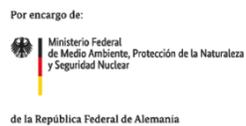


Manual del Usuario

Calculadora de Cogeneración y Trigeneración

Versión 1.2





Este manual del usuario de la “Calculadora de Cogeneración y Trigeneración”, fue preparado por encargo del proyecto “Reducción de Emisiones a través de la Aplicación de Cogeneración en los Sectores Industrial y Comercial en Chile” implementado por el Ministerio de Energía, Agencia Sostenibilidad Energética y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania.





Manual del Usuario:
Calculadora de Cogeneración y Trigeneración

Manual del Usuario: Calculadora de Cogeneración y Trigeneración.

Publicado por:

Proyecto “Reducción de Emisiones a través de la Aplicación de Cogeneración en los Sectores de la Industria y el Comercio en Chile”

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago · Chile
www.energia.gob.cl

Agencia de Sostenibilidad Energética
Monseñor Nuncio Sótero Sanz 221
Providencia · Santiago · Chile
www.agenciase.org

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Federico Fröebel 1776
Providencia · Santiago · Chile
www.giz.de

Responsables:

David Fuchs, Cecilia Figueroa, GIZ

Revisión de contenidos:

Marco Céspedes, Raúl Gálvez, GIZ

Consultores:

Director proyecto: Dr. Ing. Roberto Leiva-Illanes
Ingeniero de proyecto: MBA. MEE. Ing. Cynthia Herrera Reyes
Tutoriales: Ing. Nadia Herrera R.
Coordinación DAIS: Ing. Sandra Véliz R.
Dirección de Asesoría Industrial y Servicios (DAIS)
Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM).

Diseño y programación: Sebastián Aguilera, Tamara Osses, y Luis Chávez.
Producciones Individual Ltda.

Santiago de Chile, agosto de 2021.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



Manual del Usuario:
Calculadora de Cogeneración y Trigeneración.

Aclaración:

El presente manual fue preparado por encargo del proyecto “Reducción de Emisiones a través de la Aplicación de Cogeneración en los Sectores Industrial y Comercial en Chile” implementado por el Ministerio de Energía, Agencia Sostenibilidad Energética y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Sin perjuicio de ello, las conclusiones, opiniones y recomendaciones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. De igual forma, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar no constituye en ningún caso una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.

Manual del Usuario: Calculadora de Cogeneración y Trigeneración.

La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en conjunto con el Ministerio de Energía y la Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE), están desarrollando el proyecto Reducción de emisiones a través de la aplicación de la cogeneración en los sectores comercial e industrial en Chile, que persigue fomentar la implementación de proyectos cogeneración en los sectores industrial y comercial, reforzando además iniciativas en el sector público en Chile. El proyecto se enmarca en la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania, donde el aporte alemán es financiado por el Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de Alemania, con fondos provenientes de la “Iniciativa Internacional para la Protección del Clima” (ICI), que desde el 2008 apoya medidas de protección climática en países en vías de desarrollo y emergentes.

En conjunto con el Ministerio de Energía y la Agencia de Sostenibilidad Energética, el proyecto persigue la reducción de barreras a las inversiones en tecnologías de cogeneración, aumentando la aceptación de la cogeneración como una alternativa energética técnica y económica, contribuyendo al éxito de las iniciativas y a la creación de un mercado para la cogeneración. En este marco, se apoya el esfuerzo de reforzar el rol de la cogeneración eficiente como un componente relevante de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y, además, fortalecer el intercambio técnico sobre el tema de la eficiencia energética, entre los ministerios involucrados en el proceso climático.

Con el fin de proporcionar información general para realizar una evaluación tecno-económica de sistemas de cogeneración y/o trigeneración para la producción conjunta de electricidad, calor útil y/o frío útil (refrigeración), se ha elaborado una calculadora, la cual permite estimar la rentabilidad de los proyectos evaluados. En cualquier caso, esta herramienta no pretende sustituir u obviar la opinión de un experto. Se recomienda realizar una asesoría experta para realizar una evaluación más profunda del proyecto de cogeneración.

El presente manual busca abordar los aspectos básicos de la calculadora de cogeneración y trigeneración para que el usuario pueda comprender el funcionamiento de la calculadora de manera ordenada y precisa, así como interpretar los resultados obtenidos de esta.

Índice

1. Presentación de la herramienta y registro del usuario.

- 1.1. Presentación
- 1.2. Introducción
- 1.3. Secciones de la calculadora
- 1.4. Casos de la calculadora
- 1.5. Ingreso y registro del usuario, calculadora avanzada

2. Información de la instalación y parámetros de entrada.

- 2.1. Modos de la calculadora
- 2.2. Casos de la calculadora de cogeneración
- 2.3. Caracterización de los productos y de las tecnologías
- 2.4. Datos para la evaluación económica

3. Estimación y evaluación de la demanda

- 3.1. Análisis de consumo de energía obtenidos de la facturación y/o proyectados
 - Caracterización de la demanda y consumos mensuales y anual
 - o Demanda y consumo eléctrico
 - o Demanda y consumo térmico
 - Caracterización de la demanda diaria
 - o Perfil diario de consumo
 - o Perfil semanal de consumo
- 3.2. Cálculo de línea base según parámetros de ingreso.
 - Esquema de sistemas evaluados
 - Demanda anual de cada producto
 - Producción anual de caso base
 - Consumo de energía primaria de caso base
 - Costos por compra de electricidad y energía térmica en el mercado en caso base
 - Emisiones de CO₂eq línea base
- 3.3. Cálculo de curvas de demanda eléctrica y térmica en base a parámetros medidos y/o estimados.
 - Demanda horaria anual (Tabla y Figura)
- 3.4. Cálculo de curvas de demanda descendentes (curva de duración de carga).
 - Curvas de duración de carga (Tabla y Figura)

4. Estimación y evaluación de la producción de electricidad y energía térmica

- 4.1 Dimensionamiento de las tecnologías seleccionadas del sistema de cogeneración.
 - Dimensionamiento de la planta de cogeneración
 - Estimación de la producción anual de electricidad y energía térmica de la planta de cogeneración y del proyecto de cogeneración.
 - Curvas de producción de electricidad y energía térmica
 - Indicadores de planta de cogeneración.
- 4.2. Estimación de ahorros de la planta de cogeneración y del proyecto de cogeneración.
 - Ahorro de energía primaria de planta chp
 - Ahorros en proyecto chp
- 4.3. Reducción de emisiones del proyecto de cogeneración
 - Estimaciones de emisiones de planta chp (asociada a ahorro de energía primaria de planta chp).

- Estimación de emisiones de proyecto chp.
- 4.4. Diagrama Sankey de planta de cogeneración.

5. Evaluación tecno-económica del proyecto

- 5.1. Evaluación económica preliminar del proyecto de cogeneración.
- Ingresos, ahorros, egresos, costos de inversión.
 - Financiamiento externo
 - Resumen de resultados
 - Flujos de caja
- 5.2. Análisis de sensibilidad.
- 5.3. Cálculo de costos nivelados de cada producto.

6. Reporte e información complementaria

- 6.1. Tutoriales
- 6.2. Leyes, normas, y regulaciones asociadas a la cogeneración.
- 6.3. Conversión de unidades habituales
- 6.4. Conversores de precios de combustibles
- 6.5. Referencias bibliográficas
- 6.6. Reporte de la calculadora
- 6.7. Manual del usuario
- 6.8. Créditos de la calculadora

Menú lateral izquierdo

- **Ingreso/Registro, calculadora avanzada**
- **Nomenclatura**
- **Caracterización.**
 - Caracterización de las plantas de potencia
 - Caracterización de los equipos de procesos térmicos.
 - Caracterización de chiller de absorción.
 - Conversión monetaria
 - Caracterización de los combustibles.
 - Caracterización de la electricidad (on-grid).
 - Caracterización del caso base on-grid y del caso base off-grid.
 - Rendimiento eléctrico equivalente (REE).
- **Manual del Usuario**
- **Tutoriales**
- **Información complementaria**

1-PRESENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA Y REGISTRO DEL USUARIO.

1.1. PRESENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA

Esta calculadora proporciona información general para realizar una evaluación tecno-económica de esquemas de cogeneración para la producción conjunta de electricidad, calor útil y/o frío útil (refrigeración). Los resultados obtenidos con la calculadora de cogeneración son preliminares y permiten estimar la rentabilidad de los proyectos evaluados. En cualquier caso, esta herramienta no pretende sustituir u obviar la opinión de un experto. Se recomienda acudir a un asesor experto para realizar una evaluación más profunda del proyecto de cogeneración.

Nota: En este manual se utilizarán los siguientes colores en el texto y/o sombreado del texto. Texto en negro indica que el texto aparece tal cual en la calculadora. El texto en azul es información complementaria de la calculadora. El texto en verde es información que puede modificar el usuario de la “calculadora avanzada”. Texto sombreado en naranja es información que debe ingresar el usuario. Texto sombreado en celeste son resultados de la calculadora. Texto sombreado de amarillo son valores disponibles en el sistema que no puede modificar el usuario.

La calculadora sigue la secuencia de cálculo siguiente (ver Figura 1): A partir de la información de la instalación y parámetros de entrada disponibles en la calculadora y que ingresa el usuario, se realiza una estimación y evaluación de la demanda obteniendo las curvas horarias de demanda de electricidad, calor útil y/o frío útil. A continuación, se dimensiona la planta CHP por medio de las curvas de carga y datos técnicos de planta de potencia seleccionada. Posteriormente se calcula la producción horaria anual de electricidad y energía térmica siguiendo una estrategia de operación. Finalmente, se realiza una evaluación tecno-económica del proyecto de cogeneración obteniendo indicadores económicos de rentabilidad.



Figura 1: Presentación de la herramienta

1.2. INTRODUCCIÓN

La calculadora permite evaluar la integración, en esquemas de cogeneración, de plantas de potencia con equipos de procesos térmicos para la producción conjunta de electricidad y energía térmica (calor útil y/o frío útil).

Cogeneración es la generación simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil (calor) a partir de un único proceso de consumo de energía primaria. Este principio incluye todas las tecnologías en las cuales las energías eléctrica y térmica son conjuntamente generadas por una unidad o sistema y utilizadas por uno o más consumidores. Para la cogeneración también se utiliza el acrónimo chp de su nombre en inglés combined heat and power. En esta calculadora se utilizará tanto el término de cogeneración como chp.

Cabe mencionar que en la literatura también se utiliza el término cogeneración para la producción de dos productos, y trigeneración para la producción de tres productos. Sin embargo, en esta calculadora se hablará de cogeneración (chp) en forma genérica para producir dos o tres productos.

Las plantas de potencia (motores) que se pueden evaluar son:

- Motor alternativo de combustión interna (MCI), este podría operar bajo el ciclo Otto, Diesel, o Miller dependiendo del combustible seleccionado.

- Microturbina de gas (MTG), funciona bajo el ciclo Brayton.
- Turbina de gas (TG), funciona bajo el ciclo Brayton
- Turbina de vapor (TV), opera bajo el ciclo de Rankine
- Celda de combustible (FC)
- Motor Stirling (MS), opera bajo el ciclo Stirling
- Ciclo de Rankine Orgánico (ORC).



Equipos de procesos térmicos:

- Intercambiador de calor (recuperación de calor).
- Estanque de almacenamiento de energía térmica (con dos horas de autonomía).
- Caldera de combustión convencional como respaldo térmico.

Para la producción de frío útil:

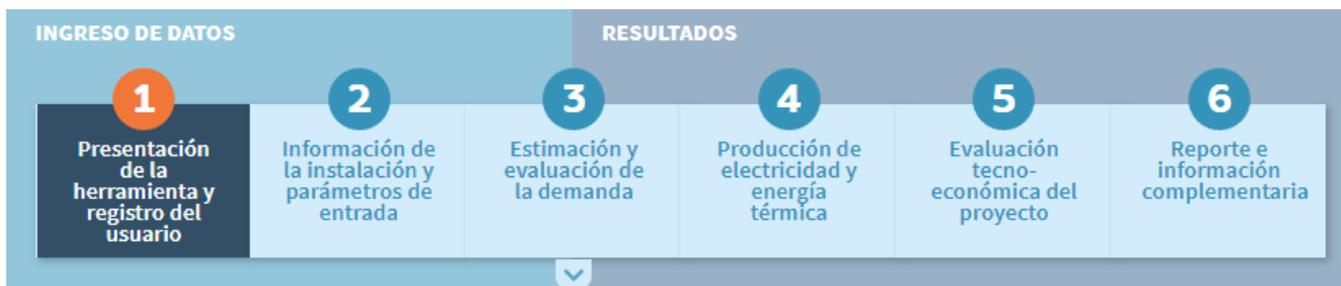
- En modo de cogeneración, se dispone de un chiller de absorción.
- En el caso base (sin cogeneración), se considera un chiller eléctrico.

Combustibles disponibles:

Diesel, Fuel Oil, gas natural (GN), biogás, gas licuado de petróleo (GLP), y biomasa (a gasificar). También existe la opción de que el usuario introduzca los valores característicos del combustible que desea utilizar, por ejemplo, biodiesel u otro (opción disponible sólo en la "Calculadora avanzada").

1.3. SECCIONES DE LA CALCULADORA

La calculadora de cogeneración está dividida en seis secciones. El usuario tiene que ingresar la información en las secciones 1, 2 y parte de la 3. En las secciones restantes se realizan los cálculos y se despliegan los resultados de la calculadora. La sección 6 despliega información complementaria y en ella se genera el reporte de la calculadora. También existe una hoja de caracterización y una hoja de nomenclatura.



Las secciones tienen subsecciones, estas se presentan a continuación.

1. Presentación de la herramienta y registro del usuario.
2. Información de la instalación y parámetros de entrada.
 - 2.1. Modos de la calculadora
 - 2.2. Casos de la calculadora de cogeneración

- 2.3. Caracterización de los productos y de las tecnologías
 - 2.4. Datos para la evaluación económica
 - 3. Estimación y evaluación de la demanda
 - 3.1. Análisis de consumo de energía obtenidos de la facturación y/o proyectados
 - 3.2. Cálculo de línea base según parámetros de ingreso
 - 3.3. Cálculo de curvas de demanda eléctrica y térmica en base a parámetros medidos y/o estimados
 - 3.4. Cálculo de curvas de demanda descendentes (curva de duración de carga)
 - 4. Estimación y evaluación de la producción de electricidad y energía térmica
 - 4.1. Dimensionamiento de las tecnologías seleccionadas del sistema de cogeneración
 - 4.2. Estimación de ahorros de la planta de cogeneración y del proyecto de cogeneración
 - 4.3. Reducción de emisiones del proyecto de cogeneración
 - 4.4. Diagrama Sankey de planta de cogeneración
 - 5. Evaluación tecno-económica del proyecto
 - 5.1. Evaluación económica preliminar del proyecto de cogeneración
 - 5.2. Análisis de sensibilidad
 - 5.3. Cálculo de costos nivelados de cada producto
 - 6. Reporte e información complementaria
 - 6.1. Tutoriales
 - 6.2. Leyes, normas, y regulaciones asociadas a la cogeneración
 - 6.3. Conversión de unidades habituales
 - 6.4. Conversores de precios de combustibles
 - 6.5. Referencias bibliográficas
 - 6.6. Reporte de la calculadora
 - 6.7. Manual del usuario
 - 6.8. Créditos
- Menú lateral izquierdo
- Ingreso/Registro, calculadora avanzada
 - Nomenclatura
 - Caracterización.
 - Manual del Usuario
 - Tutoriales
 - Información complementaria

1.4. CASOS DE LA CALCULADORA DE COGENERACIÓN

Instalaciones nuevas o existentes

- Una instalación nueva es aquella que se instalará en el futuro, por lo que no está funcionando, no tiene equipos, no tiene datos de consumos reales, sólo existen datos proyectados.
- Una instalación existente es aquella que está operando, pero no opera en modo de cogeneración (opera en modo individual o separado), no cuenta con los equipos de cogeneración. Tiene datos de consumos eléctricos y térmicos obtenidos ya sea desde las facturas, mediciones, y/o estimaciones.

Instalaciones conectadas o no a la red de distribución eléctrica

- Una instalación conectada a la red, conocida como on-grid, es aquella que compra electricidad de la red y que podría vender sus excedentes inyectándose a la red.
- Una instalación no conectada a la red, conocida como off-grid, es aquella que opera en isla. Todo lo que genera es utilizado como autoconsumo. No compra (extrae) ni vende (inyecta) electricidad a la red.

Estimación de curvas de demanda en base a datos medidos o estimados

A partir de la información de consumos de electricidad y energía térmica introducida por el usuario, el sistema entrega las curvas de demanda en unidades energéticas y monetarias.

Análisis de inyección de energía eléctrica a la red de distribución

Para las instalaciones on-grid evaluadas se detallan las inyecciones de energía eléctrica a la red de distribución.

1.5. INGRESO Y REGISTRO DEL USUARIO, CALCULADORA AVANZADA

Los usuarios de la "calculadora avanzada" para ingresar tienen que registrarse previamente, no así los usuarios de la "calculadora básica".

Para registrarse hay que hacer clic sobre el icono "Registrarme" en el menú lateral izquierdo

Para registrarse, el sistema le pedirá en forma obligatoria: correo, contraseña (mínimo 8 caracteres, una mayúscula y un número), nombre y apellido. Además, le solicitará contacto (teléfono), institución o empresa, y la actividad profesional del usuario.

Al registrarse el sistema genera un perfil en donde puede actualizar sus datos.

Para ingresar a la "calculadora avanzada", si ya se ha registrado previamente, tiene que ingresar su correo y contraseña y posteriormente hacer clic en el icono "Entrar".

Ver ítem de Menú lateral izquierdo, para obtener más detalles del registro e ingreso de la "calculadora avanzada".

Nota: la calculadora utiliza la coma como separador decimal, y el punto como separador de mil. Por ejemplo, 2.999.888,3

2-INFORMACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y PARÁMETROS DE ENTRADA.

2.1. MODO DE LA CALCULADORA A UTILIZAR

Seleccione el modo de la calculadora que desea utilizar: Básica / Avanzada (requiere registro)

- Calculadora básica: en este modo el usuario ingresa los datos de la sección 2 y sección 3, pero no puede modificar los parámetros de caracterización de las tecnologías.
- Calculadora avanzada: en este modo, el usuario además de ingresar la información de la calculadora básica puede seleccionar otras opciones y puede modificar los parámetros principales de la hoja de caracterización.

¿QUIERE VER UN CASO DE EJEMPLO?

Seleccione un caso ya desarrollado o comience uno desde cero:

- No, ingresaré mis propios datos
- Trigeneración - MCI
- Edificio residencial pequeño - MCI
- Edificio residencial pequeño - FC
- Hotel pequeño - MCI
- Hotel pequeño - FC

El usuario puede seleccionar un caso ya desarrollado o puede comenzar desde cero. En caso de seleccionar un caso, el sistema carga los datos de ese caso.

2.2. CASOS DE LA CALCULADORA DE COGENERACIÓN

Seleccione el caso que desea evaluar: Nueva / Existente

Instalaciones conectadas o no a la red de distribución eléctrica: on-grid / off-grid

En ambos modos de la calculadora, el sistema realiza:

- Estimación de curvas de demanda en base a datos medidos o estimados.
- Análisis de inyección de energía eléctrica a la red de distribución (en caso on-grid).

2.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS Y DE LAS TECNOLOGÍAS

Seleccione los productos que desea producir en el esquema de cogeneración e ingrese la información solicitada. Por defecto, todas las plantas de cogeneración producen electricidad. Debe seleccionar calor útil y/o frío útil.

Producto	Seleccione tecnología	Generador on-grid
Electricidad	MCI / TG / MTG / TV / MS / FC / MS / ORC / Tecnología ingresado por el usuario (ver hoja de caracterización)	GR / PMGD / MGNC*

* De acuerdo con la normativa vigente.

Para la producción de electricidad debe seleccionar la tecnología, las tecnologías que se pueden evaluar son: MCI (motor de combustión interna), TG (turbina de gas), MTG (microturbina de gas), TV (turbina de vapor), FC (celda de combustible), MS (motor Stirling), ORC (ciclo orgánico de Rankine), Tecnología ingresado por el usuario (ver hoja de caracterización).

En el caso on-grid, debe seleccionar el tipo de generador: GR (generador residencial), PMGD (Pequeño medio de generación distribuido), MGNC (medio de generación no convencional). Estos sistemas limitan la inyección de excedentes de electricidad a la red de distribución en 300 kW, 9000 kW, y 20000 kW, respectivamente.

Se puede configurar el sistema para producir dos productos, tales como, electricidad y calor útil o electricidad y frío útil, o para producir tres productos: electricidad, calor útil, y frío útil.

Producto	¿requiere este producto?	Temperatura (T) del producto °C	¿dentro de rango de T disponible?
Calor útil recuperado en intercambiador de calor	Si/No		si/no
Frío útil (agua de chiller) producida en chiller de absorción	Si/No		si/no

El usuario al seleccionar calor útil y/o frío útil, debe ingresar la temperatura del producto que se desea producir. El sistema indica si la temperatura ingresada está dentro de los rangos a los que se puede producir el producto seleccionado. En caso de que esté fuera de rango, no se podrá seguir con los cálculos.

Si es una planta on-grid, seleccione el tipo de cliente. El sistema muestra los valores que están disponibles en la hoja de caracterización. Los valores son sin IVA. En la calculadora avanzada, puede modificar los precios de electricidad de la red, para ello tiene que hacerlo en la hoja de Caracterización.

Producto	Tipo de cliente	Precio de la electricidad (compra) USD/kWh	Precio de la electricidad (venta) USD/kWh
Electricidad	regulado/libre	0,113	0,090

Precio de electricidad (compra): es el precio que paga el cliente al distribuidor de electricidad. Precio de electricidad (venta): es el precio que el distribuidor le paga al usuario por inyectar energía a la red de distribución.

Seleccione el tipo de combustible utilizado para producir calor útil en el proyecto sin cogeneración, y el combustible que se utilizará en el proyecto con cogeneración. El sistema muestra los valores que están disponibles en la hoja de caracterización. Los valores son sin IVA. En la calculadora avanzada, puede modificar los precios, para ello tiene que hacerlo en la hoja de Caracterización.

Combustibles	Tipo de combustible	Precio del combustible USD/kWh
Combustible (sin proyecto de cogeneración)	Diesel / Fuel Oil / Gas Natural (GN) / Gas Natural (GN) Magallanes / Biogás / Gas Licuado de Petróleo (GLP) / Biomasa (a gasificar) / Otro (ingresado por el usuario)	0,0853
Combustible (con proyecto de cogeneración)	Diesel / Fuel Oil / Gas Natural (GN) / Gas Natural (GN) Magallanes / Biogás / Gas Licuado de Petróleo (GLP) / Biomasa (a gasificar) / Otro (ingresado por el usuario)	0,0111

La caracterización de las tecnologías (plantas de potencia, equipos térmicos, chiller, combustibles, electricidad, y caso base) están disponibles en la hoja "Caracterización"

El usuario de la "calculadora básica" no puede modificar los parámetros que caracterizan a las tecnologías.

El usuario de la "calculadora avanzada" puede modificar los parámetros de caracterización de las tecnologías.

2.4. DATOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

El sistema evalúa los proyectos en un horizonte de 10 años, con un impuesto a la renta de 27%, y aplica una depreciación lineal. El usuario debe ingresar la tasa de descuento a la que desea evaluar el proyecto.

Para la evaluación del proyecto sin financiamiento ingrese los siguientes datos:

Años de evaluación	10	años
Tasa de descuento	10	%
Tasa de impuesto a la renta	27	%
Método de depreciación	lineal	

¿Desea evaluar el proyecto con financiamiento externo?: Si/No

Préstamo	<input type="checkbox"/>	Leasing	<input type="checkbox"/>	ESCO	<input type="checkbox"/>
----------	--------------------------	---------	--------------------------	------	--------------------------

El usuario puede elegir hasta tres alternativas de financiamiento externo. El sistema utiliza por defecto 10 años para evaluar, igual que en el caso del proyecto sin financiamiento.

Para la evaluación del proyecto con financiamiento (con préstamo) ingrese los siguientes datos:

Relación de deuda (% de financiamiento)		%
Tasa de interés de la deuda		%
Duración de la deuda	10	años

Para la evaluación del proyecto con financiamiento (con leasing) ingrese los siguientes datos:

% Inversión financiada con leasing financiero		%
Número cuotas leasing	10	años
Tasa interés leasing		%
Valor residual (compra al final)	0	USD

Para la evaluación del proyecto con financiamiento externo tipo ESCO, ingrese los siguientes datos:

Tasa de descuento		%
Valor de compra de energía eléctrica a la ESCO		USD/kWh
Valor de compra de energía térmica (calor) a la ESCO		USD/kWh
Valor de compra de energía térmica (frío) a la ESCO		USD/kWh

¿Desea calcular los costos nivelados (levelized cost) de los productos de la planta chp?: Si/No

El sistema evalúa los costos nivelados a 10 años y con la misma tasa de descuento del proyecto sin financiamiento.

Datos para hacer la comparación de costos nivelados (levelized cost)

Años de evaluación	10	años
Tasa de descuento	10	%

3- ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA DEMANDA.

3.1. ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA OBTENIDOS DE LA FACTURACIÓN Y/O PROYECTADOS

En esta sección se deben ingresar los datos de consumos de electricidad, calor útil y/o frío útil, valores obtenidos de la facturación de electricidad y de combustible, o medidos directamente o proyectados.

Se requiere conocer los consumos en un horizonte anual, mensual y horario.

- CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA Y CONSUMOS MENSUAL Y ANUAL

Declare los consumos de electricidad, calor útil y/o frío útil. El sistema calcula el costo mensual en base a los consumos y los precios de la electricidad y/o del combustible.

Obtenga esta información directamente de las facturas eléctricas, de combustible, y/o térmica.

Si no dispone de las facturas o si dicha información no representa el consumo de los procesos que desea evaluar, entonces, debe estimar esos valores o en su defecto tiene que hacer una campaña de medición.

DEMANDA Y CONSUMO ELÉCTRICO

En la Tabla 3.1.1. ingrese los consumos de electricidad mensual en un horizonte de un año, sin cogeneración. El costo mensual se calcula a partir de los consumos ingresados y el precio de la energía eléctrica en el caso on-grid y con precio del combustible en el caso off-grid.

Si el proyecto de cogeneración va a producir frío útil con un chiller de absorción (en reemplazo de un chiller eléctrico), entonces, declare si en el consumo eléctrico se incluye (o no) el consumo del chiller eléctrico.

Consumo eléctrico incluye consumo de chiller eléctrico: Si/No

En caso de seleccionar “sí”, el sistema posteriormente calcula el consumo de energía eléctrica restando a la demanda eléctrica (Tabla 3.1.1) los consumos eléctricos del Chiller eléctrico (Tabla 3.1.4 o 3.1.5). Si selecciona “no”, no realiza dicha resta.

Tabla 3.1.1. Perfil mensual de consumo de energía eléctrica.

	Consumo energía eléctrica	Costo energía
	kWh/mes	USD/mes
Enero		
Febrero		
...		
Noviembre		
Diciembre		
Anual		
Promedio		
Max		
Min		

Una vez ingresados los datos en la Tabla 3.1.1., se debe apretar el botón “Guardar y calcular”. Con ello, el sistema calcula el costo de la energía y construye el gráfico de “consumo de energía eléctrica y su costo mensual”. Nota: Los gráficos tienen la opción de descarga en diferentes formatos (PNG, JPEG, PDF, SVG, CSV, XLS).

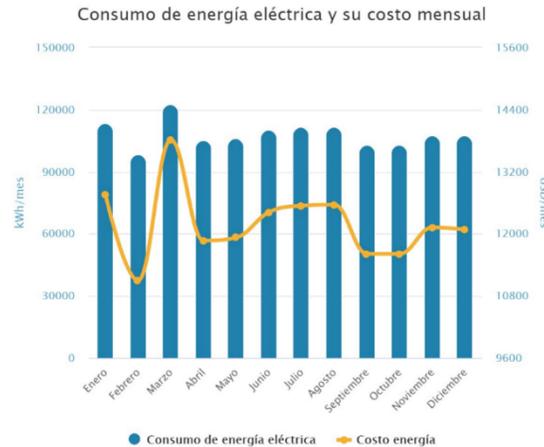


Figura 3.1.1. Consumo de energía eléctrica y su costo mensual.

DEMANDA Y CONSUMO TÉRMICO

Se deben declarar los consumos de energía térmica de calor útil y/o de frío útil mensual, sin cogeneración.

Consumo de Calor útil

El consumo de calor útil se puede obtener a partir del consumo de combustible de la caldera auxiliar (Tabla 3.1.2) o de valores medidos y/o estimados (Tabla 3.1.3).

Para obtener el consumo de calor útil a partir del consumo de combustible de la caldera auxiliar, ingrese la información solicitada en la Tabla 3.1.2. Si no tiene los datos de consumo de combustible, pero si tiene los consumos de calor útil (medidos o estimados), entonces, ingréselos en la Tabla 3.1.3.

¿Dispone del consumo de combustible de la caldera auxiliar para producir calor útil?: Si/No

Si selecciona “Si”, la calculadora despliega la Tabla 3.1.2.

Tabla 3.1.2. Perfil mensual de consumo de calor útil, obtenido a partir del consumo de combustible de la caldera auxiliar.

	Consumo de combustible	Consumo de calor útil	Costo producción de calor útil
	kWh/mes	kWh/mes	USD/mes
Enero			
Febrero			
...			
Noviembre			
Diciembre			
Anual			
Promedio			
Max			
Min			

Una vez ingresados los datos en la Tabla 3.1.2., se debe apretar el botón “Guardar y calcular”. Con ello, el sistema calcula el “consumo de calor útil” y el “costo de producción de calor útil” y construye el gráfico de “consumo de calor útil y su costo mensual”.

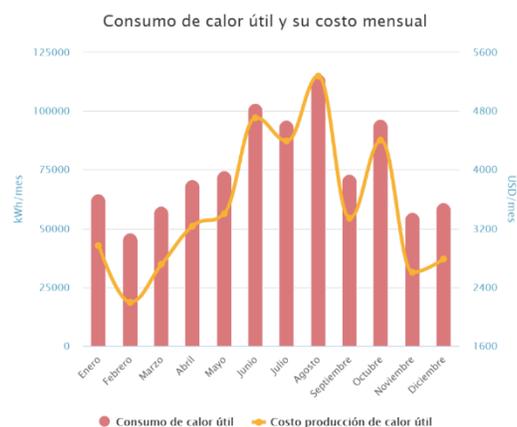


Figura 3.1.2. Consumo de calor útil y su costo mensual.

Si selecciona “No”, la calculadora muestra la Tabla 3.1.3.

Tabla 3.1.3. Perfil mensual de consumo de calor útil, obtenido a partir de las cargas térmicas.

	Equipo o sistema 1	Equipo o sistema 2	Equipo o sistema 3	Equipo o sistema 4	Consumo de calor útil	Costo producción de calor útil
	kWh/mes	kWh/mes	kWh/mes	kWh/mes	kWh/mes	USD/mes
Enero						
Febrero						
...						
Noviembre						
Diciembre						
Anual						
Promedio						
Max						
Min						

Una vez ingresados los datos en la Tabla 3.1.3., se debe apretar el botón “Guardar y calcular”. Con ello, el sistema calcula el “consumo de calor útil” y el “costo de producción de calor útil” y construye el gráfico de “consumo de calor útil y su costo mensual”.

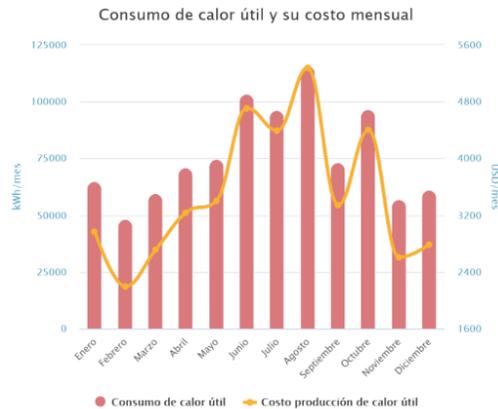


Figura 3.1.3. Consumo de calor útil y su costo mensual.

Consumo de Frío útil

El consumo de frío útil se puede obtener a partir del consumo de electricidad del chiller eléctrico a reemplazar (Tabla 3.1.4) o de valores medidos y/o estimados (Tabla 3.1.5).

Para obtener el consumo de frío útil a partir del consumo de electricidad del chiller eléctrico a reemplazar, ingrese la información solicitada en la Tabla 3.1.4. Si no tiene los datos de consumo eléctrico del chiller eléctrico, pero si los datos del consumo de frío (medidos o estimados), entonces, ingréselos en la Tabla 3.1.5.

¿Dispone del consumo de electricidad del chiller eléctrico que produce frío útil?: Si/No

Si selecciona “Si”, la calculadora despliega la Tabla 3.1.4.

Tabla 3.1.4. Perfil mensual de consumo de frío útil, obtenido a partir del consumo eléctrico de chiller eléctrico.

	Consumo de electricidad de chiller eléctrico	Consumo de frío útil	Costo producción de frío útil
	kWh/mes	kWh/mes	USD/mes
Enero			
Febrero			
...			
Noviembre			
Diciembre			
Anual			
Promedio			
Max			
Min			

Una vez ingresados los datos en la Tabla 3.1.4., se debe apretar el botón “Guardar y calcular”. Con ello, el sistema calcula el “consumo de frío útil” y el “costo de producción de frío útil” y construye el gráfico de “consumo de frío útil y su costo mensual”.

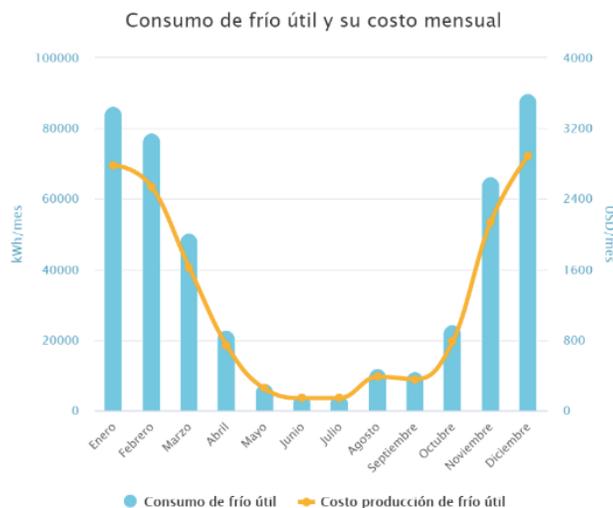


Figura 3.1.4. Consumo de frío útil y su costo mensual.

Si selecciona “No”, la calculadora muestra la Tabla 3.1.5.

Tabla 3.1.5. Perfil mensual de consumo de frío útil, obtenido de mediciones y/o estimaciones.

	Equipo o sistema 1	Equipo o sistema 2	Equipo o sistema 3	Equipo o sistema 4	Consumo de electricidad de chiller eléctrico	Consumo de frío útil	Costo producción de frío útil
	kWh/mes	kWh/mes	kWh/mes	kWh/mes	kWh/mes	kWh/mes	USD/mes
Enero							
Febrero							
...							
Noviembre							
Diciembre							
Anual							
Promedio							
Max							
Min							

Una vez ingresado los datos en la Tabla 3.1.5., se debe apretar el botón “Guardar y calcular”. Con ello, el sistema calcula el “consumo de frío útil” y el “costo de producción de frío útil” y construye el gráfico de “consumo de frío útil y su costo mensual”.

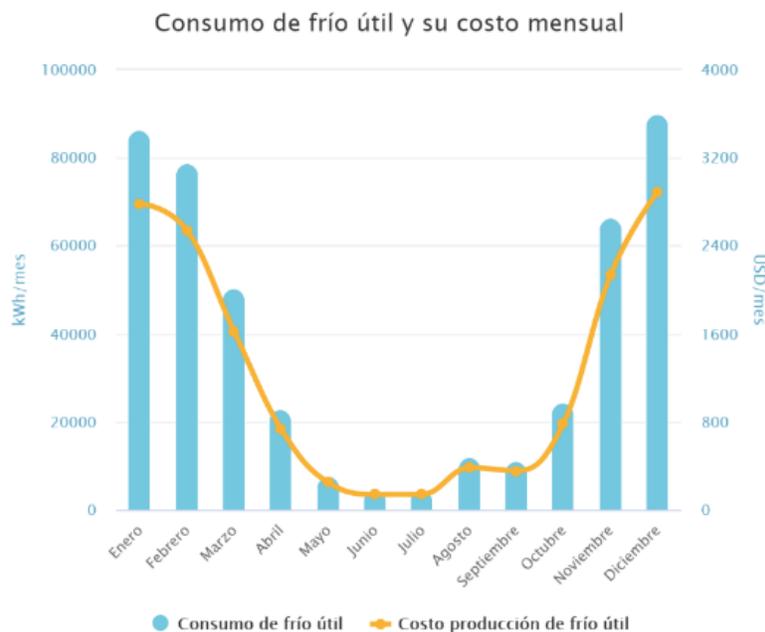


Figura 3.1.5. Consumo de frío útil y su costo mensual.

- CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DIARIA

Para construir la tabla de demanda horaria (Sección 3.3, Tabla 3.3.1.) se puede hacer por medio de una de las siguientes opciones:

a) Perfil diario de consumo (Tabla 3.1.6). Se considera el mismo consumo diario todos los días del año. Seleccione un perfil diario ya sea residencial, comercial o industrial, o ingrese uno propio (otro). En caso de seleccionar otro, con la Tabla 3.1.8 puede determinar el perfil de consumo diario.

b) Perfil de consumo semanal (Tabla 3.1.7). Se considera el mismo perfil de consumo semanal durante todo el año. Seleccione un perfil diario ya sea residencial, comercial o industrial, o ingrese uno propio (otro). En caso de seleccionar otro, con la Tabla 3.1.8 puede determinar el perfil de consumo diario.

¿Su perfil diario es el mismo todos los días del año?: Si/No

Si selecciona "Si", la calculadora despliega la Tabla 3.1.6. El usuario tiene que seleccionar el perfil diario (residencial, comercial, industrial, otro). Si seleccionó "otro" y después "ayuda" se despliega la Tabla 3.1.8 que le ayuda a calcular los porcentajes del perfil diario.

a) Tabla 3.1.6. Perfil diario de consumo:

	Electricidad	Calor útil	Frío útil
Seleccione perfil diario	Residencial/Comercial/Industrial/Otro	Residencial/Comercial/Industrial/Otro	Residencial/Comercial/Industrial/Otro
Hora (h)	%	%	%
1			
2			
...			
23			
24			
Total (debe dar 100%)			
Tabla auxiliar	Electricidad	Calor útil	Frío útil

En la Tabla 3.1.8. el usuario ingresa los consumos horarios diarios, el sistema calcula el % al apretar el botón “calcular” y después el botón “Copiar valores”, el sistema copia los % en la columna correspondiente de la Tabla 3.1.6.

Tabla 3.1.8. Perfil diario de consumo en %

Hora	Consumo horario	Total
h	kWh	%
1		
2		
...		
23		
24		
Total		

Una vez ingresado los datos en la Tabla 3.1.6, se debe apretar el botón “Guardar y calcular”. Con ello, el sistema calcula los consumos horarios anuales obteniendo las tablas auxiliares (Tabla 3.1.6.auxiliar) para “Electricidad”, “Calor útil” y “Frío útil”. Estas tablas se despliegan al hacer clic sobre las tablas auxiliares en la Tabla 3.1.6.

Tabla 3.1.6. Auxiliar. Consumo mensual horario. Una tabla para cada producto (electricidad, calor útil, y frío útil).

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
h	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1												
2												
...												
23												
24												
Total kWh/día												
Consumo diario kWh/día												
días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

También, el sistema grafica el “perfil diario de consumo”.

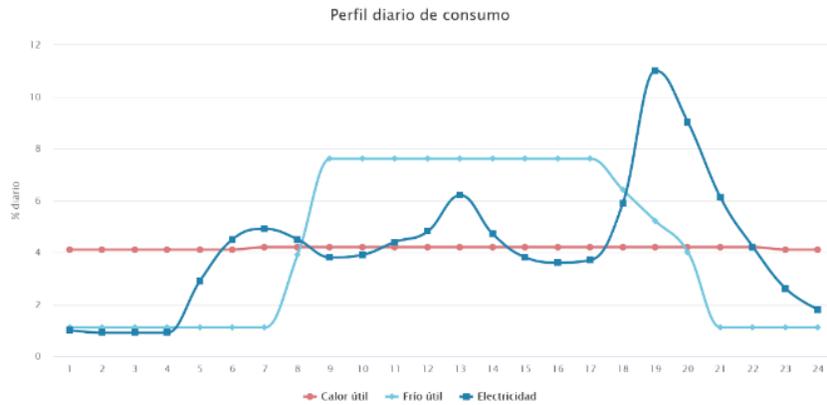


Figura 3.1.6. Perfil diario de cada consumo

Si selecciona “No”, la calculadora despliega la Tabla 3.1.7. El usuario tiene que seleccionar el perfil semanal de consumo. El usuario tiene que ingresar el % consumo día/semana, la suma tiene que dar 100%.

b) Tabla 3.1.7. Perfil semanal de consumo. Es una tabla por cada producto (electricidad, calor útil, y frío útil)

Perfil semanal de consumo

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
h	%	%	%	%	%	%	%
1							
2							
...							
23							
24							
Total %							
% consumo día/semana							
Tabla auxiliar	Electricidad						

Perfil semanal de consumo Residencial / Comercial / Industrial / Otro

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
h	%	%	%	%	%	%	%
1							
2							
...							
23							
24							
Total %							
% consumo día/semana							
Tabla auxiliar	Calor útil						

Perfil semanal de consumo Residencial / Comercial / Industrial / Otro

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
h	%	%	%	%	%	%	%
1							
2							
...							
23							
24							
Total %							
% consumo día/semana							
Tabla auxiliar	Frío útil						

Al apretar el botón “Guardar y calcular” en cada una de las tablas, el sistema calcula los consumos horarios mensuales obteniendo las tablas auxiliares (Tabla 3.1.7.auxiliar) para “Electricidad”, “Calor útil” y “Frío útil” para cada mes del año. Estas tablas se despliegan al hacer click sobre las tablas auxiliares en la Tabla 3.1.7.

Tabla 3.1.7. Auxiliar. Consumo semanal por mes. Es una tabla para cada producto (electricidad, calor útil, y frío útil) y para cada mes.

		Enero						
Hora		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
h	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1								
2								
...								
23								
24								
Total kWh/día								
días en mes								
Mensual								
Consumo eléctrico kWh/día								

También, el sistema grafica el “Perfil diario de consumo semanal”.

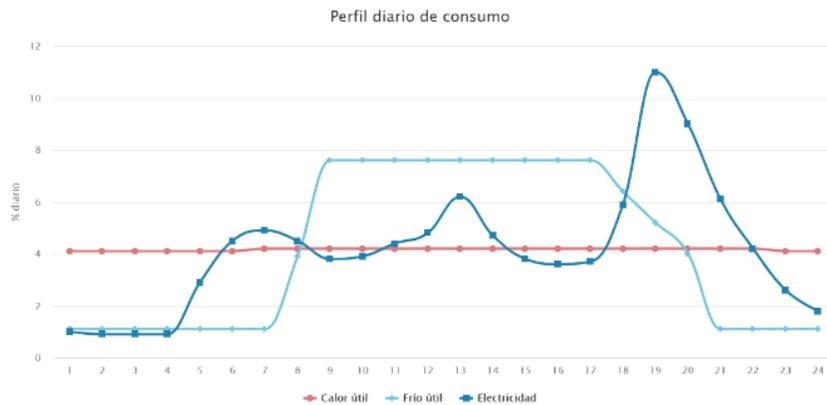


Figura 3.1.7. Perfil diario de consumo semanal

Una vez ingresados los valores se debe apretar el botón “Siguiente”, con ello el sistema hace los cálculos, aparece el mensaje “Procesando datos”. Una vez procesados los datos, se puede seguir navegando por las secciones restantes que es donde se despliegan los resultados.

3.2. ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA OBTENIDOS DE LA FACTURACIÓN Y/O PROYECTADOS

CÁLCULO DE LÍNEA BASE SEGÚN PARÁMETROS DE INGRESO

La línea base está compuesta por las demandas de electricidad, calor útil y/o frío útil que deben ser satisfechas por el caso base (caso sin cogeneración) y por el proyecto de cogeneración.

El caso base on-grid está formado por una red de distribución eléctrica, una caldera y/o un chiller eléctrico, para producir electricidad, calor útil y/o frío útil respectivamente. (Figura 3.2.1.a)

El caso base off-grid está formado por un generador MCI, una caldera y/o un chiller eléctrico, para producir electricidad, calor útil y/o frío útil respectivamente. (Figura 3.2.1.b)

La planta de cogeneración (planta chp) está constituida por una planta de potencia que produce electricidad y parte de sus calores residuales se aprovechan como calor útil y/o frío útil, este último se produce a través de un chiller de absorción.

El proyecto de cogeneración on-grid (proyecto chp on-grid) está formado por una planta de cogeneración, por una red de distribución eléctrica, y por una caldera convencional. (Figura 3.2.1.a)

El proyecto de cogeneración off-grid (proyecto chp off-grid) está formado por una planta de cogeneración (planta chp), por un generador MCI (generador no chp), y por una caldera convencional. (Figura 3.2.1.b)

ESQUEMA DE SISTEMAS EVALUADOS

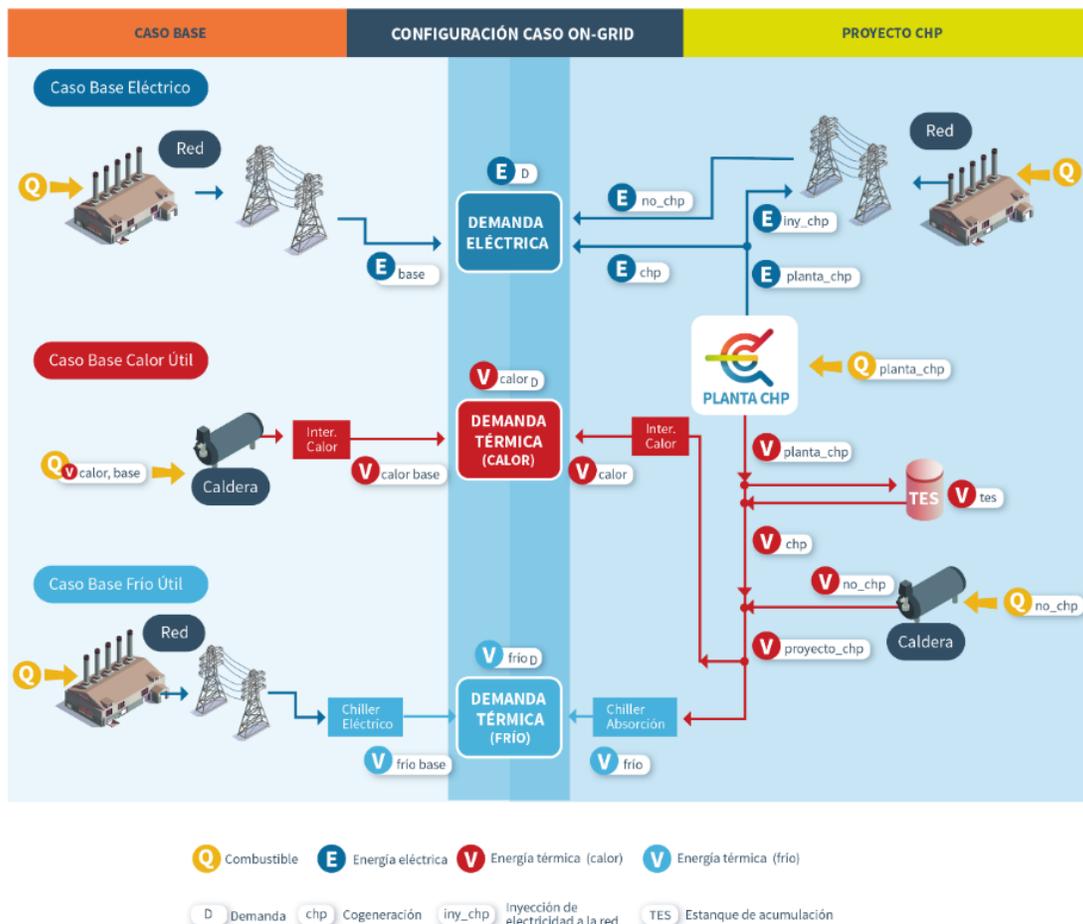


Figura 3.2.1.a. Caso base on-grid, planta de cogeneración (planta chp), y caso proyecto de cogeneración (proyecto chp).

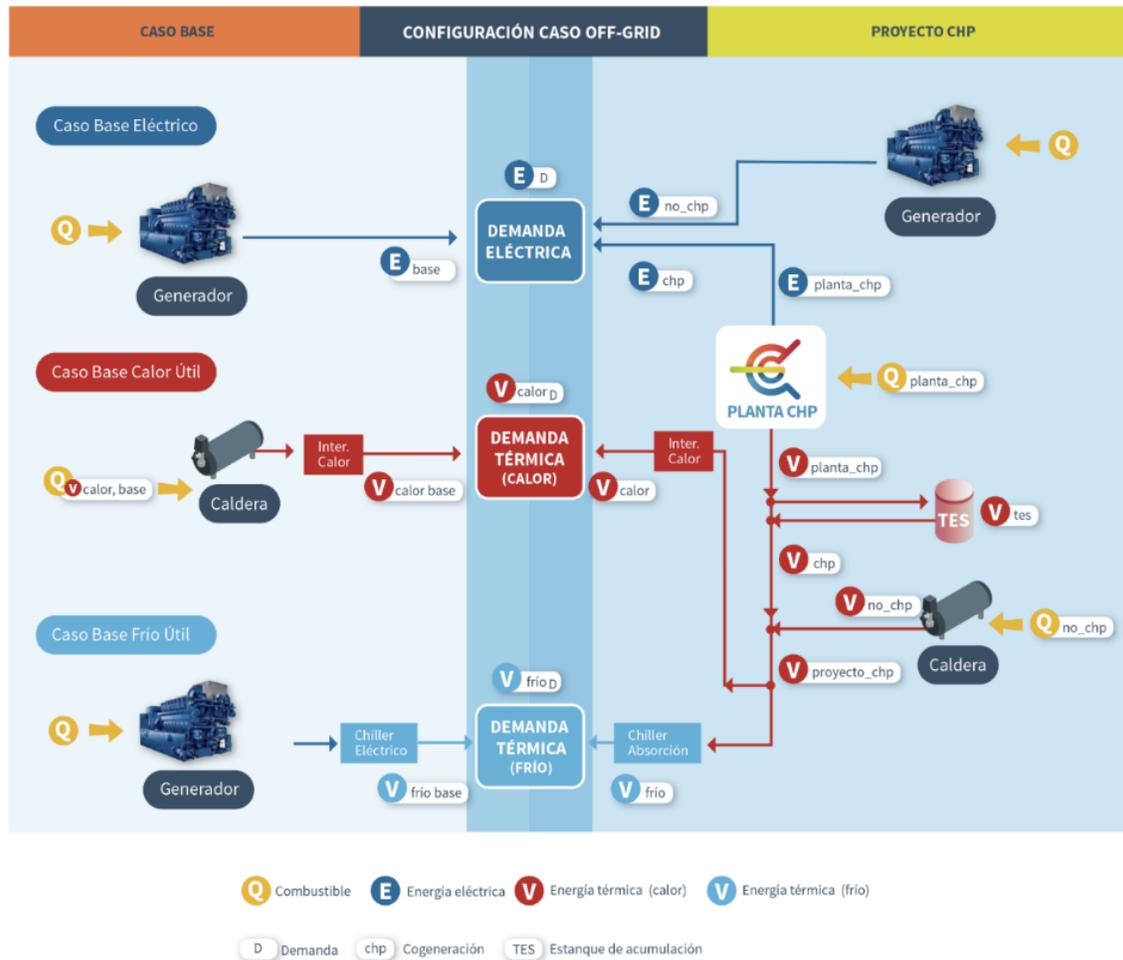


Figura 3.2.1.b. Caso base off-grid, planta de cogeneración (planta chp), y caso proyecto de cogeneración (proyecto chp).

El caso base queda definido por:

- Demanda de electricidad y energía térmica (calor útil y/o frío útil).
- Producción anual de electricidad y energía térmica (calor útil y/o frío útil).
- Consumo anual de combustible.
- Precios de mercado de electricidad, combustible y/o energía térmica (calor útil y/o frío útil).
- Emisiones de CO₂eq para producir electricidad y energía térmica.

DEMANDA ANUAL DE CADA PRODUCTO

Demanda anual de electricidad

Demanda anual de electricidad	E _D		kWh/año
Demanda anual de calor útil	V _{calor,D}		kWh/año
Demanda anual de frío útil	V _{frio,D}		kWh/año (ton_ref)

PRODUCCIÓN ANUAL DE CASO BASE

Producción anual de electricidad	E_{base}		kWh/año
Producción anual de calor útil	$V_{calor,base}$		kWh/año
Producción anual de frío útil	$V_{frío,base}$		kWh/año (ton_ref)

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA DE CASO BASE

El consumo de energía primaria es el consumo de combustible al operar el caso base.

Consumo de combustible para producir electricidad, caso base	$Q_{E,base}$		kWh/año
Consumo de combustible para producir calor útil, caso base	$Q_{Vcalor,base}$		kWh/año
Consumo de combustible para producir frío útil, caso base	$Q_{Vfrío,base}$		kWh/año
Consumo de combustible, caso base	$Q_{productos,base}$		kWh/año
Rendimiento global, caso base	RG_{base}		%

COSTOS POR COMPRA DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA TÉRMICA EN EL MERCADO EN CASO BASE

Costo compra electricidad, caso base	$C_{E,base}$		USD/año
Costo compra calor útil, caso base (compra de combustible caldera auxiliar)	$C_{Vcalor,base}$		USD/año
Costo compra frío útil, caso base (compra de electricidad para chiller eléctrico)	$C_{Vfrío,base}$		USD/año
Costo por compra de electricidad y energía térmica útil, caso base	$C_{productos,base}$		USD/año

EMISIONES DE CO₂eq DE LÍNEA BASE

Emisiones de CO ₂ eq, para producir electricidad, caso base	$Em_{E,base}$		ton CO ₂ eq/año
Emisiones de CO ₂ eq, para producir calor útil, caso base	$Em_{Vcalor,base}$		ton CO ₂ eq/año
Emisiones de CO ₂ eq, para producir frío útil, caso base	$Em_{Vfrío,base}$		ton CO ₂ eq/año
Emisiones totales de CO ₂ eq, caso base	$Em_{productos,base}$		ton CO ₂ eq/año

3.3. CÁLCULO DE CURVAS DE DEMANDA ELÉCTRICA Y TÉRMICA EN BASE A PARÁMETROS MEDIDOS Y/O ESTIMADOS.

DEMANDA HORARIA ANUAL

Con los datos de la Tabla 3.1.6 ó Tabla 3.1.7 se confecciona la Tabla 3.3.1 y se grafica la demanda v/s horas.

Tabla 3.3.1. Demanda horaria anual.

Nº	Día	Mes	Hora	Electricidad E_D kW _e	Calor útil $V_{calor,D}$ kW _t	Frío útil $V_{frío,D}$ kW _{t ref}
1	1	1	0			
2	1	1	1			
...						
8759	31	12	22			
8760	31	12	223			
Anual						
Promedio						
Max						
Min						

El mes de enero de la Tabla 3.3.1 se grafica en la Figura 3.3.1.

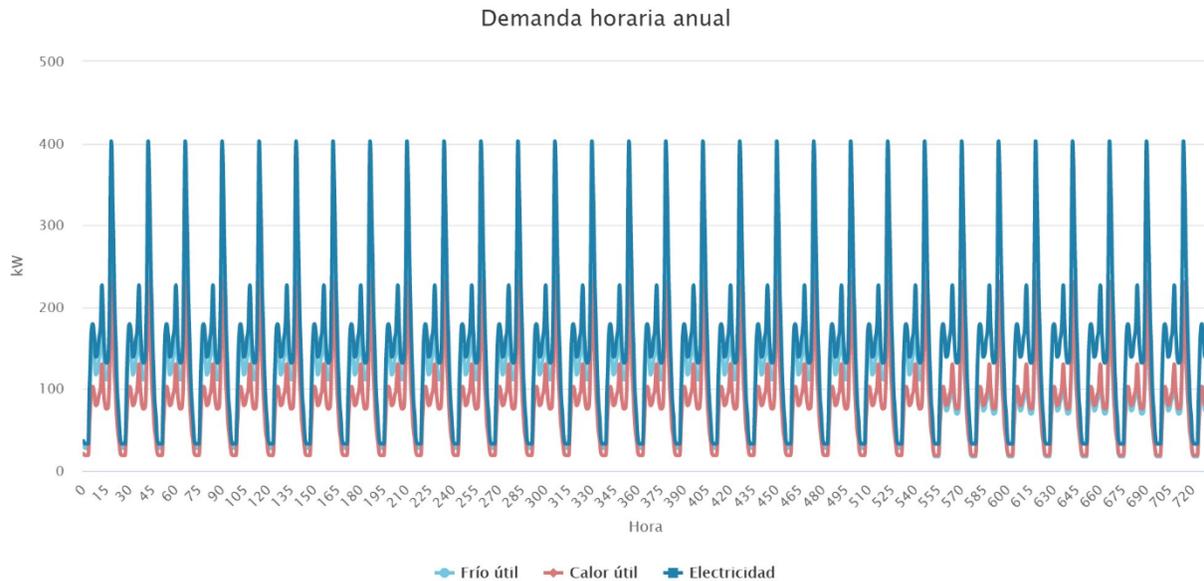


Figura 3.3.1 Demanda horaria de electricidad, de calor útil, y de frío útil.

3.4. CÁLCULO DE CURVAS DE DEMANDA DESCENDENTES (CURVA DE DURACIÓN DE CARGA O CURVA DE FRECUENCIA INVERSA).

La información de la Tabla 3.3.1. (Demanda horaria anual) se ordena en orden descendente, obteniendo las curvas de duración de carga en la Tabla 3.4.1.

Tabla 3.4.1. Curvas de duración de carga (demanda descendente).

Hora	Electricidad E	Potencia Térmica V
h	kW _e	kW _t
1		
2		
...		
8759		
8760		

En la Figura 3.4.1 se grafican las curvas de duración de carga y la potencia nominal (E_{nom}) de planta de potencia seleccionada.

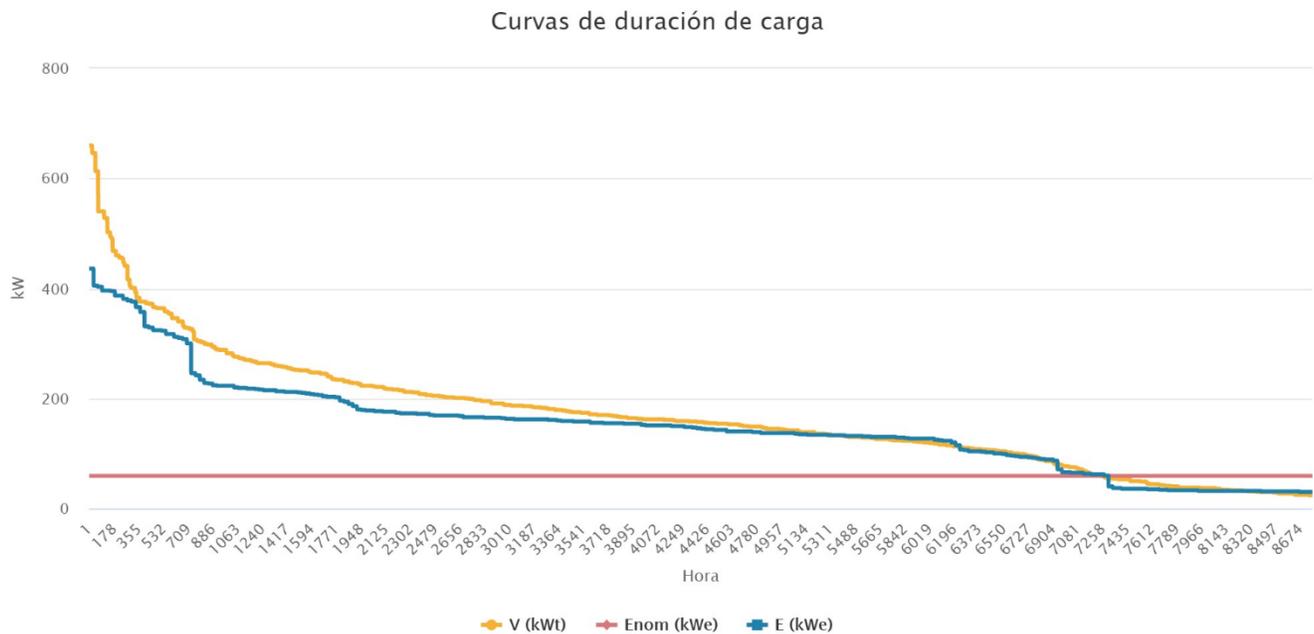


Figura 3.4.1. Curvas de duración de carga.

El sistema muestra la Potencia nominal de planta de potencia chp (E_{nom}), esta es la potencia obtenida en el proceso de dimensionamiento de la planta chp.

Enom (kW_e):

4. ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA TÉRMICA.

4.1. DIMENSIONAMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN

DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN

Para el dimensionamiento se aplica el método del rectángulo máximo (MRM) modificado, que consiste en:

Se determina la máxima área del rectángulo en la curva de duración de carga de V y E. De cada una de las curvas, se obtiene la potencia y tiempo en donde el área es máxima.

Se calcula el parámetro $C_{MRM} = E_{MRM} / V_{MRM}$, donde E_{MRM} es la potencia eléctrica obtenida de la curva de duración de carga de E, y V_{MRM} es la potencia térmica obtenida de la curva de duración de carga de V. El valor C_{MRM} se compara con el valor C de la tecnología que está evaluando. Dependiendo de su valor se establece si el control es por demanda eléctrica o por demanda térmica.

Potencia nominal de planta de potencia chp	E_{nom}		kW_e
Potencia nominal de Intercambiador de Calor (para planta chp)	$V_{calor,nom}$		kW_t
Potencia nominal de Intercambiador de Calor (para proyecto chp)	$V_{calor,nom, proy.chp}$		kW_t
Potencia nominal chiller de absorción (para planta chp)	$V_{frío,nom}$		kW_t ref (ton_ref)
Potencia nominal chiller de absorción (para proyecto chp)	$V_{frío,nom,proy.chp}$		kW_t ref (ton_ref)

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA TÉRMICA DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN Y DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN.

La producción anual de la planta de cogeneración (planta_chp) incluye la producción de electricidad, calor útil y/o frío útil generados solamente por la planta chp.

La producción anual del proyecto de cogeneración (proyecto_chp) incluye la producción de electricidad, calor útil y/o frío útil generados por la planta chp y por los equipos no chp (red eléctrica o generador y caldera auxiliar).

Producción anual de electricidad, planta chp	E_{planta_chp}		$kWh/año$
Producción anual de electricidad consumida desde planta chp (no incluye inyección en la red)	E_{chp}		$kWh/año$
Producción anual de electricidad inyectada a la red por planta chp	E_{iny_chp}		$kWh/año$
Producción anual de electricidad, no chp	E_{no_chp}		$kWh/año$
Producción anual de electricidad, proyecto chp	$E_{proyecto_chp}$		$kWh/año$
Producción anual de energía térmica, planta chp	V_{planta_chp}		$kWh/año$
Producción anual de calor útil, chp	$V_{calor,chp}$		$kWh/año$
Producción anual de frío útil, chp	$V_{frío,chp}$		$kWh/año$
Producción anual de energía térmica, no chp	V_{no_chp}		$kWh/año$
Producción anual de calor útil, no chp	V_{calor,no_chp}		$kWh/año$
Producción anual de frío útil, no chp	$V_{frío,no_chp}$		$kWh/año$
Producción anual de energía térmica, proyecto chp	$V_{proyecto_chp}$		$kWh/año$

CURVAS DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA TÉRMICA

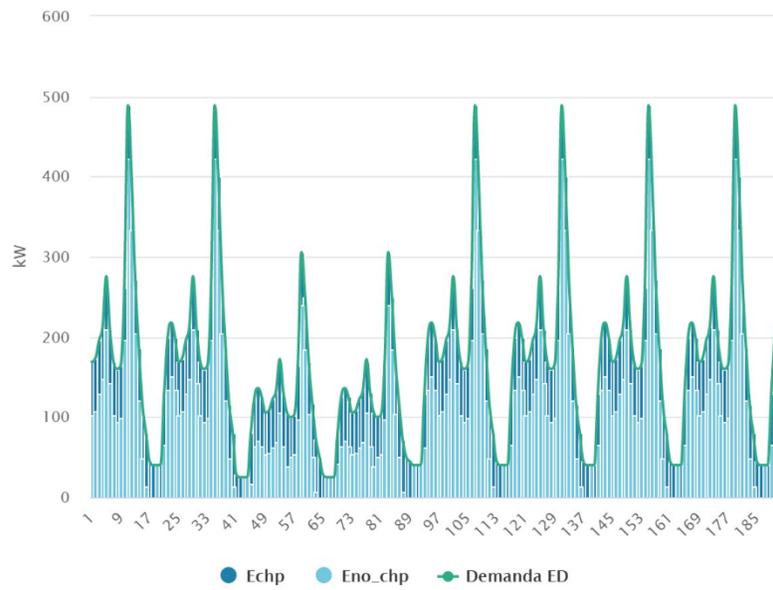


Figura 4.1. Producción de electricidad.

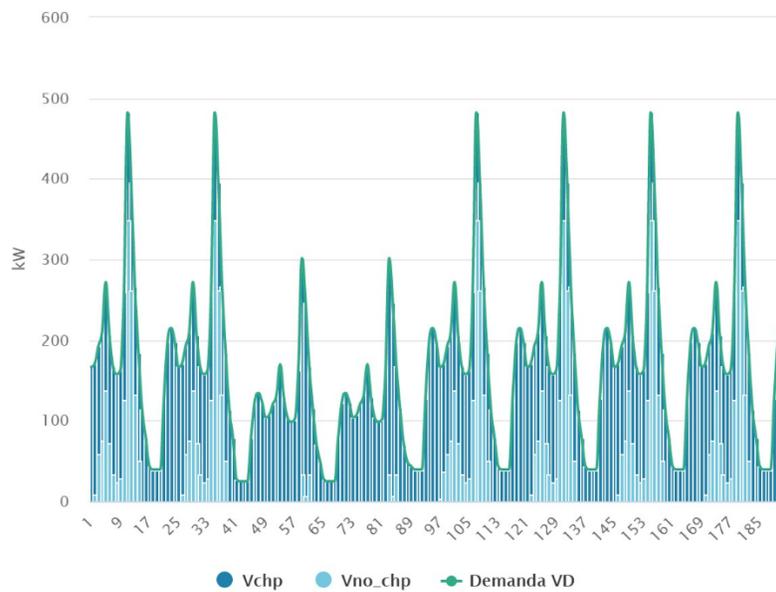


Figura 4.2. Producción de energía térmica.

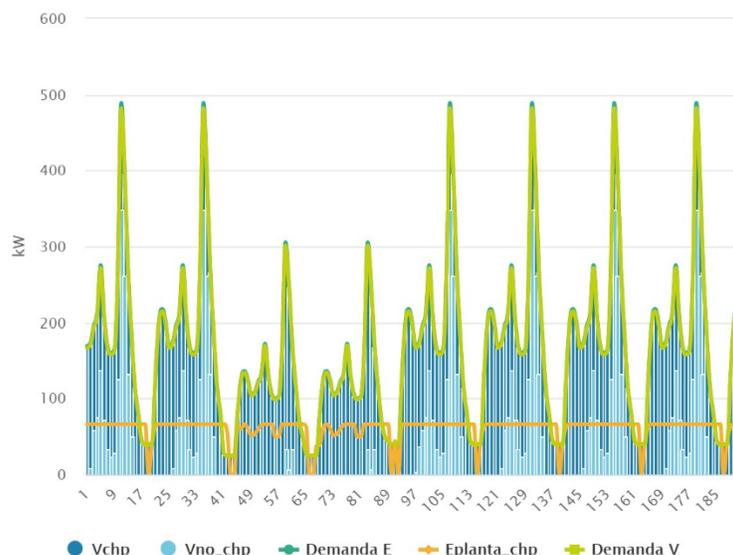


Figura 4.3. Producción Planta chp y energía térmica no chp (caldera auxiliar).

INDICADORES DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN

Factor de capacidad, chp	fc		%
Factor de disponibilidad, chp	fd		%
Horas de operación planta chp	h_{chp}		h
Parámetro C	C		%
Rendimiento eléctrico, chp	RE_{chp}		%
Rendimiento térmico, chp	RT_{chp}		%
Rendimiento global, chp*	RG_{chp}		%
¿es cogeneración eficiente, considerando el RGchp?*	-		-
Rendimiento eléctrico equivalente, chp*	REE_{chp}		%
¿es cogeneración eficiente, considerando el REEchp?*	-		-

* cálculo de rendimiento global o de rendimiento eléctrico equivalente, y criterio para establecer cogeneración eficiente, de acuerdo con la normativa vigente.

4.2. ESTIMACIÓN DE AHORROS DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN Y DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN

Ahorro de energía primaria de planta chp

El ahorro de energía primaria es el ahorro de consumo de combustible al operar la planta chp respecto al caso base, ambos con los mismos niveles de producción de la planta chp.

Ahorro de energía primaria de planta chp = Consumo de combustible desplazado para producir energía eléctrica en la red o generador no chp + Consumo de combustible desplazado para producir energía térmica en una caldera convencional - Consumo de combustible de planta chp

Consumo de combustible desplazado para producir energía eléctrica en la red o generador no chp	$Q_{S,E}$		kWh/año
Consumo de combustible desplazado para producir energía térmica en una caldera convencional	$Q_{S,V}$		kWh/año
Consumo de combustible de planta chp	Q_{planta_chp}		kWh/año
Ahorro de energía primaria de planta chp (ahorro de combustible)	Q_S		kWh/año
Ahorro porcentual de energía primaria	PES		%

Ahorros en proyecto chp

El ahorro en el proyecto chp se determina por la diferencia entre los ingresos y los egresos en un año. Los ingresos están dados por la venta de electricidad a la red más el consumo de electricidad y combustible del caso base, estos dos se indican como ahorro.

Los egresos están dados por el costo de combustible de la planta chp y de la caldera auxiliar más la compra de electricidad a la red.

Consumos de combustible proyecto chp

Consumo de combustible de planta chp	Q_{planta_chp}		kWh/año
Consumo de combustible no chp (caldera auxiliar)	Q_{V,no_chp}		kWh/año

Ingresos

Venta de excedentes de electricidad (E_{iny_chp})			USD/año
Ahorro de electricidad (compra de electricidad a la red, caso base)	$C_{E,base}$		USD/año
Ahorro de combustible de caldera (compra de combustible para caldera auxiliar, caso base)	$C_{Vcalor,base}$		USD/año

Egresos

Costo del consumo de combustible de planta chp	$C_{Q,planta_chp}$		USD/año
Costo del consumo de combustible no chp (caldera auxiliar)	C_{Q,no_chp}		USD/año
Costo de compra de electricidad a la red (no_chp)			USD/año

Ingresos - Egresos	$C_{S,proyecto_chp}$		USD/año
--------------------	-----------------------	--	---------

4.3. REDUCCIÓN DE EMISIONES DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN

Estimación de emisiones de planta chp (asociada a ahorro de energía primaria de planta chp)

Ahorro de emisiones totales de CO_2eq planta chp = Emisiones de CO_2eq desplazadas para producir energía eléctrica en la red + Emisiones de CO_2eq desplazadas para producir energía térmica con una caldera convencional - Emisiones de CO_2eq producidas, planta chp

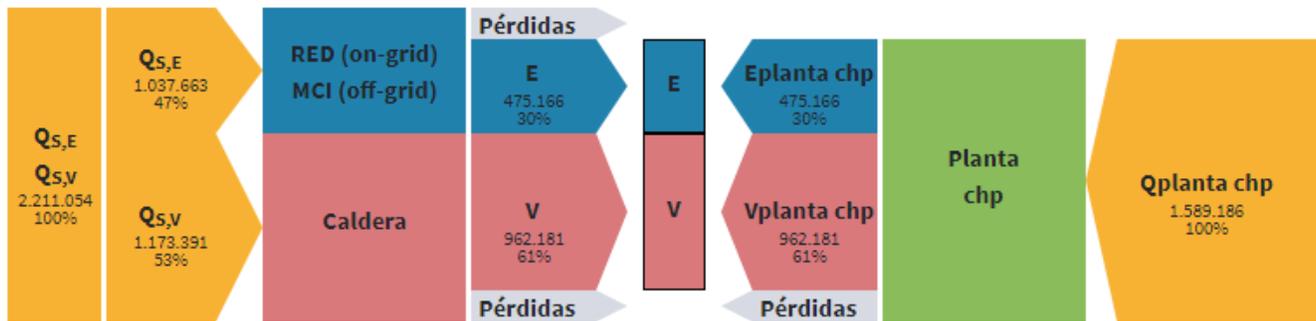
Emisiones de CO_2eq desplazadas para producir energía eléctrica en la red	$Em_{S,E}$		ton CO_2 /año
Emisiones de CO_2eq desplazadas para producir energía térmica en una caldera convencional	$Em_{S,V}$		ton CO_2 /año
Emisiones de CO_2eq producidas, planta chp	Em_{planta_chp}		ton CO_2 /año
Ahorro de emisiones totales de CO_2eq planta chp	$Em_{S,planta_chp}$		ton CO_2 /año

Estimación de emisiones de proyecto chp

Con los datos de Ahorro de combustible de proyecto chp se calculan los ahorros de emisiones totales de CO₂ equivalentes del proyecto chp
 Ahorro de emisiones totales de CO₂eq proyecto chp = Emisiones de CO₂eq del caso base (E+V) - Emisiones de CO₂eq producidas por proyecto chp

Emisiones de CO ₂ eq producidas, planta chp	Em _{planta_chp}		ton CO ₂ /año
Emisiones de CO ₂ eq producidas, caldera auxiliar (no chp)	Em _{v,no_chp}		ton CO ₂ /año
Emisiones de CO ₂ eq producidas, compra de Electricidad a la red (Eno_chp)	Em _{E,no_chp}		ton CO ₂ /año
Emisiones de CO ₂ eq producidas, proyecto chp	Em _{proyecto_chp}		ton CO ₂ /año
Ahorro de emisiones totales de CO ₂ eq, proyecto chp	Em _{s,proyecto_chp}		ton CO ₂ /año

4.4. DIAGRAMA SANKEY DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN



Ahorro de energía primaria: [redacted] kWh
 Ahorro porcentual de energía primaria: [redacted] %

Figura 4.4. Diagrama Sankey

5. EVALUACIÓN TECNO-ECONÓMICA DEL PROYECTO.

5.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN.

INGRESOS, AHORROS / EGRESOS / COSTOS DE INVERSIÓN

Ahorros e ingresos anuales, año 1	Caso Base	Caso Proy.chp	Unidad
Electricidad			
Venta de excedentes de electricidad (E_{iny_chp})			USD/año
Ahorro electricidad (compra de electricidad en caso base)			USD/año
Energía térmica.			
Ahorro de combustible (compra de combustible para caldera auxiliar en caso base)			USD/año
Ahorros e Ingresos Anuales			USD/año

Costos anuales, año 1	Caso Base	Caso Proy.chp	Unidad
Opex (Costos de operación y mantenimiento, no incluye combustible)			
Opex planta de potencia chp			USD/año
Opex intercambiador de calor (planta chp)			USD/año
Opex chiller de absorción (proyecto)			USD/año
Costos de combustible (consumido por planta chp)			USD/año
Compra de combustible para caldera de respaldo térmico			USD/año
Compra de electricidad a la red (en caso off-grid es la compra de combustible para el generador off-grid)			USD/año
Costos anuales totales			USD/año

Costos de inversión iniciales	Caso Base	Caso Proy.chp	Unidad
Capex planta de potencia			USD
Equipo planta de potencia			USD
Otros costos de inversión (planta de potencia)			USD
Capex intercambiador de calor (planta chp)			USD
Equipo intercambiador de calor			USD
Otros costos de inversión (intercambiador de calor)			USD
Capex chiller de absorción (proyecto)			USD
Equipo chiller de absorción			USD
Otros costos de inversión (chiller de absorción)			USD
Costos de inversión (capex) inicial total			USD
Total Equipos, iniciales			USD

Financiamiento externo, año 1	Caso Proy.chp	Unidad
Deuda préstamo		USD
Cuota de deuda (préstamo)		USD/año
Deuda leasing		USD
Cuota de leasing		USD/año
Compra de energía a la ESCO		USD/año

RESUMEN DE RESULTADOS	VAN (USD)	TIR (%)	Payback (año)
Proyecto sin financiamiento (con financiamiento propio)			
Proyecto con financiamiento (Préstamo)			
Proyecto con financiamiento (Leasing)			
Proyecto con financiamiento (ESCO, venta de energía)			

FLUJO DE CAJA PROYECTO DE COGENERACIÓN SIN FINANCIAMIENTO EXTERNO

Valores en USD

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Electricidad.											
Venta de excedentes de electricidad (E_{iny_chp})											
Ahorro electricidad (compra de electricidad en caso base)											
Energía térmica.											
Ahorro de combustible (compra de combustible en caso base para caldera auxiliar)											
Ahorros e Ingresos Anuales											
Egresos											
Opex (Costos de operación y mantenimiento, no incluye combustible)											
Opex planta de potencia chp											
Opex intercambiador de calor (planta chp)											
Opex chiller de absorción (proyecto)											
Costos de combustible (consumido por planta chp)											
Compra de combustible para caldera de respaldo térmico											
Compra de electricidad a la red											
Costos anuales totales											
EBITDA											
Depreciación											
Utilidad antes de impuestos											
Impuestos											
Utilidad después de Impuestos											
Depreciación											
Flujo de Caja Operacional											
Costos de inversión (capex).											
Capex planta de potencia											
Capex intercambiador de calor (planta chp)											
Capex chiller de absorción (proyecto)											
Capital de trabajo											
Valor residual											
Flujo de Capital											
Flujo de Caja Neto											
VAN (USD)											
TIR (%)											
Payback (año)											

FLUJO DE CAJA PROYECTO DE COGENERACIÓN CON FINANCIAMIENTO (PRÉSTAMO)

Valores en USD

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Electricidad.											
Venta de excedentes de electricidad (E_{iny_chp})											
Ahorro electricidad (compra de electricidad en caso base)											
Energía térmica.											
Ahorro de combustible (compra de combustible en caso base para caldera auxiliar)											
Ahorros e Ingresos Anuales											
Egresos											
Opex (Costos de operación y mantenimiento, no incluye combustible)											
Opex planta de potencia chp											
Opex intercambiador de calor (planta chp)											
Opex chiller de absorción (proyecto)											
Costos de combustible (consumido por planta chp)											
Compra de combustible para caldera de respaldo térmico											
Compra de electricidad a la red											
Costos anuales totales											
EBITDA											
Depreciación											
Interés deuda											
Utilidad antes de impuestos											
Impuestos											
Utilidad después de Impuestos											
Depreciación											
Flujo de Caja Operacional											
Costos de inversión (capex).											
Capex planta de potencia											
Capex intercambiador de calor (planta chp)											
Capex chiller de absorción (proyecto)											
Capital de trabajo											
Valor residual											
Deuda (Préstamo Bancario)											
Amortización deuda											
Flujo de Capital											
Flujo de Caja Neto											
VAN (USD)											
TIR (%)											
Payback (año)											

FLUJO DE CAJA PROYECTO DE COGENERACIÓN CON FINANCIAMIENTO (LEASING)

Valores en USD

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Electricidad.											
Venta de excedentes de electricidad (E_{iny_chp})											
Ahorro electricidad (compra de electricidad en caso base)											
Energía térmica.											
Ahorro de combustible (compra de combustible en caso base para caldera auxiliar)											
Ahorros e Ingresos Anuales											
Egresos											
Opex (Costos de operación y mantenimiento, no incluye combustible)											
Opex planta de potencia chp											
Opex intercambiador de calor (planta chp)											
Opex chiller de absorción (proyecto)											
Costos de combustible (consumido por planta chp)											
Compra de combustible para caldera de respaldo térmico											
Compra de electricidad a la red											
Pago cuota leasing											
Costos anuales totales											
EBITDA											
Depreciación											
Utilidad antes de impuestos											
Impuestos											
Utilidad después de Impuestos											
Depreciación											
Flujo de Caja Operacional											
Costos de inversión (capex).											
Capex planta de potencia											
Capex intercambiador de calor (planta chp)											
Capex chiller de absorción (proyecto)											
Capital de trabajo											
Valor residual											
Flujo de Capital											
Flujo de Caja Neto											
VAN (USD)											
TIR (%)											
Payback (año)											

FLUJO DE CAJA PROYECTO DE COGENERACIÓN CON FINANCIAMIENTO (ESCO, modelo venta de energía Chauffagee)

Valores en USD

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Electricidad.											
Venta de excedentes de electricidad (E_{iny_chp})											
Ahorro electricidad (compra de electricidad en caso base)											
Energía térmica.											
Ahorro de combustible (compra de combustible en caso base para caldera auxiliar)											
Ahorros e Ingresos Anuales											
Egresos											
Opex (Costos de operación y mantenimiento, no incluye combustible)											
Opex planta de potencia chp											
Opex intercambiador de calor (planta chp)											
Opex chiller de absorción (proyecto)											
Costos de combustible (consumido por planta chp)											
Compra de combustible para caldera de respaldo térmico											
Compra de electricidad a la red											
Compra de energía a la ESCO											
Costos anuales totales											
EBITDA											
Depreciación											
Utilidad antes de impuestos											
Impuestos											
Utilidad después de Impuestos											
Depreciación											
Flujo de Caja Operacional											
Costos de inversión (capex).											
Capex planta de potencia											
Capex intercambiador de calor (planta chp)											
Capex chiller de absorción (proyecto)											
Capital de trabajo											
Valor residual											
Flujo de Capital											
Flujo de Caja Neto											
VAN (USD)											
TIR (%)											
Payback (año)											

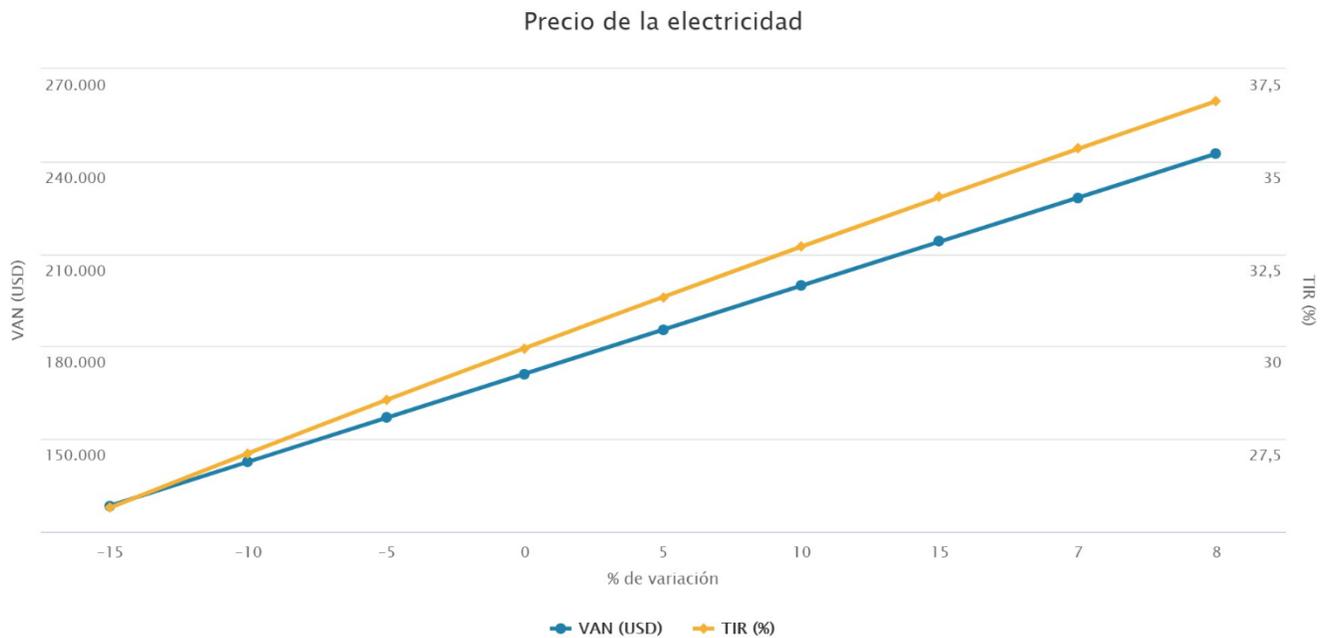
5.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

El análisis de sensibilidad se realiza sobre el proyecto sin financiamiento externo (con financiamiento propio). Las variables que se sensibilizan son: precio de la electricidad, precio del combustible, costos de inversión, y el costo de operación y mantenimiento.

El usuario ingresa los % de variación sobre el valor de referencia. Los porcentajes que se ingresen tienen que ser crecientes, por ejemplo, +5%, +10%, y +15%. El sistema automáticamente ingresa los porcentajes negativos. En el ejemplo, sería -5%, -10%, y -15%.

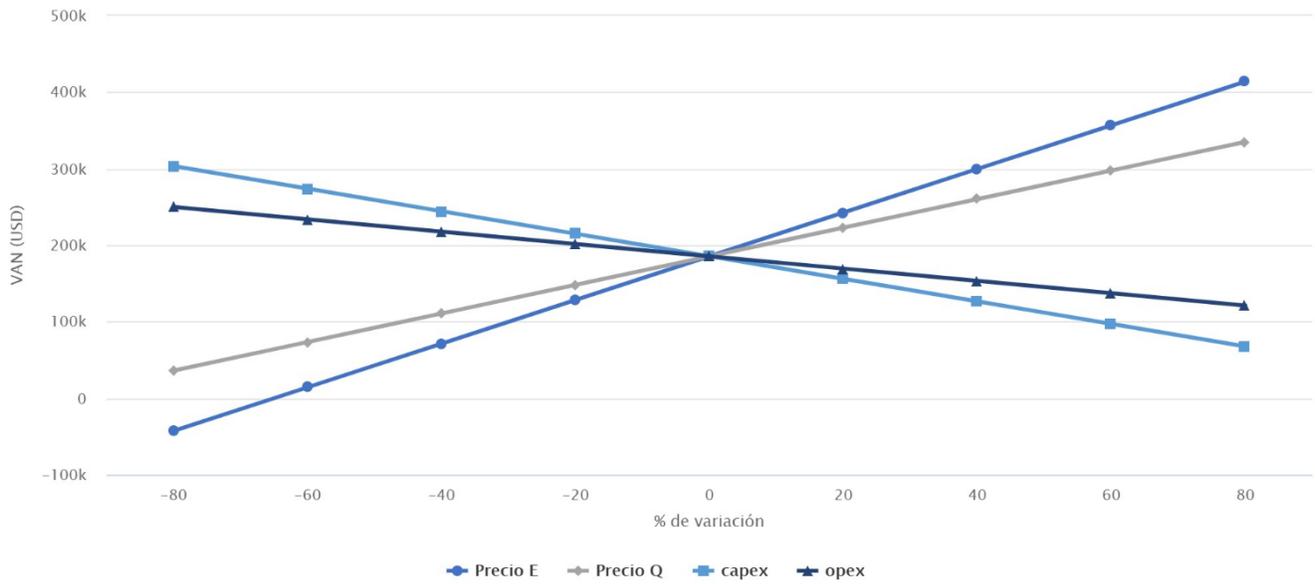
% de variación	-15%	-10%	-5%	0%	+5%	+10%	+15%
VAN (USD)							
TIR (%)							
Payback (año)							

El sistema grafica el análisis de sensibilidad para cada variable evaluada.



El sistema grafica todas las variables sensibilizadas en el siguiente gráfico.

Análisis de sensibilidad



5.3. CÁLCULO DE COSTOS NIVELADOS DE CADA PRODUCTO.

Costo nivelado de electricidad	LEC		USD/kWh
Costo nivelado de calor útil	LHC		USD/kWh
Costo nivelado de frío útil	LCC		USD/kWh

6. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.

6.1. TUTORIALES

- Video 1: Presentación de la herramienta
- Video 2: Uso calculadora básica
- Video 3: Uso calculadora avanzada
- Video 4: Análisis de resultados.

6.2. LEYES, NORMAS, Y REGULACIONES ASOCIADAS A LA COGENERACIÓN

Nombre	Link
Marco normativo y regulatorio	Link

6.3. CONVERSIÓN DE UNIDADES HABITUALES

Tabla de conversión de unidades de energía.

	MMBTU	kWh	HPH	kCal	kJ
1 MMBTU =	1	293,07	393,01	252.000	1.055.000
1 kWh =	3,412E-03	1	1,341	859,84	3.600
1 HPh =	2,544E-03	0,746	1	641.19	2684,52
1 kCal =	3,968E-06	1,163E-03	1,560E-03	1	4,1868
1 kJ =	9,479E-07	2,778E-04	3,725E-04	0,239	1

La tabla se lee por fila, por ejemplo, 1 MMBTU= 293,07 kWh=393,01 HPh=252.000 kcal, entonces, 100 MMBTU = 29.307 kWh=39.301 HPh=25.200.000 kcal

Tabla de conversión de unidades de potencia.

	BTU/h	kW	HP	CV	Ton_ref
1 BTU/h =	1	2,928E-04	3,927E-04	3,985E-04	8,333E-05
1 kW =	3.415,176	1	1,341	1,370	0,298
1 HP =	2.546,699	0,746	1	1,014	0,222
1 CV =	2.509,626	0,730	0,986	1	0,162
1 Ton Ref. =	12.000,000	3,352	4,495	6,156	1

La tabla se lee por fila, por ejemplo, 1 kW= 1,341 HP, entonces, 100 kW = 100 *1,341 kWh = 134,1 kWh

Tabla de equivalencias de unidades de temperatura

	°C	°F	K
1 °C =	1	33,8	274,15
1 °F =	-17,22	1	255,93
1 K =	-272,15	-457,866	1

$$T (^{\circ}\text{C}) = (T (^{\circ}\text{F}) - 32) / 1,8$$

$$T (\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) - 273,15$$

6.4. CONVERSORES DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES

Relación HHV/LHV de combustibles utilizados

Combustible	HHV/LHV	HHV	LHV	Unidad
Diesel	1,061			kJ/kg
Fuel Óil	1,088			kJ/kg
Biogás	1,05			kJ/kg
GN	1,111			kJ/m _N ³
GLP	1,071			kJ/kg
Biomasa (a gasificar)	1,05			kJ/kg

m_N³ considera P= 1 atm y T= 15 °C

Convertor de USD/MMBTU a USD/kWh, por ejemplo, para GN

Precio USD/MMBTU	Precio USD/kWh

Convertor de USD/m_N³ a USD/kWh, por ejemplo, para GN

Precio USD/m _N ³	LHV kJ/m _N ³	Precio USD/kWh

m_N³ considera P= 1 atm y T= 15 °C

Convertor de USD/kg a USD/kWh y USD/MMBTU, por ejemplo, para GLP

Precio USD/kg	LHV kJ/kg	Precio USD/kWh	Precio USD/MMBTU

Convertor de USD/litro a USD/kWh para todo combustible líquido, por ejemplo, Diesel

Precio USD/litro	LHV kJ/kg	Densidad kg/m ³	Precio USD/kWh

m_N³ considera P= 1 atm y T= 15 °C

6.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nº	Referencia
1	EPA, "Catalog of CHP Technologies", 2017
2	EIA. U.S. Department of Energy. "Distributed Generation and Combined Heat & Power System Characteristics and Costs in the Buildings Sector", 2017
3	RETScreen Expert. Clean Energy Management Software. Minister of Natural Resources Canada. 1997-2019
4	NREL, Chapter 23: Combined Heat and Power Evaluation Protocol the Uniform Methods Project: Methods for Determining Energy Efficiency Savings for Specific Measures, 2016
5	IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006
6	CNE (Comisión Nacional de Energía), "Balance Nacional de Energía - Chile, 2018", 2018.
7	CNE (Comisión Nacional de Energía), "Precios, Hidrocarburos, Estadísticas", https://www.cne.cl/estadisticas/hidrocarburo , revisado en julio 2020. [Online].

8	Energía Abierta, Ministerio de Energía, "Mapa de precio de combustibles" http://energiaabierta.cl , revisado en julio 2020. [Online].
9	M. Paneque, C. Román-Figueroa, R. Vázquez-Panizza, J. Arriaza, D. Morales, y M. Zulantay. "Bionergía en Chile". FAO, 2011
10	Metrogas, "Tarifas de Metrogas", http://www.metrogas.cl , revisado en julio 2020. [Online].
11	Gasco Magallanes, "Tarifario", https://www.gascomagallanes.cl , revisado en julio 2020. [Online].
12	MMA (Ministerio de Medio Ambiente), Registro de leña, "Reporte mensual", http://registrolena.mma.gob.cl/reporte_mensual , revisado en julio 2020. [Online].
13	Energía Abierta, Ministerio de Energía, "Factor de emisión", http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/ , revisado en julio 2020. [Online].
14	CGE, "Tarifas de distribución para clientes finales", https://www.cge.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/ , revisado en julio 2020. [Online].
15	Decreto 6, Ministerio de Energía: Reglamento que establece los requisitos que deben cumplir las instalaciones de cogeneración eficiente, 2015.
16	U.S. Department of Energy (DOE), "Combined Heat and Power Technology. Fact Sheet Series. Overview of CHP Technologies", 2016.
17	EPA, "CHP Project Development Handbook", 2008
18	EPA, "Fuel and Carbon Dioxide Emissions Savings Calculation Methodology for Combined Heat and Power Systems", 2015.
19	GIZ, "Cogeneration & Trigeneration – How to Produce Energy Efficiently. A practical Guide for Experts in Emerging and Developing Economies", 2016
20	GIZ, "Cogeneración eficiente", https://www.cogeneracioneficiente.cl , revisado julio 2020. [Online].
21	ORNL, Oland. C, "Guide to Combined Heat and Power. Systems for Boiler Owners and Operators", 2004.
22	IEA, "Key World Energy Statistics 2019", 2019.
23	M. Ebrahimi and A. Keshavarz, "Combined cooling, heating and power. Decision-making, design and optimization", 2nd ed. Elsevier Science, 2015.
24	W. Short, D. Packey, and T. Holt, "A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies", Univ. Press Pacific, 1995.
25	N. Sapag and R. Sapag, "Preparación y evaluación de proyectos", 5th ed. 2013.
26	Decreto 71, Ministerio de Energía: Aprueba reglamento de la ley 20.571, que regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales, 2017.
27	Ley 21118, Ministerio de Energía: Modifica la ley general de servicios eléctricos, con el fin de incentivar el desarrollo de las generadoras residenciales, 2018.
28	Decreto 244, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción: Aprueba reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación establecidos en la ley general de servicios eléctricos, 2019.
29	R. Leiva-Illanes, R. Escobar, J. M. Cardemil, and D.-C. Alarcón-Padilla, "Comparison of the levelized cost and thermo-economic methodologies - Cost allocation in a solar polygeneration plant to produce power, desalted water, cooling and process heat," Energy Convers. Manag., vol. 168, 2018.
30	ASUE, BHKW-Kenndaten 2014/2015. Module, Anbieter, Kosten. 2015
31	Spanner RE2, http://www.bhkw-prinz.de/spanner-re2/holz-kraft-anlage-hackschnitzel-bhkw/2108 , revisado en julio 2020. [Online].
32	FCH JU, Advancing Europe's energy systems: Stationary fuel cells in distributed generation, 2015.
33	NAMA-GIZ, Calderas y quemadores a biomasa para autoconsumo: una guía para empresas e industrias. 2018
34	INFOR, Instituto Forestal. Precios forestales, junio 2020.
35	Ricardo, Metodología de estimación de emisiones y reducciones GEI para proyectos renovables en Chile. 2019

36	Turboden. http://www.inmis-energy.com/5-0-heat-recovery/turboden-orc-for-hr/chp-units , revisado en agosto 2020. [Online].
37	EPA, "Biomass combined heat and power catalog of technologies", 2007
38	Energypyme renovables. "Manual de cogeneración a pequeña escala", 2007

6.6. REPORTE DE LA CALCULADORA

"Descargar reporte" de la calculadora en formato pdf

6.7. MANUAL DEL USUARIO

"Descargar manual" del usuario en formato pdf

6.8. CRÉDITOS

Publicado por:

Proyecto "Reducción de Emisiones a través de la Aplicación de Cogeneración en los Sectores de la Industria y el Comercio en Chile"

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago · Chile
www.energia.gob.cl

Agencia de Sostenibilidad Energética
Monseñor Nuncio Sótero Sanz 221
Providencia · Santiago · Chile
www.agenciase.org

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Federico Fröebel 1776
Providencia · Santiago · Chile
www.giz.de

Responsables:

David Fuchs, Cecilia Figueroa, GIZ

Revisión de contenidos:

Marco Céspedes, Raúl Gálvez, GIZ

Consultores:

Director proyecto: Dr. Ing. Roberto Leiva-Illanes
Ingeniero de proyecto: MBA. MEE. Ing. Cynthia Herrera Reyes
Tutoriales: Ing. Nadia Herrera R.
Coordinación DAIS: Ing. Sandra Véliz R.
Dirección de Asesoría Industrial y Servicios (DAIS)
Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM).

Diseño y programación: Sebastián Aguilera, Tamara Osses, y Luis Chávez.
Producciones Individual Ltda.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

MENU LATERAL IZQUIERDO

El menú lateral izquierdo se presenta a continuación

The screenshot shows the application interface with a left sidebar menu and a main content area. The sidebar menu includes: Correo (roberto.leiva@usm.cl), Contraseña (with fields for password and buttons for 'Entrar', 'Olvíde mi contraseña', and 'Regístrame'), Nomenclatura, Caracterización, Manual de usuario, Tutoriales, and Información complementaria. A blue box in the sidebar states: 'ESTÁS EN LA VISUALIZACIÓN DE LA CALCULADORA BÁSICA, PARA VER LA CALCULADORA AVANZADA REGÍSTRATE AQUÍ'. The main content area is titled 'INGRESO DE DATOS' and 'RESULTADOS'. It features a progress bar with 6 steps: 1. Presentación de la herramienta y registro del usuario, 2. Información de la instalación y parámetros de entrada, 3. Estimación y evaluación de la demanda, 4. Producción de electricidad y energía térmica, 5. Evaluación tecno-económica del proyecto, and 6. Reporte e información complementaria. Below the progress bar, there are two sections: '1.1. PRESENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA' which includes a flowchart of the process and a descriptive paragraph, and '1.2. INTRODUCCIÓN' which provides background information on cogeneration and lists various power plant technologies: MCI (Motor alternativo de combustión interna), MTG (Microturbina de gas), MS (Motor Stirling), ORC (Ciclo de Rankine Orgánico), TG (Turbina de gas), TV (Turbina de vapor), and FC (Celda de combustible).

INGRESO/REGISTRO, CALCULADORA AVANZADA

Para registrarse hay que llenar la siguiente información.

The screenshot shows the application interface with the left sidebar menu and the main content area. The sidebar menu is identical to the previous screenshot. The main content area is titled 'INGRESO DE DATOS' and 'RESULTADOS'. The progress bar is the same, but step 1 is highlighted. Below the progress bar, there is a 'Regístrase' section with a form containing the following fields: Email * (with a sub-field 'Dirección de correo'), Password * (with a sub-field 'Password'), Confirmar password *, Nombre * (with a sub-field 'Nombres'), Apellidos (with a sub-field 'Apellidos'), Contacto (teléfono): (with a sub-field 'Teléfono o celular'), Institución y/o empresa: (with a sub-field 'Institución y/o empresa'), and Actividad profesional del usuario: (with a sub-field 'Actividad'). At the bottom of the form, there is a checkbox for 'I'm not a robot' and a 'Regístrase' button.

Al registrarse, se visualiza el siguiente Menú lateral izquierdo, y a la derecha se muestran los proyectos que se han creado.

The screenshot displays the user interface of the 'Calculadora Cogeneración Trigeneración' application. On the left is a sidebar menu with options like 'Perfil', 'Proyectos', 'Cerrar sesión', 'Nomenclatura', 'Caracterización', 'Manual de usuario', 'Tutoriales', and 'Información complementaria'. At the top, a progress bar indicates the user's current stage in the process, with steps 1 through 6: 1. Presentación de la herramienta y registro del usuario, 2. Información de la instalación y parámetros de entrada, 3. Estimación y evaluación de la demanda, 4. Producción de electricidad y energía térmica, 5. Evaluación tecno-económica del proyecto, and 6. Reporte e información complementaria. The main content area shows a 'Proyectos' section with a '+ Crear nuevo proyecto' button and a table of existing projects.

ID	Nombre	Descripción	Estado	Reporte	Creado	Actualizado	Acciones
88	MCI - R1 (copia 1)		🔌	Reporte	26-01-2022 05:18:11	24-02-2022 11:13:51	📄 🗑️
79	MCI-RS1		🟢	Reporte	24-01-2022 16:21:46	24-02-2022 11:20:42	📄 🗑️
77	MCI - H3		🔌	Reporte	24-01-2022 12:21:38	24-02-2022 11:06:36	📄 🗑️
76	MCI - H2		🔌	Reporte	24-01-2022 12:17:57	24-02-2022 11:07:37	📄 🗑️
75	MCI - H1		🔌	Reporte	24-01-2022 12:02:47	24-01-2022 18:00:08	📄 🗑️

Al ingresar a “perfil” se pueden editar los datos del usuario.

Al ingresar a “Proyectos” se pueden crear, revisar, copiar (duplicar), y/o editar.

Al “Cerrar sesión” se sale de la visualización de calculadora avanzada.

NOMENCLATURA

base: caso base

C: Parámetro C, relación entre E/V (PHR, power to heat ratio)

calor: calor útil

calor_chp: calor producido por la planta chp

calor_no chp: calor producido por la caldera auxiliar

capex: Inversiones en bienes de capital (capital expenditures)

chp: Cogeneración (combined heat and power)

CLP: Peso, moneda de curso legal de Chile

C_{MRM} : Parámetro C calculado con el método del rectángulo máximo (MRM)

CO_{2eq} : Dióxido de carbono equivalente

COP: Coeficiente de operación (coefficient of performance)

D: Demanda

E: Energía Eléctrica

EBITDA: Ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización (earnings before interest, taxes, depreciation, and amortization)

Em: emisiones

Em_{planta_chp} : Emisiones de CO_{2eq} producidas, planta chp

$Em_{S,E}$: Emisiones de CO_{2eq} desplazadas para producir energía eléctrica en la red

$Em_{S,planta_chp}$: Ahorro de emisiones totales de CO_{2eq} planta chp

$Em_{S,y}$: Emisiones de CO_{2eq} desplazadas para producir energía térmica en una caldera convencional

ESCO: Empresa de servicios energéticos (energy services companies)

FC tipo MCFC: celda de combustible tipo MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)

FC tipo PAFC: celda de combustible tipo PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)

FC tipo PEMFC: celda de combustible tipo PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)

FC tipo SOFC: celda de combustible tipo SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

F_c : factor de capacidad

FC: Celda de combustible

F_d : factor de disponibilidad

frío: frío útil

frío_chp: frío producido por la planta chp

frío_no chp: frío producido con el calor de la caldera auxiliar.

GIZ: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

GLP: gas licuado de petróleo

GN: gas natural

GR: Generadores residenciales

Heat rate (HR): relación $(1/RE)*3600$

HHV: Poder calorífico superior (higher heating value)

Iny_chp : inyección de energía eléctrica chp a la red de distribución.

IVA: Impuesto al valor agregado

LCC: costo nivelado de frío útil (levelized cooling cost)

Leasing: arrendamiento con derecho a compra.

LEC: Costo nivelado de la electricidad (Levelized electricity cost)

Levelized cost: Costos nivelados

LHC: costo nivelado del calor útil (levelized process heat cost)

LHV: Poder calorífico inferior (lower heating value)

MCI: Motor de combustión interna

MCI_gb : Motor de combustión interna con gasificación de biomasa

MGNC: Medios de generación no convencionales

MRM: Método del rectángulo máximo

MS: Motor Stirling

MTG: Microturbina de gas

E_{nom} : Potencia nominal
 O&M: operación y mantenimiento
 Off-grid: no conectado a la red
 On-grid: conectado a la red
 opex: Costos operacionales, en la calculadora no incluye el costo del combustible (operational expenditure)
 ORC: Ciclo de Rankine orgánico
 Part load: cargas parciales
 Payback: Período de recuperación de capital
 PES: ahorro porcentual de energía primaria (primary energy saving)
 planta_chp: planta chp, incluye motor chp, intercambiador de calor y/o chiller de absorción.
 PMG: Pequeños medios de generación
 PMGD: Pequeños medios de generación distribuidos
 proyecto_chp: proyecto chp, incluye planta chp, red o MCI, y caldera auxiliar
 Q: Combustible
 Q_{planta_chp} : Consumo de combustible de planta chp
 $Q_{S,E}$: Consumo de combustible desplazado para producir energía eléctrica en la red o generador no chp
 $Q_{S,V}$: Consumo de combustible desplazado para producir energía térmica en una caldera convencional
 Q_s : Ahorro de energía primaria de planta chp (ahorro de combustible)
 Q_{V,no_chp} : Consumo de combustible no chp (caldera auxiliar)
 RE: Rendimiento eléctrico
 REE: Rendimiento eléctrico equivalente
 RG: Rendimiento global
 RT: Rendimiento térmico
 T: Temperatura
 TES: Energía térmica almacenada (thermal energy storage), estanque de acumulación
 TG: Turbina de gas
 TIR: Tasa interna de retorno
 TV: Turbina de vapor
 USD: Dólares, moneda de curso legal en Estados Unidos de Norteamérica (EEUU).
 V: Energía térmica útil (calor útil y/o frío útil)
 V_{calor} : Calor útil
 $V_{frío}$: Frío útil
 VAN: Valor actual neto
 WHP: calor residual para producir potencia (waste heat to power)

CARACTERIZACIÓN

Tabla 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS DE POTENCIA.

	Combustible referencia	Potencia Eléctrica kW	Eficiencia eléctrica %	Eficiencia térmica %	Heat rate kJ/kWh	Power to heat ratio (C=E/V) kWe/kW _t	Min part load % Pot.max	Disponibilidad %	Vida útil h	Equipos USD/kW	Instalación USD/kW	Capex USD/kW	Costo Fijo de O&M USD/kW/año	Costo variable de O&M USD/kWh	T utilizable °C	Referencia
MCI genérico		64,74	29,9	60,7	12047	0,49	50	97	60000	2267	1252	3519	35,2	0,031	90	
MCI	GN	100	30,0	58,8	12000	0,51	50	97	60000	1900	1000	2900		0,024	90	EPA, 2017; EIA, 2017; ASUE, 2015
MCI	GN	633	38,3	49,1	9391	0,78	50	97	60000	1790	1047	2837		0,021	90	
MCI	GN	1121	40,9	45,9	8804	0,89	50	97	60000	1475	891	2366		0,091	90	
MCI	GN	3326	44,9	42,3	8020	1,06	50	97	60000	1470	661	1801		0,016	90	
MCI	GN	9341	46,2	38,8	7789	1,19	50	97	60000	925	508	1433		0,09	90	
TG genérica		7000	30,4	45,4	11852	0,67	50	97	50000	1413	888	2301	23	0,012	159	
TG	GN	3304	26,6	46,7	13528	0,57	90	95	50000	1976	1305	3281		0,013	169	EPA, 2017; EIA, 2017
TG	GN	7038	32,1	45,9	11211	0,70	90	95	50000	1278	802	2080		0,012	151	
TG	GN	9950	30,4	46,7	11851	0,65	90	95	50000	1228	748	1976		0,012	161	
TG	GN	20336	36,9	41,5	9747	0,89	90	95	50000	954	564	1518		0,009	163	
TG	GN	44488	40,0	36,7	9010	1,09	90	95	50000	790	458	1248		0,009	149	
MTG genérica		250	28,8	44,2	12509	0,65	50	97	80000	1937	941	2878	28,8	0,012	90	
MTG	GN	30	24,4	53,0	14754	0,46	50	98	80000	2690	1610	4300		0,0160	88	EPA, 2017; EIA, 2017
MTG	GN	65	26,3	51,6	13688	0,51	50	98	80000	2120	1100	3220		0,013	88	
MTG	GN	200	29,5	40,4	12203	0,73	50	98	80000	2120	1030	3150		0,016	93	
MTG	GN	250	28,9	45,2	12457	0,64	50	98	80000	1840	880	2720	9,1	0,011	88	
MTG	GN	333	31,1	43,8	11576	0,71	50	98	80000	1770	810	2580	6,8	0,009	88	
MTG	GN	1000	29,5	40,4	12203	0,73	50	98	80000	1710	790	2500		0,012	93	
TV genérica		5000	6,9	81,3	52037	0,09	50	97	80000	431	301	732	7,3	0,008	180	
TV a contrapresión	GN	500	7,0	81,0	51675	0,09	50	86	80000	668	468	1136		0,010	148	EPA, 2017; EIA, 2017
TV a contrapresión	GN	3000	5,5	82,8	65854	0,07	50	86	80000	401	281	682		0,009	189	

TV a contrapresión	GN	15000	8,1	80,4	44323	0,10	50	86	80000	392	274	666		0,006	193	
FC genérica		50	47,9	39,2	7521	1,22	60	95	64000	11466	0	11466	114,7	0,033	700	
FC tipo PEMFC	GN	1	39,2	56,0	9178	0,70	60	95	64000	22000		22000		0,0600	65-80	EPA, 2017; EIA, 2017; FCH JU, 2015.
FC tipo SOFC	GN	2	60,4	21,7	5956	2,78	60	95	64000	23000		23000		0,055	700-1000	
FC tipo SOFC	GN	5	50,0	37,0	7200	1,35	60	95	131400	18463		18463		0,017	700-1000	
FC tipo SOFC	GN	50	53,0	31,9	6792	1,66	60	95	131400	15043		15043		0,012	700-1000	
FC tipo MCFC	GN	300	52,2	39,0	6894	1,35	60	95	64000	10000		10000		0,0450	600-700	
FC tipo PAFC	GN	400	38,1	52,2	9446	0,73	60	95	64000	7000		7000		0,0360	150-200	
FC tipo MCFC	GN	1400	47,2	43,7	7624	1,08	60	95	64000	4600		4600		0,0400	600-700	
MS genérico		1	11,4	78,7	31718	0,14	50	97	60000	4696	2113	6810	68,1	0,01	90	
MS	GN	1,0	11,0	77,0	32727	0,14	50	97	60000	5040	45%	5040		0,0100	90	EPA, 2007. Energypme renovables, 2007.
MS	GN	7,5	24,0	70,4	15000	0,34	50	97	60000	2184	45%	2184		0,0095	90	
MS	Biomasa	10	24,0	57,6	15000	0,42	50	97	60000	2000	45%	2000		0,0090	90	
MS	Biomasa	25	31,0	54,6	11613	0,57	50	97	60000	1900	45%	1900		0,0086	90	
ORC genérico		600	18	79,5	19974	0,23	60	95	64000	3407	0	3407	34,1	0,015	60-80	
ORC	WHP	587	17,6	80,0	20455	0,22	60	95	64000	3417		3417		0,0147	60-80	Turboden, 2020
ORC	WHP	689	17,6	80,0	20455	0,22	60	95	64000	3345		3345		0,0144	60-80	
ORC	WHP	949	18,5	80,4	19459	0,23	60	95	64000	3204		3204		0,0139	60-80	
ORC	WHP	1255	18,7	77,9	19251	0,24	60	95	64000	3086		3086		0,0135	60-80	
ORC	WHP	2221	18,5	80,4	19459	0,23	60	95	64000	2859		2859		0,0126	60-90	
ORC	WHP	2476	17,5	79,5	20571	0,22	60	95	64000	2818		2818		0,0125	60-90	
ORC	WHP	2667	17,0	81,0	21176	0,21	60	95	64000	2790		2790		0,0124	61-91	
Tecnología ingresada por el usuario		64,74	29,9	60,7	12047	0,49	50	97	60000	2267	1252	3519	35,2	0,031	90	

Al seleccionar “Tecnología ingresada por el usuario” se fuerza el sistema para que realice los cálculos con los datos ingresados.

Tabla 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROCESOS TÉRMICOS.

	Eficiencia térmica %	Equipos USD/kW	Instalación USD/kW	capex USD/kW	opex USD/kW/año	Referencia
Intercambiadores de calor (Genérico)	100	8	12	20	0,4	EPA, 2017

Tabla 3. CARACTERIZACIÓN DE CHILLER DE ABSORCIÓN.

	COP	Chiller water inlet/outlet °C	Vida útil h	Equipos USD/kW	Instalación USD/kW	capex USD/kW	opex USD/kW/año	Referencia
Chiller de absorción (Genérico)	0,82	12/7	80000	105	95	200	4	RETScreen, 2020; NREL, 2016.

Tabla 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES

	HHV	LHV	Densidad	Factor de emisiones de CO ₂ eq	Costo específico del combustible				Referencias
Unidades	kJ/kg	kJ/kg	kg/m ³	ton CO ₂ /kWh	USD/l	USD/kWh	CLP/kWh	CLP/l	
Diesel	45636	43012	840	0,000267	0,5909	0,0589	40,6	407,1	IPCC, 2006; CNE, 2018; CNE, 2020; Energía Abierta, 2020.
Fuel Oil	43961	40406	945	0,000279	0,3962	0,0374	25,7	273,0	IPCC, 2006; CNE, 2018; CNE, 2020; Energía Abierta, 2020.
Unidades	kJ/m _N ³	kJ/m _N ³	kg/m ³	ton CO ₂ /kWh	USD/m _N ³	USD/kWh	CLP/kWh	CLP/m _N ³	
Gas Natural (GN)	38937	35047	-	0,000202	0,5239	0,0538	37,1	361,0	IPCC, 2006; Metrogas, 2020; CNE, 2018; CNE, 2020; Energía Abierta, 2020.
Gas Natural (GN) Magallanes	38937	35047	-	0,000202	0,1081	0,0111	7,7	74,5	IPCC, 2006; GascoMagallanes, 2020; CNE, 2018; CNE, 2020; Energía Abierta, 2020.
Biogás	23446	22330	-	0,000197	0,1746	0,0282	19,4	120,3	IPCC, 2006; CNE, 2018
Unidades	kJ/kg	kJ/kg	kg/m ³	ton CO ₂ /kWh	USD/kg	USD/kWh	CLP/kWh	CLP/kg	
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	50660	47302	-	0,000227	1,1210	0,0853	58,8	772,4	IPCC, 2006; CNE, 2018; CNE, 2020; Energía Abierta, 2020.
Biomasa (a gasificar)	14654	13956	-	0,00000673	0,2638	0,0680	46,9	181,8	IPCC, 2006; Ricardo, 2019. Ministerio de Medio Ambiente, 2020; CNE, 2018; CNE, 2020; Energía Abierta, 2020; NAMA-GIZ, 2018; INFOR, 2020.
Unidades	kJ/kg	kJ/kg	kg/m ³	ton CO ₂ /kWh	USD/kg	USD/kWh	CLP/kWh	CLP/kg	
Ingresado por el usuario	-	-	-	ingresar	-	ingresar	-	-	-

Tabla 5. CARACTERIZACIÓN DE LA ELECTRICIDAD (ON-GRID).

Tipo de cliente	Precio de la electricidad (compra) USD/kWh	Precio de la electricidad (venta) USD/kWh	Precio de la electricidad (compra) CLP/kWh	Precio de la electricidad (venta) CLP/kWh	Factor de emisiones de CO ₂ ton CO ₂ /kWh	Referencias (factor de emisión)	Referencias (precios)
Cliente regulado	0,113	0,090	77,513	62,010	0,000419	Energía Abierta, 2020	CGE, 2020
Cliente libre	0,090	0,072	62,010	49,608	0,000419	Energía Abierta, 2020	CGE, 2020

Conversión monetaria

CLP/USD
689

Tabla 6. CARACTERIZACIÓN DEL CASO BASE

Línea base Eléctrica On-grid. Red eléctrica.	Valor	Unidad	Referencia
Heat rate de la red eléctrica (se asume Ciclo Combinado a GN)	7500	kJ/kWh	-
Rendimiento eléctrico de la red (se asume Ciclo Combinado a GN)	48	%	CNE,2020
Pérdidas de transmisión y distribución de la red	4,6	%	Energía Abierta, 2020
Factores de emisión de CO ₂ eq (respecto a E generado)	0,0004187	ton CO ₂ eq/kWh	Energía Abierta, 2020
Precio unitario de la energía eléctrica	0,1125	USD/kWh	Energía Abierta, 2020; CGE, 2020.
Línea base Eléctrica Off-grid. MCI.	Valor	Unidad	Referencia
Heat rate del MCI	12000	kJ/kWh	
Rendimiento eléctrico	30	%	
Pérdidas de transmisión y distribución de la red	0	%	
Factores de emisión de CO ₂ eq (respecto a Q consumido)	0,000227	ton CO ₂ eq/kWh	IPCC, 2006
Precio unitario del combustible	0,05832	USD/kWh	CNE,2020
Línea Base de Calor. Caldera convencional	Valor	Unidad	Referencia
Eficiencia de la caldera (rendimiento térmico)	82	%	Boiler buying guide,2020
Eficiencia del intercambiador de calor	100	%	
Factores de emisión de CO ₂ eq (respecto a Q consumido)	0,000227	ton CO ₂ eq/kWh	IPCC, 2006
Precio unitario del combustible	0,05832	USD/kWh	CNE,2020
Línea Base de Frío. Chiller eléctrico	Valor	Unidad	Referencia
COP (Coeficiente de Operación)	3,5	-	NREL,2016

Tabla 7. RENDIMIENTO ELÉCTRICO EQUIVALENTE (REE).

Nombre de la Tecnología	REE _{chp}	Referencia
TV a contrapresión	0,70	Decreto 6, Ministerio de Energía
TV de extracción	0,58	Decreto 6, Ministerio de Energía
TG de ciclo simple	0,55	Decreto 6, Ministerio de Energía
MCI	0,55	Decreto 6, Ministerio de Energía
Otras tecnologías	0,55	Decreto 6, Ministerio de Energía

MANUAL DEL USUARIO

[Al ingresar a manual de usuario se tiene acceso directo al manual en formato pdf](#)

TUTORIALES

[Al ingresar a tutoriales se tiene acceso directo a la sección 6.1](#)

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

[Al ingresar a información complementaria se tiene acceso directo a la sección 6.](#)