

## Sistema Fotovoltaico & Térmico a baja temperatura en vivienda de Costa Rica

### Proyecto Fin de Master en Energías Renovables y el Mercado Energético

2013

Tutor: Vicente Gallardo

Autores del trabajo:

Carlos Ventura, Xavier Tauler, Oscar A. Ortiz y  
Joana Valls



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, No comercial, Compartir igual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

## Resumen

El trabajo aborda el diseño de una instalación solar térmica y fotovoltaica para suministrar agua caliente y electricidad a una vivienda de 5 personas con piscina en la localidad de Santa Ana, en Costa Rica, bajo la supervisión de Vicente Gallardo y dentro del marco académico de la Escuela de Organización Industrial de Madrid.

Para la realización de este proyecto, será necesaria una investigación climatológica, legal y financiera. También se tomaron en consideración otros aspectos relacionados con dichos sistemas y se realizó una serie de cálculos para la selección de los equipos.

## Agradecimientos

En primer lugar, los autores querrían agradecer a la Escuela de Organización Industrial (EOI) por la oportunidad ofrecida para realizar el Master en Energías Renovables y Mercado Energético con el que quedan ampliamente satisfechos. En especial agradecer a la Directora, Carmen García, por la organización del programa, y a Mercedes Blanco, por su apoyo en todo momento. La EOI ha permitido que los autores adquieran los suficientes conocimientos para la realización de dicho proyecto, principalmente en temas relacionados con la energía solar, de la cual decidieron realizarlo.

En segundo lugar, agradecer a Vicente Gallardo, profesor y director del módulo de Temperatura a Baja Temperatura por su ayuda para realizar el trabajo que será descrito a continuación. Éste se presentó en la Escuela en todo momento en el que los autores se vieron con dificultades y respondió a sus dudas por teléfono, e-mail y mensajes.

En tercer lugar, agradecer a otros profesores que impartieron clase en la EOI, como Oscar Perpiñán, y al resto de compañeros por su ayuda cuando era necesaria.

## Índice

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>3</b>
<b>Índice</b> .....	<b>4</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>6</b>
<b>Lista de Tablas</b> .....	<b>7</b>
<b>Acrónimos</b> .....	<b>8</b>
<b>Nomenclatura</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivos del proyecto</b> .....	<b>11</b>
1.1.1 General.....	11
1.1.2 Específicos .....	11
<b>1.2 Metodología</b> .....	<b>12</b>
1.2.1 Tipo de estudio .....	12
1.2.2 Recopilación de información .....	12
1.2.3 Tratamiento de información .....	12
<b>2 Situación</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Descripción de emplazamiento</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Descripción de la residencia</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 General.....	14
2.2.2 Consumos.....	14
<b>2.3 Datos meteorológicos</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Temperatura.....	19
2.3.2 Radiación.....	20
2.3.3 Viento.....	21
<b>2.4 Marco Regulatorio</b> .....	<b>21</b>
2.4.1 Plan Piloto Generación Distribuida para Autoconsumo .....	21
<b>3 Desarrollo</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 Energía Solar</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2 Fotovoltaica</b> .....	<b>24</b>
3.2.1 Introducción.....	24
3.2.2 Componentes sistema fotovoltaico .....	24
3.2.3 Mantenimiento.....	36
3.2.4 Simulación HOMER.....	37
<b>3.3 Térmica</b> .....	<b>40</b>
3.3.1 Introducción.....	40
3.3.2 Simulación F-chart .....	40
3.3.3 Instalación .....	45
3.3.4 Protección.....	54
<b>4 Análisis Financiero</b> .....	<b>56</b>
<b>4.1 Análisis financiero Instalación fotovoltaica + Térmica ACS</b> .....	<b>56</b>
<b>4.2 Análisis financiero Térmica Piscina</b> .....	<b>58</b>
<b>4.3 Análisis Financiero Global</b> .....	<b>59</b>
<b>5 Conclusiones</b> .....	<b>60</b>



<b>6</b>	<b>Trabajos Citados .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>ANEXO.....</b>	<b>62</b>
<b>7.1</b>	<b>Térmica.....</b>	<b>62</b>
7.1.1	Captador.....	62
7.1.2	Interacumulador.....	63
7.1.3	Esquema Térmica A Baja Temperatura.....	64
<b>7.2</b>	<b>Financiero.....</b>	<b>65</b>
7.2.1	Valor económico de la factura actual:.....	67
7.2.2	Consumo horario actual:.....	67
7.2.3	Consumo horario con aporte únicamente de 15% de ACS:.....	68
<b>7.3</b>	<b>Fotovoltaica.....</b>	<b>69</b>
7.3.1	Perlight panel PV.....	69
7.3.2	Inversor.....	71
7.3.3	Esquema unifilar.....	73
7.3.4	Esquema 2 fotovoltaica.....	73
7.3.5	Cálculos.....	75
<b>7.4</b>	<b>Distribución sistema combinado.....</b>	<b>79</b>

## Lista de Figuras

Figura 1. Situación proyecto (Antonio, 2013) .....	13
Figura 2. Imagen satélite de vivienda.....	13
Figura 3. Consumo eléctrico año 2012 (kWh) .....	14
Figura 4. Consumo eléctrico año 2012 (€).....	14
Figura 5. Consumo eléctrico diario (solo 15%).....	17
Figura 6. Consumo VS Generación .....	18
Figura 7. Pantallazo de SWERA.....	20
Figura 8. Recurso Solar .....	22
Figura 9. Distancia entre módulos .....	28
Figura 10. Espacio para instalar sistema foto - térmico .....	30
Figura 11. Imágenes de la estructura en el emplazamiento .....	31
Figura 12. Tabla del NEC cableado .....	34
Figura 14. Datos de entrada .....	37
Figura 15. Datos iniciales.....	38
Figura 16. Datos del generador y del inversor .....	39
Figura 17. F-chart de Junkers modificado y desbloqueado .....	40
Figura 18. Demanda diaria de ACS.....	41
Figura 19. Cálculo de la cobertura solar ACS .....	42
Figura 20. Aporte solar VS Energía necesaria para el ACS.....	42
Figura 21. Cálculo de las demandas energéticas.....	43
Figura 22. Aporte solar en la piscina .....	44
Figura 23. Captador solar .....	45
Figura 24. Esquema Retorno invertido .....	46
Figura 25. Excel de tuberías .....	47
Figura 26. Especificaciones técnicas del intercambiador.....	48
Figura 27. Esquema e Imagen Intercambiador Thermor .....	49
Figura 28. Especificaciones del intercambiador de la piscina .....	50
Figura 29. Esquema retorno invertido .....	50
Figura 30. Bomba EBARA Etherma B 3 100 2.....	51
Figura 32. Tabla de características de la Bomba .....	51
Figura 32. Gráfica de dilatación del agua .....	53
Figura 34. Tabla de Vaso expansión .....	53
Figura 35. Imagen de Vaso de Expansión de Ibérica del Calor.....	54
Figura 36. TIR, VAN y Payback instalación para cubrir electricidad.....	57
Figura 37. TIR, VAN y Payback para cubrir piscina .....	58

## Lista de Tablas

Tabla 1. Tarifa eléctrica ICE.....	15
Tabla 2. Energía consumida y costes.....	15
Tabla 3. Consumos de la vivienda .....	16
Tabla 4. Datos climáticos de Santa Ana, Costa Rica (NREL, 2013).....	19
Tabla 5. Datos climáticos NREL - NASA (NASA, 2013) .....	19
Tabla 6. Radiación en kWh/m <sup>2</sup> y KJ/m <sup>2</sup> .....	20
Tabla 7. Velocidad del viento (m/s).....	21
Tabla 8. Datos del panel fotovoltaico Perligh .....	25
Tabla 9. Dimensiones panel fotovoltaico .....	25
Tabla 10. Datos del inversor .....	25
Tabla 11. Numero de paneles necesarios en serio o en paralelo.....	26
Tabla 12. Factor inversor/generador.....	27
Tabla 13. Área necesaria .....	27
Tabla 14. Datos de ángulos .....	28
Tabla 15. Área necesaria .....	28
Tabla 16. Energía producida .....	29
Tabla 17. Cálculo intensidades cableado.....	33
Tabla 18. Elección de protecciones .....	36
Tabla 19. Balance energético anual con la red.....	39
Tabla 20. Temperatura deseada en la piscina.....	43
Tabla 21. Parámetros del intercambiador.....	49
Tabla 23. Datos financieros .....	56
Tabla 24. Gastos anuales electricidad y gas .....	56
Tabla 25. Costes de la instalación fotovoltaica .....	56
Tabla 26. Costes de la piscina .....	58
Tabla 27. Resultados inversión .....	59

## Acrónimos

AC	Corriente Alterna
ACS	Agua Caliente Sanitaria
CNFL	Compañía Nacional de Fuerza y Luz
DC	Corriente Continua
EOI	Escuela de Organización Industrial
GLP	Gas Licuado Petróleo
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
N	Norte
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEC	National Electrical Code (Código Eléctrico Nacional)
NFPA	National Fire Protection Agency (Agencia nacional de protección contra incendios)
NREL	National Renewable Energy Laboratory
O	Oeste
SFCR	Sistema Fotovoltaico de Conexión a Red
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

## Nomenclatura

A	Área
Cp	Calor específico
D	Distancia mínima entre filas (m)
FDI	Factor de Inversor/Generador
Fp	Factor de presión
G	Irradiación
H	altura de la fila adyacente = $L_g/\sin\beta$
I	Corriente neta de una célula (A)
I*mpp	Corriente en el punto de máxima potencia en condiciones estándar
I*sc	Corriente de cortocircuito en condiciones estándar
K	Coeficiente de dilatación del fluido
L	Longitud del cable (m)
Lg	Longitud del generador
m.c.a.	Metros columna de agua
Mmpp	Punto de máxima potencia de un dispositivo fotovoltaico
Np	Numero de ramas en paralelo en un generador
Ns	Numero de módulos en serie en un generador
P	Potencia continua (kWh)
P*mpp	Potencia máxima de
Pi	Presión absoluta de la altura manométrica
Pf	Presión Máxima
Q	Caudal
S	Sección del cable para zona de corriente ( $\text{mm}^2$ )
Sac o Sdc	Sección de un conductor de corriente alterna o continua
T*c	Temperatura de funcionamiento estándar
Ta	Temperatura ambiente
Tc	Temperatura de funcionamiento de una célula
TONC	Temperatura de operación nominal de una célula
Txx	Temperatura a $XX^\circ\text{C}$
V	Volumen
V*mpp	Tensión de una célula en el punto de máxima potencia estándar
V*oc	Tensión de circuito abierto de una célula en condiciones estándar
Voc	Tensión del circuito abierto de una célula
XLPE	Polietileno reticulado a $90^\circ$
$\Delta H$	Pérdida de Carga
$\Delta V$	Perdidas de tensión (V)
$\Phi$	Ángulo de Latitud
H	Rendimiento

## 1 Introducción

### 1.1 Introducción

La producción y el uso de la energía suponen la principal causa junto a las emisiones producidas por el transporte, del problema actual del cambio climático. El actual modelo mundial basado principalmente en generación, transporte y consumo, depende a gran escala de combustibles fósiles y además, es completamente insostenible. Esta dependencia y la insuficiencia de recursos no renovables, están resultando en una crisis energética de la cual una de las soluciones para solventarla y reducir los problemas ambientales, es el del uso de energías renovables.

Una de las más importantes, debido a su alto recurso, es el de la energía solar. Cada hora el sol lanza a la Tierra más energía de la que sería necesaria para satisfacer las necesidades mundiales de energía durante un año entero. La energía solar es la tecnología utilizada para aprovechar la energía del sol y hacerla utilizable. En la actualidad, la tecnología produce menos de una décima parte del 1% de la demanda mundial de energía (Kiger, 2013). Esta es una fuente inagotable libre de contaminantes, ruido y versátil. Gracias a sus rayos y a su calor emitido se puede producir energía eléctrica y calor gracias a paneles solares fotovoltaicos y térmicos.

Costa Rica es un país del centro de América, localizado cerca del ecuador y con temperaturas uniformes durante todo el año así como de radiación solar (que baja durante los llamados ‘meses lluviosos’), que por lo tanto tiene mucho recurso solar. La primera aplicación solar instalada en el país tuvo lugar en 1991 y desde entonces se encuentra presente en lugares como ‘La Península de Osa’, ‘Isla Caballo’ o ‘el Rincón de la Vieja’ que ayudan a la electrificación rural del país (EIE, 2013).

Es necesario mantener la apuesta por las energías renovables, pero a la vez, estimular una política más activa a favor del ahorro energético para luchar con éxito contra el cambio climático, por eso los autores además de proponer soluciones en la vivienda unifamiliar descrita con anterioridad también añadirán al final del proyecto una serie de puntos para reducir el consumo energético y reducir gastos económicos y energéticos.

## 1.1 Objetivos del proyecto

### 1.1.1 General

Elaborar una propuesta para la implementación de una nueva instalación para suplir las necesidades de una vivienda unifamiliar gracias a un sistema renovable en Santa Ana, de la región de San José, Costa Rica. Éste permitiría el calentamiento de agua sanitaria y climatización por medio de un sistema limpio y seguro, además de un ahorro económico. Dicho sistema estará constituido de paneles fotovoltaicos y captadores térmicos a baja temperatura con un sistema auxiliar en el caso de que la demanda no fuese satisfecha por la energía solar adquirida.

El objetivo principal del proyecto consiste en evaluar la posibilidad de este sistema mediante el balance neto que está actualmente presentado como plan piloto en Costa Rica.

### 1.1.2 Específicos

- Investigar las características de sistemas fotovoltaicos y térmicos a baja temperatura.
- Diseñar un sistema que combine ambos recursos (agua caliente y electricidad) para suplir la demanda de la vivienda unifamiliar
- Diseñar la óptima combinación de recursos pudiendo trabajar al mismo tiempo.
- Investigar las características del país, la situación energética así como el marco regulatorio relacionado con instalaciones de energías renovables a pequeña escala.
- Realizar un listado de costes y una estimación del precio final de la instalación para evaluar la viabilidad económica del proyecto y poder proponerlo al cliente para llevarlo o no a cabo.
- Estimar el ahorro energético de la vivienda gracias a la solución propuesta
- Comprender el contexto técnico, legal y económico de la energía solar.
- Conocer los principales componentes de las instalaciones de energía solar fotovoltaica y térmica.

## 1.2 Metodología

Para realizar el estudio de la viabilidad del proyecto se llevaron a cabo una serie de pautas y de métodos para obtener la información necesaria.

### 1.2.1 Tipo de estudio

El tipo de estudio es bajo una base de investigación teórica desde el punto de vista de interpretación y conocimiento de las tecnologías que sean encontradas, realizando asimismo un estudio económico y de diseño.

### 1.2.2 Recopilación de información

- Aspectos físicos - Información sobre datos climatológicos obtenidos desde puntos de información del Gobierno Costarricense
  - Instituto Meteorológico Nacional (IMN)
  - Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)
  - Compañía nacional de fuerza y luz (CNFL)
  - Otras bases de datos de libre acceso
- Información teórica
  - Información sobre sistemas
    - Libros
    - Apuntes académicos
    - Páginas web
  - Legislación ambiental, legal y jurídica
    - SETENA
    - National Fire Protection Agency - Código Eléctrico Nacional (NEC)
- Aspectos económicos
  - Solicitud de precios a instaladores existentes en Costa Rica como Purasol, Poderco o Magic
  - Precios online de equipos (inversores, bombas, etc.) y de accesorios necesarios para la instalación (tuberías, cableado, equipos de monitoreo, etc.)
  - Petición de precios en tienda por parte de la familia Ventura
  - Precios de acceso a red; (ICE, 2013)

### 1.2.3 Tratamiento de información

- Descripción de la situación del desarrollo de la instalación
- Explicación de los sistemas utilizados; características, aplicaciones, costos y demás aspectos importantes
- Selección de las tecnologías a aplicar y de los equipos realizando cálculos en Excel y HOMER en el caso de la fotovoltaica solamente.
- Evaluar con la información recopilada y determinar la viabilidad del proyecto
- Estudiar el comportamiento de la curva de consumo en Excel y la demanda por parte de la vivienda
- Estudio económico de los costes, TIR, VAN y pérdida de retorno (Payback).
- Visión general de la política del país en términos económicos (Proyecto piloto del ICE), ambientales y legales relacionados con el desarrollo de una instalación doméstica de renovables.



## 2 Situación

La República de Costa Rica, país Centroamericano, consta de un territorio de más de 51.000 km<sup>2</sup> con aproximadamente 4.500.000 habitantes. Limita al Norte con Nicaragua, al Sur con Panamá; en el este y noreste limitada por el Mar Caribe, y en el oeste y al sur, por el Océano Pacífico (FAO, 2013).

El territorio del país está dividido administrativamente en siete provincias: San José, la capital; Alajuela, Cartago, Heredia, Guanacaste, Puntarenas y Limón (Figura 1)

La capital se encuentra en la provincia de San José, que concentra la mayor proporción de población total del país. El proyecto descrito en este documento tendrá lugar en la ciudad de Santa Ana (Figura 1), localizada dentro de la provincia de San José en el Valle Central.



Figura 1. Situación proyecto (Antonio, 2013)

### 2.1 Descripción de emplazamiento

El proyecto descrito en este documento tendrá lugar en la ciudad de Santa Ana localizada dentro de la provincia de San José, en el Valle Central, con las siguientes coordenadas:

- Altura: 940m sobre el nivel del mar
- Latitud (9°55'37" N - 84°10'52" O)



Figura 2. Imagen satélite de vivienda

La Figura 2 muestra una imagen tomada por un satélite en el programa de Google, Google Earth, en la que se puede distinguir el terreno donde se montará la instalación (Cuadro verde) de 16.25m x 8.65m.

## 2.2 Descripción de la residencia

### 2.2.1 General

La vivienda como previamente descrito está situada en la ciudad de Santa Ana donde viven cinco personas. La vivienda unifamiliar consta de cinco habitaciones, cocina, baños y resto de cuartos típicos de una vivienda. La familia tiene una piscina de 71.85m<sup>3</sup> (ver figura 2) de uso habitual durante todo el año ya que las temperaturas del emplazamiento son medio-altos durante todo el año.

Actualmente la familia utiliza Gas Licuado de Petróleo (GLP) para calentar la piscina y electricidad para el agua caliente sanitaria (ACS). El proveedor de electricidad es la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL).

### 2.2.2 Consumos

La residencia presenta actualmente una tarifa eléctrica detallada en los siguientes gráficos. En primer lugar se muestra la curva de consumo de energía en el año 2012, que es el que se tomará como referencia en todo el proyecto:

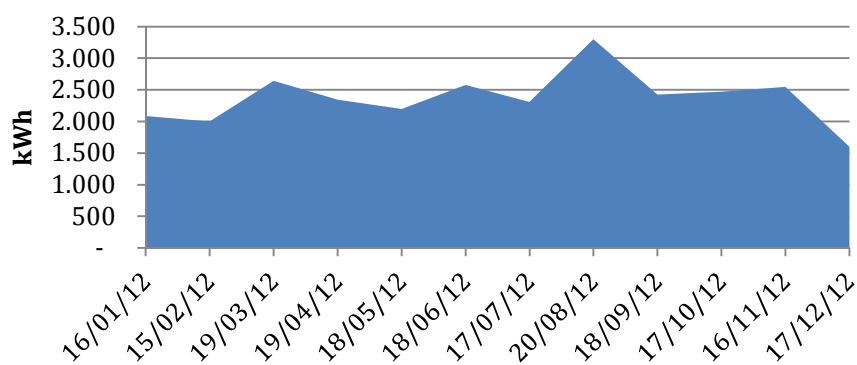


Figura 3. Consumo eléctrico año 2012 (kWh)

Si este consumo de energía se valora en euros, el resultado es el siguiente:

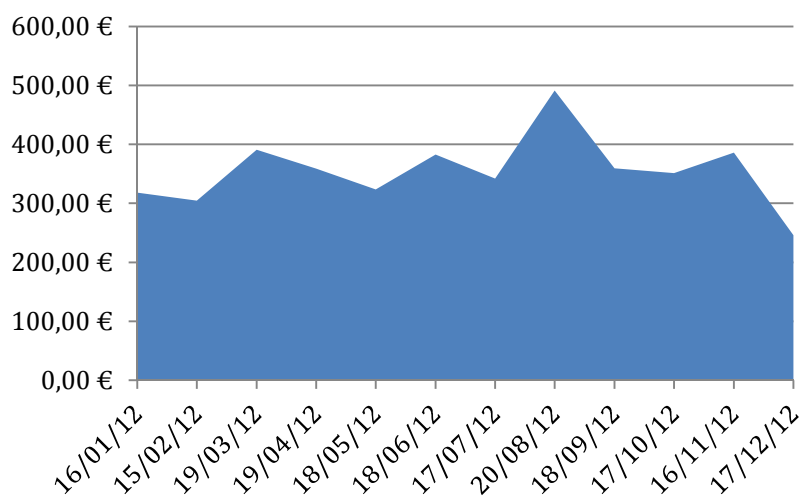


Figura 4. Consumo eléctrico año 2012 (€)

### 2.2.2.1 Índice de precios y tarificación

Actualmente, la tarificación del precio de la electricidad en Costa Rica la fija el ICE. La relación de precios establecida es la siguiente:

Tarifa			
< 200 kWh	₡79	\$0,158	0,118 €
Siguientes 100 kWh	₡116	\$0,232	0,173 €
kWh adicional	₡125	\$0,250	0,186 €

Tabla 1. Tarifa eléctrica ICE

Esta misma relación de precios será la que se utilizará en los posteriores cálculos financieros.

En conclusión, con esta relación de precios, este es el resumen para el año 2012:

	Diario	Mensual	Anual
Energía consumida	79 kWh	2375 kWh	28286 kWh
Gasto	11,8 €	356.4 €	4277 €

Tabla 2. Energía consumida y costes

El análisis financiero se basará en el ahorro que supondrá la inversión fotovoltaica y solar térmica para ACS sobre el gasto anual de 4277 euros en electricidad.

Para poder determinar la curva de consumo diaria de la vivienda se ha listado los aparatos eléctricos existentes. Este es el resumen de los electrodomésticos en la residencia y sus consumos:

<b>Electrodomésticos</b>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia (W)</i>	<i>Tiempo medio de uso (h)</i>	<b>Energía Consumos (Wh)</b>
<b>Cocina</b>				
Nevera	4	400	10	16000
Microondas	4	900	2	7200
lavavajillas	4	1000	2	8000
Tostadora	4	750	0.2	600
licuadora	3	400	1	1200
<b>Limpieza</b>				
Lavadora	1	2000	2	4000
Secadora				
Aspiradora				
<b>Salones</b>				
Televisión	2	90	8	1440
DVD/música	1	90	2	180
<b>Iluminación</b>				
	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia (W)</i>	<i>Tiempo medio de uso (h)</i>	
Cuarto Principal	1	600	5	3000
Baño y Closet Principal	1	600	5	3000
Oficina Arriba	1	600	5	3000
Sala grande	1	600	5	3000
Antecomedor	3	300	4	3600
Comedor				
Cuartos de baño	5	240	2	2400
Cocina	3	120	2	720
	1	360	4	1440
Cuarto externo	1	600	3	1800
Luces exteriores	4	120	2	960
<b>Bomba</b>				
		<i>Potencia (W)</i>	<i>Tiempo medio de uso (h)</i>	
Bomba de depósito para aguas pluviales Gardena (4000l/h) Potencia 2 bar	1	500	0.5	250
Bomba Piscina	1			0
Tanque Agua Caliente	1			0
Aire Acondicionado	1			0

Tabla 3. Consumos de la vivienda

El cálculo de la instalación fotovoltaica se ha hecho, teniendo en cuenta los datos anteriores, para un día de consumo promedio anual ya que el clima en esta localidad no presenta grandes variaciones de temperatura a lo largo del año. Asimismo, la directiva del balance neto no permite una cantidad de generación eléctrica fotovoltaica superior al consumo medio anual.

El consumo promedio diario es de un total de 79 kWh. Sin embargo, en el presente proyecto se estudiará la viabilidad de cubrir parte de la demanda eléctrica utilizada para calentar el agua con energía solar térmica. Concretamente se planteará una instalación que cubra un 85% de la demanda. Por ello se recalcula el consumo eléctrico diario que va requerir de electricidad teniendo en cuenta que solo se tendrá que cubrir el 15% del ACS. Esta es la curva de demanda en esta situación:

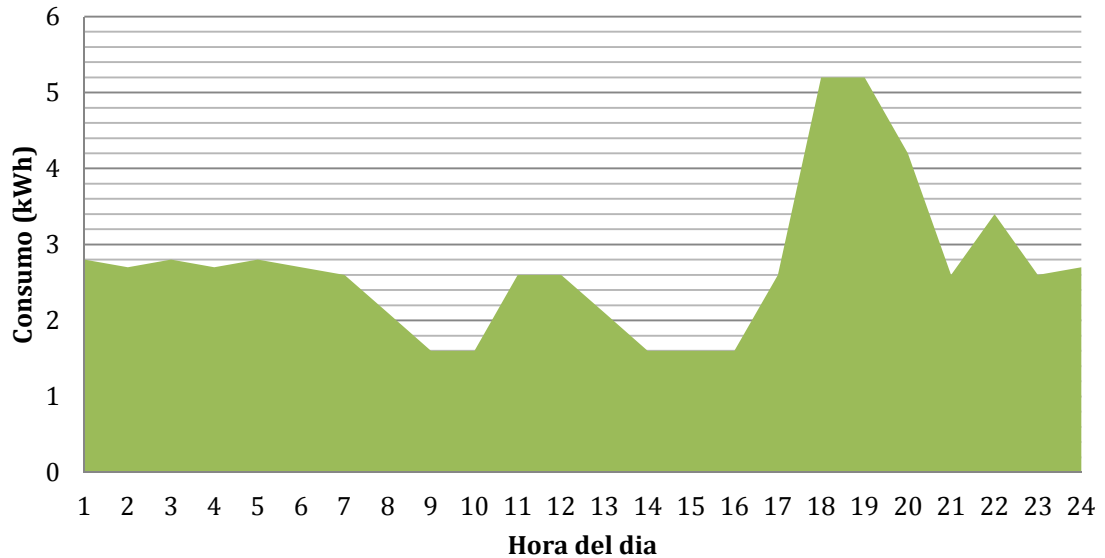


Figura 5. Consumo eléctrico diario (solo 15%)

De esta forma, el consumo diario promedio es de 65 kWh, el cual incluye las bombas que se tendrán que utilizar para la instalación solar térmica. Esta nueva situación supone un ahorro de 14 kWh eléctricos diarios.

Tal y como se comentó anteriormente, la normativa de balance neto impulsada por el ICE, indica que la generación fotovoltaica no puede superar el consumo promedio. Por este motivo, se diseñará una instalación fotovoltaica que genere la misma cantidad que se consume en términos de energía diaria promedio. Esta es la gráfica que compara el consumo diario con la generación:

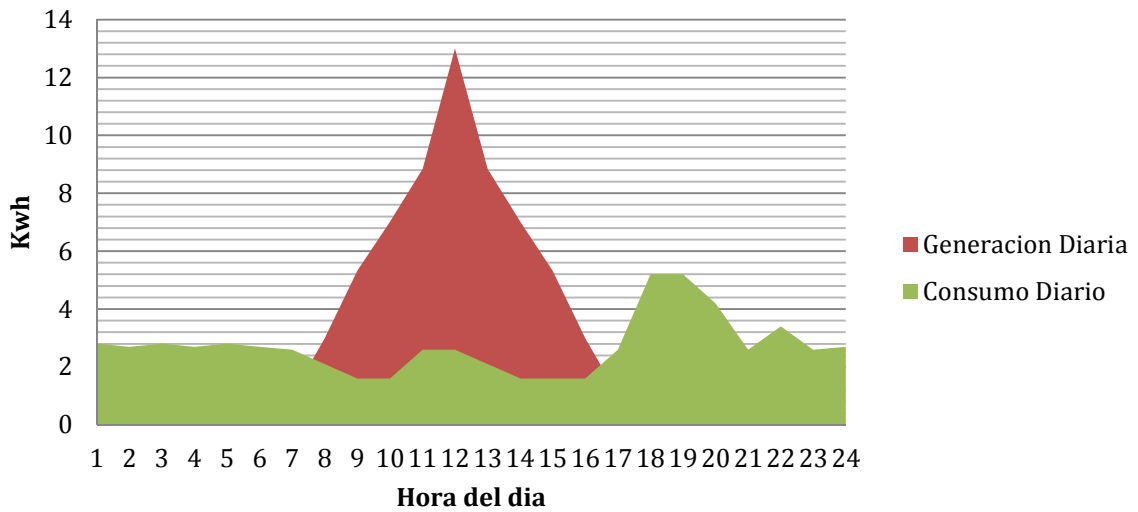


Figura 6. Consumo VS Generación

Para cumplir la normativa de balance neto, las áreas de consumo y generación tienen el mismo tamaño, es decir, el mismo número de kWh.

#### 2.2.2.2 Factura de gas y consumo

Actualmente en la residencia hay un consumo de gas GLP (Gas licuado del petróleo) para la cocina y acondicionamiento térmico de la piscina. Dadas las circunstancias de la instalación, se mantendrá el consumo de gas para la cocina pero se substituirá el de la piscina por energía solar térmica. La factura de gas relativa a la piscina asciende a €190 mensuales y esta será la cantidad que se considerará como ahorro en el análisis financiero.

## 2.3 Datos meteorológicos

Por su ubicación geográfica Costa Rica posee un clima agradable, caracterizado por la combinación del clima tropical con sus sistemas montañosos. Las temperaturas no varían mucho a través del año, puesto que sus mayores cambios son una estación lluviosa y una estación seca.

Para el desarrollo de este proyecto, fue necesario investigar los datos climatológicos de este país para determinar la cantidad y el tipo de equipos necesarios para la instalación. La tabla siguiente resume los datos obtenidos a partir de los datos del National Renewable Energy Lab (NREL)

### 2.3.1 Temperatura

	Temperatura (°C)	Radiación(kWh/m <sup>2</sup> )	Velocidad de viento (m/s)
Enero	19,60	5,90	6,80
Febrero	20,05	6,65	6,63
Marzo	20,70	7,02	6,02
Abril	21,45	6,42	5,21
Mayo	22,10	5,23	3,99
Junio	22,10	4,85	3,86
Julio	21,70	4,87	4,42
Agosto	21,85	4,87	4,18
Setiembre	21,95	4,74	3,75
Octubre	21,45	4,56	3,66
Noviembre	20,55	4,63	4,34
Diciembre	19,95	5,30	5,98
Media	21,12	5,42	4,90

Tabla 4. Datos climáticos de Santa Ana, Costa Rica (NREL, 2013)

La Tabla 4 indica los valores de las temperaturas máximas, medias y mínimas obtenidas de media en la localidad de Aranjuez, San José, las más cercanas a Santa Ana. La razón por la que no se pudieron obtener datos exactos de la localidad fue por que no existen datos recientes de éste promedios en la página del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN). Por otro lado, se encontraron datos similares en NREL (Tabla 4).

Mes	Temperatura (°C)		
	Máxima	Mínima	Media
Enero	22.9	16.3	19.6
Febrero	23.6	16.5	20.05
Marzo	24.6	16.8	20.7
Abril	25.5	17.4	21.45
Mayo	26.1	18.1	22.1
Junio	26.2	18	22.1
Julio	25.4	18	21.7
Agosto	25.8	17.9	21.85
Setiembre	26.3	17.6	21.95
Octubre	25.4	17.5	21.45
Noviembre	23.9	17.2	20.55
Diciembre	23.1	16.8	19.95

Tabla 5. Datos climáticos NREL - NASA (NASA, 2013)

Los valores utilizados para la realización del proyecto son aquellos obtenidos por el IMN a pesar de que no fuesen los más cercanos, ya que fueron considerados como los más fiables ya que vienen de una fuente costarricense.

### 2.3.2 Radiación

La radiación obtenida en el emplazamiento se obtuvo a partir de la base de datos del National NREL donde gracias al sistema de Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), se obtuvieron datos a partir de un satélite.

La siguiente imagen muestra un pantallazo de la herramienta.

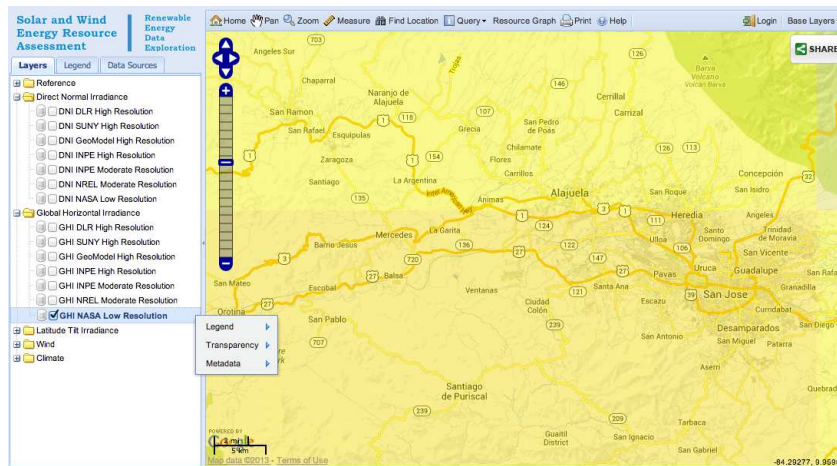


Figura 7. Pantallazo de SWERA

A continuación, la tabla con los datos de radiación utilizados para el desarrollo del proyecto, datos necesarios para calcular el número de paneles necesarios para el sistema fotovoltaico y térmico.

	Radiación (kWh/m2)			Radiación (KJ/m2)		
	Horizontal	Normal	Tilt	Horizontal	Normal	Tilt
Enero	5.9000	7.4400	6.3400	21240	26784	22824
Febrero	6.6500	7.9800	6.9200	23940	28728	24912
Marzo	7.0200	7.8100	7.0500	25272	28116	25380
Abril	6.4200	6.2200	6.3100	23112	22392	22716
Mayo	5.2300	4.3500	5.2000	18828	15660	18720
Junio	4.8500	3.9000	4.8500	17460	14040	17460
Julio	4.8700	3.8800	4.8600	17532	13968	17496
Agosto	4.8700	3.6900	4.8100	17532	13284	17316
Septiembre	4.7400	3.5500	4.6800	17064	12780	16848
Octubre	4.5600	3.7000	4.6300	16416	13320	16668
Noviembre	4.6300	4.4700	4.8400	16668	16092	17424
Diciembre	5.3000	6.3500	5.6900	19080	22860	20484
Media	5.42	5.2783	5.5150	19512	19002	19854

Tabla 6. Radiación en kWh/m2 y KJ/m2



### 2.3.3 Viento

Los datos relacionados con el viento también se obtuvieron gracias a SWERA. Son necesarios para las pérdidas de convección que tienen lugar en la piscina.

$$P_{conv} = 3,181 \times v^{0.8} \times (T_{agua\ piscina} - T_{ambiente}) \times S_{piscina}$$

Altos valores de viento también pueden afectar el panel y su duración.

	Velocidad del viento (m/s)	(km/h)
Enero	6.80	24.48
Febrero	6.63	23.868
Marzo	6.02	21.672
Abril	5.21	18.756
Mayo	3.99	14.364
Junio	3.86	13.896
Julio	4.42	15.912
Agosto	4.18	15.048
Septiembre	3.75	13.5
Octubre	3.66	13.176
Noviembre	4.34	15.624
Diciembre	5.98	21.528
Media	4.90	17.64

Tabla 7. Velocidad del viento (m/s)

## 2.4 Marco Regulatorio

### 2.4.1 Plan Piloto Generación Distribuida para Autoconsumo

En primer lugar, se debe completar un formulario en cual se solicitan datos del lugar de instalación, la cantidad generada, el tipo de paneles, entre otros. Una vez entregado y aceptada la solicitud, el ICE le entregará e instalará un medidor bidireccional. Con este, se harán cierres mensuales para obtener el balance neto entre la energía consumida y la inyectada a la red.

El reglamento establece que los kWh inyectados a la red, se reducen en igual relación que los kWh consumidos de la red. En caso de haber más generación o inyección que consumo, esta podrá ser utilizada al mes siguiente. Para acceder a esta energía “almacenada” no se requiere pago de peajes ni esperar horarios o meses específicos. La energía entregada de más, puede ser consumida en cualquier día del año a cualquier hora. La única restricción, es que para el dimensionamiento del generador, solo se puede producir el 100% del consumo del mes promedio del último año.

## 3 Desarrollo

### 3.1 Energía Solar

En el medio ambiente existen una serie de recursos naturales que se pueden utilizar para satisfacer las necesidades de los seres vivos en distintos ámbitos y ayudar a la reducción de la dependencia en recursos fósiles.

El recurso solar es el mayor que existe (Figura 8), según CENSOLAR 4000 veces más energía de la que vamos a consumir (Censolar , 2013).

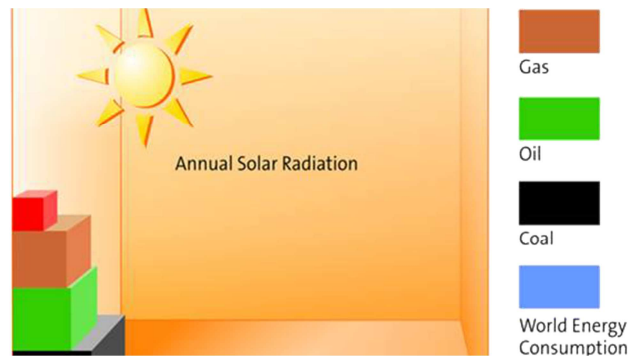


Figura 8. Recurso Solar

La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética del Sol de la que se puede obtener calor y electricidad.

#### **ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

El calor se logra a través de sistemas de captación de la radiación que la transforman en energía térmica utilizable mediante un fluido de trabajo y almacenándola.

Dicho sistema se debe complementar con un sistema auxiliar o de apoyo fósil/eléctrico en caso de que el recurso renovable no logre satisfacer las necesidades de los consumidores.

Estos sistemas están formados por;

- Sistema de captación formado por captadores que transforman la radiación solar incidente sobre los mismos en energía térmica aprovechable y transportada mediante un fluido de trabajo.
- Sistema de acumulación que almacena agua caliente para cuando sea necesaria
- Circuito hidráulico formado por tuberías, bombas, válvulas, etc. que transportan la energía a través de un fluido caloportador. Este suele estar dividido en primario y secundario, separando los sistemas que necesiten de agua caliente (radiadores, suelo radiante, agua caliente sanitaria o piscina)
- Sistema de control que se asegura del correcto funcionamiento de la instalación y que protege contra posibles problemas
- Equipos de apoyo que complementan la contribución solar

El objetivo del uso de un sistema solar en Costa Rica es de ;

- Reducir el consumo eléctrico para la vivienda y de GLP para la piscina.
- Garantizar un suministro durable y de calidad
- Garantizar un uso seguro
- Aumentar el uso de la piscina

Actualmente, en Costa Rica el uso de energía térmica está aumentando debido a los incentivos, promoción y precios accesibles. La mayor parte de los clientes optan por sistemas termosifón. Estos fueron rechazados para este proyecto debido a la baja durabilidad, problemas en sus componentes (como experimentado en España) y el impedimento de instalarlos en los tejados de la vivienda (donde trabajan mejor debido a la gravedad).

**ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

La energía fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en electricidad mediante unos dispositivos llamados paneles fotovoltaicos. En estos, la radiación excita electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias mayores (APPA, 2013).

Aunque se llevan usando desde hace más de 60 años para aplicaciones espaciales, estos han tenido un desarrollo en el mercado energético muy grande en los últimos 10 años gracias a subvenciones recibidas por gobiernos de todo el mundo.

Costa Rica ha acordado recientemente con China la adquisición de paneles así como de ayudas financieras para realizar más proyectos en este ámbito.

En el proyecto descrito, se plantea el desarrollo de sistemas fotovoltaicos conectados a red que consiste en generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos e inyectarla directamente a la red en caso de excesos. El beneficio de mantener la conexión a red permite a los consumidores tener electricidad en cualquier momento del día y de almacenar, bajo el Plan Piloto de Balance Neto, los excedentes para poder ser utilizados en cualquier otro momento.

Estos pueden diseñarse para alimentar cargas de Corriente Continua (DC) o Alterna (AC). Los sistemas AC consisten en;

- Conjunto de módulos donde se produce la energía eléctrica
- Diodos de By-pass que protegen cada módulo de problemas de sombras y se colocan en la caja de conexiones. Se coloca un diodo por cada grupo de 18 celdas y en serie.
- Diodos bloqueo que previenen descargas o inversiones de corriente.
- Regulador de carga 'Shunt' que desvían la potencia en caso de sobrecarga eléctrica.
- Banco de baterías - que no se utilizan en este caso ya que se trata de un sistema conectado a red.
- Inversor - que transforma la DC en AC y suben el voltaje.
- Otros; Cables eléctricos, breakers, fusibles, caja de celdas, pvc, ...

El objetivo de desarrollar un sistema fotovoltaico es el de:

- Utilizar energía renovable para suplir la demanda eléctrica de la vivienda
- Futuro ahorro económico
- Suministro constante y seguro de electricidad
- Aprovechar de los beneficios del Plan Piloto que beneficia en gran medida a los consumidores que decidan autoproducir su propia energía.

## 3.2 Fotovoltaica

### 3.2.1 Introducción

La instalación fotovoltaica será un sistema conectado a red para funcionar con balance neto. Esta instalación cuenta con 56 paneles y un inversor. El consumo considerado para el dimensionamiento del generador es el 100% del mes promedio del año 2012, menos una parte del consumo utilizado para el calentamiento del agua sanitaria. En este ejercicio se establece que el 85% de la demanda eléctrica del ACS queda cubierta por la solar térmica, es por esto que se resta una cierta cantidad del consumo promedio mensual del año 2012.

Como ya se indicó anteriormente en el documento, el sistema elegido en este caso es de conexión a red debido a que esta ya se encuentra en el lugar y facilita satisfacer la demanda cuando la energía fotovoltaica no pueda. La conexión a red consiste en generar electricidad mediante los paneles e inyectando directamente a la red de distribución eléctrica, la cual puede suministrar o absorber electricidad.

Actualmente, países como España o Alemania, obligan a las compañías de distribución por ley a comprar la energía inyectada por sistemas fotovoltaicos. Este precio de venta está fijado por la ley de manera que se incentiva la producción limpia de electricidad (SunEdison, 2013).

### 3.2.2 Componentes sistema fotovoltaico

#### 3.2.2.1 Cálculos número de paneles y determinación serie y paralelo

Una sección indispensable de la instalación fotovoltaica es el cálculo para determinar la cantidad de paneles e inversores de corriente directa a corriente alterna. Lo primero es conocer la latitud del emplazamiento. Debido a que Santa Ana se encuentra ubicada a 9°55'37" de latitud Norte los módulos tendrán una inclinación de 10 grados y 0 grados de azimut (orientados hacia el Sur). Teniendo en cuenta el consumo medio anual de la vivienda, la radiación recibida en la localización elegida y suponiendo que los paneles generarán energía durante una media anual de 5,4h diarias, se pudo obtener la potencia que debería ser generada por esta planta para poder abastecer la demanda de la familia. A pesar de que estos datos sean variables ya que no todos los años son iguales, ni el uso ni la radiación solar, se estimó que en un 85% del tiempo (anual) la energía consumida sería de origen solar y el resto pagando la red.

$$\frac{\text{Consumo}}{\text{Horas}} = \text{Generación} \rightarrow \frac{65.000}{5,4} = 12,037kW$$

Para esta instalación se escogieron paneles monocristalinos Perlight PLM-250M-60 (Anexo 7.3.1). Es importante notar que contra más potencia genere el modulo, menos cantidad de módulos serán necesarios. Mirando el catálogo del producto se obtuvieron los siguientes datos (Ver Tablas 8 y 9):

$P^*_{mpp}$	250
$V^*_{mpp}$	31,1
$I^*_{mpp}$	8,03
$I^*_{sc}$	8,97
$V^*_{oc}$	37,1
TONC	47
$dVoc/dTc$	-0,31
$T^*c$	25
$T_{a\ min}$	13
$T_{a\ normal}$	25
$G_{min}$	200
G esperada	1000
Rendimiento	15,3%

Tabla 8. Datos del panel fotovoltaico Perlight

Longitud	1,65
Anchura	0,99
Profundidad	0,025

Tabla 9. Dimensiones panel fotovoltaico

### 3.2.2.2 INVERSOR

Seguidamente, se llevo a cabo la tarea de escoger el inversor tomando en consideración principalmente la generación para abastecer el consumo. Debido a que se necesitaría un inversor de un mínimo de 12,037 KW (Apartado 3.2.2.1), se escogió un Solectria PVI 13kW Central Inverter de 13 KW (Anexo 7.3.2).

$P_{nom}$	13000
MPP min	205
MPP max	385
$V_{max}$	475
$I_{max}$	69
Rendimiento	96,9%
$V_{max\ salida}$	240
$I_{max\ salida}$	32

Tabla 10. Datos del inversor

**3.2.2.3 CONFIGURACIÓN MODULOS**

Para el cálculo del número de paneles necesarios y su configuración, lo primero fue comprobar la temperatura de funcionamiento de una célula solar teniendo en cuenta los datos de meteorología del emplazamiento (Sección 2.3):

$$T_{c,min} = T_{a,min} + G_{ef} \left( \frac{TONC - 20}{800} \right) = 13 + 200 \left( \frac{47 - 20}{800} \right) = 19,75^{\circ}\text{C}$$

$$T_{c,esperada} = T_a + G_{ef} \left( \frac{TONC - 20}{800} \right) = 25 + 1000 \left( \frac{47 - 20}{800} \right) = 58,75^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto, el voltaje de circuito abierto

$$V = V_{oc} + \left( \frac{V_{oc} \times \partial V_{oc}}{100} \right) \partial T_c$$

La ecuación anterior ayudó a calcular la tensión bajo diferencia de temperatura mínima y estándar en las condiciones normales de trabajo del módulo escogido. Éste debe trabajar a una temperatura media de 25°C, por lo tanto bajo una diferencia de temperatura de 5,25°C tendrá un voltaje de 37,70 V. Para la condición de trabajo de una temperatura de 33,75°C se obtendría un voltaje de 33,22 V.

A continuación, se calculó la tensión máxima para poder elegir la configuración de los módulos;

$$V_{MPP} = \frac{V_{oc} \times V_{MPP}^*}{V_{oc}^*} = 27,85V$$

Cálculos Configuración Serie (Ns) y Paralelo (Np):

Ns <sub>max</sub>		12,59
	V <sub>max</sub>	475
	V <sub>oc</sub>	37,70
Ns <sub>mpp min</sub>		7,36
	Mpp <sub>min</sub>	205
	V <sub>mpp</sub>	27,85
Ns <sub>mpp max</sub>		13,83
	Mpp <sub>max</sub>	385
	V <sub>mpp</sub>	27,85
Np <sub>mpp max</sub>		7,69
	I <sub>max</sub>	69
	I <sub>sc</sub> *	8,97

Tabla 11. Numero de paneles necesarios en serio o en paralelo

El V<sub>MPP</sub> es el punto de máxima potencia de un dispositivo fotovoltaico adquirido en el catálogo del inversor.

Conociendo los datos de las tablas anteriores, se pudo llegar a la conclusión de que para una configuración óptima utilizando el inversor escogido, se debía de escoger un número de paneles en serie entre 8 y 12, y de un máximo de 7 en paralelo.

Para calcular el número óptimo de paneles en serie se utilizó la siguiente tabla, en la que el objetivo es obtener un factor de inversor (FDI) más próximo a 1.1. Esto se hizo haciendo una tabla (Tabla 12) examinando distintos valores y calculando la máxima potencia generada en el sistema utilizando distintas configuraciones, indicando el número de veces que el generador sería mayor al inversor;

La relación entre en el inversor y los paneles fotovoltaicos en lugar de poca radiación debe ser de un 20% más de generación que de inversión. En el caso de Costa Rica, se cuenta con una radiación buena, por lo que se decidió diseñar con una relación del 10% superior a la generación fotovoltaica que el inversor.

Ns	Np	P*g	Fdi
9	6	13.500	1,03
10	6	15.000	1,15
8	7	14.000	1,07
9	7	15.750	1,21
10	7	17.500	1,34

Tabla 12. Factor inversor/generador

$$P_g = N_s \times N_p \times P_{MPP,modulo}$$

$$FDI = \frac{P_{g,modulos}}{P_{nominal,inversor}} \cong 1,10$$

Para concluir, se escogió una distribución de 8 módulos en serie y 7 en paralelo conectados al inversor, con un total de 56 módulos que generarán 14kW en un área de 91,48m<sup>2</sup> (Ver tabla 13).

Área Necesaria	
Ancho (m)	7,92
Longitud (m)	11,55
Área Total m <sup>2</sup>	91,48
Módulos (n°)	56
Inversores (n°)	1

Tabla 13. Área necesaria

3.2.2.3.1 Distancia entre módulos

Las filas de paneles crean sombras las unas sobre las otras en ciertos momentos del día y del año, por lo que es importante calcular la distancia mínima requerida entre estas para reducir las pérdidas y mejorar la producción anual. La longitud de la sombra de un obstáculo se calcula de la siguiente forma (Perpiñan, 2012);

$$d = \frac{h}{\tan \gamma_s}$$

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - |\varphi|)} 0,46m$$

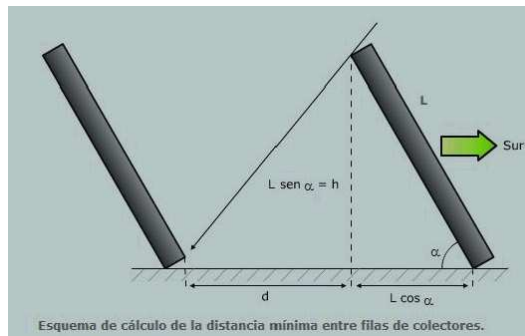


Figura 9. Distancia entre módulos

	0,46
h	0,5730
Ángulo inclinación	10
φ	10
Sen φ	0,1736
tan 61-φ	1,2349

Tabla 14. Datos de ángulos

Siguiendo la formula, se obtiene que la distancia mínima es de 0,46m y que será necesaria un área total de 99,67m<sup>2</sup> aproximadamente para que los módulos no se obstaculicen entre si.

Área Total con separación de filas (m <sup>2</sup> )	99,67
Separación de paneles	0,46
Área de Paneles	91,48
Área de Separación	8,20

Tabla 15. Área necesaria



**3.2.2.3.2 Energía generada por los módulos**

La energía generada por los 56 módulos dependerá de los siguientes elementos (Cálculos teóricos):

$$\text{Irradiación total diaria (kWh)} = \text{Irradiación} \times \text{Area módulos} = 5,4 \times 91,476$$

- Rendimiento del panel  
 $\text{Rendimiento paneles} = \text{Irradiación total} \times \text{Rendimiento Perlite} = 15,3\% \times 493,97$
- Rendimiento del inversor  
 $\text{Rendimiento inversor} = \text{Rendimiento paneles} \times \text{Rend inversor} = 96,9\% \times 75,58$
- Pérdidas por cableado y de ensuciamiento  
 $\text{Rendimiento inversor} = \text{Rendimiento paneles} \times \text{Rend inversor} = 98,0\% \times 73,23$   
 $\text{Rendimiento inversor} = \text{Rendimiento paneles} \times \text{Rend inversor} = 98,0\% \times 71,77$

La siguiente tabla describe la producción anual de energía teniendo en cuenta las pérdidas, el rendimiento del panel (como descrito en la ficha técnica en el Anexo 7.3) y los datos de radiación (descritos en el apartado 2.4). Con una radiación diaria de 5,4 kWh se obtendrá al día un total de 70,33 kWh.

<b>Energía Irradiada diaria (kWh)</b>	<b>5,4</b>	<b>493,97</b>
<b>Rendimiento Panel</b>	15.3%	75,58
<b>Rendimiento Inversor</b>	96,9%	73,23
<b>Perdidas por Cableado</b>	98.0%	71,77
<b>Perdidas por ensuciamiento</b>	98.0%	70,33
<b>Total Producido al día (kWh)</b>		<b>70,33</b>

**Tabla 16. Energía producida**

#### 3.2.2.4 Soporte

Una de las ventajas de las instalaciones fotovoltaicas es que son fácilmente adaptables a cualquier tipo de vivienda existente, además de que no contaminan a la hora de producir energía eléctrica gratuitamente.

Debido a que en la localización de la vivienda existe un árbol que podría afectar la producción de energía por su sombra, se decidió construir el sistema en el terreno libre cercano al edificio principal (Figura 10) a una distancia máxima de 75m entre el inversor y el contador en la entrada eléctrica de la casa.

El diseño de un SFCR sobre suelo tiene como objetivo maximizar la producción energética anual del sistema con el menor coste y la menor ocupación de terreno posibles.



Figura 10. Espacio para instalar sistema foto - térmico

La estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos por su facilidad se escogió fija y que siguiese las siguientes recomendaciones (Paniagua Rico, González, Sagredo, & Leal, 2010);

- Capaces de resistir al menos 10 años al aire libre sin corrosión ni fatiga apreciables
- Soportar vientos de hasta 120km/h
- Material; acero inoxidable, aluminio o hierro galvanizado con una protección de 30mm de madera tratada
- Fijo con elementos como tornillos, tuercas o arandelas de acero inoxidable

Debido a su bajo coste, se decidió escoger unos soportes de hierro (Figura 11). Estos permiten la adaptación al terreno y mitigar posibles problemas en un futuro de cimentación y acomodación al terreno escogido.

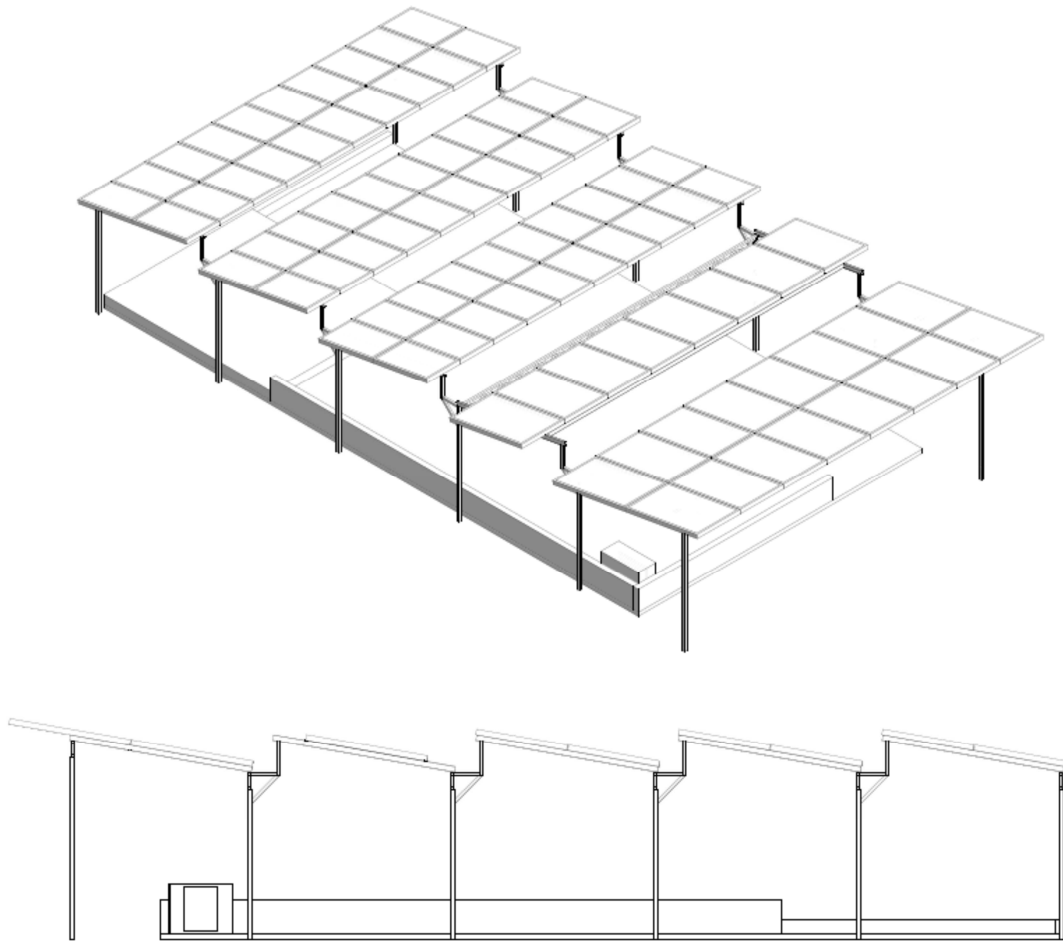


Figura 11. Imágenes de la estructura en el emplazamiento

### 3.2.2.5 Cableado

#### 3.2.2.5.1 Puesta a Tierra

De acuerdo con la normativa del Instituto de Ingenieros Electricos y Electronico (IEEE) 1547, para asegurar la estabilidad de la red, es necesario cuidar la frecuencia de inyección de energía. Ésta establece que la menor frecuencia permitida será de 59,3 Hz y la mayor será de 60,5. Cualquier inyección de energía fuera de este rango, deberá desconectarse. De igual forma y trabajando de la mano con la normativa antes mencionada, la conexión a red debe de cumplir con la normativa de Underwriters Laboratories (UL) 1741. Si hay un fallo en la red, el inversor en el sistema fotovoltaico deberá de apagarse y no permitir que se produzca corriente para no causar daños ni a las líneas ni las personas que pudiesen acercarse en tareas de control o mantenimiento.

Según el artículo 250 del Código Eléctrico Nacional (NEC), la puesta a tierra se realiza de forma que no altere la de la compañía eléctrica distribuidora y con el fin de no alterarla. Los marcos de los módulos y estructuras de soporte deben estar puestos a tierra. La pica deberá ser de hierro o acero con pintura galvanizada. Medirá 16 mm de diámetro y 2,5 metros de largo y se deberá instalar de manera que los 2,5 metros de pica tengan contacto directo con la tierra. Si esta pica no cuenta con una resistencia de 25 ohms o menos, se deberá instalar otra pica.

#### 3.2.2.5.2 Diseño de cableado

El diseño de la sección de cableado en sistemas fotovoltaicos está basado en dos criterios; el del térmico y el de las caídas de tensión. El primero tiene como objetivo el limitar la temperatura en régimen permanente para evitar daños en líneas y cables (reducir carga de rotura y afectar a los dieléctricos). Según el artículo 647 del NEC, la caída máxima de tensión de la tensión nominal entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5 % para la intensidad nominal. Este porcentaje se aplica para cada una de las partes de corriente continua (DC) y alterna (AC) que tiene su propia tensión nominal.

Lo primero que se realizará para el dimensionamiento del cableado serán los cálculos de la sección, aplicando el criterio de caída de tensión, para cada uno de los cables del sistema el cual está dividido de la siguiente manera;

- La primera será una sección desde el modulo hasta el inversor de 6m con un sistema monofásico DC.
- La segunda desde el inversor hasta el punto de conexión de unos 75m
- La existente desde el punto de conexión hasta el poste de conexión a red, que no se tomara en cuenta para hacer los siguientes cálculos ya que no sufrirá modificaciones

$$S_{DC} = \frac{2L_{DC}I_{DC}}{56\Delta V_{DC}}$$

$$S_{AC} = \frac{2L_{AC}I_{AC}}{56\Delta V_{AC}}$$

$$S_{3AC} = \frac{\sqrt{3}L_{AC}I_{AC}}{56\Delta V_{AC}}$$

Gracias a estas ecuaciones se obtuvieron los siguientes resultados;

	DC - aire	AC trifásico - subterráneo
L (m)	6	75
I (A)	56,21	32
V (V)	248,8	240
$\Delta V$ (V)	3,73	3,6
S (mm <sup>2</sup> )	3,23	20,62
S nominal (mm <sup>2</sup> )	6	25

Tabla 17. Cálculo intensidades cableado

Para el tramo del generador al inversor en corriente directa, se utilizarán 6 metros de cable con una sección de 6mm<sup>2</sup> y para el tramo del inversor al medidor eléctrico en corriente alterna, se utilizarán 75 metros de cable con una sección de 25mm<sup>2</sup>.

### 3.2.2.5.3 Aislamiento

Según los datos obtenidos para las secciones de los cables, se buscaron las dimensiones óptimas del aislamiento de estos. Se escogieron cables recubiertos de cobre y se utilizó la tabla 310.13 del NEC para encontrar el aislamiento óptimo del cableado. Para la zona de DC se optó por un sistema aéreo de cables, mientras que en la AC se decidió utilizar subterráneo. Por lo tanto, se necesitarían para el primer tramo un aislamiento THW de 0.76 mm de grosor y para el segundo tramo, trifásico AC, de uno UF de 2.01 mm de grosor.

Para el último tramo, se tuvo que comprobar que el aislamiento cumpliera el criterio térmico. Según el artículo 310 en la tabla 310.20, el cable debe ser dimensionado para una intensidad superior al 113% de la máxima intensidad del generador.

$$I_{MPP,total} < I_{aislamiento}$$

$$32 \times 1.13 = 36.16 < 163 \text{ (Intensidad cable } 25\text{mm}^2\text{)}$$

El tramo AC irá subterráneo hasta el punto de conexión con el medidor bidireccional. De acuerdo con el artículo 300 del NEC, la tabla 300.5, especifica que para conductores enterrados protegidos con tubería no metálica, la zanja deberá de ser de 45 cm (Ver Anexo 7.4.2) de profundidad. Es necesario que 30 cm por encima del cable haya una cinta de precaución para indicar que más abajo hay un cable eléctrico.

Table 300.5 Minimum Cover Requirements, 0 to 600 Volts, Nominal, Burial in Millimeters (Inches)

Location of Wiring Method or Circuit	Type of Wiring Method or Circuit									
	Column 1 Direct Burial Cables or Conductors		Column 2 Rigid Metal Conduit or Intermediate Metal Conduit		Column 3 Nonmetallic Raceways Listed for Direct Burial Without Concrete Encasement or Other Approved Raceways		Column 4 Residential Branch Circuits Rated 120 Volts or Less with GFCI Protection and Maximum Overcurrent Protection of 20 Amperes		Column 5 Circuits for Control of Irrigation and Landscape Lighting Limited to Not More Than 30 Volts and Installed with Type UF or in Other Identified Cable or Raceway	
	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.
All locations not specified below	600	24	150	6	450	18	300	12	150	6
In trench below 50-mm (2-in.) thick concrete or equivalent	450	18	150	6	300	12	50	6	50	6
Under a building	0	0 (in raceway only)	0	0	0	0	0	0 (in raceway only)	0	0 (in raceway only)
Under minimum of 102-mm (4-in.) thick concrete exterior slab with no vehicular traffic and the slab extending not less than 152 mm (6 in.) beyond the underground installation	450	18	100	4	100	4	150 6 (direct burial) 100 4 (in raceway)		150	6
Under streets, highways, roads, alleys, driveways, and parking lots	600	24	600	24	600	24	600	24	600	24
One- and two-family dwelling driveways and outdoor parking areas, and used only for dwelling-related purposes	450	18	450	18	450	18	300	12	450	18
In or under airport runways, including adjacent areas where trespassing prohibited	450	18	450	18	450	18	450	18	450	18

Figura 12. Tabla del NEC cableado



### 3.2.2.6 Protecciones

A la hora de diseñar adecuadamente una instalación fotovoltaica es importante la seguridad de las personas (usuarios u operarios) y del correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico, que no debe afectar a la operación ni integridad de otros equipos ni sistemas conectados a la red. A continuación, se detallarán las medidas tomadas de seguridad y protecciones teniendo en cuenta los riesgos asociados y las características específicas de la instalación.

#### a. DC

- i. Contra contactos directos; Para la protección de contactos directos se seguirá el vigente Reglamento de Baja Tensión:
  1. Aislamiento de las partes activas de la instalación
  2. Colocación de barreras y envolventes
  3. Interposición de obstáculos
- ii. Contra contactos indirectos;
  1. Protección clase II
  2. Cables aislados
  3. Cajas de conexión de doble aislamiento
  4. Generador fotovoltaico conectado de forma flotante protegido contra contactos directos e indirectos en el que si pasa algo se soluciona garantizando que no se superen lo 24V máximos de tensión para instalaciones a la intemperie.
  5. Controlador de aislamiento en el inversor.
- iii. Sobre intensidades y sobretensiones
  1. Varistores
  2. Fusibles

#### b. AC

- i. Contra contactos directos; Para la protección de contactos directos se seguirá el vigente Reglamento de Baja Tensión:
  1. Aislamiento de las partes activas de la instalación
  2. Colocación de barreras y envolventes
  3. Interposición de obstáculos
  4. Dispositivo de corte de corriente diferencial entre el inversor y la conexión a red
- ii. Corto circuito y fallos a tierra; Se recomienda el empleo de magnetotérmicos tipo C cuando no existen corrientes de consumo elevadas, además de cumplir las relación descrita anteriormente además de una igualdad para poder escoger el tipo de diferencial e interruptor para la AC trifásica.

Los cálculos se realizaron teniendo como corriente nominal el total de las intensidades que pasan a través de los cables (32A)

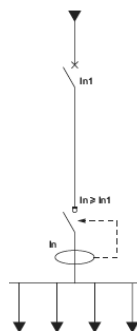


Figura 13. Diferencial

$I_n$ (A)	Aparato	Ubicación	I de trabajo (A)	Modelo
32	Magnetotérmico	Trifásico después del inversor	46,4	C60N Schneider Electric 4 polos calibre 1 A poder de corte 6000A
32	Diferencial	Trifásico después del inversor y magnetotérmico	46,4	ID residencial calibre 60A Schneider Electric

**Tabla 18. Elección de protecciones**

Es necesario incluir un interruptor general manual, que será un interruptor magnetotérmico omipolar. Este interruptor, que se ubica en el cuadro de contadores de la instalación fotovoltaica, será accesible sólo a la empresa distribuidora, con objeto de poder realizar la desconexión manual, que permita la realización, de forma segura, de labor de mantenimiento en la red de la compañía eléctrica.

### 3.2.3 Mantenimiento

El sistema fotovoltaico no cuenta con partes mecánicas lo cual facilita su mantenimiento. Los componentes utilizados deben cambiarse alrededor de 10 años tras su implantación. El generador generalmente no requiere mucho mantenimiento, excepto una limpieza de vez en cuando con un paño mojado de la superficie anterior de los módulos para devolverles la transparencia original que puede dañarse por capas de polvo o heces de ave. En el caso de accidentes, estos deberán sustituirse por nuevos módulos. Por otro lado, los cables sí que deberán cuidarse más y ser cuidadosos con no tropezarse con ellos en ningún momento.

Además de la protección de las personas, el NEC también identifica la protección del medio ambiente en el punto 640.44. En este punto, dicta la necesidad de identificar los elementos de trabajo previamente y que todos aquellos no listados serán prohibidos. Un control cauteloso también es necesario contra cambios de tiempo como lluvias que pueden causar problemas como corto circuitos y de tener cuidado con los materiales tóxicos que podrían utilizarse en la construcción de los soportes.



### 3.2.4 Simulación HOMER

Para poder prever cómo se comportará la instalación en términos de generación a lo largo de su vida útil se ha utilizado el software HOMER. El HOMER es un programa informático creado por NREL que realiza modelos que simplifican la tarea de diseño de sistemas de generación distribuida. HOMER permite simular con rigurosidad y mejorar el modelo de la instalación que se va a producir (HOMER ENERGY, 2013).

A continuación se mostrarán las capturas de pantalla que se obtuvieron en la ejecución del programa.

En primer lugar, la siguiente imagen muestra los datos introducidos para definir el recurso solar del emplazamiento. Se han introducido los datos medios de irradiación diaria en cada uno de los meses del año. Con este dato y las coordenadas geográficas, HOMER simula el comportamiento de la irradiación a lo largo del año.

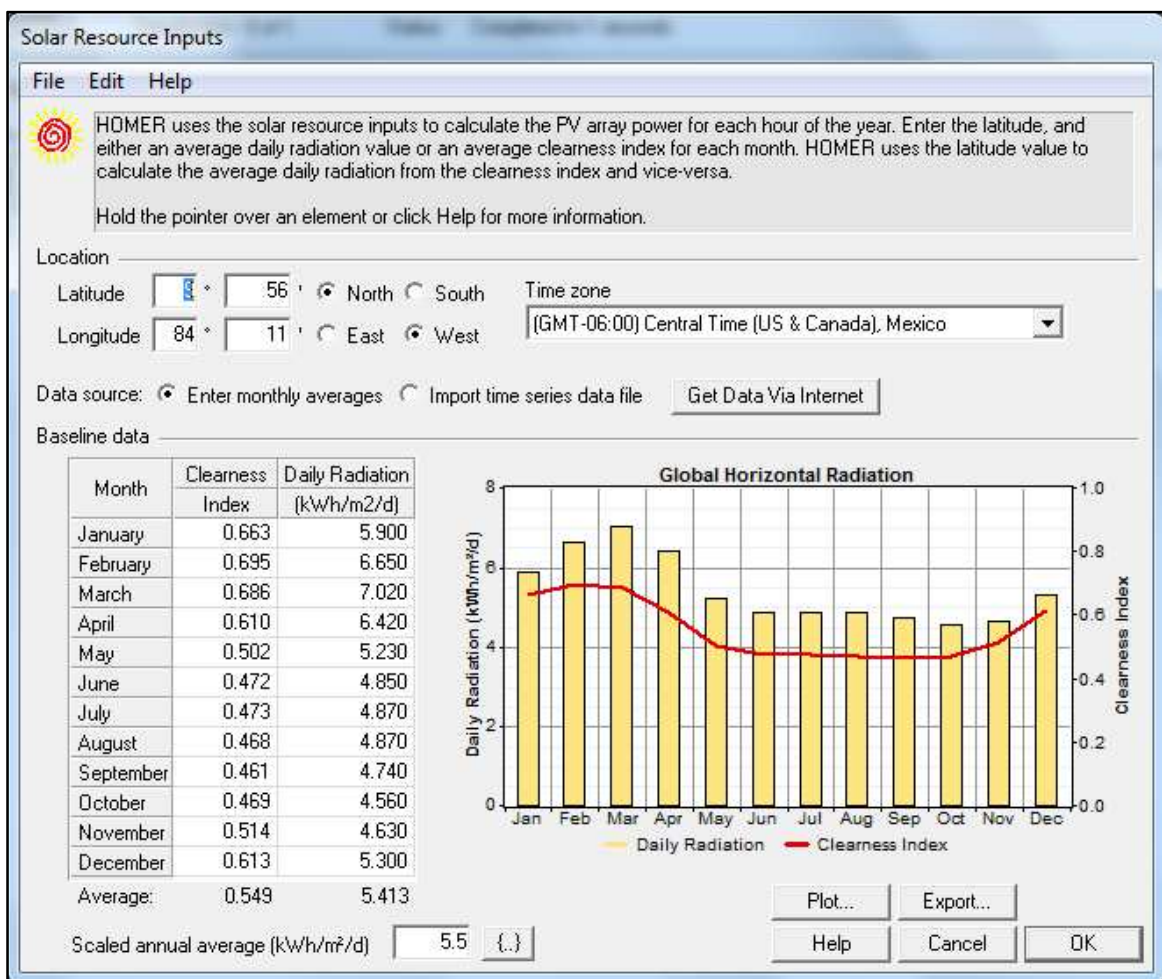


Figura 14. Datos de entrada

En la siguiente imagen, se muestran los datos introducidos en HOMER para describir el consumo eléctrico de la vivienda a lo largo del día. Asimismo, se introduce también como cambia el consumo diario en función del mes del año.

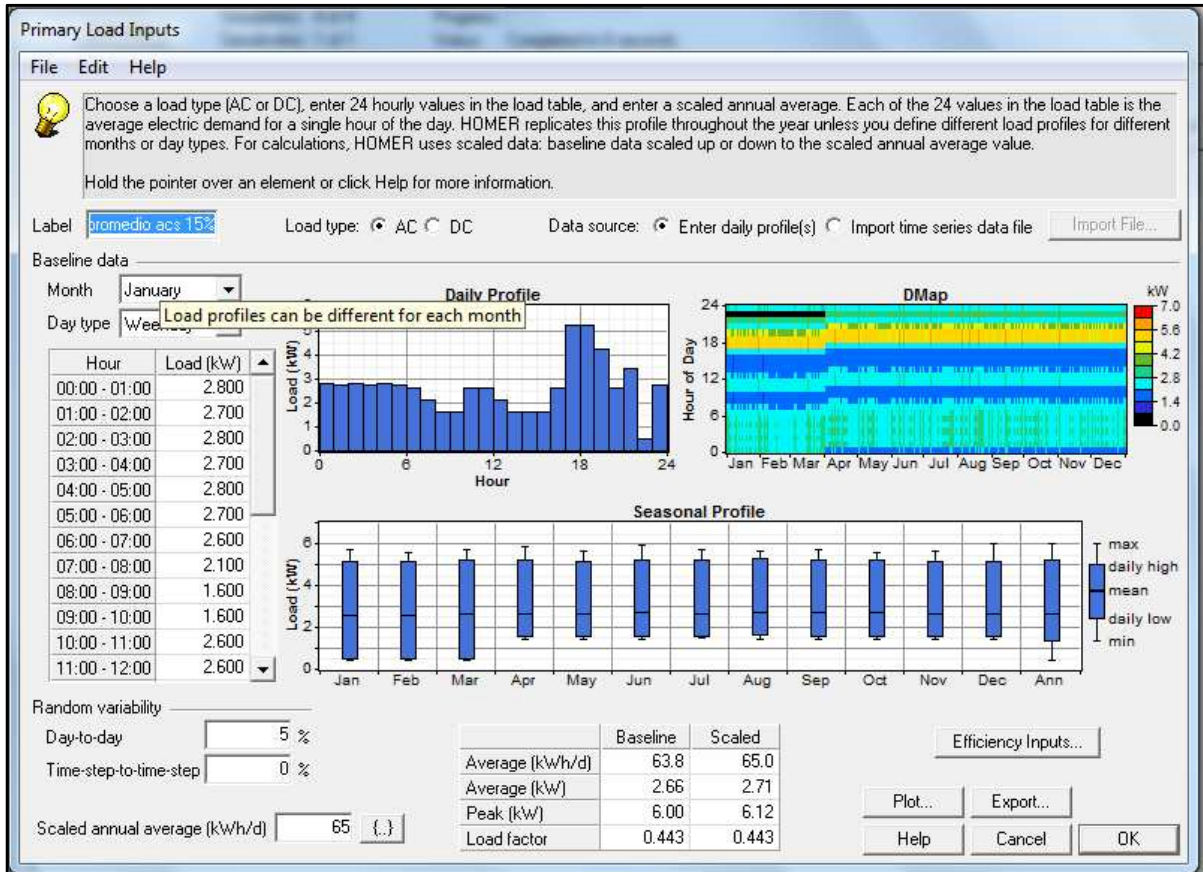


Figura 15. Datos iniciales

Acto seguido, se introdujeron las especificaciones técnicas del generador fotovoltaico y el inversor con sus costes asociados. De esta forma, HOMER va a poder calcular la producción que va a ser capaz generar la instalación.

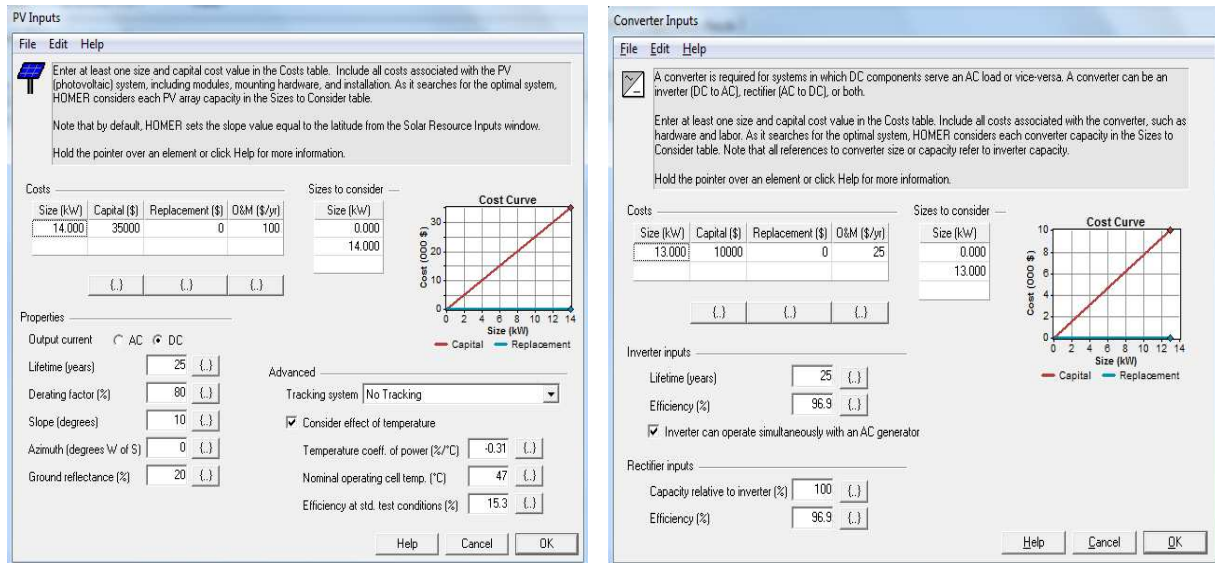


Figura 16. Datos del generador y del inversor

Con todos estos datos introducidos e indicando a HOMER que se va a trabajar en régimen de Balance neto con coste nulo en peajes se obtiene el resultado reflejado en la siguiente tabla. En esta, se visualizan los costes de la energía de cada mes de 2012, descritos anteriormente en la sección de Consumos - 2.2.2 -, la cantidad de energía vendida a la compañía eléctrica (ICE) y los gastos en las dos monedas de importancia, todo bajo el supuesto del Plan Piloto del Balance Neto.

	Compra energía (kWh)	Venta energía (kWh)	Balance neto (kWh)	Gasto en €	Gasto en ¢
Enero	1309	1476	-167	-20,17	-13193
Febrero	1151	1492	-341	-80,62	-26939
Marzo	1300	1658	-358	-83,87	-28282
Abril	1294	1327	-33	-3,99	-2607
Mayo	1351	992	359	53,17	113900
Junio	1338	840	498	79,74	94900
Julio	1372	880	492	78,59	99900
Agosto	1419	913	506	81,27	104025
Setiembre	1369	916	453	71,14	104400
Octubre	1397	924	473	74,96	105400
Noviembre	1341	984	357	52,79	112900
Diciembre	1364	1275	89	10,75	7031
<b>Total</b>	<b>16005</b>	<b>13677</b>	<b>2328</b>	<b>313,77</b>	<b>671435</b>

Tabla 19. Balance energético anual con la red

La conclusión es que a pesar de prever una generación igual al consumo, en términos anuales el HOMER indica será necesario comprar a la red 2328 kWh anuales. Esto implica un gasto anual de 313€, valor a tener en cuenta para el análisis financiero.

## 3.3 Térmica

### 3.3.1 Introducción

El aprovechamiento directo de la energía solar se puede realizar transformándola mediante la tecnología adecuada en energía térmica o en energía eléctrica. En el primer caso se utilizan los sistemas solares térmicos constituidos por elementos de captación de la radiación solar, transformándola en energía térmica utilizable por un sistema mediante un fluido de trabajo y almacenado. La acumulación se realiza mediante depósitos de acumulación para poder utilizarla en el momento de consumo con las menores pérdidas posibles.

El sistema de térmica a baja temperatura está formado por;

- Sistema de captación
- Sistema de acumulación
- Circuito hidráulico
- Sistema de intercambio
- Sistema de regulación y control
- Equipo auxiliar de gas(piscina) y eléctrico(ACS)

Vea Anexo 6.2 para ver esquemas del sistema que será utilizado para suplir las necesidades de agua caliente para el ACS.

### 3.3.2 Simulación F-chart

Para el cálculo de los paneles térmicos se utilizó el método del f-chart. El F-chart es un modelo que permite analizar y dimensionar instalaciones solares térmicas basado en correlaciones obtenidas a partir de datos experimentales y técnicos. Este permite definir la fracción solar cubierta por la instalación aportando los datos de las necesidades de ACS, piscina climatizada o suelo radiante y los ahorros de energía fósil gracias al sistema formado por energía solar.

En este proyecto, se utilizó esta herramienta para determinar el número de captadores necesarios para suplir las necesidades de la Familia para el ACS y la piscina exterior.

Se utilizó un f-chart creado por Junkers a partir de los datos de otro f-chart desarrollado por el Centro de Asesoramiento Tecnológico (CAT) del Colegio de Arquitectos de Almería y Solaris - Energía Solar para las capitales de las provincias españolas. Debido a que estaba bloqueado, se utilizaron macros para poder realizar cambios a los datos climáticos, de pérdidas y ganancias, para poder incluir los de Santa Ana.

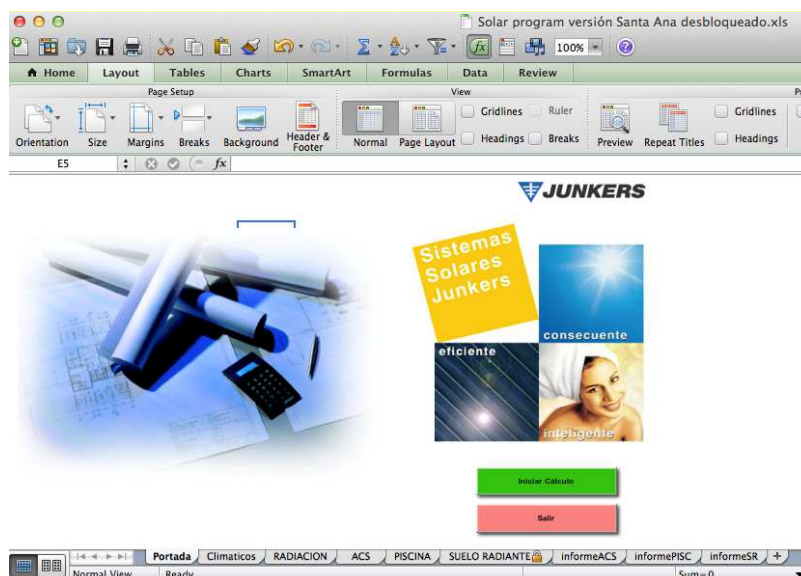


Figura 17. F-chart de Junkers modificado y desbloqueado



### 3.3.2.1 Datos característicos de Santa Ana

Lo primeros datos que se cambiaron en el f-chart fueron en la ventana de radiación (ver figura 17) característicos de Santa Ana que sustituyeron los datos de la tabla de Albacete. Se incluyeron, como descrito anteriormente los datos de radiación, temperatura ambiente, velocidad media de viento y datos del emplazamiento.

Estos datos son necesarios para el f-chart para después poder realizar los cálculos del número de captadores necesarios y de la cantidad de pérdidas que tendrían lugar en la piscina por evaporación, conducción, convección, de agua y radiación y las ganancias por aporte solar.

### 3.3.2.2 ACS

En el caso del ACS, se realizaron los cálculos para suplir a cinco personas con confort alto que consumiesen unos 30L diarios cada uno necesitando un mínimo de 150L de acumulación. Se escogió un valor de 200L de acumulación ya que el f-chart nos indicaba que el volumen a acumular sería de 181,5 L/día con un sistema interno que se encontraría dentro de la sala de máquinas.

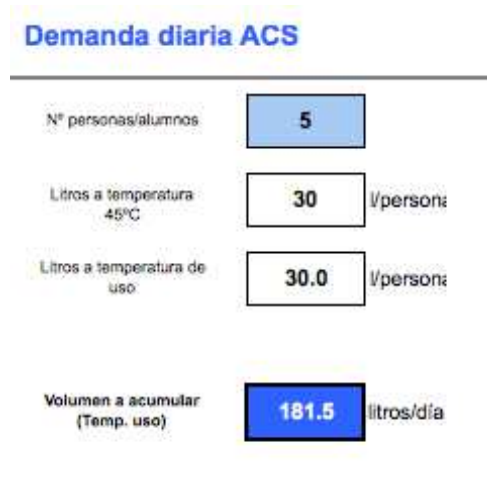


Figura 18. Demanda diaria de ACS

El nivel de acumulación sería del 100% ya que es la vivienda principal de la familia. Se escogió un captador que cumple la normativa española y que se vende en Costa Rica de la marca Chromagen de una eficiencia de 0.808, de un coeficiente de pérdidas de 3.2W/m<sup>2</sup>°C inclinado a 10° ya que Santa Ana se encuentra a una latitud de 9°.

	Energía Necesaria [Termias]:	Aporte Solar [Termias]:	Cobertura Solar	
			Real	Teórico
Enero	163	163	100.0	124.5
Febrero	141	141	100.0	121.9
Marzo	150	150	100.0	106.5
Abril	138	114	82.4	82.4
Mayo	136	103	75.3	75.3
Junio	125	89	71.3	71.3
Julio	123	92	74.7	74.7
Agosto	129	93	71.7	71.7
Septiembre	132	98	74.3	74.3
Octubre	143	143	100.0	108.8
Noviembre	145	143	99.0	99.0
Diciembre	156	156	100.0	111.4
<b>Anual</b>	<b>1,682</b>	<b>1,485</b>	<b>88.3</b>	<b>94.9</b>

Figura 19. Cálculo de la cobertura solar ACS

Utilizando un captador sería suficiente para satisfacer las necesidades de la familia a casi 100% durante los meses secos (Noviembre a Abril), aunque el nivel de aporte solar bajaría durante los meses ‘lluviosos’ ya que la radiación es más baja por las nubes que cubren el país durante esta época.

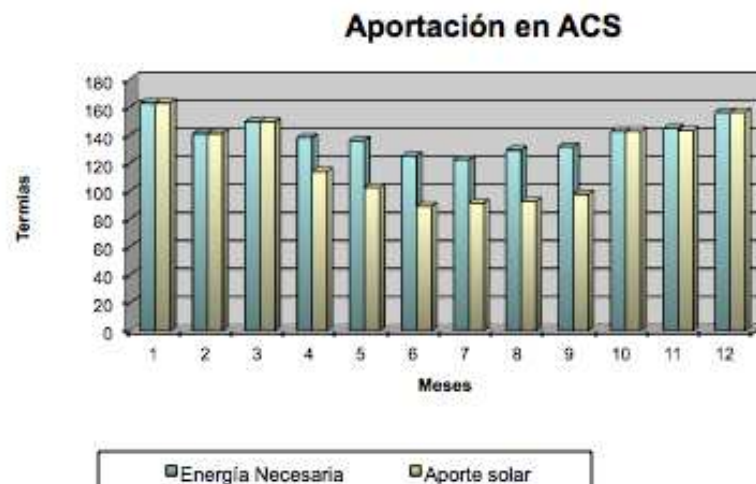


Figura 20. Aporte solar VS Energía necesaria para el ACS

### 3.3.2.3 Piscina

En el caso de la piscina, lo primero que se hizo fue describir las dimensiones de la piscina, su ubicación y temperatura deseada.

Debido a que el f-chart de referencia solo proporcionaba datos de ciudades españolas se tuvieron que modificar y comprobar las pérdidas obtenidas en la pestaña de 'Radiación'.

Para una piscina de 59,8m<sup>2</sup> y de un volumen de 71,85m<sup>3</sup>, se emplearon los mismos captadores utilizados para el ACS. Para el cálculo del número necesario de captadores también hubo que incluir el valor de humedad relativa (%), de 78%.

#### CÁLCULO DE LAS DEMANDAS ENERGÉTICAS

	Pérdidas Conducción	Pérdidas Convección	Pérdidas Radiación	Pérdidas Agua	Pérdidas Evaporación	Aportación Solar directa	Aporte Solar [Temias]
Enero	645	944	3,040	134	9,216	-5,339	8,641
Febrero	410	600	2,583	109	7,410	-6,224	4,888
Marzo	320	469	2,733	107	7,436	-6,722	4,343
Abril	273	400	2,609	91	6,976	-6,187	4,163
Mayo	49	72	2,471	58	4,843	-4,861	2,632
Junio	138	202	2,477	43	5,167	-4,434	3,592
Julio	182	267	2,597	31	5,545	-4,421	4,202
Agosto	187	274	2,601	45	5,568	-4,417	4,257
Septiembre	205	299	2,540	56	5,507	-4,281	4,326
Octubre	283	414	2,691	71	6,041	-4,066	5,434
Noviembre	297	435	2,626	82	5,960	-4,110	5,290
Diciembre	745	1,091	3,134	120	9,708	-5,643	9,155
<b>Anual</b>	<b>3,734</b>	<b>5,467</b>	<b>32,103</b>	<b>946</b>	<b>79,376</b>	<b>-60,703</b>	<b>60,922</b>

Figura 21. Cálculo de las demandas energéticas

Tras arreglar algún fallo en los cálculos que tuvieron lugar tras desbloquear el documento y añadir los datos de Santa Ana, se modificaron los valores de la temperatura deseada para cada mes para poder suplir la mayor parte de la demanda.

	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura deseada (°C)	% tiempo sin manta
Enero	25.1	28	100
Febrero	26.0	28	100
Marzo	26.6	28	100
Abril	26.7	28	100
Mayo	25.8	26	100
Junio	25.4	26	100
Julio	25.2	26	100
Agosto	25.2	26	100
Septiembre	25.1	26	100
Octubre	24.7	26	100
Noviembre	24.6	26	100
Diciembre	24.7	28	100

Tabla 20. Temperatura deseada en la piscina

Como puede apreciarse en la Tabla 20, anterior, se planea que durante los meses ‘secos’ la piscina estuviese a temperaturas más altas (a 28°C) y durante los lluviosos, de menos uso por las lluvias, a 26°C para reducir la cantidad de paneles necesarios e implementar el número necesario.

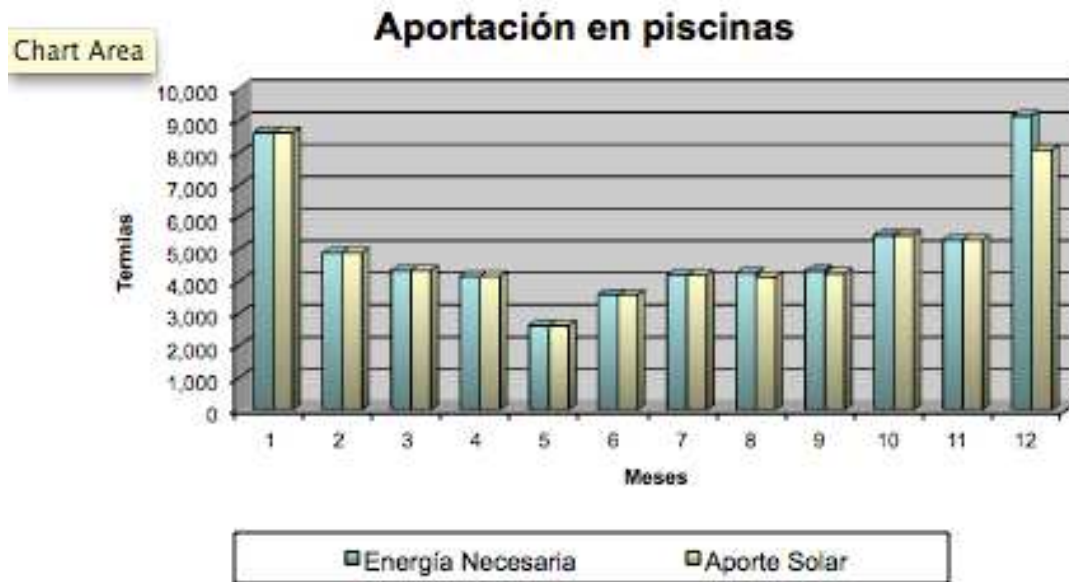


Figura 22. Aporte solar en la piscina

#### 3.3.2.4 Resultados del f-chart

El número de paneles necesarios, obtenido por el f-chart, para suplir la demanda de la vivienda es de un panel para el sistema de ACS (2.10m<sup>2</sup>) y 23 (=56.58m<sup>2</sup>) para calentar la piscina. Por lo tanto 24 paneles serán necesarios que estarán divididos en cuatro grupos de seis paneles cada uno.



### 3.3.3 Instalación

La instalación estará separada de la siguiente manera:

- Circuito primario: este es el circuito del sistema solar por el que circula el fluido caloportador. Este circuito es cerrado y el fluido recorre toda la instalación impulsado por la bomba de circulación.
- Circuito secundario de ACS: este circuito es el de consumo por el que circula el agua procedente de la red para el consumo de ACS. De este circuito sólo concierne la parte que está dentro de la instalación.
- Circuito secundario de la piscina: por este circuito circula el agua de la piscina en circuito cerrado. De éste circuito sólo importa la parte que está dentro de la instalación.

#### 3.3.3.1 Fluido de trabajo

Como fluido de trabajo en el circuito primario se utilizará Tyfocor para proteger contra la corrosión de las tuberías y absorber el calor rápidamente. Este material también es utilizado en climas más fríos ya que protege también contra heladas.

#### 3.3.3.2 Captador elegido

Tras comprobar todas las especificaciones, cualidades y adecuación al sistema se ha seleccionado el captador modelo SR 12S8, de la casa CHROMAGEN. (Ver Anexo 7.1 para especificaciones del captador e imagen del mismo)

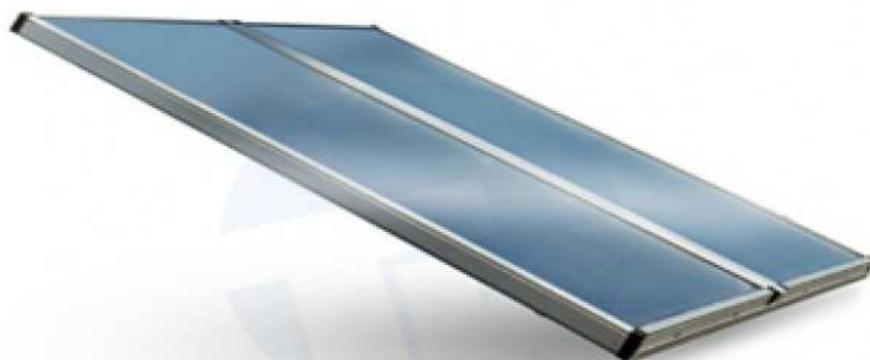


Figura 23. Captador solar

### 3.3.3.2.1 Dimensionado de la superficie de captación

Tomando como punto de partida el predimensionado realizado para el sistema de ACS, la suma de demandas de los dos sistemas y el área unitaria del captador seleccionado, se puede obtener el número de captadores a instalar y área real de la instalación.

$$A_{\text{Captación}} = N^{\circ}_{\text{captadores}} \times A_{\text{Captación}} = (24 \times 2,46\text{m}^2) = 59,04\text{m}^2$$

### 3.3.3.2.2 Calculo de sombras

Tomando en consideración que se quiere conservar la homogenización de la estructura en la que van a ser instalados los captadores. Se optó por utilizar las mismas distancias calculadas para los paneles fotovoltaicos (Vea 3.2.2.3.1 apartado de Sombras). Este cálculo de sombras va en función del largo del panel o captador. Al ser el panel fotovoltaico ser más largo, los resultados para estos ya sirven para los captadores solares.

### 3.3.3.3 Conexionado de los captadores

En el diseño del sistema de captación dividió en 3 ramales (Vea Figura 24), uno por cada fila de captadores. El retorno de estos se hace de forma invertida con el fin de conseguir un sistema hidráulico lo más equilibrado posible.

La distribución de captadores fue escogida por ser la de más fácil montaje, mantenimiento y reparación. Cada uno de los bloques de captadores ha de llevar válvulas de corte en las entradas y salidas con el fin de poder desconectarlos en caso de mantenimiento y reparación sin perder el fluido del circuito.

Todos los captadores van conectados en paralelo, ya que la temperatura que se alcanza en estas condiciones de funcionamiento es suficiente para el uso en ACS y climatización de piscina. Al utilizar esta configuración, aumentamos el salto térmico conseguido y por lo tanto, conseguimos un mayor rendimiento.

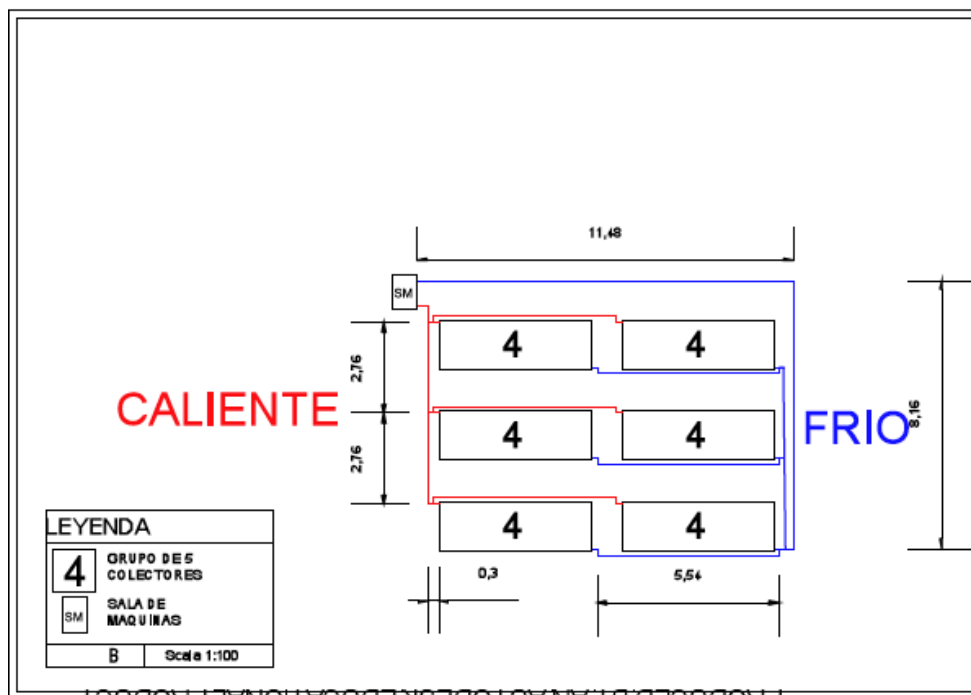


Figura 24. Esquema Retorno invertido

3.3.3.4 Cálculo tuberías

El dimensionamiento de la red de tuberías del circuito primario se realizará tanto para el retorno como para la impulsión. Se ha tenido en cuenta para los cálculos de los diámetros de las conducciones las pérdidas de carga en todos los accesorios que componen el circuito.


Para el dimensionado se utilizó una hoja de cálculo (Excel). Introduciendo los caudales de diferentes tramos del circuito, se obtuvieron los diámetros de tubería a utilizar; de 16, 20 y 26mm con un espesor de aislamiento de 30mm cada una. Añadiendo la longitud y accesorios (codos, curvas, etc.) de cada tramo se obtiene la perdida de columna de agua y esta fue 4.35 m.c.a. (Ver Figura 25)

Tramo	¿Recorrido más desfavorable?	Caudal (l/h)	DN tramo (mm)	Di tramo (mm)	velocidad (m/s)	Pdcl (mm.c.a./m)	espesor aislamiento (mm) (*)	L tramo recto (m)
AB	<input checked="" type="checkbox"/>	1200	28	26	0.63	22.8	30	84.51
BC	<input checked="" type="checkbox"/>	800	22	20	0.71	39.1	30	2.755
CD	<input checked="" type="checkbox"/>	400	18	16	0.55	33.5	30	2.905
DE	<input checked="" type="checkbox"/>	200	18	16	0.28	10.0	30	0.15
FG	<input checked="" type="checkbox"/>	200	18	16	0.28	10.0	30	6.09
GH	<input checked="" type="checkbox"/>	400	18	16	0.55	33.5	30	2.905
HI	<input checked="" type="checkbox"/>	800	22	20	0.71	39.1	30	2.755
IJ	<input checked="" type="checkbox"/>	1200	28	26	0.63	22.8	30	71.27

Singularidades						L Equiv.	L	Pdc
Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Singul. (m)	Total (m)	(mm.c.a.)
Codo de 90° 4	T tipo2 1	Curva de 45° 1	...	...	...	7.11	91.62	2093.5
...	...	...	...	...	...	0	2.755	107.7
Codo de 90° 1	...	...	...	...	...	0.5	3.405	114.2
...	...	...	...	...	...	0	0.15	1.5
Codo de 90° 3	...	...	...	...	...	1.5	7.59	75.7
Codo de 90° 1	...	...	...	...	...	0.5	3.405	114.2
...	...	...	...	...	...	0	2.755	107.7
Codo de 90° 5	Curva de 45° 1	T tipo1 1	...	...	...	4.57	75.84	1732.9

Figura 25. Excel de tuberías



Pérdidas de carga  
 Pdc= 4,35 m.c.a.

### 3.3.3.5 Características de la red de tuberías

El circuito hidráulico se realizará con tuberías de cobre, material que se ha elegido por tener unas altas prestaciones en cuanto a resistencia a corrosión, maleabilidad, ductilidad e inocuidad, además de ser económicamente ventajoso.

Se instalarán manguitos electrolíticos y latiguillos de 200 mm de longitud entre los puntos de unión de materiales distintos para evitar la corrosión. Además, los tramos horizontales tendrán siempre una pendiente mínima del 1% en sentido de la circulación para facilitar la misma. Otro aspecto fundamental son las soldaduras entre las uniones de tuberías de cobre que serán de una aleación de plata.

En el diseño del circuito hidráulico se distribuyeron los captadores y el trazado de las tuberías, con cierto grado de simetría para conseguir mayor equilibrio. En este caso no fue necesaria la instalación de válvulas de equilibrado para controlar flujos ya que el sistema ya queda equilibrado por el esquema de retorno invertido.

En el diseño de la red de tuberías se trató de limitar al máximo las pérdidas térmicas para reducir la longitud de los trazados y las pérdidas de carga evitando codos o accesorios innecesarios. (Vea Figura 24 para diagrama de flujo invertido)

### 3.3.3.6 Cálculo Intercambiadores

El sistema de intercambio es el encargado de traspasar la energía obtenida en los captadores solares al sistema de acumulación. La solución elegida para el intercambio de energía entre el circuito primario y el secundario es el siguiente: un interacumulador para ACS (sistema de intercambio y acumulación en un mismo equipo) y un intercambiador de placas para la piscina. Ambos sistemas comparten el circuito primario.

- ACS

El intercambiador elegido para el sistema de ACS será un interacumulador de la marca THERMOR modelo IAV200 con 200L de acumulación.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Código	Capacidad	Consumo de mantenimiento (kWh/24h)	Depósito			Temperatura Máx (°C)	Potencia intercambio* (kW)	Serpentín			
			Tiempo de calentamiento (min)	Caudal horario (L)	Caudal 10mm (L)			Superficie intercambio (m <sup>2</sup> )	Volumen interior intercambiador (L)	Pérdida de carga (mbar)	Presión servicio circuito solar
254002	80	1,12	9	476	121	90	19,3	0,53	3,5	135	6
264003	100	1,28	13	476	162	90	19,3	0,53	3,5	135	6
274004	150	1,68	15	631	243	90	25,6	0,66	4,3	150	6
284005	200	2,06	24	631	272	90	25,6	0,66	4,3	150	6

Figura 26. Especificaciones técnicas del intercambiador

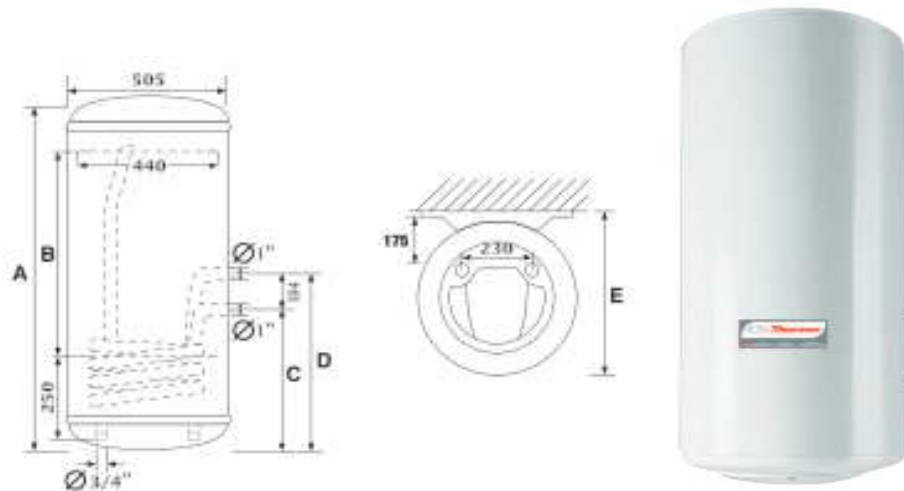


Figura 27. Esquema e Imagen Intercambiador Thermor

- **Piscina**

Para el cálculo del intercambiador se realizó un balance energético entre el fluido del primario y el del secundario:

$$P = q_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_{11} - T_{12}) = \eta \cdot q_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_{22} - T_{21}) > 500 \cdot A_{\text{apertura}}$$

Aplicando la fórmula anterior, y con la ayuda del simulador de Cipriani, estos son los valores de entrada y salida del sistema:

n° captadores	24
Área captador (m2)	2,46
Área apertura	59,04
Mínimo potencia (kW)	29,52
$\eta$	90.00%
Cp1 (kJ/kgK)	3,81
Cp2 (kJ/kgK)	4,18
Densidad q1 (kg/m3)	1020
Densidad q2 (kg/m3)	993
q1 (l/h)	2952
q1 (m3/h)	2,952
T11 - T12	10
T21-T22	10
q2min ( m3/h)	2,57
q2 real (m3/h)	2,63

Tabla 21. Parámetros del intercambiador

Con el área de apertura y la potencia mínima requerida, el intercambiador de placas de Cipriani que mejor se adapta es el modelo **S-020+015A00HNPV0II11** (Vea ficha técnica Figura 28 y Anexo 7.1.2), cuya potencia asciende a 40 kW. Dado que la capacidad de este intercambiador es mayor a la requerida, habrá margen para aumentar el caudal en el secundario si se disminuye el gradiente térmico. Por ejemplo, si el gradiente térmico requerido fuera solo de 8°C, el caudal en el secundario ascendería a 3,3 m<sup>3</sup>/h, situación que se podría dar con asiduidad.

	Potencia 40 kW	
	Agua de piscina	MEG 30%
Entrada /salida de temperatura	15 / 29 °C	60 / 50 °C
Caudal	2.460 l/h	3.710 l/h
Pérdida de carga	0,835 mCA	2 mCA
Presión de servicio (máx. admisible)	10 / 10 bar	10 / 10 bar
Temperatura máx. de servicio	60 °C	80 °C
Posición de los fluidos	Circuito 2	Circuito 1

Figura 28. Especificaciones del intercambiador de la piscina



Figura 29. Esquema retorno invertido

### 3.3.3.7 Cálculo de las bombas

Para el dimensionado de las bombas de circulación es necesario saber:

- El caudal
- Pérdida de carga en la instalación

La bomba adecuada se obtiene buscando el punto óptimo de funcionamiento del sistema en el gráfico de la curva característica dada por el fabricante. Así se podrá comprobar si el sistema funcionará correctamente o si será necesario instalar una válvula para equilibrar el grupo.

#### 3.3.3.7.1 Grupo de bombeo del circuito primario

Para el circuito primario de la instalación correspondiente al circuito solar los valores de caudal y pérdidas de carga se obtuvieron de la siguiente manera:

- Caudal:

$$Q_{max} = A_{captación} * 50 \frac{L}{h m^2} =$$

$$A_{captación} = 59,04 m^2$$

$$Q_{max} = 59,04 m^2 * 50 \frac{L}{h m^2} = 2,952 L/h$$

$$Q = 3 m^3/h$$

- Pérdida de carga:

- Intercambiador: 1,5 m.c.a.
- Captadores: 1,0 m.c.a.
- Tubería: 4,35 m.c.a.

$$\Delta H = 6.85 \text{ m.c.a.}$$

Para estos datos de caudal y pérdida de carga se ha seleccionado el grupo de bombeo de la marca EBARA, modelo Etherma-B 3-100-2. (Ver Figura 31 y 32 para imagen y características)



Figura 30. Bomba EBARA Etherma B 3 100 2

**TABLA DE CARACTERÍSTICAS**

Bomba	Conex. (mm)	L (mm)	l/min m³/h	Q=Caudal													
				0	8	16	25	33	42	50	58	66	83	100	117	133	
				H=Altura manométrica total (m)													
Eco-Etherma	1/2"-3/4"	65/110		1,5	1,1	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etherma-B 2-65-2	3/4"-1"	130/180		3,7	3,3	2,8	2,4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etherma-B 2/3-70-2	3/4"-1"-1 1/4"	130/180		5,2	4,5	4	3,3	2,7	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Etherma-B 2/3-70-2	1/2"-1"-1 1/4"	180		7	6,7	6,6	6,3	6,1	6,0	5,5	5,0	5	4,9	4,9	4,6	4,7	4,7
Etherma-B 3-100-2	1 1/4"	180		11	10,5	10,1	9,5	9	8,5	8	7,3	7	5,8	4,1	3	-	-

Figura 31. Tabla de características de la Bomba

3.3.3.7.2 Grupo de bombeo del circuito secundario (piscina):

Para el circuito secundario, correspondiente al circuito de intercambio de la piscina de la instalación, el valor de pérdida de carga se obtuvo con la suma de los siguientes componentes:

- Sistema de apoyo (calentador de GLP): 2 m.c.a.
- Intercambiador: 0,84 m.c.a.
- Depurador: 2,1 m.c.a.
- Tuberías: 1,2 m.c.a.

$$\Delta H = 5,14 \text{ m.c.a.}$$

Al ver la posibilidad de utilizar la bomba ahora existente para la piscina, se verificó la columna de agua capaz de vencer en su respectiva ficha técnica. Esta bomba es de 1,5 HP y puede lograr vencer los 16 m.c.a. dependiendo del caudal de funcionamiento. De esta manera se confirma que es capaz de vencerla y no es necesario adquirir una nueva bomba.



### 3.3.3.8 Volumen total fluido y vaso de expansión

La capacidad del depósito de expansión ha de calcularse conociendo el volumen total de líquido caloportador en la instalación (captadores solares, intercambiador, tuberías, etc.). Este ha de ser capaz de absorber el aumento de volumen de líquido que se origina cuando éste se calienta.

Para la determinación de la capacidad del vaso de expansión se debe tener en cuenta dos aspectos:

- Volumen total de la instalación.
- K: coeficiente de dilatación del fluido.

#### 3.3.3.8.1 Volumen total de Instalación:

El volumen total de líquido caloportador (**Tyfocor**) en el circuito primario será:

$$\text{Total} = V_{\text{Tuberías}} + V_{\text{Captadores}} + V_{\text{Intercambiadores}}$$

El volumen total de fluido en las tuberías es de:

$$V_{\text{Tuberías}} = 94 \text{ litros}$$

El volumen total de fluido en los captadores es de:

$$V_{\text{Captadores}} = 24 \cdot 1,7 = 40,8 \text{ litros}$$

El volumen total en los intercambiadores es de:

$$V_{\text{Intercambiadores}} = 4,3 \text{ litros}$$

Por lo que el volumen total de fluido en el circuito primario es:

$$\text{Total} = 139,1 \text{ litros}$$

#### 3.3.3.8.2 Calculo Vaso de Expansión

Para hallar el volumen del vaso de expansión del circuito primario se realizó el siguiente cálculo:

$$V = \frac{K}{100} * V_T * \frac{1}{F_p}$$

Donde para hallar el factor de presión  $F_p$ , se realizó el cálculo con la siguiente expresión:

$$F_p = \frac{P_f - P_i}{P_f}$$

-  $P_f$ : presión máxima de trabajo (6bar)

-  $P_i$ : presión absoluta de la altura manométrica (3bar)

$$F_p = 0,5$$

El coeficiente K de dilatación del fluido se obtiene de la siguiente formula:

$$K_{\text{mezcla}} = K_{\text{agua}} * 1,2 = 0,209$$

El coeficiente de dilatación del agua se ha obtenido de un gráfico (Figura 32) para una temperatura de 60°C.



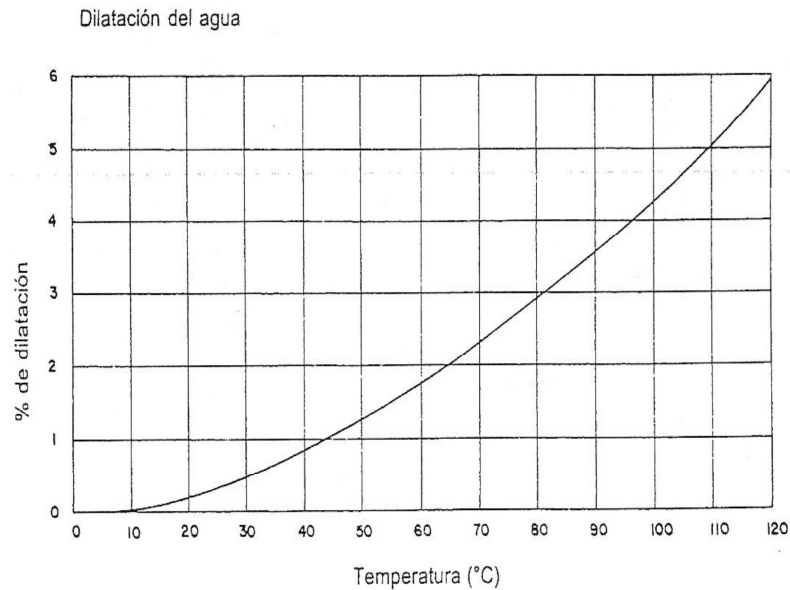


Figura 32. Gráfica de dilatación del agua

El volumen del vaso de expansión es:

$$V = \frac{2,09}{100} * 139,1 * \frac{1}{0,5} = 5,8 \approx 6L$$

El modelo seleccionado, de la compañía Ibérica del Calor, tiene una capacidad de 8L, ya que es el modelo más cercano en el mercado a un volumen de 6L necesario (Ver Figura 34).

La presión nominal de trabajo del vaso de expansión será de 6 bares, valor que no podrá ser superado.

El vaso de expansión se colocará en la parte de aspiración de la bomba. La siguiente tabla muestra las especificaciones del modelo escogido.

### 00 AGUA CALIENTE SANITARIA

MEMBRANA RECAMBIABLE

MODELO	LTRS.	BAR.	DIMENS: D.XH.	Ø	CÓDIGO	EUROS
5 AMR-B	5	10	200x245	3/4"	0690001005012	24,14
8 AMR-B	8	10	200x350	3/4"	0690001008012	26,08
11 AMR-B	11	10	270x320	3/4"	0690001011012	29,34
18 AMR-B	18	10	270x425	3/4"	0690001018012	33,29
24 AMR-B	24	8	350x390	1"	0690001025082	38,12

Figura 33. Tabla de Vaso expansión



Figura 34. Imagen de Vaso de Expansión de Ibérica del Calor

#### 3.3.3.9 Sistema de control

El diseño del sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprende los siguientes sistemas:

- Control de funcionamiento del circuito primario y secundario
- Protección y seguridad de las instalaciones contra sobrecalentamientos

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos. Como puede verse en el Anexo 7.4, el sistema de control se aplicará en :

- Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores, de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación
- La piscina para controlar la temperatura y modificarla según la estación (seca o lluviosa).
- En la parte inferior y superior del Interacumulador para controlar el gradiente térmico y la temperatura de entrada y salida del agua. Además de las sondas aplicadas, en el circuito primario se encuentra una válvula de tres vías, que dirige el caudal hacia el circuito secundario de la piscina o del ACS.

### 3.3.4 Protección

#### 3.3.4.1 Fluido

Como ya fue indicado, se utilizará Tyfocol como fluido de trabajo lo cual fue escogido ya que es el indicado debido a las características climatológicas del lugar y tener siempre un pH entre 5-9 a 20°C. El diseño de los circuitos evitará cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación. En particular, se prestará especial atención a una eventual contaminación del agua potable por el fluido del circuito primario.

#### 3.3.4.2 Sobrecalentamientos

El sistema estará diseñado de tal forma que cuando haya altas radiaciones solares prologadas sin consumo de agua caliente, no se produzcan sobrecalentamientos y que se acumule el líquido sobrante o se desvíe el calor sin causar problemas en el sistema.

Se plantea la idea de un sistema de drenaje como protección ante sobrecalentamientos y por lo tanto, los habitantes de la vivienda no se vean en peligro ante cualquier problema causado por el bajo uso del sistema de agua caliente.

#### 3.3.4.3 Protección contra quemaduras

Ya que la instalación consta de un sistema de ACS sistemas de agua caliente sanitaria, donde la temperatura de agua caliente en los puntos de consumo puede exceder de 60 °C se instalará un sistema automático que limite esa temperatura como máxima temperatura del fluido, aunque que sea capaz de soportar las temperaturas máximas de temperatura solar de extracción.

#### 3.3.4.4 Protección de materiales y componentes contra altas temperaturas

El sistema estará diseñado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

#### 3.3.4.5 Resistencia a presión

Tratándose de un sistema con conexión a la red, se tendrá en cuenta la máxima presión de la misma para verificar que todos los componentes del circuito de consumo soportan dicha presión.

#### 3.3.4.6 Prevención de flujo inverso

La instalación asegurará que no se produzcan pérdidas energéticas importantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.

Debido a que se trata de un sistema con circulación forzada se utilizará una válvula anti-retorno para evitar flujos inversos.

#### 3.3.4.7 Prevención de la legionelosis

La instalación permitirá que el agua alcance una temperatura de 70°C. El sistema será capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60°C y hasta 70°C con objeto de prevenir la legionelosis. En consecuencia, no se utilizarán piezas de acero galvanizado (IDAE, 2009).

## 4 Análisis Financiero

El análisis financiero se ha hecho diferenciando los ahorros generados por las instalaciones fotovoltaica y térmica. De la misma manera, se diferencia entre el capital destinado a cada instalación. Al final del estudio, se han juntado las inversiones y ahorros para hacer un análisis global del proyecto.

Las condiciones financieras que se han tenido en cuenta para dichos análisis son las siguientes:

Dato	Valor
Inflación	3,5 %
Tipo interés banco	10%
Porcentaje financiación ajena	70%
Tipo interés Equity	6%
WACC	9%

Tabla 22. Datos financieros

Para calcular el ahorro se deben tener en cuenta los gastos actuales de la residencia en términos de electricidad y gas:

Gasto anual electricidad (año base)	4277 €
Gasto anual gas (año base)	2280 €

Tabla 23. Gastos anuales electricidad y gas

### 4.1 Análisis financiero Instalación fotovoltaica + Térmica ACS

Este punto analiza la instalación eléctrica junto con la parte de solar térmica destinada a cubrir el ACS. Se realizó una combinación de ambos sistemas para tratar todo el consumo eléctrico actual de la residencia como una única suma a la que calcularle el ahorro.

La Tabla 25 muestra el desglose de los precios de la instalación fotovoltaica en Euros.

	Cantidad	Precio	Total
Módulos	56	€ 192	€ 11.412
Inversores	1	€ 6.800	€ 6.800
Cables y Caja de paralelos	1	€ 8.530	€ 8.530
Aparatos Protección	1	€ 325	€ 325
Medidor Bidireccional	1	€ 706	€ 706
Mano de Obra	1	€ 830	€ 830
Conexión a red	1	€ 154	€ 154
Verificación trabajo	1	€ 85	€85
Estructura paneles	1	€7462	€7462
<b>Total</b>			<b>€ 36.305</b>

Tabla 24. Costes de la instalación fotovoltaica

Para obtener esta relación de precios se contactó con la compañía instaladora local Poderco, que gestiona también la importación de los componentes que no se fabrican en el país.

Se estima que el coste de la instalación solar térmica destinada a ACS es un 10% del total. Esto implica un coste de  $0,1 \times 20.241 = 2024$  €. Más adelante se detallará la estructura de costes de la instalación solar térmica. Con estos datos la inversión total en fotovoltaica + térmica ACS es de **38.330€**.

Para hacer en análisis de rentabilidad hay que tener en cuenta el gasto en el año base de electricidad si no se hiciera el proyecto (Gasto actual), el gasto eléctrico ya con la instalación (Gasto BN) y los gastos de mantenimiento (Gato mantenimiento). Con estos datos se calcula el ahorro de la siguiente forma:

$$\text{Ahorro anual} = \text{Gasto actual} - (\text{Gasto BN} + \text{Gasto mantenimiento})$$

Para el año 1 de análisis, el cálculo es el siguiente:

$$\text{Ahorro anual} = 4277 - (314 + 200) = 3763 \text{ €}$$

Fijada ya la inversión y el ahorro que se irá actualizando con la inflación, el resultado de esta inversión a 25 años se resume en las siguientes figuras:

TIR	13%
VAN	14.806€
Payback	9 años

Figura 35. TIR, VAN y Payback instalación para cubrir electricidad

## 4.2 Análisis financiero Térmica Piscina

En este punto se analiza el caso de la inversión en solar térmica para el acondicionamiento de la piscina en las condiciones citadas anteriormente.

La estructura del total de costes es la siguiente (incluye el 10% que se destina a ACS y que por tanto no afecta al análisis de la piscina):

Bomba primario	€ 917
Intercambiador piscina	€ 800
Válvula Motorizada	€ 250
Sistema de Control	€ 150
Colectores solares (24 unidades)	€ 8.710
Tuberías (primario y secundario) + aislamiento	€ 2.500
Conjunto de válvulas	€ 750
Vaso expansión	€ 100
Acumulador con serpentín	€ 800
Líquido primario ( Tyfocor)	€ 789
Mano de obra	€ 4.475
<b>TOTAL</b>	<b>€ 20.241</b>

Tabla 25. Costes de la piscina

En este caso, se ha contactado con el proveedor específico de cada componente de la instalación. En el anexo se encuentran las fichas técnicas de los elementos con sus respectivas marcas. Como se ha comentado anteriormente, en este análisis solo se tiene en cuenta el 90% de la inversión total ya que el restante se tuvo en cuenta para el ACS. El total es 18.216 €

Para hacer un análisis de rentabilidad hay que tener en cuenta también el gasto en el año base de gas si no se hiciera el proyecto (Gasto actual) y los gastos de mantenimiento (Gasto mantenimiento). Con estos datos se calcula el ahorro de la siguiente forma:

$$\text{Ahorro anual} = \text{Gasto actual} - \text{Gasto mantenimiento}$$

Para el año 1 de análisis el cálculo es el siguiente:

$$\text{Ahorro anual} = 2280 - 100 = 2180 \text{ €}$$

Fijada ya la inversión y el ahorro que se irá actualizando con la inflación, el resultado de esta inversión a 25 años se resume en las siguientes figuras:

TIR	15%
VAN	11.112€
Payback	8 años

Figura 36. TIR, VAN y Payback para cubrir piscina

### 4.3 Análisis Financiero Global

En el análisis financiero global de la instalación se tendrán en cuenta las inversiones y ahorros anteriores así como las condiciones financieras descritas anteriormente. Además, como parte del capital invertido ha sido financiado por el banco a un tipo de interés, se ha optado por un modelo de amortización alemán para pagar el crédito a 15 años, a pesar de que la inversión es a 25 años (vida útil de la tecnología).

Dados los datos de apalancamiento, la inversión se divide de la siguiente forma: Parte inversión 'equity' de €16.964 y parte de inversión financiada por el banco de €39.582, sumando un total de €56.546. Las hojas de cálculo tanto del análisis financiero como del modelo de amortización del crédito se encuentran en el anexo. Cabe destacar que dado el modelo de amortización y la suma de ahorros generados por las instalaciones, el primer flujo de caja positivo aparece al final del año 3.

Los resultados de la inversión son los siguientes:

TIR	15%
VAN	23.456€
Payback	10 años

Tabla 26. Resultados inversión

La alta rentabilidad generada por la inversión indica que, a pesar de ser un proyecto intensivo en capital, la viabilidad económica queda garantizada.

## 5 Conclusiones

En primer lugar comentar que una inversión en estos tipos de tecnología en un país como Costa Rica presenta mayor tipo de dificultades en términos de suministro y fijación de precios de los elementos que constituyen la instalación. Es evidente que tanto la energía solar térmica a baja temperatura como la fotovoltaica no son tecnologías maduras en Costa Rica. Consecuentemente existe la necesidad de importación de ciertos elementos, lo que implica una subida del precio. Sin embargo, hay que destacar la clara voluntad del gobierno Costarricense en fomentar este tipo de tecnologías. La directiva de Balance Neto aprobada, claramente favorable para el consumidor, es un síntoma evidente de las buenas intenciones del gobierno en este sentido.

En cuanto al recurso solar del país, éste presenta una importante variabilidad según la zona. En términos medios, no presenta una gran radiación. En concreto Santa Ana, con un valor de 5,4 kWh/m<sup>2</sup> diario, no puede presumir de un recurso abundante teniendo en cuenta la latitud a la que se encuentra. Sin embargo, sí que es positivo el hecho de tener un número de horas de luz poco variable a lo largo del año y, más importante, un consumo energético por parte de la vivienda bastante constante. Estos dos puntos facilitan el cálculo y dimensionamiento de las instalaciones y permiten ajustar mejor las curvas de generación y consumo.

En cuanto a la viabilidad técnica del proyecto, a priori no se ha detectado ningún impedimento para el desarrollo de la instalación. La capacidad de suministro de electricidad y agua caliente queda garantizada. Asimismo, se obtienen beneficios adicionales: mayor aprovechamiento de la piscina, habilitación de un espacio cubierto para uso diverso y menor dependencia de la energía de la red.

Por último, tras realizar el análisis financiero al detalle, se puede concluir que el proyecto es claramente viable económicamente como indica la alta tasa de rentabilidad. No hay duda que se trata de un proyecto intensivo en capital, ya que es un proyecto pionero en el país. Por este motivo hay que hacer frente a unos altos costes de la tecnología. Posiblemente, si el gobierno sigue con el compromiso firme de promover las energías renovables, los precios de ambas tecnologías solares se verán reducidos en los siguientes años, haciendo las inversiones más atractivas y generando una industria del sector en el país. Además, las buenas perspectivas de crecimiento del país en el futuro, favorecerán al desarrollo de más instalaciones de generación.



## 6 Trabajos Citados

Antonio, M. (2013). *Casa Peces in Santa Ana*. Retrieved 15 de June de 2013 from [http://www.manuelantonioecostarica.com/cr/vr\\_casapeces.html](http://www.manuelantonioecostarica.com/cr/vr_casapeces.html)

APPA. (2013). *Energía solar fotovoltaica*. Retrieved 3 de Julio de 2013 from [http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que\\_es.php](http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php)

Canal Viajes. (2013). *Nuestro País, Costa Rica*. Retrieved 15 de June de 2013 from [http://cardinalviajes.com/?page\\_id=512](http://cardinalviajes.com/?page_id=512)

Censolar . (2013). Retrieved 3 de Julio de 2013 from <http://www.censolar.es/menu2.htm>

EIE. (18 de June de 2013). *Energía solar: Una opción eficiente y limpia para el desarrollo*. Retrieved 18 de June de 2013 from <http://www2.eie.ucr.ac.cr/~jromero/sitio-TCU-oficial/boletines/grupo01/numero-8/Boletin-8.htm>

FAO. (15 de June de 2013). *La Fao en Costa Rica*. Retrieved 15 de June de 2013 from <http://coin.fao.org/cms/world/costarica/LaFAOEnCostaRica.html>

HOMER ENERGY. (2013). *Software*. Retrieved 3 de Julio de 2013 from <http://homerenergy.com/software.html>

ICE. (8 de Mayo de 2013). *Guía calculo del consumo*. Retrieved 19 de Junio de 2013 from [http://www.grupoice.com/wps/portal/gice/elect\\_hub/Ahorro%20de%20Electricidad/Residencial/Ca%20lculo%20el%20consumo%20de%20electricidad!/ut/p/c5/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os\\_gQL0N\\_D2cLEwN\\_Vy8XA08zY09TUzNTAyMDE6B8JE754DADCnQ7-5uSpNsgwNIVKO\\_qaxlk5mpgAJQnQrcBDuBlyOV-Hvm5qfoFuaGhoRHligB1x3BK/dl3/d3/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/#.Ucbtrz4pa2U](http://www.grupoice.com/wps/portal/gice/elect_hub/Ahorro%20de%20Electricidad/Residencial/Ca%20lculo%20el%20consumo%20de%20electricidad!/ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_gQL0N_D2cLEwN_Vy8XA08zY09TUzNTAyMDE6B8JE754DADCnQ7-5uSpNsgwNIVKO_qaxlk5mpgAJQnQrcBDuBlyOV-Hvm5qfoFuaGhoRHligB1x3BK/dl3/d3/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/#.Ucbtrz4pa2U)

IDAE. (Enero de 2009). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*. Retrieved 6 de Julio de 2013 from [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_5654\\_ST\\_Pliego\\_de\\_Condiciones\\_Tecnicas\\_Baja\\_Temperatura\\_09\\_082ee24a.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf)

Kiger, P. J. (2013). *Energía solar*. Retrieved 18 de June de 2013 from National Geographic: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/energia-solar-definicion>

NASA. (2013). *SWERA*. Retrieved 27 de Junio de 2013 from [http://maps.nrel.gov/swera?visible=swera\\_dni\\_nasa\\_lo\\_res&opacity=50&extent=-85.95,8.03,-82.56,11.21](http://maps.nrel.gov/swera?visible=swera_dni_nasa_lo_res&opacity=50&extent=-85.95,8.03,-82.56,11.21)

## 7 ANEXO

### 7.1 Térmica

#### 7.1.1 Captador

# CR 12S8

### Dimensiones y Pesos

Largo Total	2.185 mm	Peso en vacío	42,6 Kg
Ancho Total	1.260 mm	Capacidad del fluido	17 l
Fondo	90 mm	Fluido calo portador	agua ó agua glicolada
Área Total	2,75 m <sup>2</sup>	Tª de estancamiento	196 °C
Área de Apertura	2,58 m <sup>2</sup>	Flexión máxima del captador	1.000 Pa
Área del Absorbedor	2,46 m <sup>2</sup>		

### Presiones de prueba y caudal recomendado

Presión de tmbre	14 bar
Presión máxima de trabajo	12 bar
Caudal recomendado	45 l/h·m <sup>2</sup>
Carga de presión (m.c.a.)	$10,32 \cdot q_i^2 + 0,47 \cdot q_i$ (Kg/s)

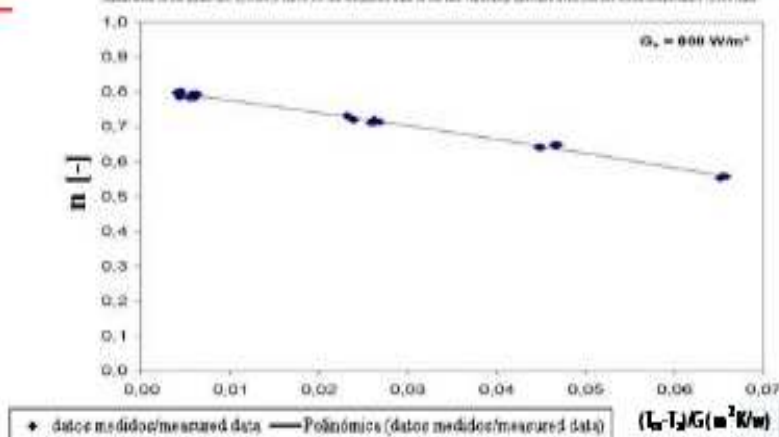
### Curva de rendimiento térmico y certificaciones

$$\eta_0 = 80,8 \%$$

$$k_1 = 3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$k_2 = 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

Ajuste de la curva de eficiencia mediante parámetros medidos en el campo respecto al área de apertura y la temperatura media del fluido  
Adjustment of the efficiency curve for the measured data in the field, regarding aperture area and the mean temperature of the fluid



## 7.1.2 Interacumulador

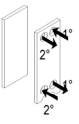
**CIPRIANI SCAMBIATORI ESPAÑA, S.L.**  
 Avda. Prat de la Riba, 184  
 Pol. Industrial El Pla, nave 6  
 08780 Pallejà BARCELONA  
 Teléfono : + (34) 93 4323859  
 Fax : + (34) 93 4218269  
 e-mail : dptotecnico@cipriani.es



**Referencias asunto :**

Fecha :  
 Página : 1 / 3

**Ciente :** SU DISTRIBUIDOR:  
**Contacto :**  
**Su referencia :**

<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS Y JUNTAS S-020+015A00HNPV0II11</b>		
<b>Potencia 40 kW</b>		
	<b>Agua de piscina</b>	<b>MEG 30%</b>
Entrada /salida de temperatura	15 / 29 °C	60 / 50 °C
Caudal	2.460 l/h	3.710 l/h
Pérdida de carga	0,835 mCA	2 mCA
Presión de servicio (máx. admisible)	10 / 10 bar	10 / 10 bar
Temperatura máx. de servicio	60 °C	80 °C
Posición de los fluidos	Circuito 2	Circuito 1
		
	Dimensiones: véase plano en anexo	
	Cota de apriete (d)	45.5 mm
	Peso vacío	20 kg
	Volumen de cada circuito	0.7 l
	Placas	Inoxidable 316L ( 0.5 )
	Juntas	NBR
	Conexiones	Véase tabla de detalles del precio
Construcción conforme con nuestros estándares PED 97/23/CE : Artículo 3.3		Control en fábrica

El volumen considerado para la clasificación DEP 97/23/CE es el volumen instalado.

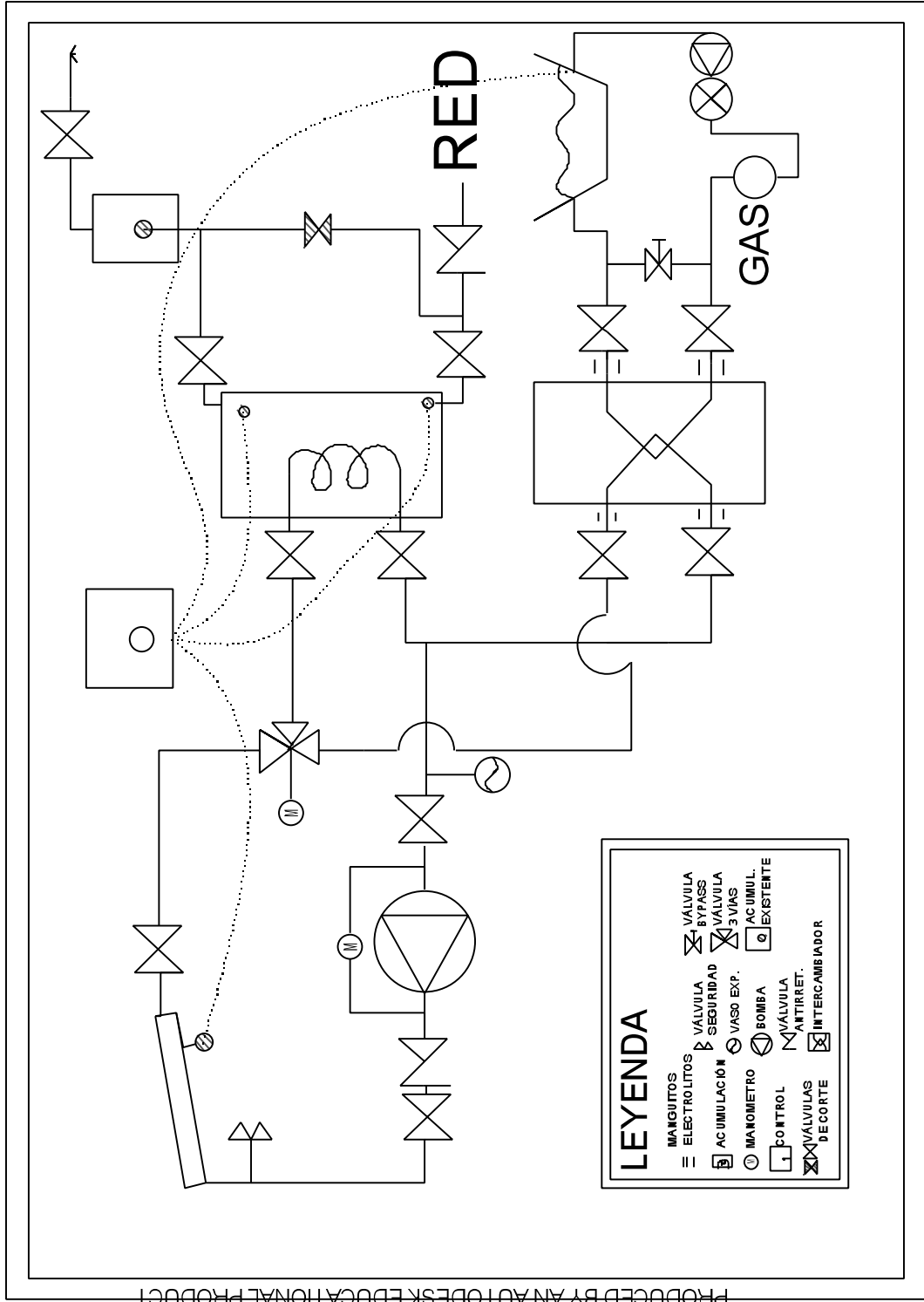
Designación	Cantidad	P.V.P. IVA no incluido
<b>S-020+015A00HNPV0II11</b>	<b>1</b>	<b>499,00 €</b>
- Conexión por casquillos DN32 inox 32 (tipo I-I)	1	
<b>Opcionales con suplemento :</b>		
Pies soporte pared	1	72,00 €
Pies soporte suelo	1	65,00 €
Aislamiento termo acústico	1	253,00 €

*Este cálculo ha sido realizado en base a datos de proyecto estándar. Para garantizar el rendimiento mostrado es esencial respetar TODOS los datos del mismo. Variaciones en los mismos en fase de instalación, harán variar el resultado final obtenido.*

### 7.1.3 Esquema Térmica A Baja Temperatura

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

## 7.2 Financiero

Categoría	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Inversión total</b>	-16964	-6597	-6333	-6069	-5805	-5542	-5278	-5014	-4750	-4486	-4222	-3958	-3694
<b>Fotovoltaica + térmica ACS</b>													
<b>Inversión</b>	-38330												
Gasto mantenimiento		200	207	214	222	230	238	246	254	263	273	282	292
Gasto actual		4277	4427	4582	4742	4908	5080	5257	5441	5632	5829	6033	6244
Gasto BN		314	325	336	348	360	373	386	399	413	428	443	458
<b>Ahorro</b>	-38330	3763	4102	4245	4394	4548	4707	4872	5042	5219	5401	5590	5786
cash <u>flow acum.</u>	-38330	-34567	-30465	-26220	-21826	-17278	-12571	-7699	-2657	2562	7963	13554	19340
<b>Solar Térmica PISCINA</b>													
<b>Inversión</b>	-18217												
Gasto <u>actual</u>		2280	2360	2442	2528	2616	2708	2803	2901	3002	3107	3216	3329
Gasto mantenimiento		100	104	107	111	115	119	123	127	132	136	141	146
<b>Ahorro</b>	-18217	2180	2256	2335	2417	2502	2589	2680	2774	2871	2971	3075	3183
cash <u>flow acum.</u>	-16037	-13781	-11445	-9028	-6527	-3938	-1258	1516	4386	7358	10433	13615	
<b>Inversión Total</b>													
<b>Cash flow</b>	-16964	-654	25	511	1006	1508	2018	2538	3066	3603	4150	4707	5274
cash <u>flow acum.</u>	-17618	-17593	-17082	-16076	-14569	-12550	-10012	-6947	-3343	807	5514	10789	

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	-3431	-3167	-2903	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	302	313	324	335	347	359	371	385	398	412	426	441	457
	6463	6689	6923	7165	7416	7676	7944	8222	8510	8808	9116	9435	9766
	474	491	508	526	544	563	583	603	624	646	669	692	716
	5989	6198	6415	6640	6872	7113	7362	7619	7886	8162	8447	8743	9049
	25328	31526	37942	44581	51453	58566	65927	73547	81432	89594	98042	106785	115834
	3445	3566	3691	3820	3953	4092	4235	4383	4537	4696	4860	5030	5206
	151	156	162	168	173	179	186	192	199	206	213	221	228
	3294	3409	3529	3652	3780	3912	4049	4191	4338	4490	4647	4809	4978
	16910	20319	23848	27500	31280	35192	39242	43433	47771	52260	56907	61716	66694
	5852	6441	7041	10292	10652	11025	11411	11810	12224	12651	13094	13552	14027
	16641	23082	30123	40415	51067	62092	73503	85313	97537	110188	123282	136835	150861

Inflación	3,50%
Tipo interes banco	10,00%
Porcentaje financiación banco	70,00%
Interes equity	6,00%
WACC	9%

Parámetros	
TIR fotovoltaica	13%
VAN pv	14806
TIR solar	15%
VAN solar	11112,87
TIR total	15%
VAN (15)	1.914,35 €
VAN (25)	23.456,75 €
Payback	10

**7.2.1 Valor económico de la factura actual:**

Fecha	Coste		KWh	kWh con ACS parcial	coste KW	
15/07/11	₡ 379.065	\$759	579,61 €	3.707	3.159	102,2565
16/08/11		\$0	0,00 €		(548)	
16/09/11	₡ 329.160	\$659	503,30 €	3.136	2.588	104,9617
18/10/11	₡ 276.290	\$553	422,46 €	2.774	2.226	99,59986
16/11/11	₡ 288.650	\$578	441,36 €	2.894	2.346	99,74084
15/12/11	₡ 202.050	\$405	308,94 €	2.053	1.505	98,41695
16/01/12	₡ 208.150	\$417	318,27 €	2.085	1.537	99,83213
15/02/12	₡ 199.350	\$399	304,82 €	2.000	1.452	99,675
19/03/12	₡ 255.770	\$512	391,09 €	2.645	2.097	96,69943
19/04/12	₡ 234.670	\$470	358,82 €	2.343	1.795	100,1579
18/05/12	₡ 211.645	\$424	323,62 €	2.199	1.651	96,24602
18/06/12	₡ 250.195	\$501	382,56 €	2.578	2.030	97,05004
17/07/12	₡ 223.520	\$448	341,77 €	2.308	1.760	96,84575
20/08/12	₡ 321.425	\$644	491,48 €	3.300	2.752	97,40152
18/09/12	₡ 235.085	\$471	359,46 €	2.426	1.878	96,90231
17/10/12	₡ 229.600	\$460	351,07 €	2.472	1.924	92,88026
16/11/12	₡ 252.320	\$505	385,81 €	2.547	1.999	99,06557
17/12/12	₡ 160.935	\$322	246,08 €	1.599	1.051	100,6473
17/01/13	₡ 187.890	\$376	287,29 €	1.840	1.292	102,1141
18/02/13	₡ 234.050	\$469	357,87 €	2.029	1.481	115,3524

**7.2.2 Consumo horario actual:**

Hora	Consumo en kWh
0-1	1,0
1-2	1,0
2-3	0,5
3-4	0,5
4-5	0,5
5-6	1,0
6-7	3,0
7-8	6,0
8-9	7,0
9-10	5,0
10-11	4,0
11-12	5,0
12-13	3,0
13-14	3,0
14-15	3,0
15-16	4,0
16-17	4,0
17-18	7,0
18-19	7,5
19-20	5,0
20-21	3,0
21-22	2,0
22-23	1,5
23-24	1,5



### 7.2.3 Consumo horario con aporte únicamente de 15% de ACS:

Hora	Consumo en kWh
0-1	1
1-2	0,5
2-3	0,5
3-4	0,5
4-5	0,5
5-6	0,5
6-7	2
7-8	6
8-9	6
9-10	5
10-11	3
11-12	4
12-13	2
13-14	3
14-15	2
15-16	3
16-17	3
17-18	5
18-19	6
19-20	5
20-21	3
21-22	1
22-23	0,5
23-24	1



## 7.3 Fotovoltaica

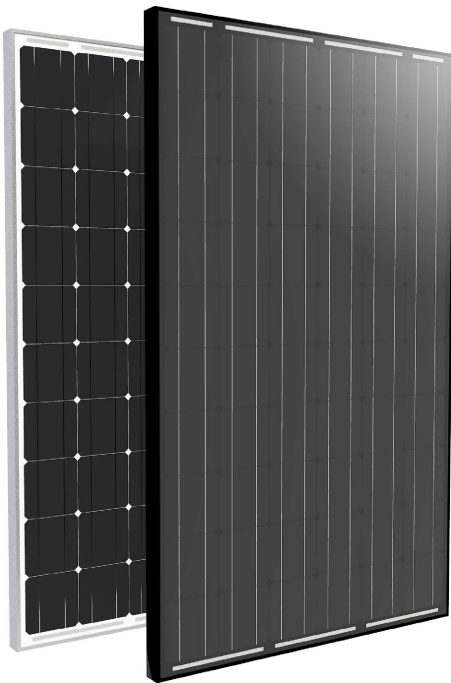
### 7.3.1 Perlight panel PV



**PERLIGHT SOLAR**  
*Powering Possibilities*

#### PLM M-60 Series

High-efficiency photovoltaic modules  
with monocrystalline solar cells



**High-efficiency monocrystalline solar cells.** Produces high maximum power output even under low light conditions

**Advanced low iron tempered glass.** Anti-reflection coatings and high transmission rate increase power output of the module

**High quality EVA and TPT** for enhanced durability and weatherproofing

**25 year limited warranty:** 10 years materials & workmanship; 12 years 90% max power; and 25 years 80% max power

**IP 65 rated junction box** with MC 4 connectors

**IEC 61215 qualified** for extended 2400 Pa wind loads, 5400 Pa snow loads as well as hailstone impacts

**Tight power tolerance** modules with +/- 3%

**High strength aluminum frame.** Withstands heavy loads and allows for easy installation

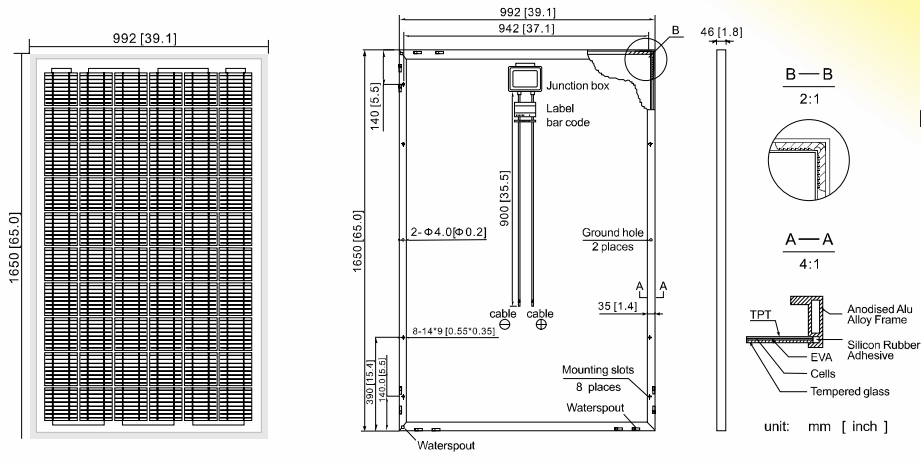
**Certifications** include ISO 9001 & 14001, UL 1703, CEC for California, FSEC for Florida, TUV, CE, VDE, MCS and IEC 61215 & IEC 61730



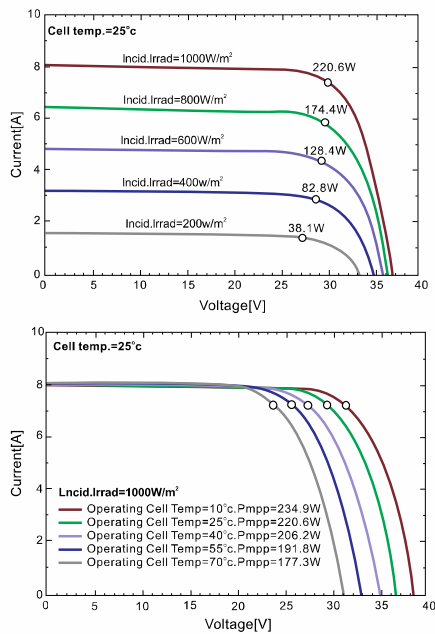
Available with black frames & black backsheeting (shown) as well as silver frames & white backsheeting

**Super Sleek and Efficient**

Module Diagram



IV Curves



Mechanical Characteristics

Cell Size (in)	6 x 6
Module Size (in)	65.0 x 39.1 x 1.8
# of cells	60 (6x10)
Weight	46 lbs : 21 kg
# of mounting holes	8
# of waterspouts	16

Temperature Coefficients

NOCT	47 ± 2°C
Isc	+0.03%/°C
Voc	-0.31%/°C
Pm	-0.459%/°C
Power Tolerance	+/- 3%

Electrical Characteristics

Model	PLM-245M-60	PLM-250M-60	PLM-255M-60	PLM-260M-60
Pm	245	250	255	260
Vmp	31.0	31.1	31.2	31.3
Imp	7.90	8.03	8.17	8.31
Voc	37.0	37.1	37.2	37.3
Isc	8.82	8.97	9.05	9.15
Max sys voltage	1000V	1000V	1000V	1000V
Module Efficiency	15.0%	15.3%	15.6%	15.9%
PTC Rating	217.5	222.1	226.7	

\*outputs given at STC 1,000 W/m²  
25°C AM 1.5

PERLIGHT SOLAR

400 Continental Blvd, 6th Fl  
El Segundo CA 90245  
(424) 242 8068

info@PerlightUSA.com  
www.PerlightUSA.com

This publication summarizes product warranty and specifications, which are subject to change without notice. Additional information is found on our website.

### 7.3.2 Inversor

CENTRAL INVERTERS

**PVI 10KW**  
**PVI 13KW**  
**PVI 15KW**

**FEATURES**

- Smallest true 3-Phase Inverter
- Industrial grade
- Transformer Isolated
- 208 VAC, 240 VAC, 480 VAC or 600 VAC
- Modbus communications
- User-interactive LCD display
- Ground or wall mount configurations

**OPTIONS**

- Integrated DC fused string combiner
- Forward facing disconnects
- Web-based monitoring



#### CENTRAL INVERTERS

Popular among schools and small business customers, Solectria Renewables' PVI 10KW, PVI 13KW, and PVI 15KW inverters are the smallest true three-phase PV Inverter series in the industry. This series of central inverters is available in 208 VAC, 240 VAC, 480 VAC, and 600 VAC versions and comes standard with integrated AC and DC disconnects, LCD display, and monitoring gateway. Options include an integrated 8 position fused string combiner, forward facing disconnects, and web-based monitoring.



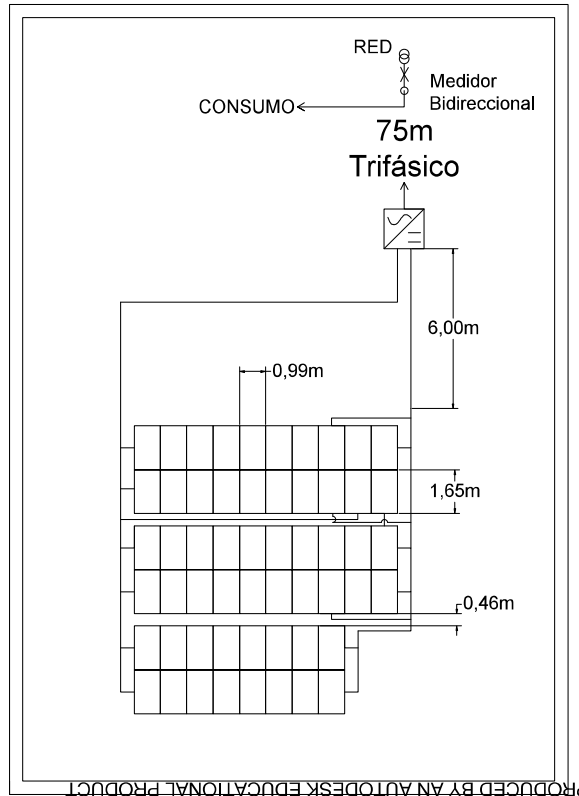
 Built for the real world

SPECIFICATIONS		PVI 10KW	PVI 13KW	PVI 15KW
<b>DC Input</b>				
Absolute Maximum Open Circuit Voltage			475 VDC	
Operating Voltage Range			205-430 VDC	
MPPT Input Voltage Range			205-385 VDC	
Maximum Operating Input Current		52 A	69 A	77 A
<b>AC Output</b>				
Nominal Output Voltage		208, 240, 480 or 600 VAC, 3-Ph		
AC Voltage Range (Standard)		-12%/+10%		
Continuous Output Power	208/240/480/600 VAC	10 kW	13.2 kW	15 kW
	208 VAC	28 A	37 A	42 A
	240 VAC	24 A	32 A	36 A
	480 VAC	12 A	16 A	18 A
Continuous Output Current	600 VAC	9.6 A	12.7 A	14.4 A
Maximum Backfeed Current		0 A		
Nominal Output Frequency		60 Hz		
Output Frequency Range		59.3-60.5 Hz		
Power Factor		Unity, >0.99		
Total Harmonic Distortion (THD)		<5%		
<b>Efficiency</b>				
Peak Efficiency		96.4%	96.9%	96.6%
CEC Efficiency	208 VAC		96.0%	
	480 VAC		96.0%	
Tare Loss	208 VAC		2.6 W	
	240 VAC		2.6 W	
	480 VAC		11 W	
	600 VAC		11 W	
<b>Integrated String Combiner Options</b>				
8 Fused Positions		6 A, 8 A, 10 A, 12 A, 15 A or 20 A		
<b>Temperature</b>				
Ambient Temperature Range (full power)		-40°F to +122°F (-40°C to +50°C)		
Storage Temperature Range		-40°F to +158°F (-40°C to +70°C)		
Relative Humidity (non-condensing)		5-95%		
<b>Data Monitoring</b>				
Optional SolrenView Web-based Monitoring		SolrenView		
Optional Revenue Grade Monitoring (integrated)		External		
External Communication Interface		RS485 Modbus RTU		
<b>Testing &amp; Certifications</b>				
Safety Listings & Certifications		UL 1741/IEEE 1547, IEEE 1547.1, CSA C22.2#107.1, FCC part 15 B		
Testing Agency		ETL		
<b>Warranty</b>				
Standard		5 year		
Optional		10, 15, 20 year; extended service agreement		
<b>Enclosure</b>				
Transformer		Standard, fully-integrated (internal)		
AC/DC Disconnects		Standard, fully-integrated		
Dimensions (H x W x D)		27.5 in. x 36.5 in. x 12.8 in. (698 mm x 927 mm x 325 mm)		
Dimensions with forward facing disconnects (H x W x D)		27.5 in. x 46.5 in. x 13.2 in. (698 mm x 1181 mm x 325 mm)		
Weight		357 lbs (162 kg)	357 lbs (162 kg)	357 lbs (162 kg)
Enclosure Rating		NEMA 3R		

### 7.3.3 Esquema unifilar

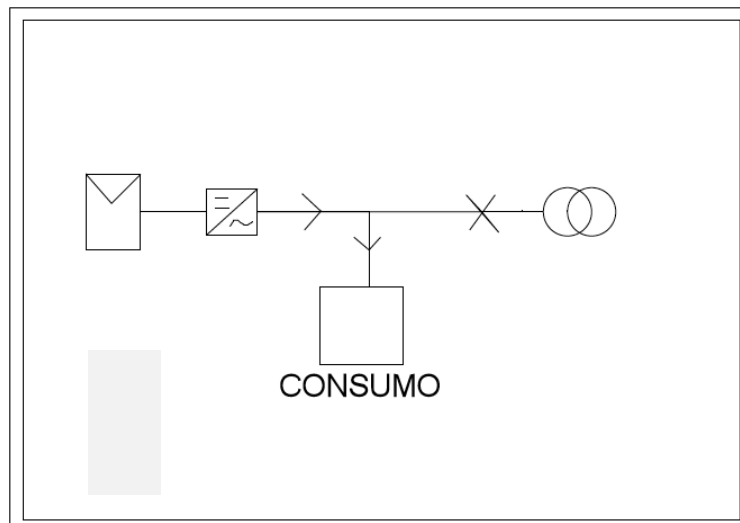
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

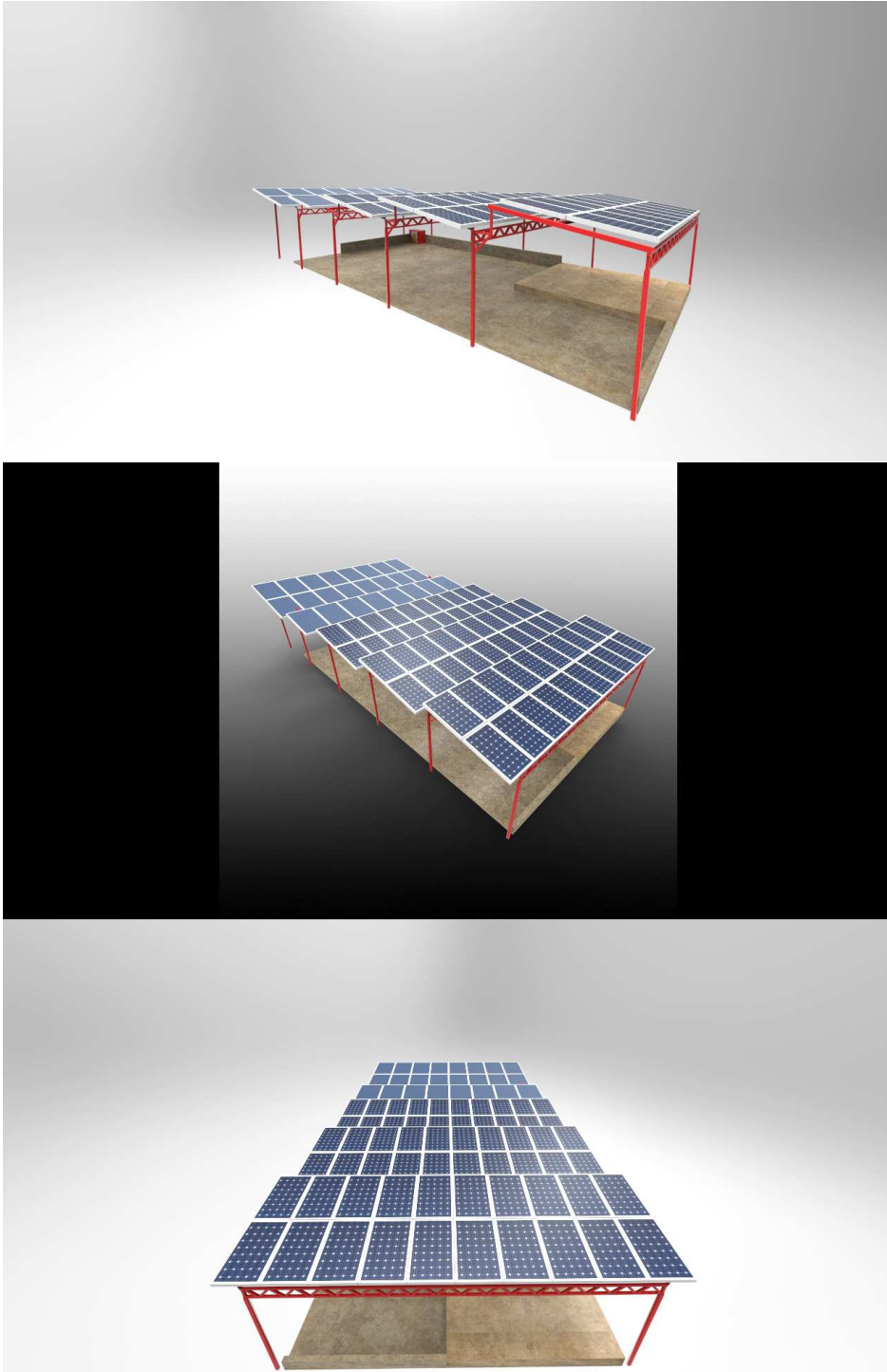


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

### 7.3.4 Esquema 2 fotovoltaica



### 7.3.5 Más imágenes de la instalación



### 7.3.6 Cálculos

1 Angulo Latitud Norte

10 **10** de inclinacion, orientado al Sur

Temperatura de operacion de celula	grados	<b>19,75</b>	
	Ta	13	
	G	200	
	TONC	47	
Seccion del cable Panel a inversor	mm2	<b>3,23</b>	5,27 comercial
	Distancia conexion a red	6	corriente continua
	Amperaje a la salida del modulo	56,21	
	Voltaje	248,8	
	Caida maxima de tension	1,5%	
Seccion del cable inversor a poste en trifasico	mm	<b>20,62</b>	21,2 comercial
	Distancia conexion a red	75	corriente Alterna
	Amperaje a la salida del inversor	32	
	Voltaje	240	
	Caida maxima de tension	3,6	
Voc	V	<b>37,70</b>	
	V*oc	37,1	
	dVoc/dTc	-0,31	
	dTc	-5,25	
		-0,11501	
Ns max	Nsmax	<b>12,5982</b>	
	Vmax	475	
	Voc	37,70	
Temperatura de operacion de celula	grados	<b>58,75</b>	
	Ta	25	
	G	1000	
	TONC	47	
Voc	V	<b>33,22</b>	
	V*oc	37,1	
	dVoc/dTc	-0,31	
	dTc	33,75	
		-0,11501	

Vmpp	Vmpp	27,85	
	V*mpp	31,1	
	Voc	33,22	
	V*oc	37,1	
Ns mpp min		7,36	Serie Entre 8 y 12
	Mpp min	205	
	Vmpp	27,85	
Ns mpp max		13,83	
	Mpp max	385	
	Vmpp	27,85	
Np mpp max		7,69	Paralelo max 7
	Imax	69	
	I*sc	8,97	
dist min filas		0,46	
	h	0,573039	
	Angulo inclinacion	10,00	
	Angulo Latitud	10	
	Sen inclinacion	0,173648	
	tan 61-latitud	1,234897	



1 Angulo Latitud Norte

10 **10** de inclinacion, orientado al Sur

	grados	<b>19,75</b>
Temperatura de operacion de celula	Ta	13
	G	200
	TONC	47

Seccion del cable Panel a inversor	mm2	<b>3,23</b>	5,27 comercial
	Distancia conexion a red	6	corriente continua
	Amperaje a la salida del modulo	56,21	
	Voltaje	248,8	
	Caida maxima de tension	1,5%	

Seccion del cable inversor a poste en trifasico	mm	<b>20,62</b>	21,2 comercial
	Distancia conexion a red	75	corriente Alterna
	Amperaje a la salida del inversor	32	
	Voltaje	240	
	Caida maxima de tension	3,6	

Voc	V	<b>37,70</b>
	V*oc	37,1
	dVoc/dTc	-0,31
	dTc	-5,25
		-0,11501

Ns max	Nsmax	<b>12,5982</b>
	Vmax	475
	Voc	37,70

	grados	<b>58,75</b>
Temperatura de operacion de celula	Ta	25
	G	1000
	TONC	47

Voc	V	<b>33,22</b>
	V*oc	37,1
	dVoc/dTc	-0,31
	dTc	33,75
		-0,11501

1 Angulo Latitud Norte

10 **10** de inclinacion, orientado al Sur

	grados	<b>19,75</b>
Temperatura de operacion de celula	Ta	13
	G	200
	TONC	47

Seccion del cable Panel a inversor	mm2	<b>3,23</b>	5,27 comercial
	Distancia conexion a red	6	corriente continua
	Amperaje a la salida del modulo	56,21	
	Voltaje	248,8	
	Caida maxima de tension	1,5%	

Seccion del cable inversor a poste en trifasico	mm	<b>20,62</b>	21,2 comercial
	Distancia conexion a red	75	corriente Alterna
	Amperaje a la salida del inversor	32	
	Voltaje	240	
	Caida maxima de tension	3,6	

Voc	V	<b>37,70</b>
	V*oc	37,1
	dVoc/dTc	-0,31
	dTc	-5,25
		-0,11501

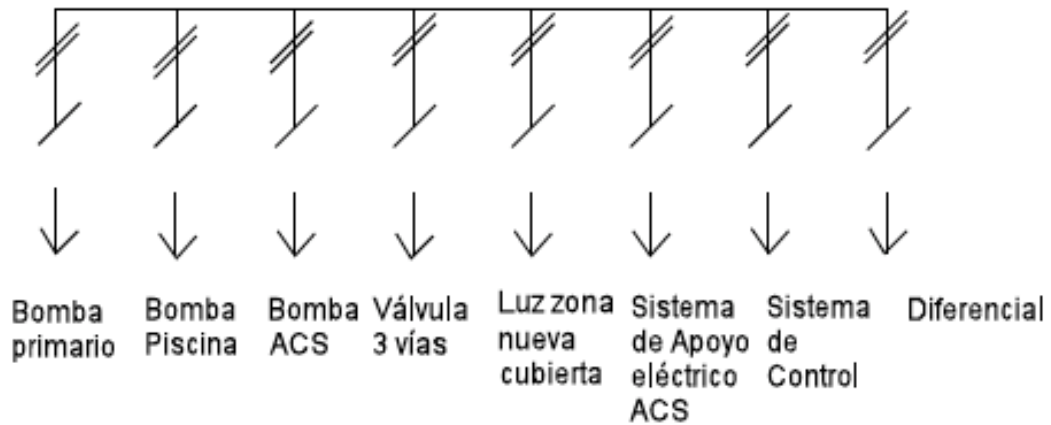
Ns max	Nsmax	<b>12,5982</b>
	Vmax	475
	Voc	37,70

	grados	<b>58,75</b>
Temperatura de operacion de celula	Ta	25
	G	1000
	TONC	47

Voc	V	<b>33,22</b>
	V*oc	37,1
	dVoc/dTc	-0,31
	dTc	33,75
		-0,11501

## 7.4 Distribución sistema combinado

### 7.4.1 Cuadro eléctrico



### 7.4.2 Zanja

