

## **Retscreen: Un programa para Sistemas Energéticos**

**Prof. Roberto Román L.  
Universidad de Chile**

### **1. Introducción y Alcances:**

#### **1.1 Introducción:**

El programa Retscreen ha sido desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales de Canadá (Natural Resources Canadá, [www.nrcan.gc.ca](http://www.nrcan.gc.ca)) y cuenta con el apoyo del GEF (Global Environmental Fund), la NASA y otros organismos desarrolladores.

Es una **herramienta** que sirve para el estudio y análisis de sistemas energéticos. **No** es un programa de simulación, pero sí es una herramienta clave que **ayuda** en el proceso de diseño de sistemas en que la energía es una variable importante. Esto se explicará de manera más detallada en un párrafo posterior.

Además es un proyecto en marcha. Esto significa que aproximadamente una vez al año el programa tiene mejoras significativas que hacen que se pongan a disposición de los usuarios versiones nuevas.

El proceso de registro es totalmente gratuito. Actualmente (Mayo de 2012) hay más de 337.800 usuarios en 222 países. Por lo tanto es una herramienta de difusión muy masiva.

Si bien su uso es relativamente sencillo presenta, como cualquier software, algunas particularidades que es necesario conocer para sacarle un provecho más inmediato.

Es el propósito principal de este documento entregar, por la vía de los ejemplos ilustrados, una guía rápida en el uso y las bondades de Retscreen.

Naturalmente no se pueden abordar todos los ámbitos de aplicación de esta herramienta tan versátil. Así que se recomienda encarecidamente a los posibles usuarios que revisen el sitio Web de Retscreen y allí consulten los Tutoriales, Guías y otro material que existe para facilitar y aprovechar esta excelente herramienta de diseño.

El sitio web de Retscreen está en:

<http://www.retscreen.net>

Una vez que ingresen al sitio, procedan al proceso de registro y luego descargen RETScreen 4 que pesa 48 MB. Además está disponible Retscreen Plus (43 MB) que es una herramienta para ayudar en el monitoreo de sistemas energéticos existentes.

## 1.2 Alcances y Objetivos:

Esta guía es una herramienta de ayuda que ha sido elaborada específicamente para facilitar el uso de Retscreen para el análisis de sistemas energéticos de los siguientes tipos:

- **Sistemas de calefacción:** utilizando calefactores comunes, bombas de calor y sistemas de calefacción geotérmico.
- **Sistemas de Agua Caliente Sanitaria (ACS):** en base a sistemas solares. Pero también vemos como esta herramienta ayuda en el dimensionamiento de sistemas convencionales de agua caliente sanitaria.
- **Sistemas Fotovoltaicos:** tanto conectados a red como independientes de red.

Además, en la primera parte de la guía, damos una breve síntesis de como realizar la instalación y configuración de Retscreen.

## 2. Aspectos Generales:

### 2.1 El Proceso de Diseño:

Cuando uno realiza un proceso de diseño en un proyecto, se pueden distinguir claramente las siguientes tres etapas:

- **Diseño Conceptual:** es la etapa en que se hace la primera aproximación al diseño. Aquí uno decide sobre temas tales como emplazamiento general del proyecto, grandes características del mismo y las alternativas que se usarán.
- **Diseño Básico:** es la segunda etapa. Se escogen ahora las grandes soluciones que uno adoptará, se evalúan alternativas y se escogen las que se consideran más adecuadas. En esta etapa ya hay una clara valoración de las alternativas y se tiene una idea clara de los componentes y costos involucrados.
- **Diseño de Detalle:** es la tercera etapa. Aquí se hace el diseño en todo su detalle y se resuelven los aspectos detallados del sistema.

Es muy común hoy utilizar herramientas que ayuden en el proceso de **simulación** de un sistema. Por ejemplo en temas de iluminación, aspectos energéticos y aspectos térmicos.

Una herramienta de **simulación** es útil cuando las etapas de diseño conceptual y básico están realizadas. Esto porque permite un ajuste fino del diseño. Por lo tanto permite lograr un ajuste fino en el diseño de detalle.

Una herramienta de **diseño**, como Retscreen, ayuda en la etapa de diseño conceptual y diseño básico, pues permite escoger entre grandes soluciones desde el punto de vista conceptual o de detalle.

Por ejemplo en un caso de calefacción, para un lugar determinado, Retscreen ayuda a:

- Dada una configuración de vivienda con sus características térmicas y un valor característico de  $U_{\text{nominal}}$  (en  $[\text{W}/\text{m}^2]$ ) determinar el gasto anual aproximado en calefacción en  $[\text{kWh}]$  o  $[\text{kWh}/\text{m}^2]$ .
- Ver el impacto que puede tener en gasto de energía y ahorro de dinero el mejorar térmicamente la construcción.
- Comparar el gasto anual en energía (o dinero) entre dos opciones diferentes de calefacción; por ejemplo gas licuado y bomba de calor o gas licuado y biomasa.

Además, utilizando las herramientas adicionales uno puede utilizarlo para ver que terreno se necesita para dimensionar una bomba de calor acoplada a suelo (las llamadas "bombas de calor geotérmicas"), sean estas de pozo, espirales en tierra o con bombeo de agua.

Para un sistema de agua caliente sanitaria, Retscreen ayuda a:

- Determinar los consumos nominales de ACS en diferentes escenarios de operación (casas, departamentos, escuelas, hoteles y otros).
- Ver alternativas de costos de generación de ACS bajo diferentes opciones: gas, electricidad, energía solar, bombas de calor y calderas de biomasa (entre otros).
- Definir el tamaño (potencia) que se requiere para estos equipos.

Así que nuevamente vemos que el sistema ayuda a definir componentes para el diseño conceptual y básico.

## 2.2 Proceso de instalación y configuración:

Una vez que se baja el ejecutable desde el sitio Web de Retscreen, se procede a instalarlo como cualquier programa. Sin embargo Retscreen no es un programa independiente, funciona como una serie de Macros que se ejecutan bajo Excel. Así que Retscreen es en verdad un programa que se instala **sobre** Excel. Opera bien bajo Excel 2003 y superior. Con Office 2007 hay algunos problemas y funciona mejor bajo la versión Office 2010.

### Configuración de Retscreen:

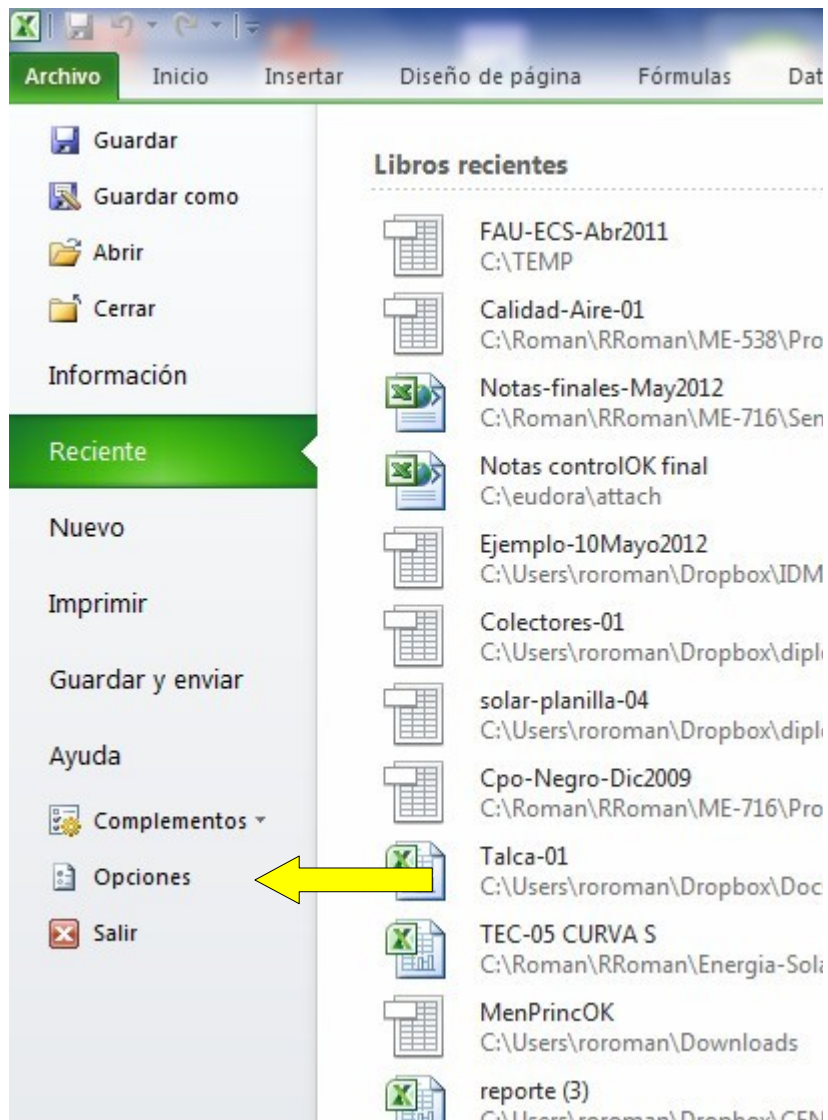
Como el Retscreen funciona como Macros bajo Excel, es necesario configurar Excel para que se ejecute sin problemas.

El procedimiento de configuración que ahora se explica es para Office 2010. Hay algunas variantes en el caso de Office 2007 o 2003, pero las grandes etapas son iguales. Los pasos a seguir son:

1. **Abrir el botón de Opciones de Excel:** en el caso de Office 2010 está bajo la pestaña *Archivo* (ver figura). En el caso de Office 2007 está bajo el botón de

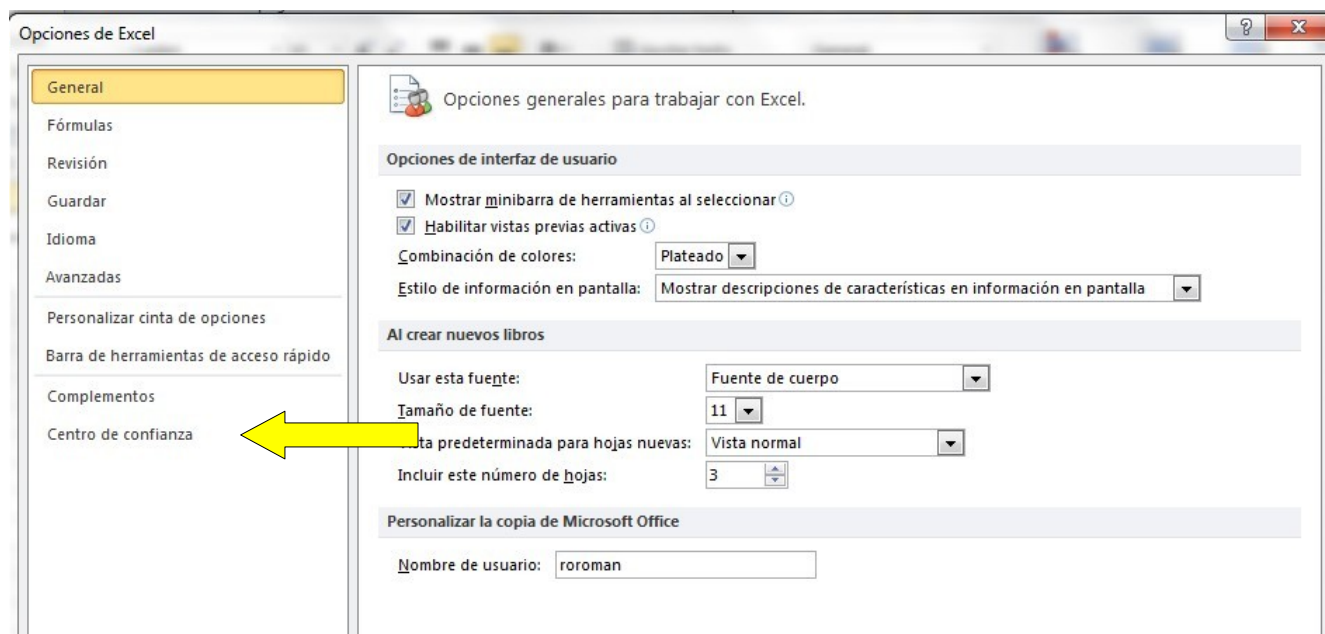
Office. Allí abrir opciones de Excel y luego procederemos a configurar el *Centro de Confianza*:

Se verá la siguiente pantalla:



En el caso de Office 2007, el cuadro de opciones está haciendo click sobre el botón de Office (extremo izquierdo superior de la pantalla).

Hacer click sobre "Opciones" y allí se verá el cuadro de opciones que tiene el aspecto siguiente:



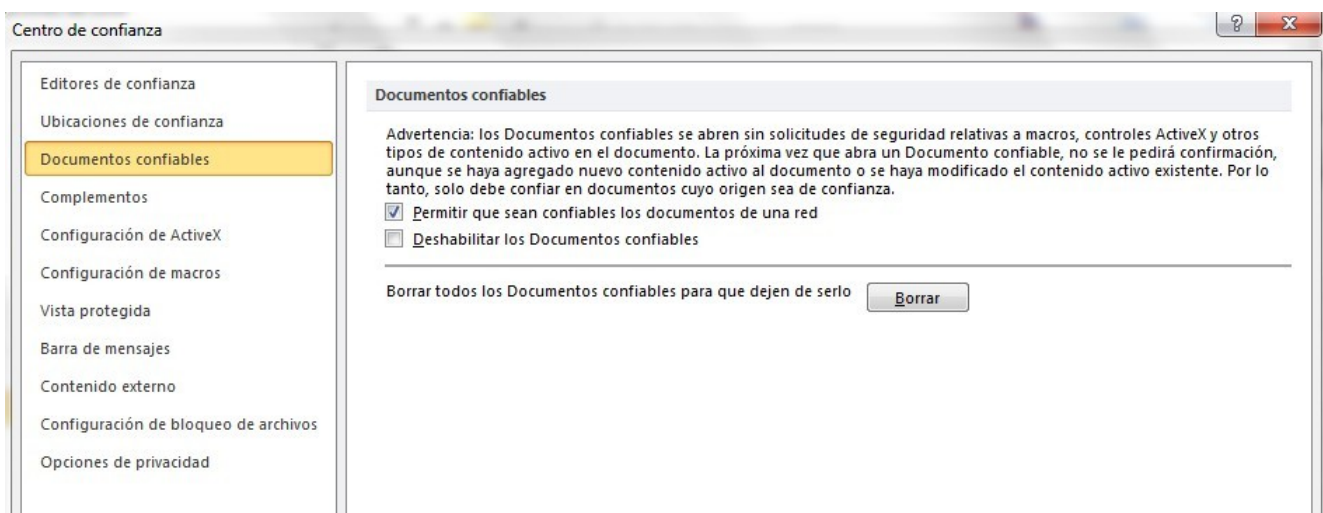
Luego hacemos click sobre Centro de Confianza y se sigue con la configuración.

## 2. Configuración de Centro de Confianza: hay varias opciones que ilustraremos de manera detallada:

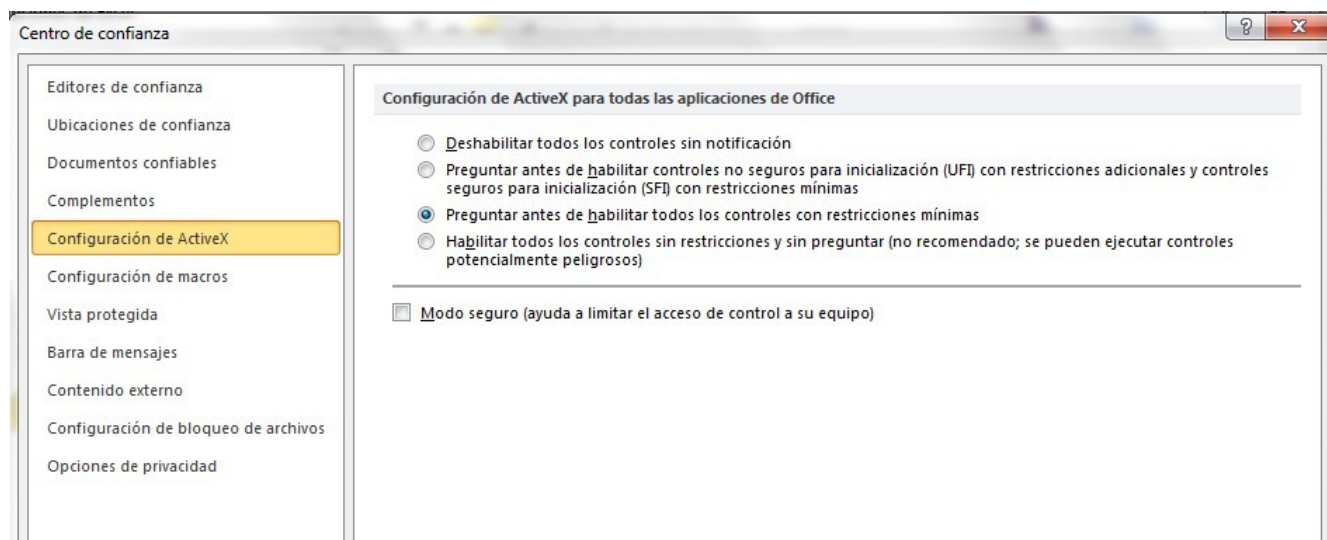
En general lo que se debe habilitar son las opciones que permiten actuar a macros y Scripts de Visual Basic. Al abrir el Centro de Confianza debemos ver una pantalla como esta:



Allí hacer click sobre el botón del Centro de Confianza. Luego proceder a abrir las siguientes opciones y marcar lo que se indica a continuación:



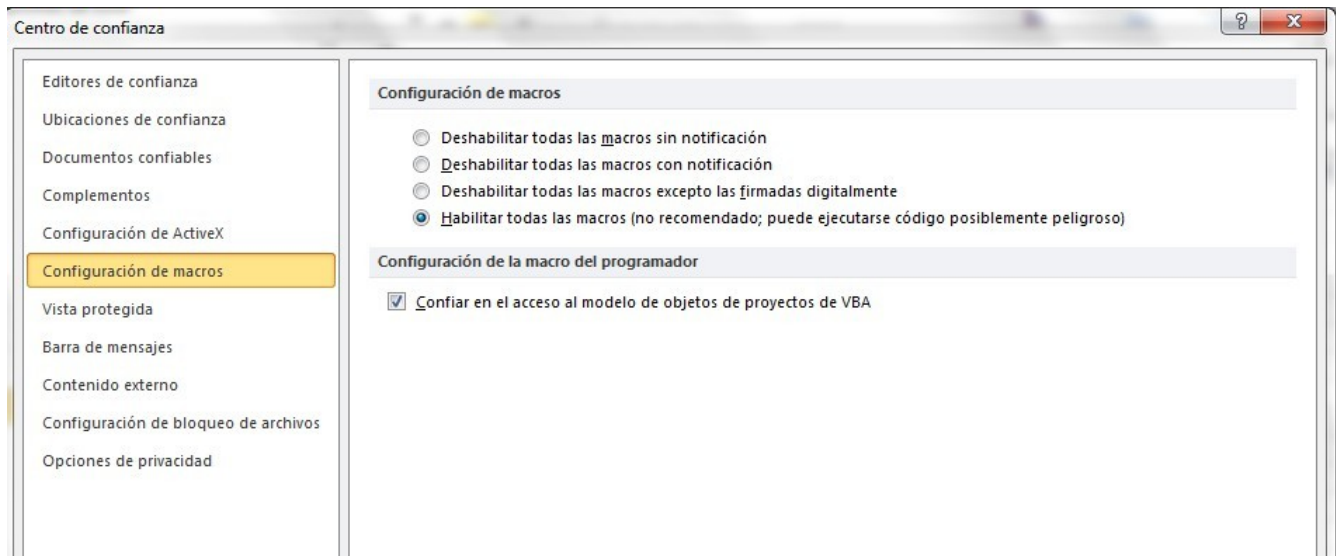
En "Documentos Confiables", marcar "permitir que sean confiables los documentos de una red" y desmarcar "Deshabilitar los documentos confiables".



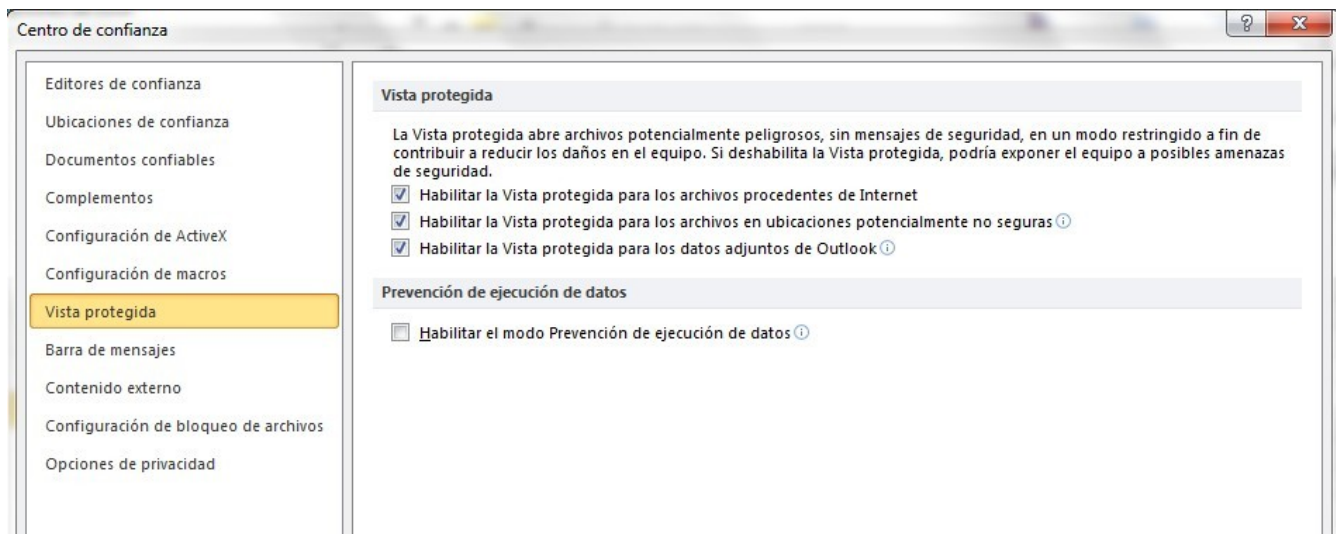
En "Configuración de ActiveX", desmarcar todas las opciones salvo la que dice "preguntar antes de habilitar todos los controles con restricciones mínimas". Luego abrir opción de configuración de Macros.

Aquí desmarcar todas las opciones, salvo "Habilitar todas las macros..." y "Confiar en acceso al modelo de proyectos VBA" que deben quedar marcados...

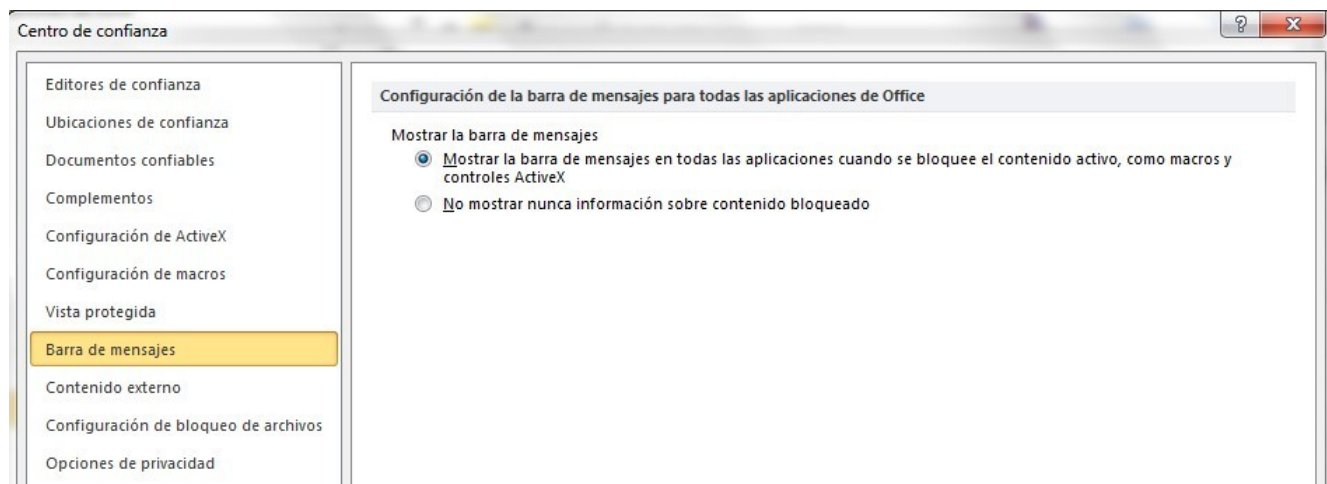




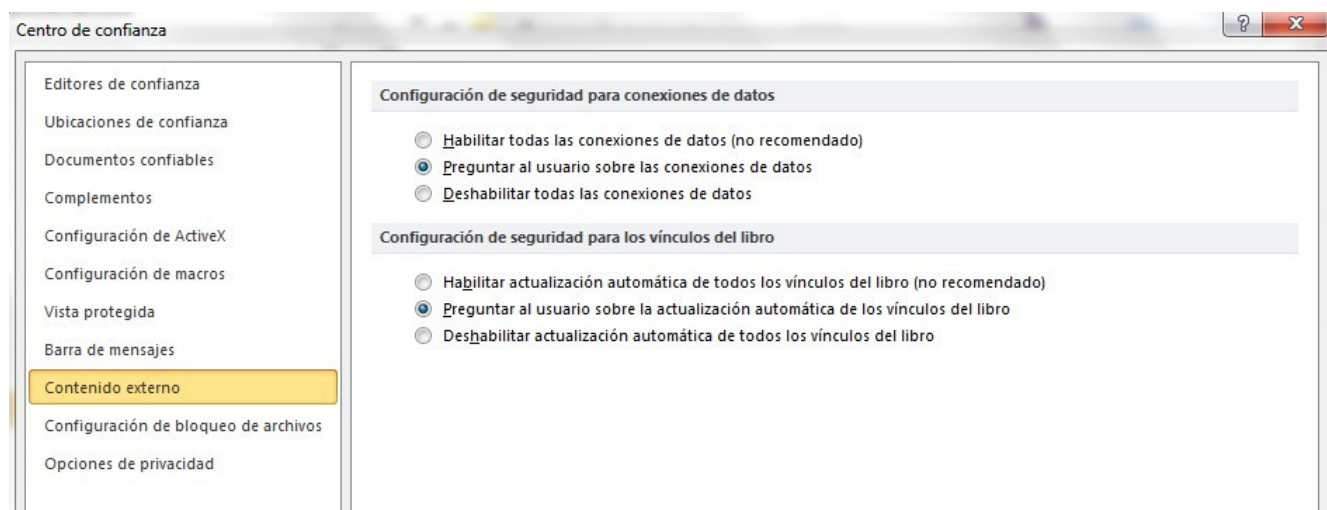
A continuación abrimos la opción Vista protegida que debe quedar como se indica en la siguiente figura:



Aún nos quedan varios cambios menores que debemos marcar. Partimos por la barra de mensajes, la que debe quedar como se indica en la siguiente figura:



Y también:



Y por último, a la derecha marcar la opción "Guardar Cambios".

- 3. Guardar Cambios:** al final debemos marcar el botón "Aceptar" dos veces para guardar los cambios del Centro de Confianza. Luego cerrar Excel.

Con los cambios realizados tenemos configurado el Centro de Confianza y Retscreen debería operar correctamente.

- 4. Abrir Retscreen:** una vez hecha la configuración del Centro de Confianza y cerrado Excel, hacemos doble click sobre el acceso directo a Retscreen. Si el programa se inicia correctamente, debemos ver la siguiente pantalla al inicio:

Observen que Retscreen agregó un "Tab" especial de Retscreen al Excel que se ve como en la figura.



RETScreen4-1 - Microsoft E

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Complementos RETScreen

Ayuda Base de datos de producto Base de datos meteorológicos Base de datos hidrológicos Base de datos del proyecto RETScreen en la Web Acercar Alejar Buscar objetivo Calculadora

RETScreen

f<sub>x</sub> Poder Calorífico Inferior (PCI)

Natural Resources Canada Ressources naturelles Canada

**RETScreen® International**  
www.retscreen.net

*Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia*

**Información del proyecto** [Ver la base de datos del proyecto](#)

Nombre del Proyecto  
Ubicación del Proyecto

Preparado para  
Preparado por

Tipo de proyecto Mediciones de eficiencia energética

Tipo de instalación Industrial

Tipo de análisis Método 1

Poder calorífico de referencia Poder Calorífico Inferior (PCI)

Mostrar parámetros ☐

**Condiciones de referencia del sitio** [Seleccionar ubicación de datos meteorológicos](#)

Esta pantalla está en español. Debería quedar así si uno realizó la instalación en español. Ahora bien, si lo instaló en Inglés, basta marcar "mostrar parámetros" y allí escoger "Unidades Métricas" y el idioma que uno quiere.

Los menús están en una gran variedad de idiomas, pero la ayuda está solo en Inglés y Francés. Los cuadros en los que uno puede escribir están en color celeste y los que tienen opciones para escoger están en color crema.

Siempre elijan "Método 1" (es más rápido que el método 2 y siempre se hace antes que el método 2) y "Poder Calorífico Inferior (PCI)" para referencia en los combustibles. Solo es aprovechable el poder calorífico superior en el caso de calderas de condensación.

Retscreen tiene 3 hojas "Comenzar", "Modelo de Energía" y "Herramientas".

Comenzar sirve para configurar la ubicación del proyecto y el tipo de proyecto que vamos a analizar.

La hoja de "Modelo de Energía" adopta diferentes formas según el tipo de proyecto que estemos analizando.

La hoja de "Herramientas" abre una serie de herramientas que sirven para entrar más a fondo en muchos detalles. Por ejemplo los sistemas auxiliares en el caso de bombas de calor geotérmicas y también propiedades térmicas de materiales para análisis en la construcción.

Con lo anterior tenemos el programa debidamente configurado y ahora pasaremos a las aplicaciones del mismo. Estas las ilustraremos con ejemplos concretos.

### **3. Uso en sistemas de calefacción:**

Vamos a realizar un ejemplo de sistema de calefacción para una vivienda de 90 m<sup>2</sup> ubicada en Valdivia comparando varias opciones en la calefacción. También veremos que es muy sencillo cambiar la localización del proyecto a otra parte del país (u otro país).

Al iniciar debemos ver la pantalla que se ilustra en la siguiente figura. Observen que hemos llamado el Proyecto "Ejemplos", en ubicación escribimos "Varias" e indicamos que fue preparado para las clases de Magíster.

En "Tipo de Proyecto" escogimos "Generación de Calor", con bomba de calor como "Tecnología", utilizando el "Método 1" y el PCI:

En cuanto a ubicación, escogemos en primer lugar "Valdivia". Esto se logra marcando "Seleccionar ubicación de datos meteorológicos".

Allí uno escoge país y lugar y luego marca la flechita verde de OK, lo cual inserta los datos en el proyecto.

The screenshot shows the RETScreen International software interface. The title bar indicates the file is 'RETScreen - Ejemplos.ret'. The menu bar includes 'Archivo', 'Inicio', 'Insertar', 'Diseño de página', 'Fórmulas', 'Datos', 'Revisar', 'Vista', 'Complementos', and 'RETScreen'. The toolbar contains icons for 'Ayuda', 'Base de datos de producto', 'Base de datos meteorológicos', 'Base de datos hidrológicos', 'Base de datos del proyecto', 'RETScreen en la Web', 'Acercar', 'Alejar', 'Buscar objetivo', and 'Calculadora'. The main window displays the 'WeatherHDD\_1' project. The 'Información del proyecto' section includes fields for 'Nombre del Proyecto' (Ejemplos), 'Ubicación del Proyecto' (Varias), 'Preparado para' (Magister), 'Preparado por' (R. Román L.), 'Tipo de proyecto' (Generación de calor), 'Tecnología' (Bomba de calor), 'Tipo de análisis' (Método 1), 'Poder calorífico de referencia' (Poder Calorífico Inferior (PCI)), and 'Mostrar parámetros' (unchecked). The 'Condiciones de referencia del sitio' section includes a link 'Seleccionar ubicación de datos meteorológicos', 'Ubicación de datos meteorológicos' (Valdivia), and 'Mostrar datos' (unchecked).

El cuadro de datos que aparece es como la siguiente figura.

Aparece la ubicación del lugar, la fuente de datos (típicamente "suelo" cuando son mediciones de estaciones meteorológicas y "NASA" cuando son a partir de datos calculados por la NASA) con valores promedio mensuales.

Al hacer click sobre la marca verde, uno inserta los datos en el proyecto.

Si ahora uno marca la opción "Mostrar datos" en la hoja "Comenzar", aparecen los datos insertados en la hoja.

Esto tiene la ventaja que uno los puede copiar a otros documentos e incluso es trivial modificarlos si uno está utilizando otra fuente de información. Por ejemplo hay información sobre grados día de calefacción para gran cantidad de lugares de Chile y allí uno puede reemplazar estos datos.

Para estos apuntes, hemos grabado los ejemplos en un archivo que se llama "Ejemplos.ret". Esto porque el programa graba en formato .ret, lo que permite recuperar el proyecto en todas sus fases y opciones.

País - Región: Chile

Provin./Estado: n/a

Ubicación de datos meteorológicos: Valdivia

Latitud: °N -39,8

Longitud: °E -73,2

Elevación: m 47

Temperatura de diseño de la calefacción: °C 3,6

Temperatura de diseño del aire acondicionado: °C 19,1

Amplitud de la temperatura del suelo: °C 8,2

Fuente: NASA

|        | Temperatura del aire<br>°C | Humedad relativa<br>% | Radiación solar diaria - horizontal<br>kWh/m²/d | Presión atmosférica<br>kPa | Velocidad del Viento<br>m/s | Temperatura del suelo<br>°C | Días-grado de calentamiento mensual<br>°C-d | Días-grado de enfriamiento mensual<br>°C-d |
|--------|----------------------------|-----------------------|---|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|--|
| Ene    | 15,0                       | 67,6%                 | 7,68  | 99,2                       | 5,1                         | 16,4                        | 92  | 156  |
| Feb    | 15,6                       | 65,9%                 | 6,73  | 99,2                       | 4,8                         | 16,6                        | 67  | 157  |
| Mar    | 14,2                       | 70,8%                 | 5,08  | 99,2                       | 4,8                         | 15,0                        | 117   | 131  |
| Abr    | 11,7                       | 76,1%                 | 3,37  | 99,3                       | 5,0                         | 12,5                        | 188   | 52   |
| May    | 10,4                       | 78,6%                 | 2,15  | 99,2                       | 5,6                         | 10,8                        | 234   | 14   |
| Jun    | 9,2                        | 80,0%                 | 1,69  | 99,2                       | 5,5                         | 9,5                         | 265   | 0  |
| Jul    | 8,4                        | 78,8%                 | 1,98  | 99,3                       | 5,5                         | 8,8                         | 297   | 0  |
| Ago    | 8,6                        | 77,8%                 | 2,82  | 99,4                       | 5,2                         | 9,0                         | 292   | 0  |
| Sep    | 9,0                        | 76,5%                 | 4,18  | 99,4                       | 5,1                         | 9,7                         | 269   | 0  |
| Oct    | 10,2                       | 75,8%                 | 5,68  | 99,4                       | 5,1                         | 11,3                        | 241   | 7  |
| Nov    | 11,5                       | 74,1%                 | 6,83  | 99,3                       | 4,9                         | 13,0                        | 194   | 46   |
| Dic    | 13,5                       | 70,7%                 | 7,62  | 99,2                       | 5,2                         | 15,0                        | 140   | 108  |
| Anual  | 11,4                       | 74,4%                 | 4,64  | 99,3                       | 5,1                         | 12,3                        | 2.397                                       | 669  |
| Fuente | NASA                       | NASA                  | NASA  | NASA                       | NASA                        | NASA                        | NASA  | NASA                                       |

Medido a: m 10 0

Buttons: [Green Checkmark] [Red X] [Print] [Help]

Observen que en el caso de Valdivia la “Temperatura de diseño de calefacción” es de 3,6°C. Este es un dato clave al momento de ver la calefacción y obviamente depende del lugar.

Ahora pasamos a la hoja “Modelo de Energía. En la próxima figura está configurada con un cierto grado de avance.

La superficie a analizar es de 90 m², la carga nominal de calefacción es de 65 [W/m²] (la forma de determinar la carga nominal de calefacción se explica en el **Anexo 1** de estos apuntes).

En la siguiente línea vemos que la demanda de calefacción total es de 17 MWh al año = 17000 kWh/año lo que equivale a 187 [kWh/(m²año)] lo que no es ni demasiado grande ni demasiado pequeño.

Las construcciones antiguas en Chile tienen una demanda de hasta 250-350 [kWh/(m²año)], mientras que la normativa que entra en vigor el 2007 espera lograr valores de 120-160 [kWh/(m²año)].

A modo de comparación, la normativa Europea habla de valores menores a 80 [kWh/

(m<sup>2</sup>año)] y las viviendas de alta eficiencia energética logran valores menores a 30 [kWh/(m<sup>2</sup>año)]. Y esto para calefacción, iluminación, agua caliente sanitaria y cocina. Es decir gasto energético **total**.

| Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de calefacción |                   |              |                              |                  |
|---|-------------------|--------------|------------------------------|------------------|
| Proyecto de calefacción                               |                   |              |                              |                  |
|   |                   | Caso base    | Caso propuesto               | Costos iniciales |
| Área-pisos de calefacción para edificio               | m <sup>2</sup>    | 90           |                              |                  |
| Mediciones de eficiencia energética                   |                   |              |                              |                  |
| Carga de calefacción para edificio                    | W/m <sup>2</sup>  | 65           | 65                           |                  |
| Demanda base - calentamiento para agua doméstica      | %                 | 0%           | 0%                           |                  |
| Demanda de calentamiento total                        | MWh               | 17           | 17                           |                  |
| <b>Sistema de calentamiento de carga base</b>         |                   |              |                              |                  |
| Tecnología  |                   | GLP          | Bomba de calor               |                  |
| Capacidad   | kW                | 5,9          | 6,9                          | 117,9%           |
| Calentamiento entregado                               | MWh               | 16,9         | 16,9                         | 100,0%           |
| Tipo de combustible                                   |                   | Propano - kg | Electricidad                 |                  |
| Eficiencia estacional                                 | %                 | 80%          | 324%                         |                  |
| Consumo de combustible anual                          | kg                | 1.578        | 5                            | MWh              |
| Precio del combustible                                | \$/kg             | 1000,000     | 140,000                      | \$/kWh           |
| Costo del combustible                                 | \$                | 1.578.278    | 728.831                      |                  |
| <b>Sistema de calentamiento de carga punta</b>        |                   |              |                              |                  |
| Tecnología  |                   |              |                              |                  |
| Capacidad sugerida                                    | kW                |              | 0,0                          |                  |
| Capacidad   | kW                |              |                              | 0,0%             |
| Tipo de combustible                                   |                   |              | Gas natural - m <sup>3</sup> |                  |
| Eficiencia estacional                                 | %                 |              |                              |                  |
| Consumo de combustible anual                          | m <sup>3</sup>    |              | 0                            |                  |
| Calentamiento entregado                               | MWh               |              | 0,0                          | 0,0%             |
| Precio del combustible                                | \$/m <sup>3</sup> |              |                              |                  |
| Costo del combustible                                 | \$                |              | 0                            |                  |

El sistema nos dice que para esta casa necesitaremos un sistema de calefacción con una potencia nominal de 5,9 kW. El sistema "convencional" será una caldera mural de tipo GLP en que su eficiencia es de un 80%, en el sistema escogido se ha optado por una bomba de calor con fuente en aire, marca Amana que tiene 6,9 kW de calefacción de capacidad.

Para el caso base el combustible escogido es GLP que se quema con una eficiencia de 80%. En el caso de la bomba de calor, se acciona con electricidad a una eficiencia del 324% (lo cual es el COP). El sistema nos dice que se necesitarán 1578 kg de GLP al año y 5 Mwh/año de electricidad. Al GLP se le supuso un precio de \$1.000/kg y la electricidad de \$140/kWh, por lo cual en la siguiente línea se calcula el costo anual de combustible.

Se supuso que el costo de la bomba de calor instalada será de \$1.500.000. Aquí uno debe poner el valor real. De verdad este valor es pequeño, pues para calefaccionar con bomba de calor el sistema de entrega de calor debe ser losa radiante mientras que una calefacción con caldera mural puede utilizar radiadores convencionales.

Para el ejemplo supondremos que en ambos casos se entrega el calor por losa radiante y



que el \$1.500.000 es el mayor costo del sistema de bomba de calor versus la caldera convencional-

Las características técnicas se escogen del menú "base de datos de productos". La misma indica los siguientes valores para la bomba de calor Amana:

The screenshot shows the RETScreen software interface. The main window displays the 'Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de calefacción' (Energy Model - Heating Project). The 'Proyecto de calefacción' (Heating Project) section is active, showing various input parameters and calculated values for a 'Caso base' (Base Case).

The 'RETScreen' dialog box is open, showing the following settings:

- Sistema: Calentamiento
- Tecnología: Bomba de calor
- Tipo: Fuente-aire
- Fabricante: Amana
- Modelo: PHD24C02F1
- Capacidad por unidad: 6,9 kW
- Número de unidades: 1
- Capacidad: 6,9 kW

The dialog box also displays calculated values:

- COP de calentam.: 3,24
- Capacidad de enfriamiento: 7,01 kW
- COP de enfriamiento: 3,82

The main window shows the following data for the 'Caso base':

| Parámetro  | Unidad | Valor |
|--|--------|-------|
| Área-pisos de calefacción para edificio          | m²     | 90    |
| Mediciones de eficiencia energética              |        |       |
| Carga de calefacción para edificio               | W/m²   | 65    |
| Demanda base - calentamiento para agua doméstica | %      | 0%    |
| Demanda de calentamiento total                   | MWh    | 17    |

The 'Sistema de calentamiento de carga base' (Base Load Heating System) section shows the following data:

| Parámetro                    | Unidad | Valor        |
|------------------------------|--------|--------------|
| Tecnología                   |        | GLP          |
| Capacidad                    | kW     | 5,9          |
| Calentamiento entregado      | MWh    | 16,9         |
| Tipo de combustible          |        | Propano - kg |
| Eficiencia estacional        | %      | 80%          |
| Consumo de combustible anual | kg     | 1.578        |
| Precio del combustible       | \$/kg  |              |
| Costo del combustible        | \$     | 0            |

The 'Sistema de calentamiento de carga punta' (Peak Load Heating System) section shows the following data:

| Parámetro                    | Unidad | Valor |
|------------------------------|--------|-------|
| Tecnología                   |        |       |
| Capacidad sugerida           | kW     |       |
| Capacidad                    | kW     |       |
| Tipo de combustible          |        |       |
| Eficiencia estacional        | %      |       |
| Consumo de combustible anual | m³     |       |
| Calentamiento entregado      | MWh    |       |
| Precio del combustible       | \$/m³  |       |
| Costo del combustible        | \$     |       |

The 'Análisis de Emisiones' (Emissions Analysis) section is also visible at the bottom of the main window.

Este menú no tiene el botón verde para insertar los datos (lo tendrá en actualización futura de Retscreen) y es bomba de calor con fuente en aire.

Observen que el COP de calentamiento es de 3,24. Esto equivale a una eficiencia de 324%. Es un valor alto, pues hay muchas bombas de calor con COP de 1,99 o algo inferior.

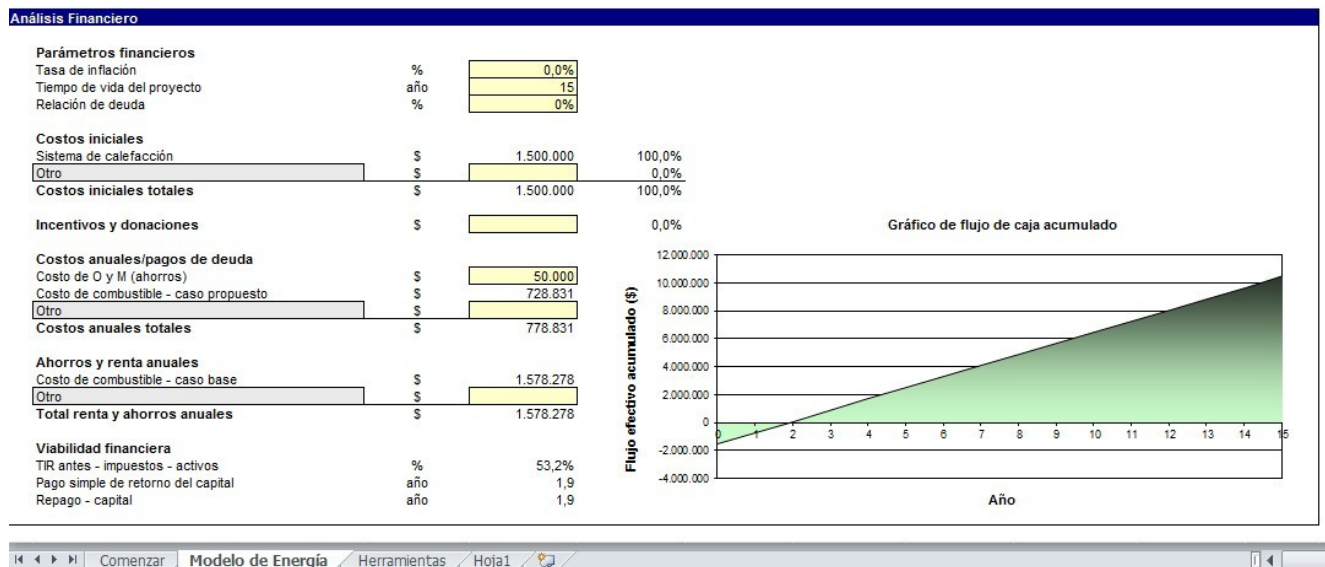
Como la bomba de calor tiene una potencia superior a la demanda máxima de calefacción, no es necesario un equipo adicional. Si lo fuese, típicamente uno especifica aquí un suplemento eléctrico.

La siguiente parte de la hoja permite calcular el impacto en gases efecto invernadero. En este caso y tomando las emisiones medias por electricidad en Chile, resulta que el



proyecto equivale a 0,7 automóviles no utilizados.

Por último está la opción de análisis económico. Copiamos aquí esa parte de la pantalla:



Hemos supuesto una tasa de inflación de 0% (es decir se trabaja con valores reales), tiempo de vida del proyecto de 15 años y 0% de deuda. Estos parámetros se pueden modificar, pero estamos haciendo un análisis sencillo.

Observen que se calcula la Tasa Interna de Retorno (TIR) que resulta un 53,2% y que el proyecto se paga en 1,9 años.

Así que sería muy conveniente.

Para efectos de comparación vamos a trabajar esta misma situación, pero en vez de utilizar una bomba de calor, utilizaremos una caldera con pellets de biomasa. El precio del pellet es de \$90/kg y supondremos que el costo de la caldera a Pellets instalada son los mismos \$1.500.000.

En la hoja "Comenzar" debemos cambiar en "Tecnología" la bomba de calor por sistema de biomasa.

En la hoja "Modelo de Energía" la situación queda como se muestra en la siguiente figura. Observen que ahora debemos cambiar el combustible a "biomasa" y la demanda será de 4 Ton/año = 4.000 kg/año. Si el pellet vale \$90/kg = 90.000/Ton y el gasto anual baja a \$370.000/año. La reducción de gases efecto invernadero equivale a 0,9 autos, el TIR aumenta a 73% y el proyecto se paga en 1,3 años.

A modo de referencia y cuando analizen sistemas de biomasa consideren:

- Una eficiencia de 30% si se usa leña húmeda en calefactor convencional.

- Una eficiencia de 40 a 50% con leña seca en calefactor convencional.
- Una eficiencia de hasta 55-65% con leña seca en calefactores de doble combustión.
- Una eficiencia de 80 a 85% con pellets de biomasa en calefactores para pellets.

Ahora la situación de gasto de energía resulta así:

| G962   |       | fx           |                    |                  |              |
|--|-------|--------------|--------------------|------------------|--------------|
|  |       | Caso base    | Caso propuesto     | Costos iniciales |              |
| Área-pisos de calefacción para edificio          | m²    | 90           |                    |                  |              |
| Mediciones de eficiencia energética              |       |              |                    |                  |              |
| Carga de calefacción para edificio               | W/m²  | 65           | 65                 |                  |              |
| Demanda base - calentamiento para agua doméstica | %     | 0%           | 0%                 |                  |              |
| Demanda de calentamiento total                   | MWh   | 17           | 17                 |                  |              |
| Sistema de calentamiento de carga base           |       |              |                    |                  |              |
| Tecnología                                       |       | GLP          | Sistema de biomasa |                  |              |
| Capacidad  | kW    | 5,9          | 6,0                | 102,6%           | \$ 1.500.000 |
| Calentamiento entregado                          | MWh   | 16,9         | 16,9               | 100,0%           |              |
| Tipo de combustible                              |       | Propano - kg | Biomasa            |                  |              |
| Eficiencia estacional                            | %     | 80%          | 80%                |                  |              |
| Consumo de combustible anual                     | kg    | 1.578        | 4                  | t                |              |
| Precio del combustible                           | \$/kg | 1000,000     | 90000,000          | \$/t             |              |
| Costo del combustible                            | \$    | 1.578.278    | 370.374            |                  |              |
| Sistema de calentamiento de carga punta          |       |              |                    |                  |              |
| Tecnología                                       |       |              |                    |                  |              |
| Capacidad sugerida                               | kW    |              | 0,0                |                  |              |
| Capacidad  | kW    |              |                    | 0,0%             |              |
| Tipo de combustible                              |       |              | Gas natural - m³   |                  |              |
| Eficiencia estacional                            | %     |              |                    |                  |              |
| Consumo de combustible anual                     | m³    |              | 0                  |                  |              |
| Calentamiento entregado                          | MWh   |              | 0,0                | 0,0%             |              |
| Precio del combustible                           | \$/m³ |              |                    |                  |              |
| Costo del combustible                            | \$    |              | 0                  |                  |              |

Para este sistema de calefacción realizaremos un cambio adicional. Supondremos que la misma vivienda está ahora en Coyhaique. Allí la temperatura de diseño de invierno es de -4°C y los grados día de calefacción aumentan a 4.659.

En este caso la carga de calefacción para esta misma construcción aumenta a 84,8 [W/m²] si se ubica en Coyhaique, esto por las condiciones ambientales más exigentes (en el **Anexo 1** se explica esto en detalle).

La situación energética se ilustra en figura siguiente.

Observen que ahora la demanda anual de GLP subió a 2.557 kg y la de pellets a 7.000 kg.

En ella observamos que hemos supuesto que mantenemos la misma caldera que en el caso de Valdivia. Por lo tanto Retscreen nos dice que falta 1,6 kW para cubrir la demanda de punta de calefacción. Esto lo suplimos con un calefactor eléctrico de 2 kW. Como solo

se usa en horas de punta y ocasionalmente, el costo extra en electricidad es de solo \$34.000/año. Observen que para el calefactor eléctrico la eficiencia está supuesta en 95% lo cual es un valor estandard razonable.

#### Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de calefacción

##### Proyecto de calefacción

|  |                  | Caso base    | Caso<br>propuesto     |       | Costos<br>iniciales |
|--|------------------|--------------|-----------------------|-------|---------------------|
| Área-pisos de calefacción para edificio          | m <sup>2</sup>   | 90           |                       |       |                     |
| Mediciones de eficiencia energética              |                  |              |                       |       |                     |
| Carga de calefacción para edificio               | W/m <sup>2</sup> | 85           | 85                    |       |                     |
| Demanda base - calentamiento para agua doméstica | %                | 0%           | 0%                    |       |                     |
| Demanda de calentamiento total                   | MWh              | 27           | 27                    |       |                     |
| <b>Sistema de calentamiento de carga base</b>    |                  |              |                       |       |                     |
| Tecnología                                       |                  | GLP          | Sistema de<br>biomasa |       |                     |
| Capacidad  | kW               | 7,6          | 6,0                   | 78,6% | \$ 1.500.000        |
| Calentamiento entregado                          | MWh              | 27,3         | 27,1                  | 99,1% |                     |
| Tipo de combustible                              |                  | Propano - kg | Biomasa               |       |                     |
| Eficiencia estacional                            | %                | 80%          | 80%                   |       |                     |
| Consumo de combustible anual                     | kg               | 2.557        | 7                     | t     |                     |
| Precio del combustible                           | \$/kg            | 1000,000     | 90000,000             | \$/t  |                     |
| Costo del combustible                            | \$               | 2.556.839    | 594.888               |       |                     |
| <b>Sistema de calentamiento de carga punta</b>   |                  |              |                       |       |                     |
| Tecnología                                       |                  |              | Electricidad          |       |                     |
| Capacidad sugerida                               | kW               |              | 1,6                   |       |                     |
| Capacidad  | kW               |              | 2,0                   | 26,2% |                     |
| Tipo de combustible                              |                  |              | Electricidad          |       |                     |
| Eficiencia estacional                            | %                |              | 95%                   |       |                     |
| Consumo de combustible anual                     | MWh              |              | 0                     |       |                     |
| Calentamiento entregado                          | MWh              |              | 0,2                   | 0,9%  |                     |
| Precio del combustible                           | \$/kWh           |              | 140,000               |       |                     |
| Costo del combustible                            | \$               |              | 34.392                |       |                     |

La biomasa siempre es muy rentable frente al GLP. Pero también uno debería explorar la forma de hacer la construcción energéticamente más eficiente y bajar a valores nominales de carga de calefacción de unos 35 a 45 [W/m<sup>2</sup>]. Estos son números perfectamente alcanzables e implican solo ser cuidadosos con las infiltraciones (lograr de 1 a 1,5 renovaciones por hora), usar ventanas de termopanel y probablemente utilizar aislación exterior de muros.

Esta mejora baja la demanda energética a la mitad, pero puede tener costo significativo.

#### 4. Uso en sistemas de ACS:

Para ilustrar este ejemplo, consideraremos el caso de un sistema de agua caliente sanitaria (ACS) en Calama y en Puerto Montt. Tanto para una casa con 4 ocupantes como un edificio de departamentos de 14 departamentos.

Veremos la opción de usar energía solar y la compararemos con usar un sistema de caldera mural con GLP.

Partamos por el caso de Calama. Volvemos a la hoja "Comenzar" y elegimos "Generación de Calor", pero con "Calentador solar de agua" en Tecnología. Además cambiamos a "Calama".

La hoja de "Modelo de Energía" cambió. Queda así después de algunos cambios menores nuestros:

#### Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de calefacción

| Proyecto de calefacción                              |   |           |                |                  |                                |
|--|---|-----------|----------------|------------------|--------------------------------|
| Tecnología   | Calentador solar de agua  |           |                |                  |                                |
| Características de la carga                          | <input type="radio"/> Piscina<br><input checked="" type="radio"/> Agua caliente |           |                |                  |                                |
| Aplicación   |   |           |                |                  |                                |
|  | Unidad  | Caso base | Caso propuesto |                  |                                |
| Tipo de carga  |   | Casa      |                |                  |                                |
| Número de unidades                                   | Ocupante  | 4         |                |                  |                                |
| Tasa de ocupación                                    | %   | 100%      |                |                  |                                |
| Uso diario de agua caliente - estimado               | L/d   | 240       |                |                  |                                |
| Uso diario de agua caliente                          | L/d   | 240       | 240            |                  |                                |
| Temperatura  | °C  | 40        | 40             |                  |                                |
| Días de operación por semana                         | d   | 7         | 7              |                  |                                |
| <input type="checkbox"/> Porcentaje del mes usado    |   |           |                |                  |                                |
| Método de evaluación de la temperatura de suministro |   | Fórmula   |                |                  |                                |
| Temperatura del agua - mínima                        | °C  | 7,3       |                |                  |                                |
| Temperatura del agua - máxima                        | °C  | 10,2      |                |                  |                                |
|  | Unidad  | Caso base | Caso propuesto | Energía ahorrada | Costos iniciales incrementales |
| Demanda de calor                                     | MWh   | 3,2       | 3,2            | 0%               |                                |

Observen que hemos escogido la opción "Agua caliente", "Casa" como tipo de carga, con 4 ocupantes y 100% de ocupación y uso 7 días por semana. Con esto el sistema nos sugiere una demanda diaria de ACS de 240 litros/día. La temperatura típica de uso es de 40°C.

Está la opción de definir diferentes porcentajes de uso según el mes (marcando Porcentaje del mes usado e ingresando los valores mes a mes). Esto es importante en el caso de aplicaciones como escuelas (no se usan en verano), departamentos (típicamente hay un mes en que el uso es bajo) u otras aplicaciones que tienen variación de demanda estacional.

Aquí también hay una opción de reducir demanda con medidas de eficiencia energética. Por ejemplo instalar challas de ducha de bajo consumo (la demanda de ACS puede bajar de 15 a 25%). Eso sí que las mismas demandan agua a buena presión y mantención de las challas. La ventaja es que la inversión es pequeña.

Observen que el sistema calcula la temperatura del agua fría de la red con una fórmula que depende de las condiciones ambientales, en particular la temperatura de la tierra.

Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de calefacción

| Proyecto de calefacción                              |   |           |                |                  |                                |
|--|---|-----------|----------------|------------------|--------------------------------|
| Tecnología   | Calentador solar de agua  |           |                |                  |                                |
| Características de la carga                          | <input type="radio"/> Piscina<br><input checked="" type="radio"/> Agua caliente |           |                |                  |                                |
| Aplicación   |   |           |                |                  |                                |
|  | Unidad  | Caso base | Caso propuesto |                  |                                |
| Tipo de carga  |   | Casa      |                |                  |                                |
| Número de unidades                                   | Ocupante  | 4         |                |                  |                                |
| Tasa de ocupación                                    | %   | 100%      |                |                  |                                |
| Uso diario de agua caliente - estimado               | L/d   | 240       |                |                  |                                |
| Uso diario de agua caliente                          | L/d   | 240       | 240            |                  |                                |
| Temperatura  | °C  | 40        | 40             |                  |                                |
| Días de operación por semana                         | d   | 7         | 7              |                  |                                |
| <input type="checkbox"/> Porcentaje del mes usado    |   |           |                |                  |                                |
| Método de evaluación de la temperatura de suministro |   | Fórmula   |                |                  |                                |
| Temperatura del agua - mínima                        | °C  | 7,3       |                |                  |                                |
| Temperatura del agua - máxima                        | °C  | 10,2      |                |                  |                                |
|  | Unidad  | Caso base | Caso propuesto | Energía ahorrada | Costos iniciales incrementales |
| Demanda de calor                                     | MWh   | 3,2       | 3,2            | 0%               |                                |

El sistema calculó la demanda anual de energía térmica para el ACS. Para Calama es de 3,2 MWh, es decir 3.200 kWh, unos 9 kWh/día. El cuadro de "Costos Incrementales" es si uno hubiese considerado una tecnología de eficiencia energética. Por ejemplo challas de bajo consumo. Aquí se ingresaría el costo de haberlas instalados.

Ahora ingresamos la inclinación de los paneles (entre 20° mínimo y 45° máximo en el caso de Chile. Nunca menos de 20° por problemas de circulación de líquido y acumulación de polvo. Usar números sencillos: 20, 30 o 45°) y el azimut de los colectores. Para Retscreen, ingresar un azimut de 180° implica que se mira al Norte.

Si marcamos el casillero "Mostrar datos" se ven los datos mensuales de radiación solar en plano horizontal y plano inclinado. Esto es útil para ver la sensibilidad de cambiar la inclinación o el azimut.

También se pueden copiar estos datos e ingresarlos a otra planilla o documento.

Observen que hay una ganancia significativa en los meses de invierno con respecto al plano horizontal. Es mayor para latitudes mayores.



|  |               |   |                          |  |                                      |
|--|---------------|---|--------------------------|--|--------------------------------------|
|  |               |   |                          |  | Costos<br>iniciales<br>incrementales |
| Demanda de calor   | Unidad<br>MWh | Caso base<br>3,2                          | Caso<br>propuesto<br>3,2 | Energía<br>ahorrada<br>0%                |                                      |
| <b>Evaluación de recursos</b>                            |               |   |                          |  |                                      |
| Modo de rastreo solar                                    |               | Fijado                                    |                          |  |                                      |
| Inclinación  | °             | 20,0                                      |                          |  |                                      |
| Azimut   | °             | 180,0                                     |                          |  |                                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Mostrar datos</b> |               |   |                          |  |                                      |
|  |               | Radiación solar<br>diaria -<br>horizontal |                          | Radiación solar<br>diaria -<br>inclinado |                                      |
| Mes  |               | kWh/m²/d                                  |                          | kWh/m²/d                                 |                                      |
| Enero  |               | 8,01                                      |                          | 7,39                                     |                                      |
| Febrero  |               | 7,32                                      |                          | 7,11                                     |                                      |
| Marzo  |               | 6,67                                      |                          | 6,93                                     |                                      |
| Abril  |               | 5,82                                      |                          | 6,61                                     |                                      |
| Mayo   |               | 4,80                                      |                          | 5,83                                     |                                      |
| Junio  |               | 4,36                                      |                          | 5,59                                     |                                      |
| Julio  |               | 4,61                                      |                          | 5,81                                     |                                      |
| Agosto   |               | 5,47                                      |                          | 6,45                                     |                                      |
| Setiembre  |               | 6,50                                      |                          | 6,99                                     |                                      |
| Octubre  |               | 7,66                                      |                          | 7,61                                     |                                      |
| Noviembre  |               | 8,28                                      |                          | 7,73                                     |                                      |
| Diciembre  |               | 8,40                                      |                          | 7,61                                     |                                      |
| Anual  |               | 6,49                                      |                          | 6,80                                     |                                      |
| Radiación solar anual - horizontal                       | MWh/m²        | 2,37                                      |                          |  |                                      |
| Radiación solar anual - inclinado                        | MWh/m²        | 2,48                                      |                          |  |                                      |

Ahora tenemos que ingresar la parte del colector y los demás elementos del sistema. Para escoger colector, primero escogemos el tipo: será "vidriado" (esto significa colector plano con cubierta de vidrio. Además existen sin cubierta [que normalmente se usan en piscinas], de tubo evacuado y "otro". La opción "otro" que existe muchas veces, significa definida por el usuario para aquellos casos en que lo que se quiera no esté en la base de datos de productos.

Ahora hacer click hacia la derecha donde dice "vea la base de datos de productos". Se abre una ventana flotante y allí escogemos colector. Escogeremos (en este caso) el Chromagen CR-120, lo que aparece está en la próxima figura.

Están los datos generales del colector tal como área bruta (largo por ancho) de 2,8m²; área absorbente (o neta) de 2,59m²; el coeficiente  $F_R \alpha \tau$  (de absorción-transmisión) y el  $F_R U_L$  (de pérdidas térmicas).

El motor de cálculo de Retscreen para este efecto es el método conocido como *f-chart* o Carta F. Es un método simplificado pero bien aceptado. Funciona bien en sistemas pequeños y hasta tamaño medio (de unos 10 colectores). Ya para sistemas de mayor tamaño hay que utilizar herramientas de cálculo más sofisticadas.



The screenshot shows the RETScreen software window. It has a title bar with the text 'RETScreen' and a close button. The main area contains several dropdown menus for system configuration:

- Sistema: Calentamiento
- Tecnología: Calentador solar de agua
- Tipo: Vidriado
- Fabricante: Chromagen Solar Energy Systems
- Modelo: CC-A/F (CR-120)

Below these menus, there is a text box containing the following technical specifications:

- Área bruta por colector solar: 2,8 m<sup>2</sup>
- Área de captación de colector solar: 2,59 m<sup>2</sup>
- Coefficiente Fr (tau alfa): 0,74
- Coefficiente Fr UL: 4,89 (W/m<sup>2</sup>)/°C
- Coefficiente de temperatura para Fr UL: 0 (W/m<sup>2</sup>)/°C<sup>2</sup>
- Fuente: SPF C286

At the bottom of the window, there is a row of five icons: a green checkmark, a red prohibition sign, a globe, a printer, and a question mark.

Al hacer click sobre el tick verde uno ingresa los datos del colector a Retscreen y puede seguir calculando.

Como hay muchas opciones, esto amerita una explicación más detallada:

En primer lugar para el costo, ingresamos una fórmula parametrizada. En este caso es:

$$\text{Costo} = (\text{N}^{\circ}\text{Colectores}) \times \$700.000 + \$500.000$$

Se considera que el sistema tiene un costo variable que depende del número de colectores (colectores, piping, estanque, aislación y otros) y además un costo fijo por hacer el proyecto (mano de obra y costos fijos).

Fíjense que después del número de colectores, uno ingresa "pérdidas varias" estas son las pérdidas térmicas entre el colector y el acumulador. Dependerán sobre todo de lo bien aisladas que estén las tuberías entre colectores y acumulador, como también el largo de las mismas. Para un sistema normal no debería exceder de 2 a 3%.

| J807   |                                | fx       |                |
|--|--------------------------------|----------|----------------|
| <b>Calentador solar de agua</b>                      |                                |          |                |
| Tipo   | Vidriado                       |          | \$ 1.200.000   |
| Fabricante   | Chromagen Solar Energy Systems |          |                |
| Modelo   | CC-A/F (CR-120)                |          |                |
| Área bruta por colector solar                        | m²                             | 2,80     |                |
| Área de captación de colector solar                  | m²                             | 2,59     |                |
| Coefficiente Fr (tau alfa)                           |                                | 0,74     |                |
| Coefficiente Fr UL                                   | (W/m²)/°C                      | 4,89     |                |
| Coefficiente de temperatura para Fr UL               | (W/m²)/°C²                     | 0,000    |                |
| Número de colectores                                 |                                | 1        |                |
| Área del colector solar                              | m²                             | 2,80     |                |
| Capacidad  | kW                             | 1,81     |                |
| Pérdidas varias                                      | %                              | 2,0%     |                |
| <b>Balance del sistema y misceláneos</b>             |                                |          |                |
| Almacenamiento                                       |                                | Sí       |                |
| Capacidad de almacenamiento / área de colector solar | L/m²                           | 80       |                |
| Capacidad de almacenamiento                          | L                              | 207,1    |                |
| Intercambiador de calor                              | sí/no                          | Sí       |                |
| Eficiencia del intercambiador de calor               | %                              | 70,0%    |                |
| Pérdidas varias                                      | %                              | 2,0%     |                |
| Potencia de bomba / área de colector solar           | W/m²                           | 8,00     |                |
| Tarifa de electricidad                               | \$/kWh                         | 140,000  |                |
| <b>Resumen</b>                                       |                                |          |                |
| Demanda de electricidad - bomba                      | MWh                            | 0,0      |                |
| Calentamiento entregado                              | MWh                            | 2,7      |                |
| Fracción solar                                       | %                              | 85%      |                |
| <b>Sistema de calefacción</b>                        |                                |          |                |
| Verificación del proyecto                            |                                |          |                |
| <input type="checkbox"/>                             |                                |          |                |
| Tipo de combustible                                  | Caso base                      |          | Caso propuesto |
| Eficiencia estacional                                | Propano - kg                   |          | Propano - kg   |
| Consumo de combustible anual                         | 65%                            |          | 65%            |
| Precio del combustible                               | kg                             | 366,5    | 54,2           |
| Costo del combustible                                | \$/kg                          | 1000,000 | 1000,000       |
|  | \$                             | 366.534  | 54.216         |

Está considerado el almacenamiento. Siempre se debe considerar. Utilicen capacidades de 60 a 100 l/m² de colector. Los valores menores para lugares con menos radiación solar y los mayores para aquellos con más radiación solar. En este caso utilizamos 80.

**Siempre** consideren intercambiador de calor. Un sistema solar razonable debe ser presurizado e indirecto. Nunca directo (es decir que el agua de la red no debe circular por los colectores). La única excepción son los colectores de tubo al vacío tipo "heat pipe" con colector integrado. Aquí se deben ingresar los datos específicos de ese colector.

Hay tres tipos de intercambiadores de calor: de camisa, de espiral sumergido y de placa exterior. Una breve descripción de cada uno es:

- **Intercambiador de camisa:** son los más baratos y menos eficientes<sup>1</sup>. Su eficiencia está entre 40 y 70%. En el ejemplo supusimos 70%. Estos se fabrican con una funda metálica exterior al acumulador. La aislación externa recubre todo.
- **Intercambiador de espiral sumergida:** es una espiral de tubo de cobre sumergida en la parte inferior del estanque de acumulación. Sus eficiencias están entre 50 y 80%.
- **De placa plana externa:** son los más eficientes, pudiendo alcanzar estos valores de 90 a 95%. Se trata de intercambiadores de calor de placa plana a contracorriente. Eso sí que requieren dos bombas de circulación: una entre el circuito de los colectores y el intercambiador y una segunda entre el acumulador y el intercambiador de calor. Por lo tanto se utilizan solo en sistemas grandes.

Aparece nuevamente el término “pérdidas varias”. Aquí se trata de las pérdidas térmicas entre el acumulador y los puntos de consumo final. Dependerán sobre todo de lo bien aislado que esté el acumulador y el sistema de entrega a consumo final. Para un sistema normal debería estar entre 2 a 5%. Si uno conoce las características del sistema, se puede hacer un cálculo manual para estimarlo.

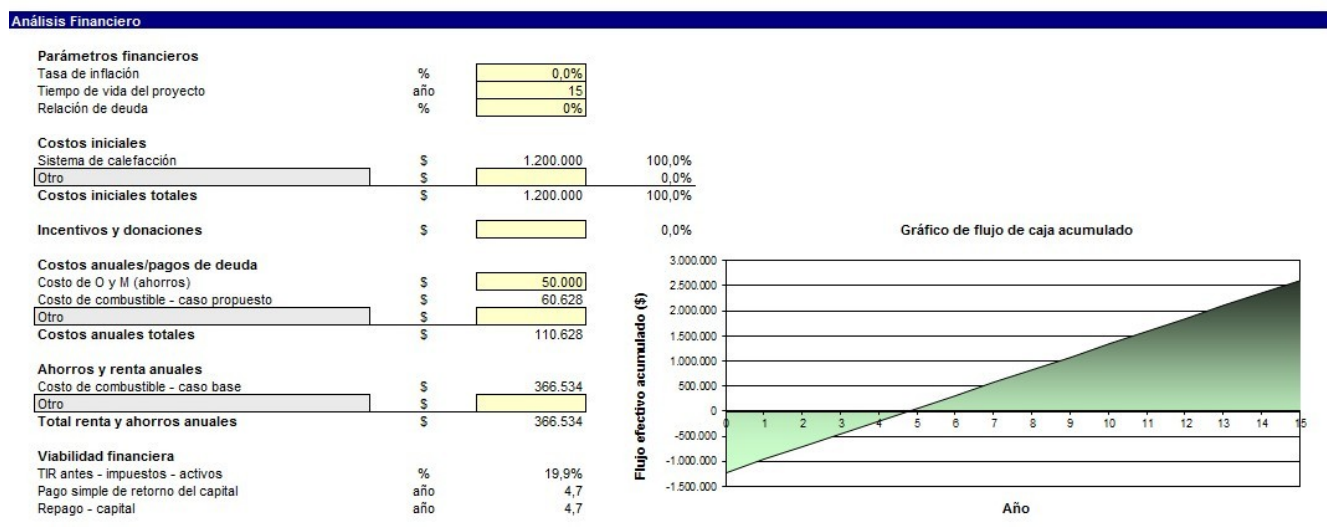
La “potencia de la bomba/área de colector solar” está relacionado con lo que gasta la bomba de circulación entre colectores y acumulador. Un buen valor de diseño es de unos 8 Watts/m<sup>2</sup>.

Vemos que en este ejemplo la fracción solar entregada es de un 85%, más que suficiente.

Como sistema alternativo se ha considerado calefont. Estos tienen una eficiencia en torno al 65%. Hemos considerado GLP en kg. Vemos que sin colector solar la demanda anual es de 366 kg/año (1 kg/día) y con baja a 64 kg/año.

---

1 La eficiencia de un intercambiador es un concepto que excede estos apuntes. Basta decir que una mala eficiencia implica pérdida de temperatura, no de energía. Una buena eficiencia es de 80% hacia arriba.



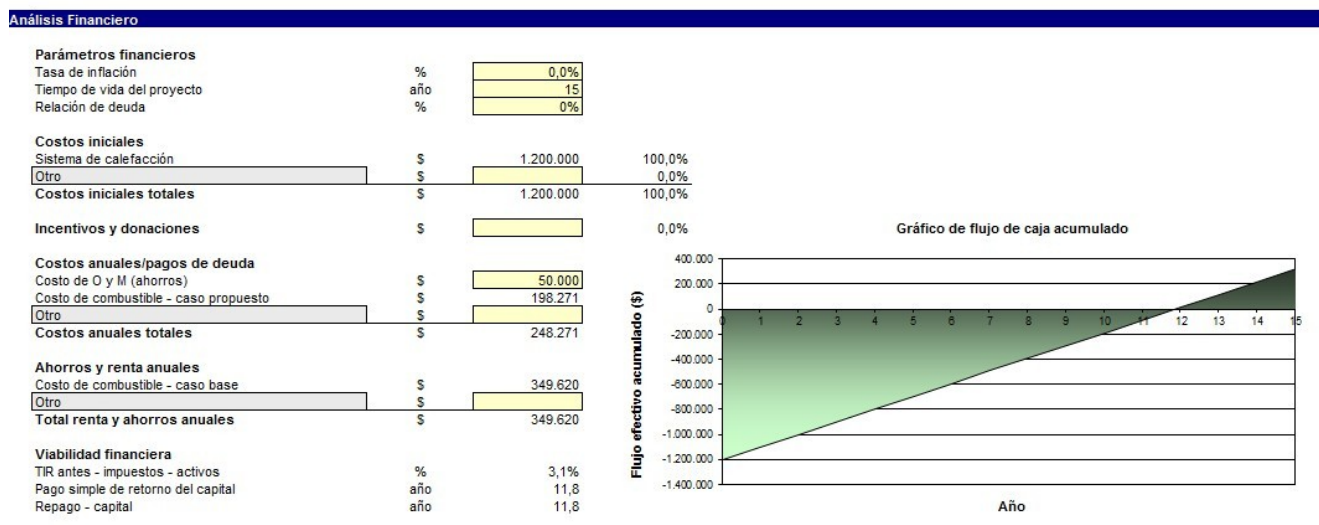
En un hogar típico el ACS es del orden del 70 a 80% de la demanda anual de gas. La cocina es una fracción pequeña.

Viene luego la parte de gases de efecto invernadero. Lo saltaremos, pues esta parte tiene sentido solo para proyectos de muy gran tamaño.

Finalmente en la parte económica vemos que el TIR es de 19,9% al año y el proyecto se pagaría en 4,7 años.

Ahora “cambiaremos” virtualmente el mismo proyecto a Puerto Montt. Realizaremos solo un cambio: la inclinación de los paneles la aumentaremos a 30°.

El resultado se ve en la siguiente figura:



La fracción de aporte solar bajó a 45%, el TIR a 3,1% y el pago de capital a 11,8 años. Sería viable en Puerto Montt, pero con componentes más económicos y mayor superficie de captación. Probablemente allí sería indispensable usar colectores de tubo al vacío.

Ahora analizaremos el caso de un edificio de departamentos de 14 departamentos. Volveremos a Calama.

La primera parte de la hoja de modelo de energía quedará como se indica en la figura próxima.

Al cambiar a "departamentos" se ingresa el número de unidades, en este caso 14. El sistema sugiere un consumo de ACS de 2.372 l/día, usaremos 2.400.

Aquí hemos supuesto 100% de ocupancia, pero siempre está la opción de considerarla variable a lo largo del año.

Fíjense que la demanda térmica aumentó a 31,8 MWh/año.

|  | Unidad | Caso base                           | Caso propuesto                     |                  |                                |
|--|--------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Tipo de carga  |        | Apartamento                         |                                    |                  |                                |
| Número de unidades                                   | Unidad | 14                                  |                                    |                  |                                |
| Tasa de ocupación                                    | %      | 100%                                |                                    |                  |                                |
| Uso diario de agua caliente - estimado               | L/d    | 2.372                               |                                    |                  |                                |
| Uso diario de agua caliente                          | L/d    | 2.400                               | 2.400                              |                  |                                |
| Temperatura  | °C     | 40                                  | 40                                 |                  |                                |
| Días de operación por semana                         | d      | 7                                   | 7                                  |                  |                                |
| <input type="checkbox"/> Porcentaje del mes usado    |        |                                     |                                    |                  |                                |
| Método de evaluación de la temperatura de suministro |        | Fórmula                             |                                    |                  |                                |
| Temperatura del agua - mínima                        | °C     | 7,3                                 |                                    |                  |                                |
| Temperatura del agua - máxima                        | °C     | 10,2                                |                                    |                  |                                |
|  | Unidad | Caso base                           | Caso propuesto                     | Energía ahorrada | Costos iniciales incrementales |
| Demanda de calor                                     | MWh    | 31,8                                | 31,8                               | 0%               |                                |
| <b>Evaluación de recursos</b>                        |        |                                     |                                    |                  |                                |
| Modo de rastreo solar                                |        | Fijado                              |                                    |                  |                                |
| Inclinación  | °      | 20,0                                |                                    |                  |                                |
| Azimut   | °      | 180,0                               |                                    |                  |                                |
| <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar datos    |        |                                     |                                    |                  |                                |
|  |        | Radiación solar diaria - horizontal | Radiación solar diaria - inclinado |                  |                                |
| Mes  |        | kWh/m²/d                            | kWh/m²/d                           |                  |                                |
| Enero  |        | 8,01                                | 7,39                               |                  |                                |
| Febrero  |        | 7,32                                | 7,11                               |                  |                                |
| Marzo  |        | 6,67                                | 6,93                               |                  |                                |
| Abril  |        | 5,82                                | 6,61                               |                  |                                |
| Mayo   |        | 4,80                                | 5,83                               |                  |                                |

Al definir los colectores, el sistema nos sugiere utilizar 7. Nosotros ingresaremos 8. Al haber más de un colector, casi siempre conviene utilizar un número par para que el flujo a través de ellos sea homogéneo.

Con 8 colectores, la fracción solar que se logra es de 74% y se baja de manera considerable el consumo de gas. Al analizar la parte económica veremos que el TIR es de 42,4% y el proyecto se pagaría en 2,3 años.

Si el mismo proyecto lo llevamos a Puerto Montt (con 30° de inclinación de los colectores), la fracción solar cae a 38% y el TIR a 18,5% con un período de recuperación del capital de 5 años.

Uno puede optimizar el sistema variando algo (por ejemplo el número de colectores) hasta maximizar el TIR.

En este caso no se ha considerado la franquicia tributaria, lo cual actuaría a favor del proyecto.

Se puede ver en estos ejemplos que Retscreen permite analizar diferentes opciones con mucha rapidez.



## 5. Uso en un sistema FV:

Por razones de espacio, solo veremos este tipo de sistema de manera muy breve. Mayores detalles aparecen en el documento específico sobre el tema.

Existen básicamente los siguientes tipos de sistemas fotovoltaicos (FV):

- **Sistemas aislados:** son sistemas no conectados a la red eléctrica central. A su vez se subdividen en sistemas que operan en corriente continua (CC) y aquellos que operan en corriente alterna (CA). Solo los muy pequeños (con hasta unos 200 Watts en paneles) se justifica operen en CC. En general tienen un banco de baterías para acumular la energía captada durante el día para ser utilizada en la noche. No tienen baterías sistemas tales como bombeo de agua.
- **Sistemas conectados a red:** se acoplan a la red. Por lo tanto al final deben tener un *inversor* para generar la corriente alterna. A su vez se subdividen en aquellos que se conectan a la red y no tienen acumulación (baterías) y los que se conectan a red y sí tienen acumulación. Estos últimos proporcionan continuidad de energía al existir cortes en la red eléctrica.

A nivel general los podemos esquematizar de la siguiente forma:



Los módulos (que generan en corriente continua) se conectan a una unidad genérica que se llama "Control y Acondicionamiento de Potencia". La misma abastece la Carga y también maneja el sistema de acumulación de energía (las baterías).

Para un sistema en corriente continua, el sistema de control es un controlador de carga que tiene por funciones evitar la sobrecarga de baterías, así como su descarga excesiva. El mismo controlador abastece la carga que estará en CC.

Existen dos tipos de controladores de carga: Los *engrapados*, que son los más antiguos y usualmente son más baratos. Pero implican mayores pérdidas de energía. Los más modernos se llaman: *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* o controladores de

seguimiento de máximo punto de potencia. Tienen un rendimiento bastante superior. Pero eran más caros hasta hace muy pocos. Hoy ya se encuentran integrados a inversores de tamaño adecuado a un costo muy razonable.

Para un sistema aislado que tiene cargas en CA, el controlador de carga es similar a los anteriores, pero el mismo abastece un *inversor*. Este es un dispositivo electrónico que genera corriente alterna. Los buenos generan una señal sinusoidal. En general **no** utilizar inversores con señal sinusoidal modificada.

Para un sistema conectado a red, el inversor es especial. En efecto, genera corriente alterna con señal sinusoidal, pero además es capaz de *sincronizarse con la red*. Esto implica que es capaz de alimentar perfectamente a la red externa. Y si la red externa se corta, entonces el sistema se detiene por razones de seguridad,

Para un sistema conectable a red con capacidad de acumulación, el inversor tiene más características de control. Si la red externa se cae, el sistema se *aisla* de la red y comienza a operar *en isla*. Es decir abastece las cargas internas a partir de sus baterías, pero no alimenta la red externa. Cuando la energía externa retorna, se puede reconectar a la red de manera manual o automática.

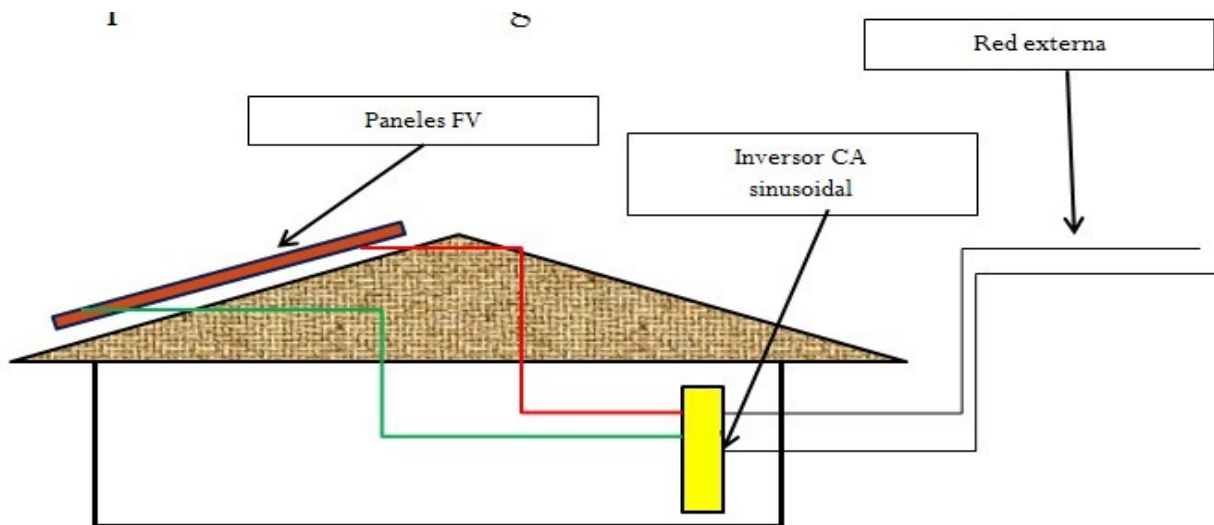
La ventaja de los sistemas conectados a red es que uno evita (o disminuye mucho) los costos de las **baterías**, las que son un elemento caro en el sistema. Además cuando están conectados, el medidor “normal” en la práctica “camina hacia atrás”, lo cual significa un ahorro. Esta es la esencia del sistema de *net-metering*. El mismo implica que uno paga solo por la diferencia neta entre lo que inyecta y lo que consume.

El esquema de conexión que tendríamos sería similar al de la figura siguiente.

Para aplicar Retscreen a sistemas FV debemos seguir el siguiente camino:

- Primero se analiza un sistema aislado de red similar al que deseamos estudiar (el mismo tipo de controlador con el mismo tipo de inversor, el mismo lugar y los mismos paneles),
- Allí obtenemos el *Factor de Planta (FP)*, que es la fracción de tiempo que el sistema genera a lo largo del año.
- Luego analizamos el sistema *conectado a red*. Aquí ingresamos el *FP* obtenido en el paso anterior.
- Finalmente hacemos el análisis económico.

Vamos a realizar un análisis para la ciudad de Santiago. En el caso de Santiago, se deben ingresar los datos de Pudahuel, pues los datos de radiación solar de Quinta Normal tienen errores.



La pantalla de "comenzar" tendrá el siguiente aspecto:

| Información del proyecto       |                                 | <a href="#">Ver la base de datos del proyecto</a> |
|--------------------------------|---------------------------------|---|
| Nombre del Proyecto            | Ejemplos                        |   |
| Ubicación del Proyecto         | Varias                          |   |
| Preparado para                 | Magister                        |   |
| Preparado por                  | R. Román L.                     |   |
| Tipo de proyecto               | Generación de electricidad      |   |
| Tecnología                     | Fotovoltaico                    |   |
| Tipo de red                    | Fuera-red                       |   |
| Tipo de análisis               | Método 1                        |   |
| Poder calorífico de referencia | Poder Calorífico Inferior (PCI) |   |
| Mostrar parámetros             | <input type="checkbox"/>        |   |

| Condiciones de referencia del sitio |                                     | <a href="#">Seleccionar ubicación de datos meteorológicos</a> |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Ubicación de datos meteorológicos   | Pudahuel/Arturo Mer                 |   |
| Mostrar datos                       | <input checked="" type="checkbox"/> |   |

Vemos que se ha escogido generación de electricidad por un sistema FV para fuera de red y usando los datos de Pudahuel.

Ahora pasamos a la página de "Modelo de Energía". Sigamos las elecciones principales y las razones de las mismas:

La forma "convencional" de generar energía sería con un generador a gasolina de 3 kW de potencia. La primera parte del modelo de energía tiene el siguiente aspecto.

Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

Proyecto de generación eléctrica

Sistema eléctrico de potencia del caso base

|  |                  |         |
|--|------------------|---------|
| Tipo de red                              | Fuera-red        |         |
| Tecnología                               | Motor a pistones |         |
| Tipo de combustible                      | Gasolina - L     |         |
| Precio del combustible                   | \$/L             | 800,000 |
| Capacidad                                | kW               | 2,00    |
| Rendimiento calórico                     | kJ/kWh           | 15,000  |
| Costo anual de operación y mantenimiento | \$               | 30,000  |
| Tarifa de electricidad - caso base       | \$/kWh           | 391,822 |
| Costo total de electricidad              | \$               | 715,074 |

Características de la carga

- ☒ Método 1  
☐ Método 2

|  | Unidad | Caso base | Caso propuesto |
|--|--------|-----------|----------------|
| Demanda de electricidad - diaria - CC  | kWh    |           |                |
| Demanda de electricidad - diaria - CA  | kWh    | 5,000     | 5,000          |
| Correlación recurso-carga intermitente |        |           | Negativo       |

☐ Porcentaje del mes usado

|                                      |     | Caso base | Caso propuesto | Energía ahorrada | Costos iniciales incrementales |
|--------------------------------------|-----|-----------|----------------|------------------|--------------------------------|
| Demanda de electricidad - anual - CC | MWh | 0,000     | 0,000          |                  |                                |
| Demanda de electricidad - anual - CA | MWh | 1,825     | 1,825          | 0%               |                                |
| Carga punta - anual                  | kW  |           | 3,00           |                  |                                |

Vemos que considerando un costo de gasolina de \$800/litro, la electricidad costará \$391/kWh lo que es más del doble del costo de la red.

La demanda anual de energía eléctrica será de 1825 kWh/año y la demanda de punta de 3 kW.

Ahora el sistema FV se define en la siguiente figura. En ella vemos los aspectos más importantes:

- Consideramos un inversor de 3 kW de potencia y 93% de eficiencia (los más modernos llegan al 96%).
- Se consideran pérdidas varias de 2% (cables y otras menores).
- Para las baterías dejamos 2 días de autonomía, trabajaremos en 48 Volts y la eficiencia típica de las baterías (carga-descarga) es de un 85%.
- Las baterías las dejaremos que se descarguen a un 50% de su capacidad como máximo y el controlador de carga tiene una eficiencia de 90% (son baterías de descarga profunda).
- Con ello el sistema nos dice que necesitaremos 498 Ah (Amperes-hora) de capacidad.
- Con ello resulta un costo del banco de baterías de \$2.000.000. Esto se calcula considerando que 100 Ah de capacidad a 12 Volts cuestan m/m \$100.000. Así que 500 Ah a 12 Volts costarán 500.000 y a 48 Volts es 4 veces más, es decir \$2.000.000. Esto demuestra que las baterías son parte cara del sistema.

|  |        |  |                             |  |                             |
|--|--------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|
| <b>Inversor</b>                                      |        |  |                             |  | <b>Costos<br/>iniciales</b> |
| Capacidad  | kW     | 3,0                                    | Carga de punta - anual - CA |  | \$ 900.000                  |
| Eficiencia   | %      | 93%                                    |                             |  |                             |
| Pérdidas varias                                      | %      | 2%                                     |                             |  |                             |
| <b>Batería</b>                                       |        |  |                             |  |                             |
| Días de autonomía                                    | d      | 2,0                                    |                             |  |                             |
| Tensión  | V      | 48,0                                   |                             |  |                             |
| Eficiencia   | %      | 85%                                    |                             |  |                             |
| Máxima profundidad de descarga                       | %      | 50%                                    |                             |  |                             |
| Eficiencia del controlador de carga                  | %      | 90%                                    |                             |  |                             |
| Método de control de temperatura                     |        | Ambiente                               |                             |  |                             |
| Reducción promedio de la capacidad de la batería por | %      | 4,8%                                   |                             |  |                             |
| Capacidad  | Ah     | 500                                    | 498                         |  |                             |
| Batería  | kWh    | 24                                     |                             |  | \$ 2.000.000                |
| <b>Tecnología</b>                                    |        | Fotovoltaico                           |                             |  |                             |
| <b>Evaluación de recursos</b>                        |        |  |                             |  |                             |
| Modo de rastreo solar                                |        | Fijado                                 |                             |  |                             |
| Inclinación  | °      | 30,0                                   |                             |  |                             |
| Azimut   | °      | 180,0                                  |                             |  |                             |
| <input type="checkbox"/> Mostrar datos               |        |  |                             |  |                             |
| <b>Fotovoltaico</b>                                  |        |  |                             |  |                             |
| Tipo   |        | mono-Si                                |                             |  |                             |
| Capacidad de generación eléctrica                    | kW     | 1,26                                   | 42,0%                       |  | \$ 1.463.900                |
| Fabricante   |        | Sunpower                               |                             |  |                             |
| Modelo   |        | mono-Si - SPR-210-BLK                  | 6 unidad(es)                |  |                             |
| Eficiencia   | %      | 16,9%                                  |                             |  |                             |
| Temperatura normal de operación de las celdas        | °C     | 45                                     |                             |  |                             |
| Coefficiente de temperatura                          | % / °C | 0,40%                                  |                             |  |                             |
| Área del colector solar                              | m²     | 7,5                                    |                             |  |                             |
| Método de control                                    |        | Rastreador de punto de máxima potencia |                             |  |                             |
| Pérdidas varias                                      | %      | 1,0%                                   |                             |  |                             |
| <b>Resumen</b>                                       |        |  |                             |  |                             |
| Factor de utilización                                | %      | 20,1%                                  | ←                           |  |                             |
| Electricidad entregada a la carga                    | MWh    | 1,60                                   | 87,5%                       |  |                             |

Los paneles los ponemos a 30° de inclinación y 180° de Azimut.

Escogimos paneles marca SunPower e instalamos 1,26 kW de paneles (son 6 módulos de 210 Watts nominales). Vemos que su eficiencia es 16,9% (son buenos) y que el controlador de carga es MPPT (está integrado al inversor).

Este sistema aportará 1600 kWh/año a partir de energía solar, lo que es un 87,5% de la demanda anual.

El factor de utilización o **factor de planta** está destacado con flecha amarilla y es de un 20,1%. Este dato es esencial para analizar el sistema conectado a red.

En la próxima figura vemos la ventana que se abre cuando uno escoge los paneles. Se ve que el área de cada panel es de 1,24m².

El costo de los paneles FV se calcula en \$1.463.900. Esto se hace por una fórmula que considera que el Watt FV vale hoy US\$1,50, considerando una tasa de cambio de \$510/US\$ y un valor adicional de \$500.000 por estructura e instalación.

The screenshot shows the RETScreen software window with the following configuration:

- Sistema:** Electricidad
- Tecnología:** Fotovoltaico
- Tipo:** mono-Si
- Fabricante:** Sunpower
- Modelo:** mono-Si - SPR-210-BLK
- Capacidad por unidad:** 210 W
- Número de unidades:** 4
- Capacidad:** 840 W

Summary statistics displayed:

- Eficiencia: 16,9 %
- Área de la estructura: 1,24 m<sup>2</sup>

At the bottom of the window, there are five icons: a green checkmark, a red circle with a slash, a globe, a printer, and a question mark.

Finalmente vamos al análisis financiero que se ve en la siguiente figura. La misma nos muestra que las TIR del proyecto es de 9,5% y se paga en 9,5 años.

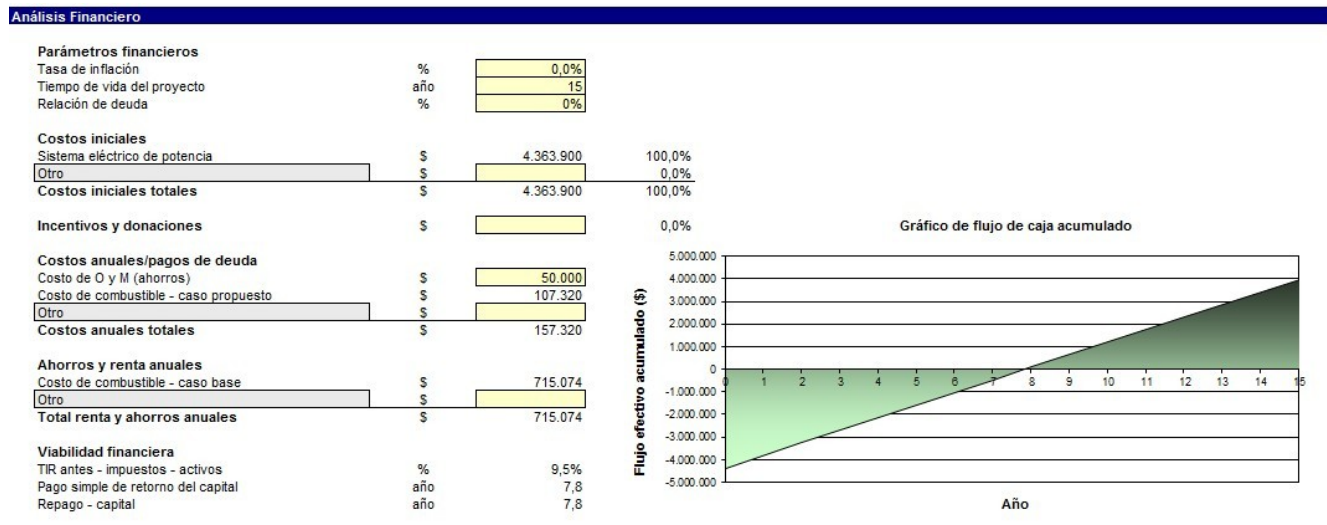
Esto es posible porque el combustible alternativo es la gasolina.

Para analizar ahora un sistema conectado a Red, de las mismas características, debemos recordar el FP de 20,1%.

Cambiamos la hoja Comenzar a la Red-Central y en la misma localidad.

Ahora la hoja Modelo de energía se verá como en la figura subsiguiente.





La primera parte del "Modelo de Energía" se ve así:

Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

**Sistema eléctrico de potencia del caso propuesto** **Costos iniciales incrementales**

|                                       |   |            |              |
|---------------------------------------|---|------------|--------------|
| Tecnología                            | Fotovoltaico  |            |              |
| Tipo de análisis                      | <input checked="" type="radio"/> Método 1<br><input type="radio"/> Método 2 |            |              |
| Fotovoltaico                          |   |            |              |
| Capacidad de generación eléctrica     | kW  | 1,26       | \$ 2.363.900 |
| Fabricante                            | SunPower + Inv Sunny Boy  |            |              |
| Modelo                                | Incluye componentes adicionales   |            |              |
| Factor de utilización                 | %   | 20,1%      | 1 unidad(es) |
| Electricidad exportada a la red       | MWh   | 2,2        |              |
| Tarifa de exportación de electricidad | \$/MWh  | 140.000,00 |              |

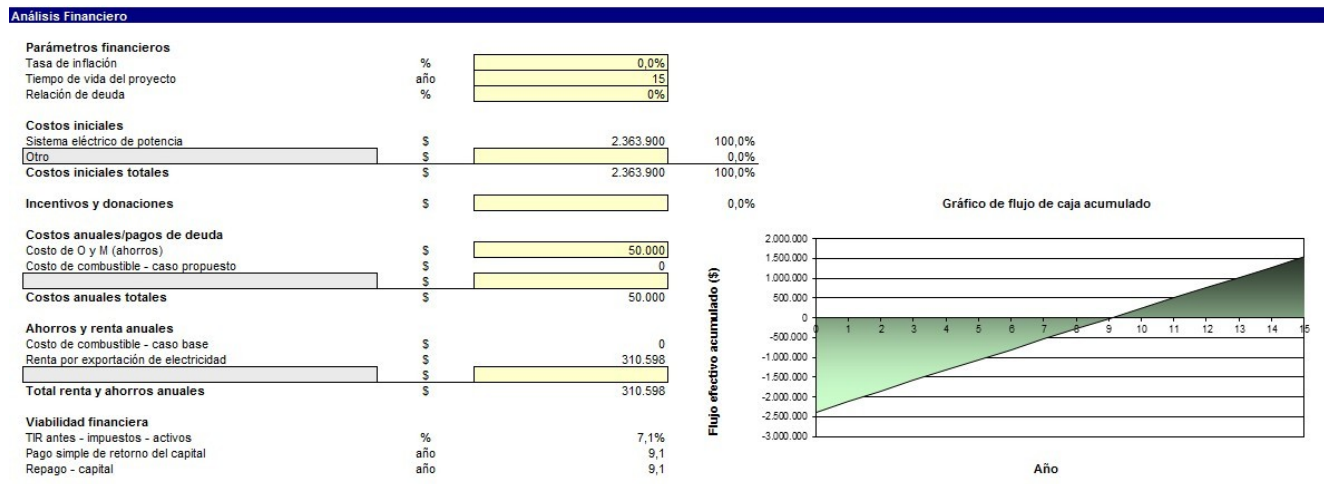
El costo del sistema sube a \$2.363.900 pues al costo de los paneles se le debe sumar el costo del inversor conectable a red (\$900.000).

Esto es un valor razonable para un sistema de este estilo, incluso podría ampliarse la capacidad de generación a unos 3 kW lo que favorece el proyecto, pues los costos fijos (inversor y otros costos fijos) no varían y la energía generada es mayor.

Se supone al usuario le pagan por la energía eléctrica lo mismo que le cuesta.

La parte de análisis económico queda con un TIR de 7,1% y el proyecto se pagaría en 9,1 años.

Se ve que es rentable, aunque no terriblemente rentable. Pero los costos de los sistemas seguirán bajando y el costo de la energía eléctrica es muy probable que seguirá subiendo.



Como hemos visto a través de estos ejemplos, Retscreen es una herramienta que permite realizar multiplicidad de análisis con gran rapidez.

Por lo tanto es un apoyo esencial al momento del diseño conceptual y diseño básico de sistemas de energía-

## 6. Las herramientas adicionales:

Vamos a mostrar un caso particular: el de una bomba de calor geotérmica y como la misma se puede acoplar en Valdivia a sistema de pozo seco, "slinky" o pozo de agua.

Primero escogeremos una bomba de calor geotérmica (o acoplada a suelo). Esto se hace con la "base de datos de productos.

Supondremos una demanda base de 50 [W/m<sup>2</sup>], lo cual significa una vivienda más eficiente que en los otros casos. La demanda base anual será de 144 [kWh/m<sup>2</sup>], lo que es más acorde con los estándares 2007.

Como bomba de calor escogemos una Command-Aire con fuente de tierra y un COP de 3,1.

Hemos supuesto un costo de la bomba de \$1.500.000

The screenshot shows the RETScreen software window. The configuration is as follows:

- Sistema:** Calentamiento
- Tecnología:** Bomba de calor
- Tipo:** Fuente-de tierra
- Fabricante:** Command-Aire
- Modelo:** GSHC0181A
- Capacidad por unidad:** 4,4 kW
- Número de unidades:** 1
- Capacidad:** 4,4 kW
- COP de calentam.:** 3,1
- Capacidad de enfriamiento:** 5,95 kW
- COP de enfriamiento:** 4,7

Ahora abrimos la hoja "Herramientas" y abrimos la opción "Intercambiador de calor a suelo". Se verá la siguiente situación:

#### Intercambiador de calor de suelo

##### Bomba de calor

Capacidad  
Carga promedio  
Fabricante  
Modelo  
Eficiencia  
Coeficiente de rendimiento - diseño

| Unidad       | Calentamiento | Enfriamiento |
|--------------|---------------|--------------|
| kW           | 4,4           | 4,4          |
| kW           | 2,0           | 0,0          |
| Command Aire |               |              |
| Medio        | 3,2           | 4,5          |

##### Condiciones del sitio

Tipo de suelo  
Temperatura del suelo  
Amplitud de la temperatura del suelo  
Medido a

| Unidad | Ubicación del Proyecto | Ubicación de datos meteorológicos |
|--------|------------------------|-----------------------------------|
|        | Suelo pesado - húmedo  |                                   |
| °C     | 12,3                   | 12,3                              |
| °C     | 8,2                    | 8,2                               |
| m      | 0,0                    | 0,0                               |

##### Intercambiador de calor de suelo

Tipo  
Criterios de diseño  
Superficie del terreno  
Configuración  
Longitud del lazo  
Longitud de zanja

|                             |               |     |
|-----------------------------|---------------|-----|
| Circuito cerrado horizontal |               |     |
|                             | Calentamiento |     |
| m²                          | 300           | 203 |
|                             | Estándar      |     |
| m                           | 167           |     |
| m                           | 83            |     |

Vemos que para circuito cerrado horizontal se requieren 203 m<sup>2</sup> de superficie de terreno mínima con 167 metros de lazo y 83 metros de longitud de zanja (si el terreno es suelo pesado húmedo).

Observen también que las temperaturas de suelo se copiaron de los datos meteorológicos.

Si ponemos un sistema con circuito cerrado vertical (pozo), resultará lo siguiente:

| Condiciones del sitio                   | Unidad | Ubicación del Proyecto    | Ubicación de datos meteorológicos |
|---|--------|---------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de suelo                           |        | Suelo pesado - húmedo     |                                   |
| Temperatura del suelo                   | °C     | 12,3                      | 12,3                              |
| Amplitud de la temperatura del suelo    | °C     | 8,2                       | 8,2                               |
| Medido a                                | m      | 0,0                       | 0,0                               |
| <b>Intercambiador de calor de suelo</b> |        |                           |                                   |
| Tipo                                    |        | Circuito-cerrado vertical |                                   |
| Criterios de diseño                     |        | Calentamiento             |                                   |
| Superficie del terreno                  | m²     | 300                       | 29                                |
| Configuración                           |        | Estándar                  |                                   |
| Longitud de perforación                 | m      | 132                       |                                   |

Se necesitan 132 metros de pozo. El costo del pozo es no menos de 2UF/metro.

Y si usamos agua de pozo como solución el cuadro queda como:

| Condiciones del sitio                   | Unidad | Ubicación del Proyecto | Ubicación de datos meteorológicos |
|---|--------|------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de suelo                           |        | Suelo pesado - húmedo  |                                   |
| Temperatura del suelo                   | °C     | 12,3                   | 12,3                              |
| Amplitud de la temperatura del suelo    | °C     | 8,2                    | 8,2                               |
| Medido a                                | m      | 0,0                    | 0,0                               |
| <b>Intercambiador de calor de suelo</b> |        |                        |                                   |
| Tipo                                    |        | Agua subterránea       |                                   |
| Criterios de diseño                     |        | Calentamiento          |                                   |
| Superficie del terreno                  | m²     | 300                    | 16                                |
| Profundidad de bombeo                   | m      | 20                     |                                   |
| Profundidad de la perforación del pozo  | m      | 30                     |                                   |
| Máximo caudal de pozo                   | L/s    | 2,000                  |                                   |
| Flujo requerido de agua subterránea     | L/s    | 0                      |                                   |
| Número requerido de pozos de suministro |        | 1                      |                                   |

Si el pozo tiene un caudal de solo 2 [l/s], basta para la demanda de la bomba de calor.

De este breve análisis resulta evidente que la única solución de bomba de calor geotérmico que podría resultar rentable es en base a un pozo de agua. Las otras soluciones demandan demasiado terreno.

## 7. Observaciones finales:

A través de estas páginas hemos visto como Retscreen permite el análisis rápido de sistemas energéticos.

Lo más interesante es que permite comparar entre situaciones base y situaciones mejoradas y el análisis incluso permite realizar un análisis económico preliminar.

## 8. Anexo 1: Determinación de carga nominal de calefacción:

En una construcción, en especial una vivienda las pérdidas térmicas se deben principalmente a:

- **Pérdidas a través de la techumbre:** principalmente por conducción.
- **Pérdidas a través de muros:** por conducción de calor entre interior y exterior.
- **Pérdidas por ventanas:** a través del vidrio, marcos y puentes térmicos.
- **Pérdidas por infiltración de aire:** principalmente por las rendijas que quedan en la construcción y por el gradiente de temperatura entre interior y exterior. Además si hay viento, las infiltraciones aumentan.

Hemos hecho una planilla Excel sencilla en que para una tipología muy simple de casa se pueden estimar estos valores y con ello calcular tres parámetros de mérito:

- **Carga de calefacción nominal:** es la potencia nominal de calefacción de diseño expresada en  $[W/m^2]$ . Vamos luego a definirla.
- **Factor G global:** es el factor de pérdida volumétrica (incluyendo infiltraciones de aire) expresado en  $[W/(m^3°C)]$ .
- **Factor U de pérdidas global:** es simplemente el factor de pérdida unitario expresado en  $[W/(m^2°C)]$ , es decir por unidad de superficie interna de la vivienda.

La carga de calefacción nominal de se determina primero calculando el factor U global de pérdidas. Si  $T_i$  es la temperatura interior de diseño (típicamente se toman  $18°C$ ) y  $T_{ext}$  la temperatura exterior de diseño (que viene en la base de datos de Restscreen como temperatura de diseño para calefacción), entonces la Potencia Térmica nominal será:

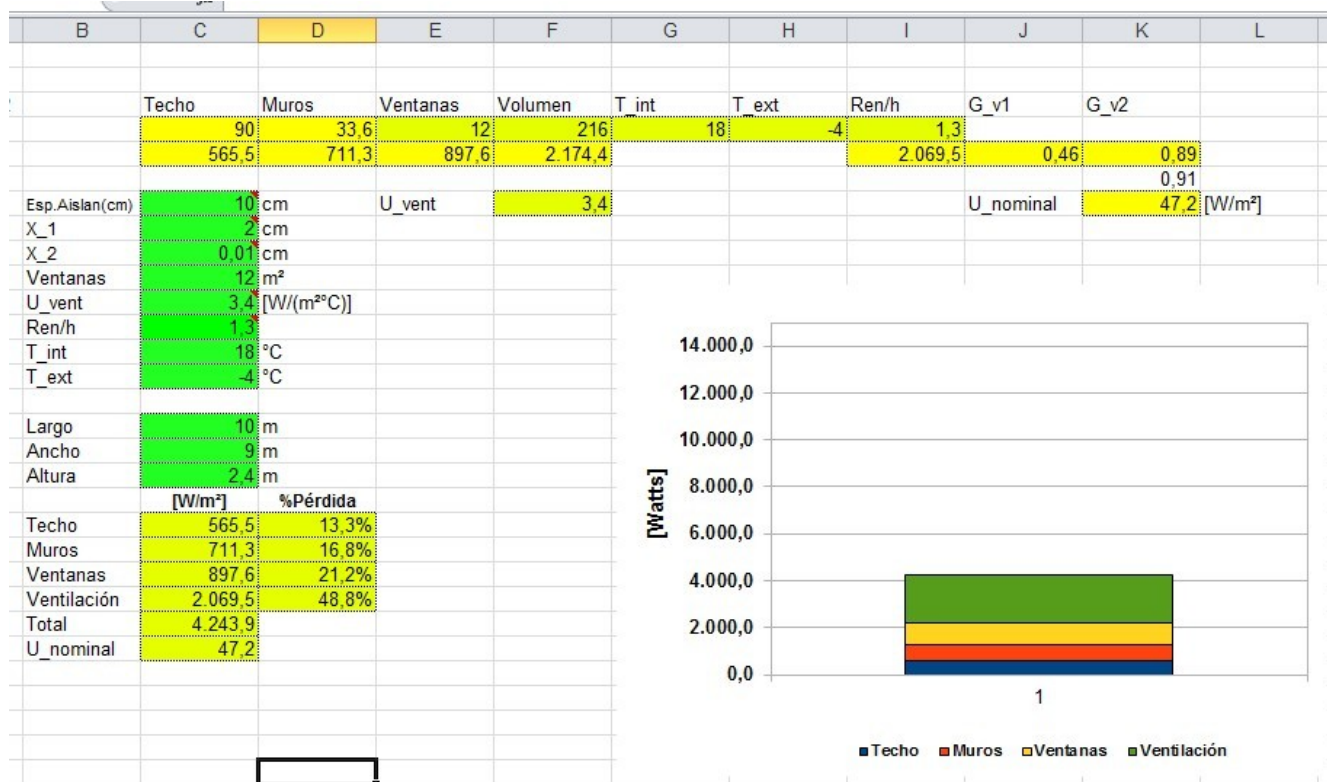
$$C_{nom} = U(T_i - T_{ext}) \quad [W/m^2]$$

La planilla considera una techumbre que tiene cubierta, barrera de vapor, espacio de aire no ventilado, una capa de aislante de 0,01 a 30 cm de poliestireno expandido equivalente y un cielo de yeso-cemento.

Los muros son de ladrillo con estuco exterior y yeso interior. Se puede poner (virtualmente) aislación de muro de 0,01 a 20 cm por exterior o el interior. Lo normal es hacerlo por el exterior.

Las ventanas pueden ser de cualquier tipo y uno ingresa la superficie de las mismas y luego el valor U típico de ellas. Este va desde  $3,2 [W/(m^2°C)]$  para termopaneles con marco de PVC y protección de puentes térmicos hasta  $5,8$  para vidrios simples con marco de aluminio. Restscreen proporciona estos datos en la "Base de datos de productos".

Al abrir la planilla se observa la siguiente pantalla:



Podemos ingresar datos en los casilleros verdes. En este caso el largo es 9 metros, ancho 10 metros y 2,4 metros de alto.

La temperatura interior de diseño de 18° y la exterior de -4°C. Hay 12 m² de ventanas con un U de 3,4 y solo 1,3 renovaciones por hora de aire. El techo tiene 10 cm de aislapol equivalente y el muro una aislación de 2cm de aislapol.

Para este caso el C\_nominal es de 47,2 [W/m²] y el G de 0,89 (con ventilación).

La potencia de calefacción requerida bajo condiciones nominales es de 4.243 Watts.

La figura muestra el peso relativo de las pérdidas por ventilación, ventanas, muros y techo (de arriba a abajo).

Si en la misma situación pongo ventanas normales y elimino la aislación de los muros, el valor nominal sube a 5.880 Watts totales lo que da 65,3 [W/m²]. El G es de 1,24.

Con esta herramienta es fácil determinar la carga de calefacción que requiere Retscreen como valor de entrada.