat Recovery

- Engine exhaust powered alternator replacement
- Industrial operations such as refineries, foundries, glass and cement plants

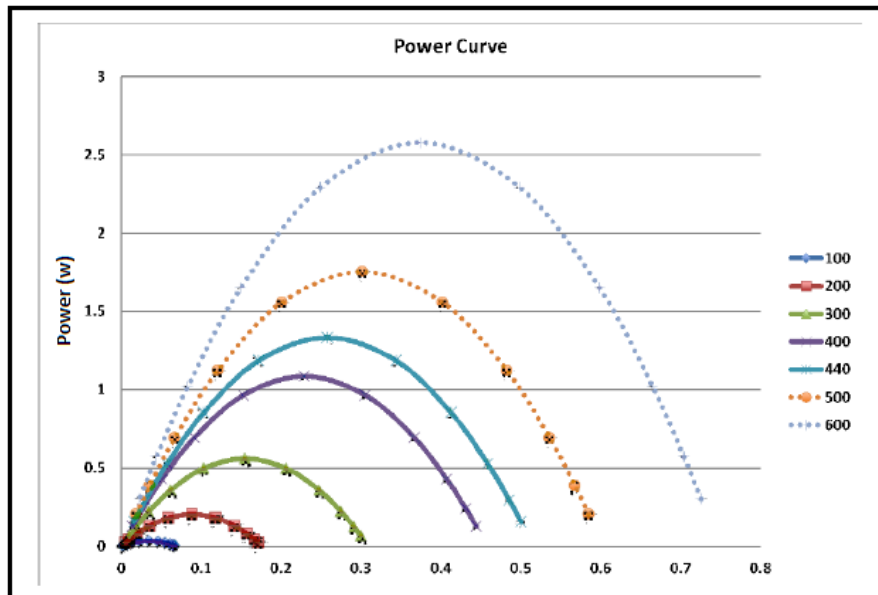
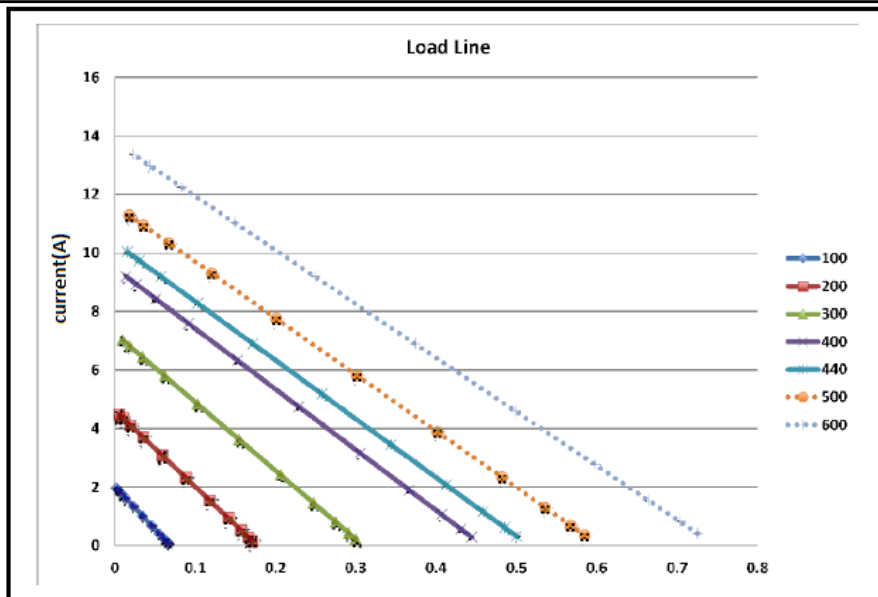
#### Renewable Energy

- Solar Concentrators
- Wood burning stoves
- Geothermal
- Incinerators



## Thermal and Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power	$T_h=440C, T_c=25C$ @ matched load		1.3		Watts
Voltage, Open Circuit	$T_h=440C, T_c=25C$		0.500		Volts
Voltage, Matched Load	$T_h=440C, T_c=25C$ @ matched load		0.250		Volts
Internal Resistance	$T_h=440C, T_c=25C$		0.05		Ohms
	$T=25C$		0.03		Ohms
Current	$T_h=440C, T_c=25C$ @ matched load		5		Amps
	$T_h=440C, T_c=25C$ @ short circuit		10		Amps
Heat Flux	$T_h=440C, T_c=25C$ @ matched load				Watts
	$T_h=440C, T_c=25C$ @ open circuit				Watts
Heat Flux Density	$T_h=440C, T_c=25C$ @ matched load				$W/cm^2$





## Application Notes

Topic	Notes
Beta Prototype	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Test modules have received bench testing consisting of multiple temperature cycles to a temperature difference (DT) of 350C</li> <li>• Base materials have received bench evaluations to 440C</li> <li>• Delivered modules have been tested once up to 300C to ensure internal electrical interconnect forms</li> <li>• High temperature performance based upon previous test experience</li> <li>• High temperature electrical connections (up to 700C) are implemented on the hot side providing better performance stability over multiple heat cycles and sustained high temperatures</li> </ul>
Mechanical Interface	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plates: AlN with external isolated interconnect metal</li> <li>• Orientation: External connectors tied to cold side</li> <li>• Positive normal compression required at all times (180-240 psi) with stress relief at temperature</li> <li>• Hot Side: Recommend use of high temperature sheet (e.g. Grafoil sheet)</li> <li>• Cold Side: Recommend use of thermal paste</li> </ul>
Electrical Connection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High temperature wire with male quick connect terminals</li> <li>• All terminals attached on cold side plates</li> <li>• Recommend attaching large interconnect wire (No. 3 or larger)</li> <li>• Fixed support for stress relief</li> </ul>
<sup>1</sup> Reliability & Lifetime	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Some slow degradation may occur at 600C,</li> <li>• Tested to XXX hot/cold cycles to 300C with &lt; 15% degradation</li> </ul>

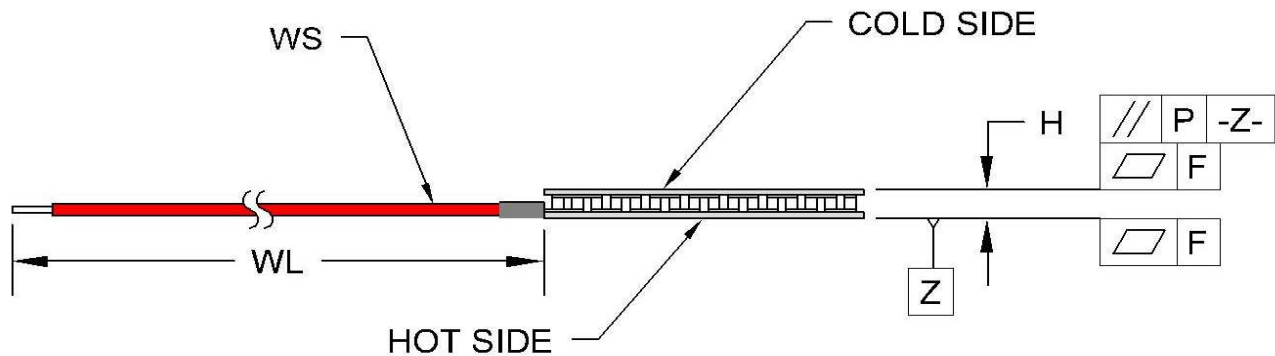
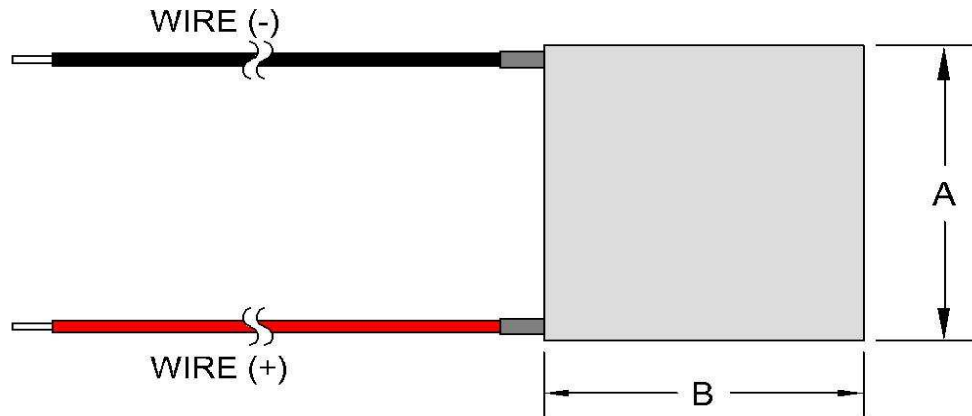
**HP-199-1.4-0.8  
Thermoelectric Module  
(Peltier Module)  
Specifications**

	Material Specifications (27 °C hot side temperature)	Material Specifications (50 °C hot side temperature)
Vmax (V)	24.6	27.3
I <sub>max</sub> (A)	11.3	11.3
Q <sub>max</sub> (W)	172.0	188.7
DT <sub>max</sub> (°C)	69	78
Operation/storage temperature	-40 °C to +80 °C	

Module *material* specifications are nominal values based on the hot-side temperature indicated. Thermoelectric material parameter tolerance is +/-10%.

In no case should the module temperature be allowed to exceed its maximum operation/storage temperature.

Please review all product and technical information, *Thermoelectric Module Mounting Procedure*, parameter definitions, FAQ's, and ordering information posted on our website before purchasing or using this product.



Width, A (mm)	40 +0.5/-0.2
Width, B (mm)	40 +0.5/-0.2
Height, H (mm)	3.2 ±0.05
Flatness, F (mm)	0.02
Parallelism, P (mm)	0.03
Wire Size, WS (mm <sup>2</sup> )	0.5
Wire Length, WL (mm)	120

**Optional Features and Notes:**

Add "P" to part number for sealing module with epoxy potting.

Performance graphs include thermal resistance of substrates.

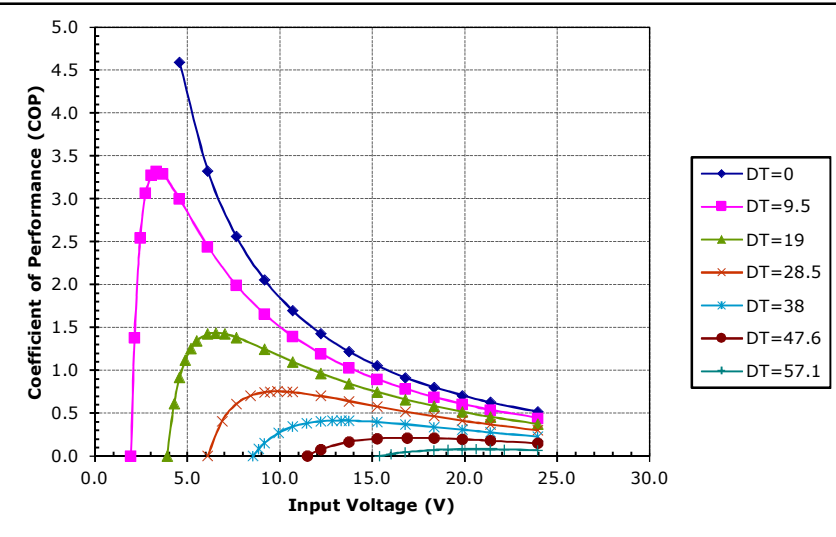
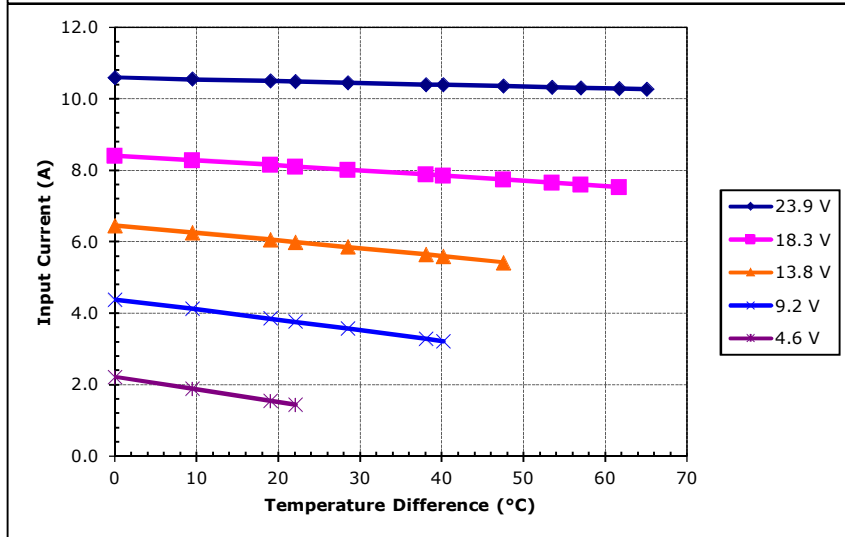
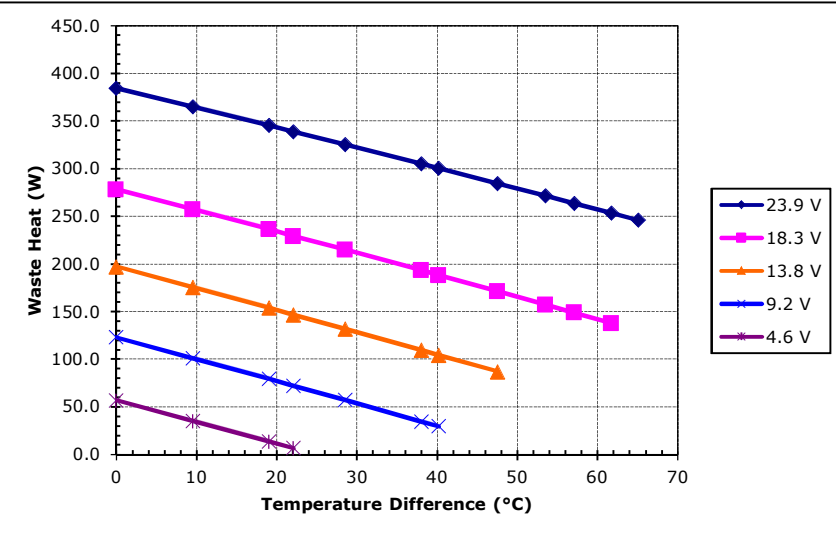
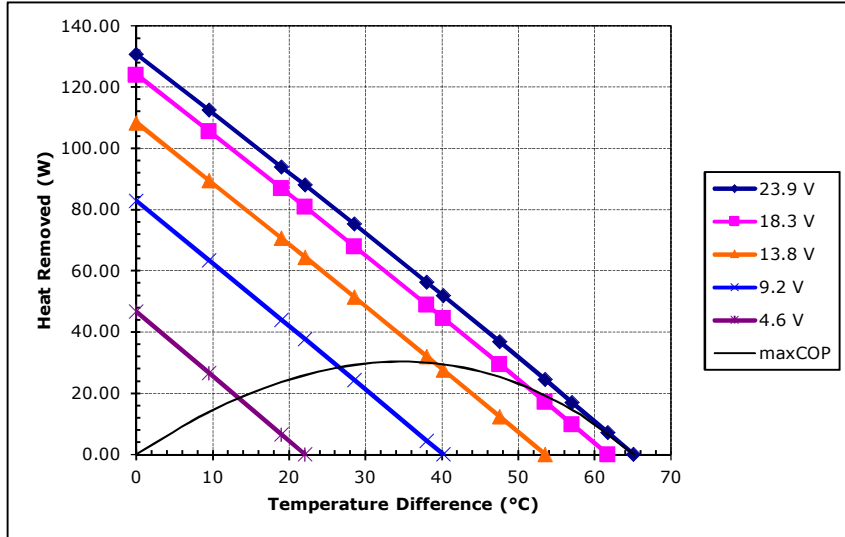
RoHS Compliant

**TE** TECHNOLOGY, INC.®

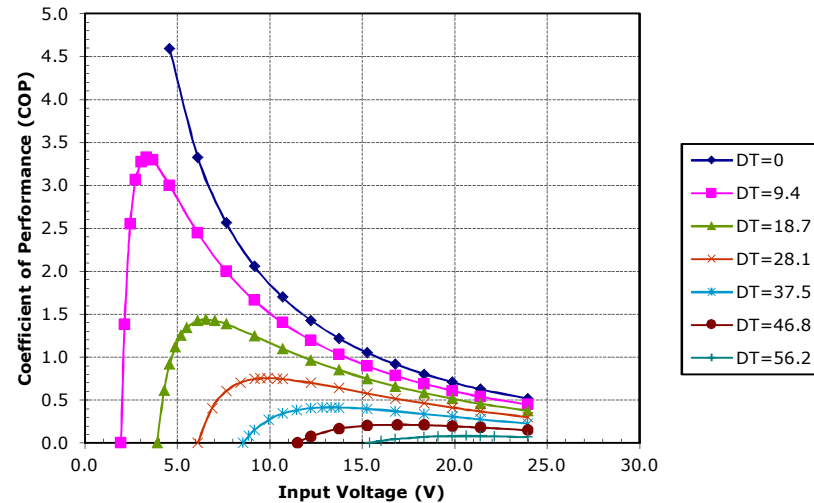
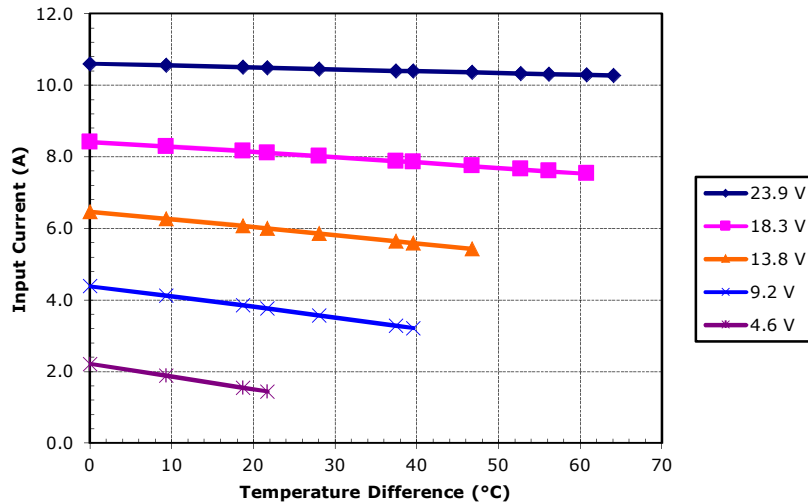
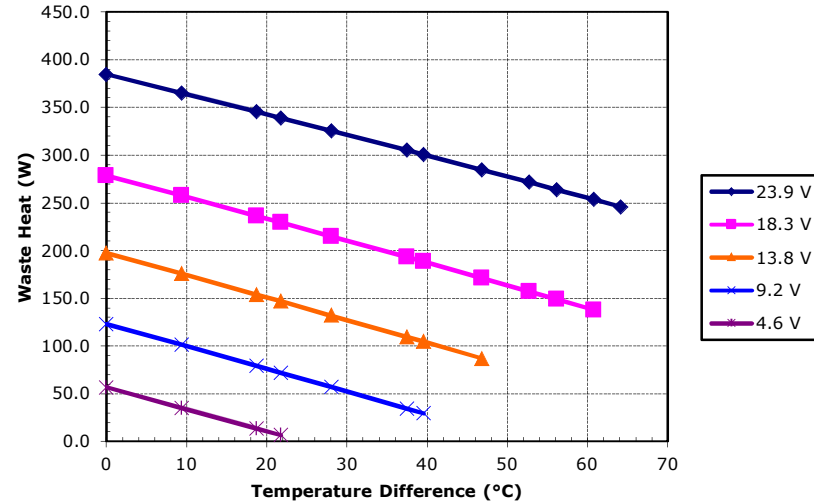
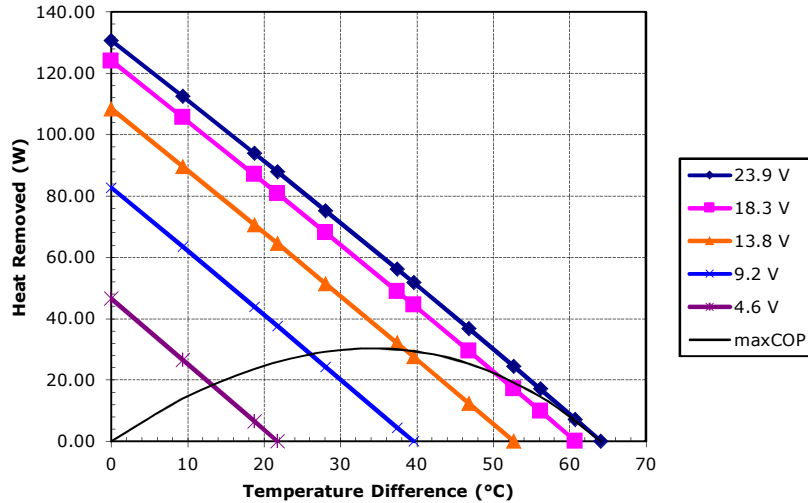
1590 Keane Drive, Traverse City, MI, 49696-8257 USA  
PH: 231-929-3966 FAX: 231-929-4163 email: cool@totech.com

Expert Engineering, Precision Manufacturing: *Quality Thermal Solutions Delivered*

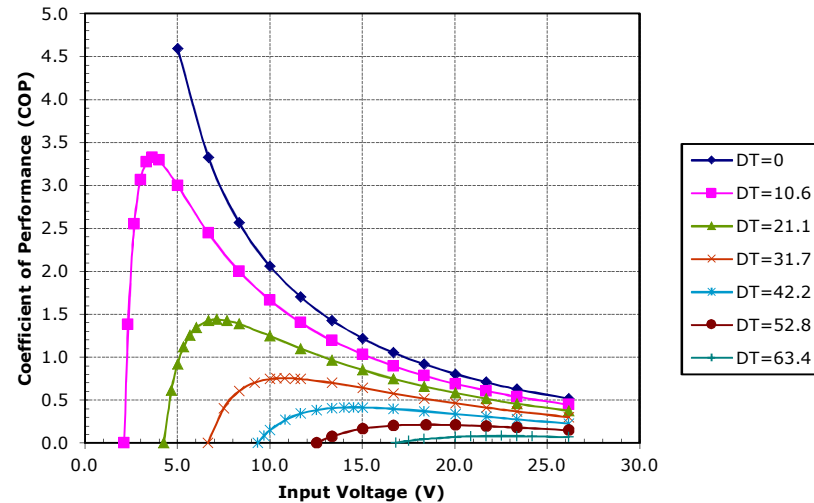
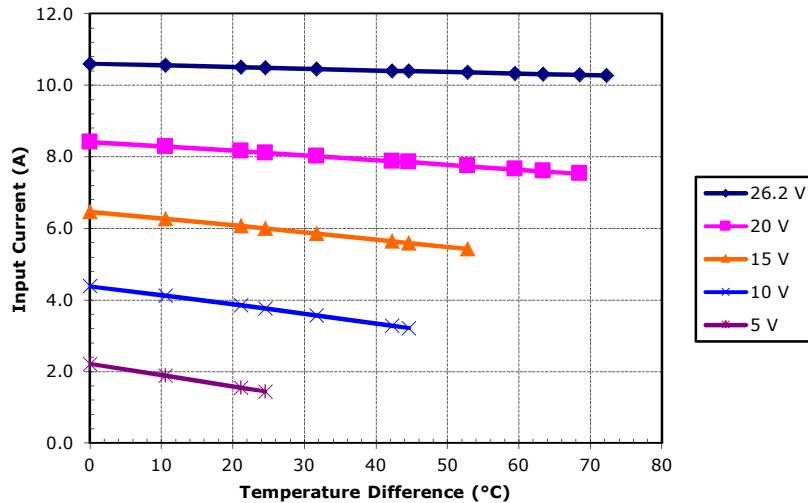
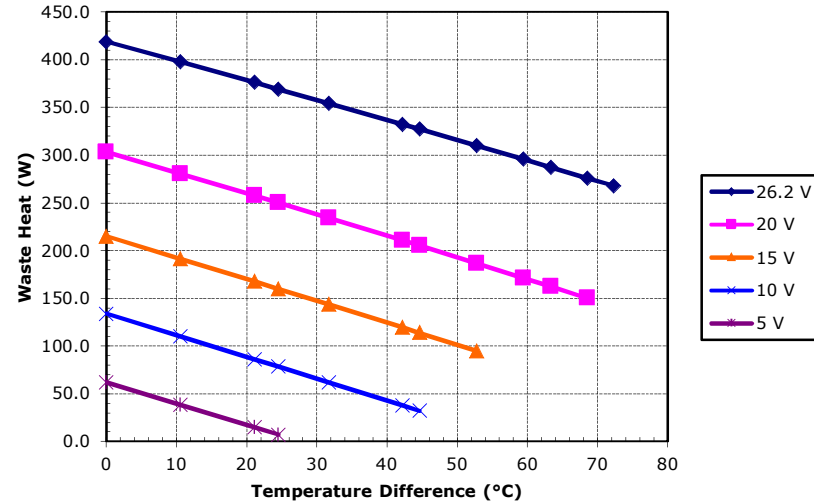
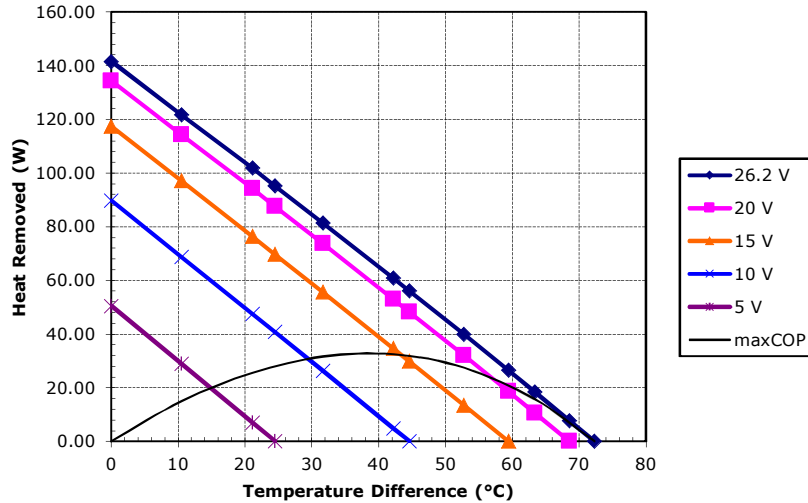




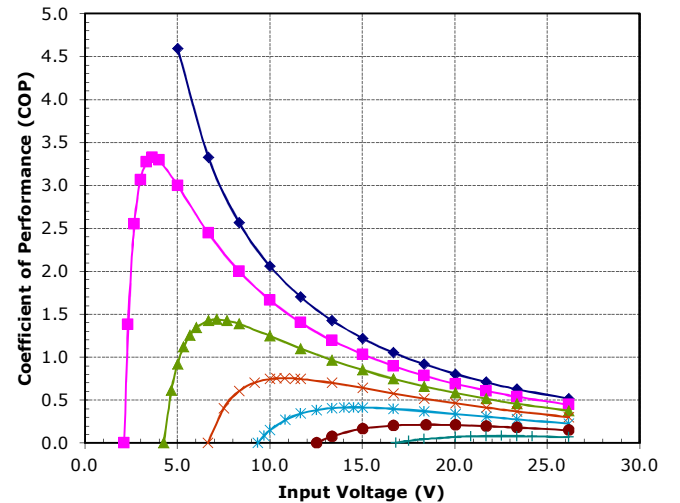
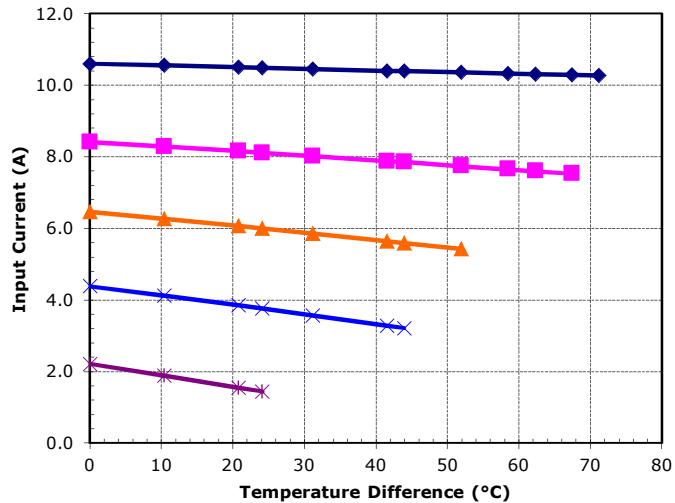
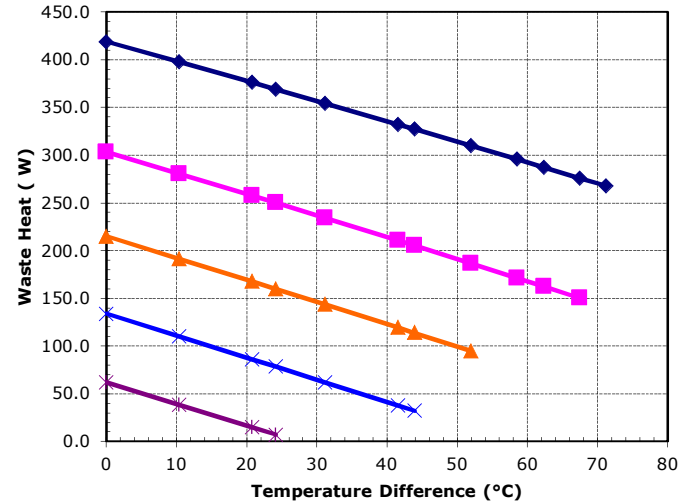
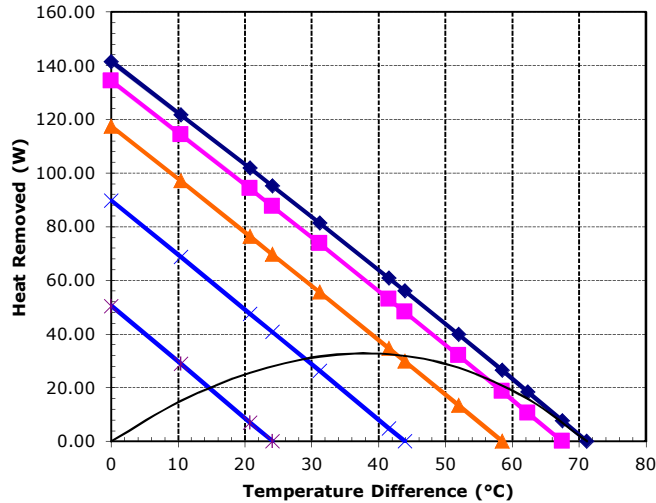
Unpotted HP-199-1.4-0.8 at a hot-side temperature of 30 °C



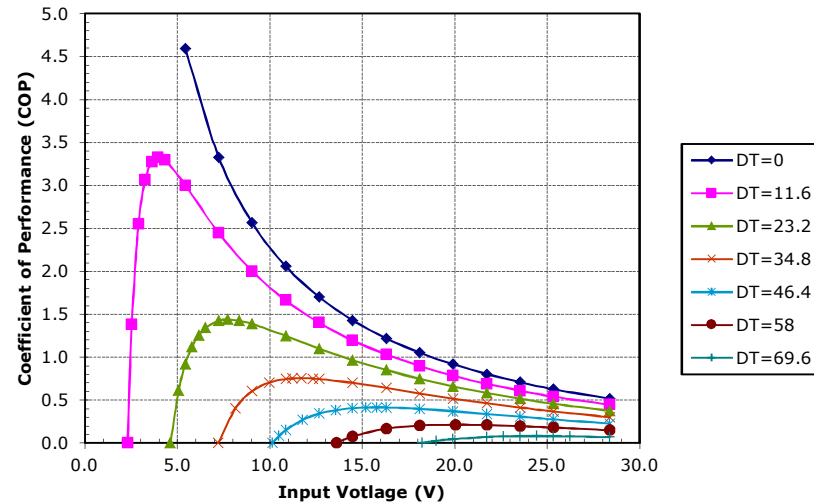
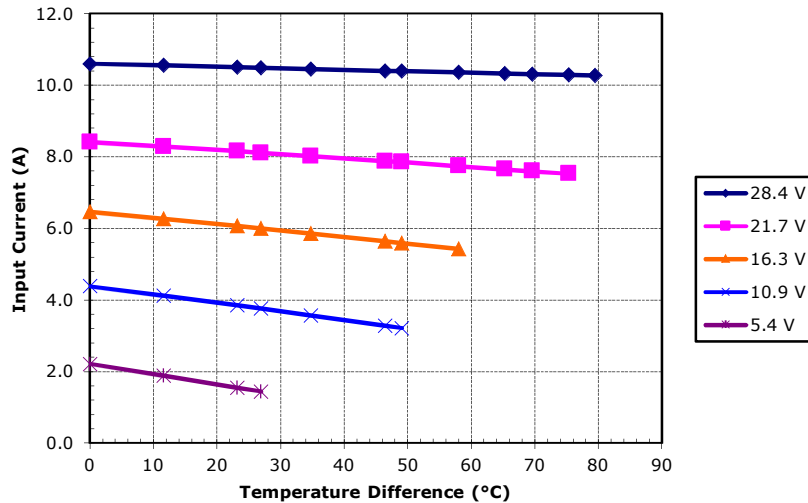
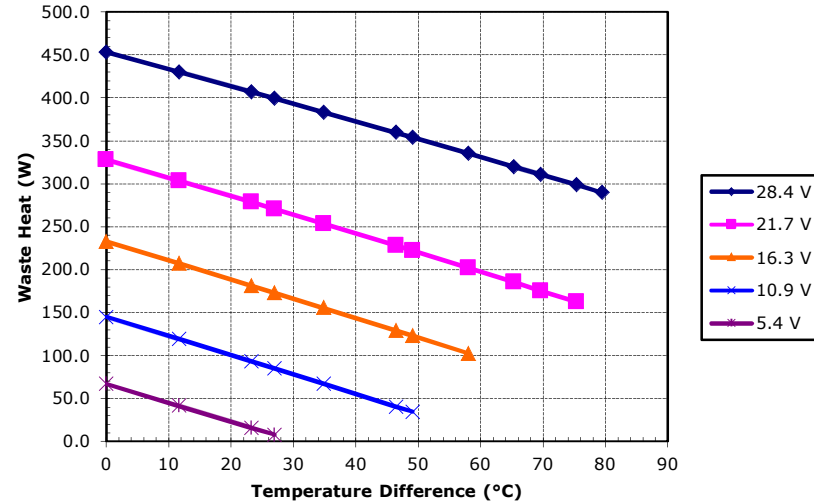
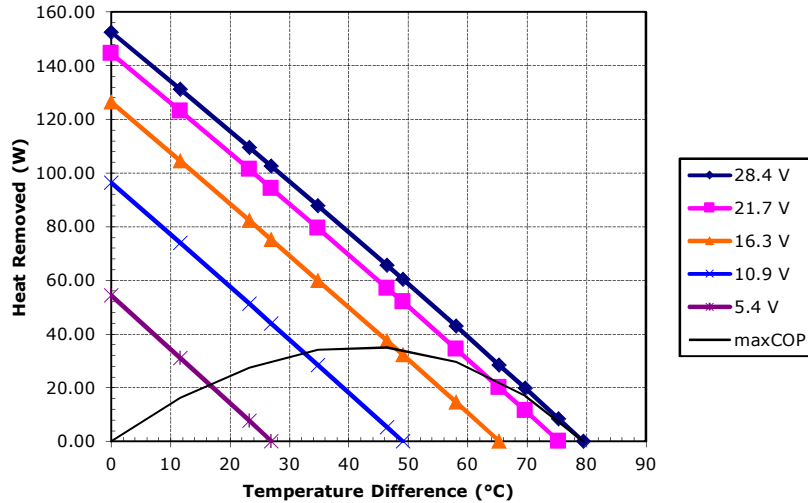
Potted HP-199-1.4-0.8 at a hot-side temperature of 30 °C



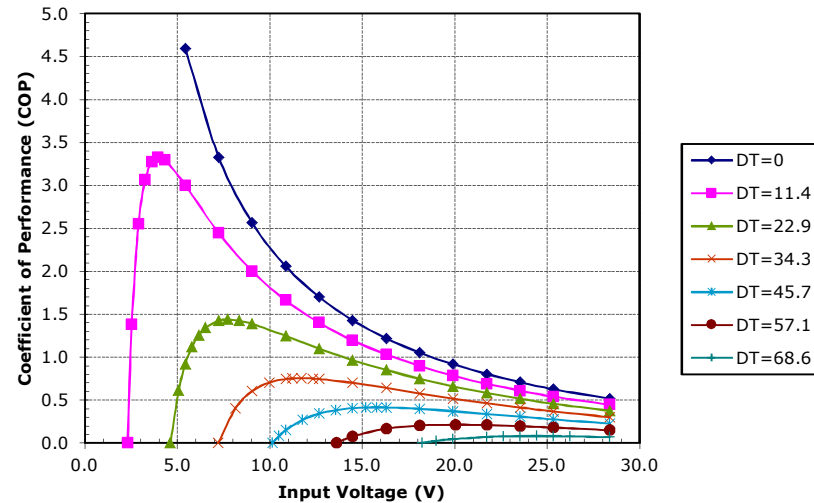
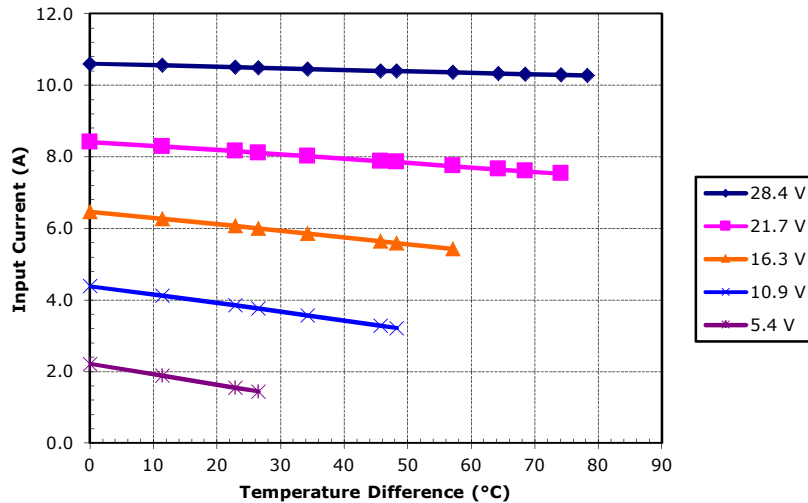
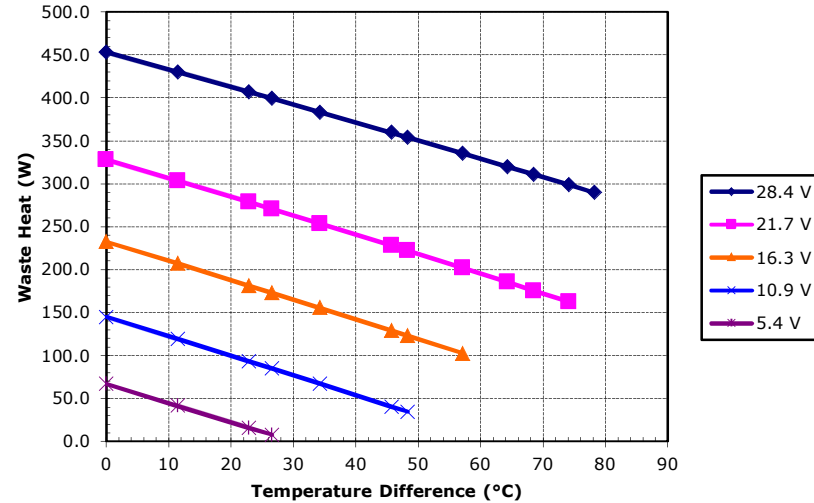
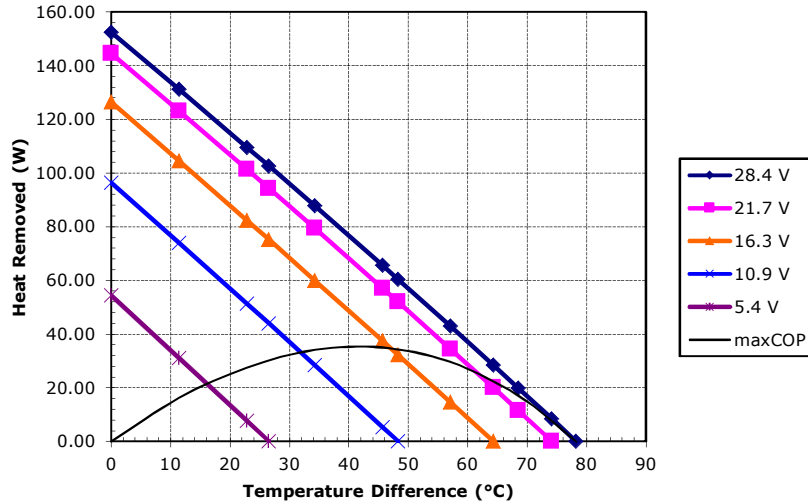
Unpotted HP-199-1.4-0.8 at a hot-side temperature of 50 °C



Potted HP-199-1.4-0.8 at a hot-side temperature of 50 °C



Unpotted HP-199-1.4-0.8 at a hot-side temperature of 70 °C



Potted HP-199-1.4-0.8 at a hot-side temperature of 70 °C

### FEATURES

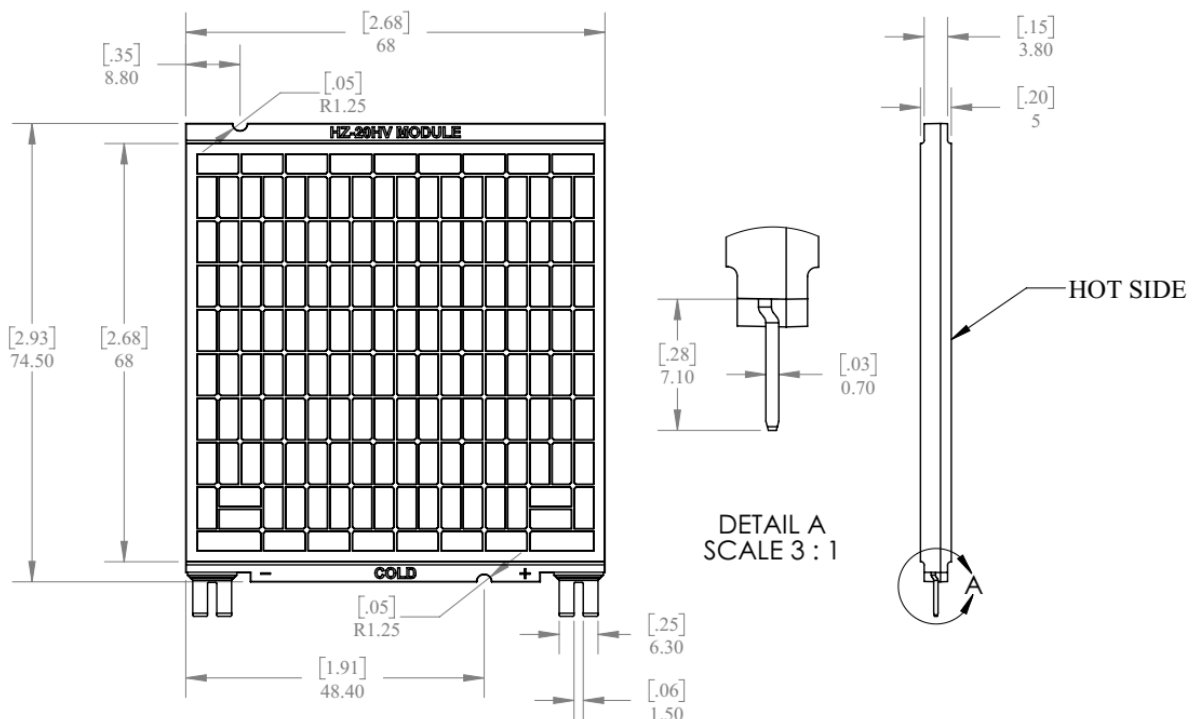
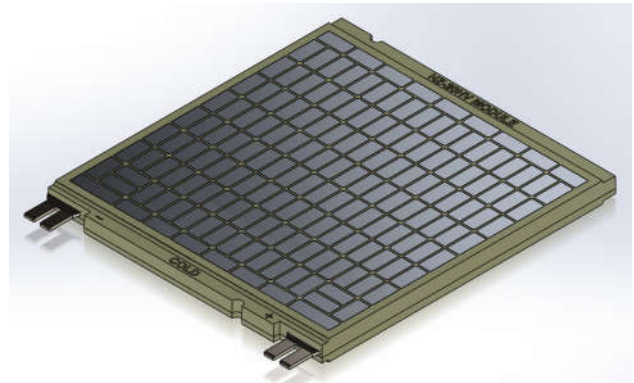
- Produces 20W or more electrical power @  $T_h = 250^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 50^\circ\text{C}$  (see Note 1 on page 2)
- Maximum hot side temperature  $350^\circ\text{C}$  (see Note 2 on page 2)
- Rugged Construction (no brittle structural ceramic, no solders, fiber glass reinforced framework tolerant to abuse)
- Long lifetime (~4-6% annual power degradation @  $T_h = 230^\circ\text{C}$ )
- Not vulnerable to thermal shock or quick thermal cycling
- Strong embedded electrical terminals good for Quick-Disconnect connectors, soldering and spot welding
- Notches (used with lock pins) for easy alignment & installation

### DESCRIPTION

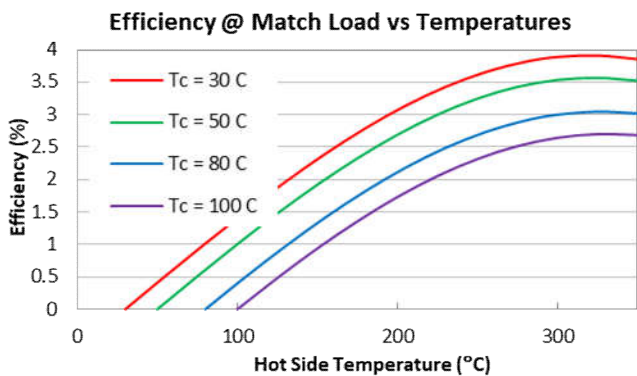
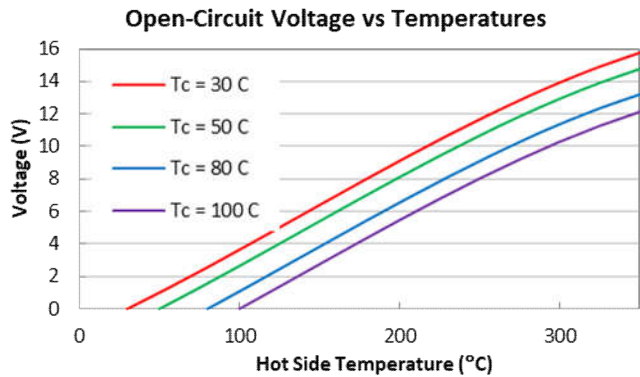
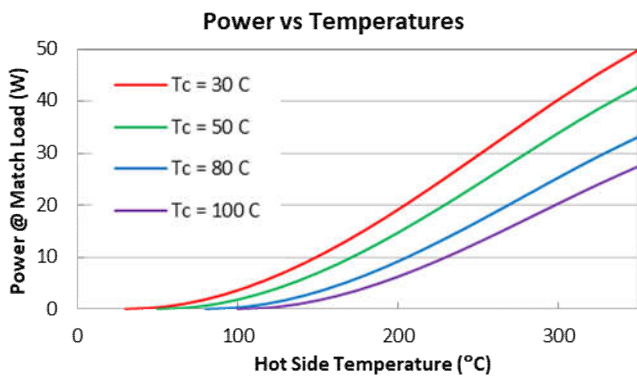
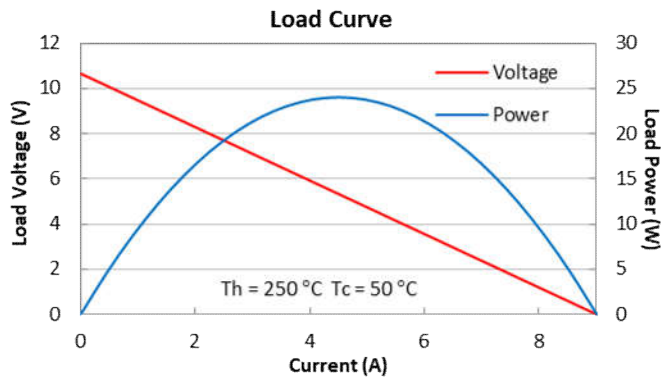
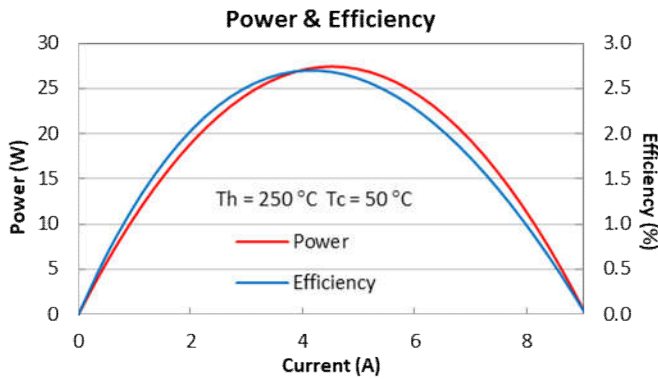
This high wattage TEG module produces more power than any other bismuth telluride module on the market for the given temperatures. Its superior reliability and high power output make it an ideal choice for a high power thermoelectric power generation system that needs a large number of ‘trouble-free’ modules.

This single-part eggcrate module is especially robust and able to tolerate temporary hot side temperature up to  $350^\circ\text{C}$  and thermal cycling.

While the module’s standard form and dimensions are specified below, custom dimensions, shape and terminal configuration may be available.



Estimated Thermal and Electrical Characteristics					
Parameter	Conditions	min	typ	max	units
Power	Th=250°C, Tc=50°C @matched load	23.1	24.3	25.5	W
Open Circuit Voltage	Th=250°C, Tc=50°C	10.3	10.8	11.3	V
Matched load Voltage	Th=250°C, Tc=50°C	5.2	5.4	5.6	V
Internal Resistance	Th=250°C, Tc=50°C	1.14	1.2	1.26	Ω
	Th = Tc = 25°C	0.73	0.77	0.81	Ω
Current	Th=250°C, Tc=50°C @matched load	4.3	4.5	4.7	A
	Th=250°C, Tc=50°C @short circuit	8.5	9.0	9.5	A
Heat Flow	Th=250°C, Tc=50°C @matched load	703	740	777	W
	Th=250°C, Tc=50°C @open circuit	570	600	630	W
Heat Flux	Th=250°C, Tc=50°C @matched load	15	16	17	W/cm <sup>2</sup>
Mass		69	70	71	g



### Notes

<sup>1</sup> Stated temperatures are assumed to be on the heat exchangers. To achieve the specified performance, please refer to our module installation guide.

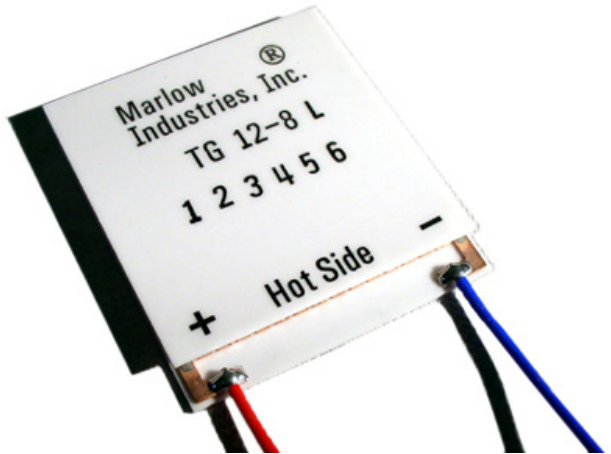
<sup>2</sup> Our tests indicate that the module can temporarily tolerate temperatures up to 350°C without being damaged (on an intermittent basis). However the module performance degrades much faster at higher temperatures. For maximum life expectancy the hot side temperature should not exceed 230°C while 250°C can be a good choice for a balanced performance between lifetime and power/efficiency.





# Technical Data Sheet for TG12-8

## Single-Stage Thermoelectric Generator



### NOMINAL PERFORMANCE IN NITROGEN

Cold Side Temperature (°C)	27±2
AC Resistance (ohms):	1.36 – 1.69
Device ZT	0.73

### PRODUCT FEATURES

- RoHS EU Compliant
- Rated operating temperature of 200°C.
- Ceramic Material: Aluminum Oxide
- Porch configuration for high strength leadwire connection.
- Superior nickel diffusion barriers on elements.
- High strength for rugged environment.
- RTV sealing option available.
- Lapped option available for multiple module applications.

### ORDERING OPTIONS

Model Number	Description
TG12-8-01	Leadwires
TG12-8-01L	Leadwires, Lapped
TG12-8-01S	Leadwires, Sealed
TG12-8-01LS	Leadwires, Lapped, Sealed
TG12-8-01G	Leadwires, Graphite Pads
TG12-8-01LG	Leadwires, Lapped, Graphite Pads
TG12-8-01SG	Leadwires, Sealed, Graphite Pads
TG12-8-01LSG	Leadwires, Lapped, Sealed, Graphite Pads

### OPERATION CAUTIONS

For maximum reliability, continuous operation below 200°C (cold side and hot side) is recommended. Intermittent operation up to 230°C on the hot side of the TG is permissible.

### INSTALLATION

Recommended mounting methods: Clamp with uniform pressure to a flat surface with thermal interface material. Recommended 1.4 MPa (200 psi) with thermal grease or flexible graphite pads. For additional information, please contact an applications engineer.

II-VI Marlow – Dallas, TX USA  
214-340-4900  
877-627-5691  
marlow.sales@ii-vi.com

Marlow Industries Europe  
GmbH - Germany  
+49 (0) 6150 5439 - 403  
info@marlow-europe.eu

II-VI Japan Inc.  
81 43 297 2693 (tel)  
center@ii-vi.co.jp  
www.ii-vi.co.jp

II-VI Singapore Pte., Ltd.  
(65) 6481 8215 (tel)  
info@ii-vi.com.sg

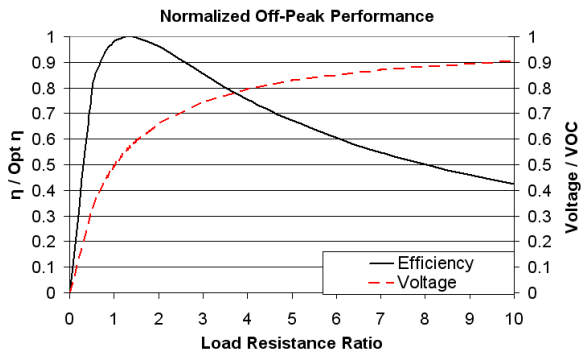
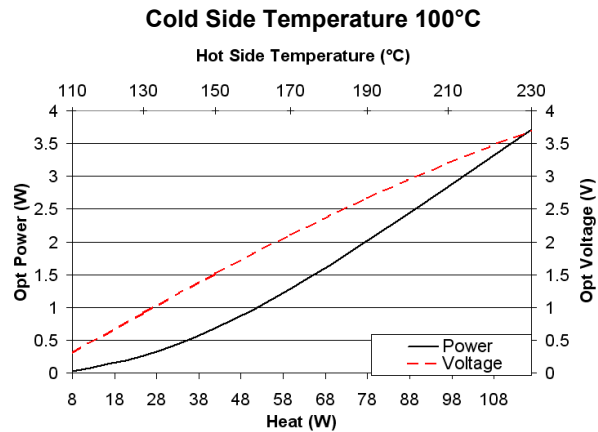
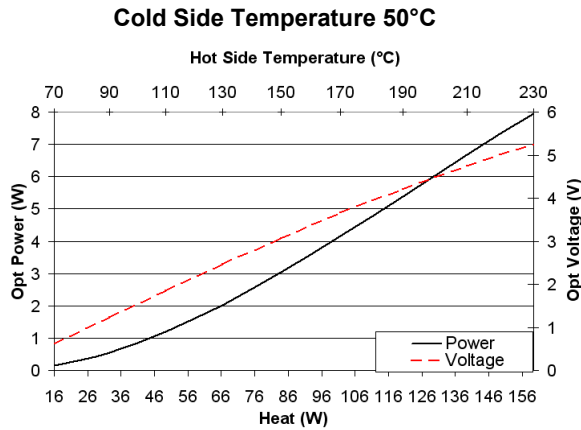
Marlow Industries China, II-VI  
Technologies Beijing  
86-10-643 98226  
info@iivibj.com



TYPICAL PERFORMANCE CURVES

## POWER GENERATION PERFORMANCE CURVES

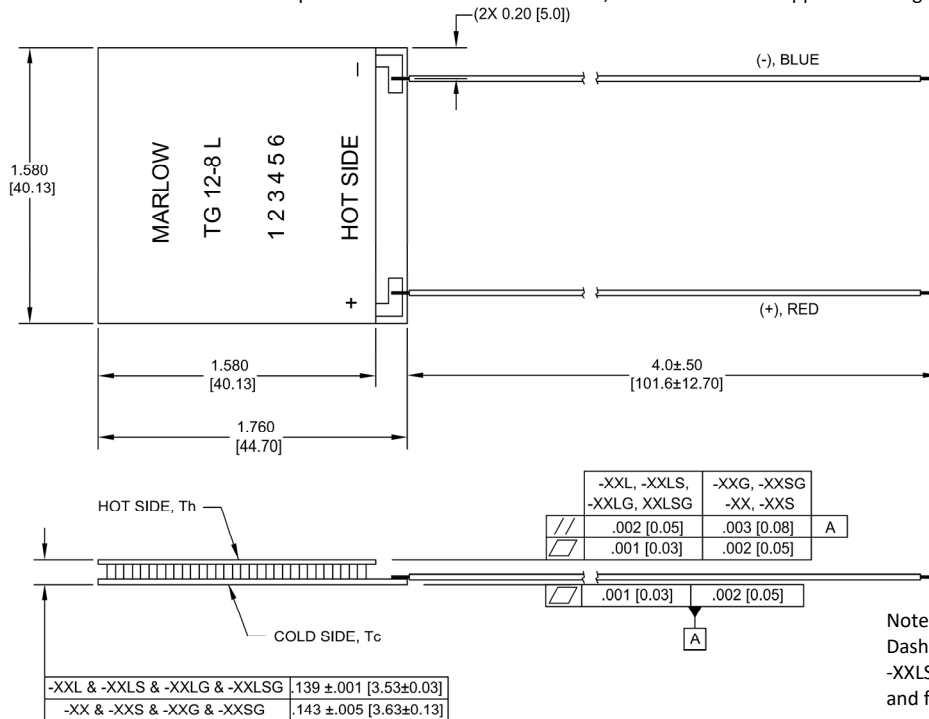
ENVIRONMENT: ONE ATMOSPHERE DRY NITROGEN



Hot Side Temperature (°C)	230	170	110
Cold Side Temperature (°C)	50	50	50
Optimum Efficiency, $\eta$ (%)	4.97	4.08	2.39
Optimum Power (W)	7.95	4.17	1.19
Optimum Voltage (V)	5.25	3.65	1.86
Load Resistance for Opt $\eta$ ( $\Omega$ )	3.46	3.20	2.90
Open Circuit Voltage, VOC (V)	9.43	6.48	3.27
Closed Circuit Current (A)	3.38	2.60	1.48
Thermal Resistance (°C/W)	1.13	1.17	1.20

For performance information in a vacuum or with cold side temperatures other than 50°C or 100°C, contact one of our Applications Engineers at 877-627-5691.

MECHANICAL CHARACTERISTICS



Note:  
Dash -XXG, -XXLG, -XXSG, -XXLSG: Height, parallelism, and flatness dimensions are measured before adding graphite pads.

All units are in inches. All units in [ ] are in millimeters.

For customer support or general questions please contact a local office or visit our website at [www.marlow.com](http://www.marlow.com).  
Marlow reserves the right to make product changes without notice.