

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA
SOLAR TÉRMICO EN EL BARRIO SAN VALENTÍN,
COMUNA DE LO PRADO.**

Denisse Sofia Quinteros Massardo

Profesor Guía:

Dr. Ernesto Gramsch Labra.

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO FÍSICO

SANTIAGO, SEPTIEMBRE 2012

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA
SOLAR TÉRMICO EN EL BARRIO SAN VALENTÍN,
COMUNA DE LO PRADO.**

Trabajo de graduación presentado a la facultad de ciencia, en cumplimiento parcial de los requerimientos exigidos para optar al título de Ingeniero Físico.

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

SANTIAGO, SEPTIEMBRE 2012

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA
SOLAR TÉRMICO EN EL BARRIO SAN VALENTÍN,
COMUNA DE LO PRADO.**

Denisse Sofia Quinteros Massardo

Este trabajo de Graduación fue preparado bajo la supervisión del profesor guía Dr. Ernesto Gramsch Labra del Departamento de Física de la Universidad de Santiago de Chile y ha sido aprobado por los miembros de la comisión calificadora del candidato

Dr. Ernesto Gramsch Labra_____

Dra. Yolanda Vargas Hernández_____

Dr. Raul Cordero Carrasco_____

Dr. Ignacio Olivares Bahamondes_____

Dra. Yolanda Vargas Hernández

Directora Del Departamento de Física

Agradecimientos:

Quiero agradecer profundamente a todos quienes han hecho posible este trabajo. Desde mi familia por apoyarme siempre, en especial mi hermana Fabiola, al Dr. Ernesto Gramsch por depositar su confianza en mí y un agradecimiento especial a las familias que prestaron amablemente sus viviendas para poder instalar los equipos de medición.

También quiero dar las gracias especialmente a mis amigos, a Marta Caballero que siempre respondió mis dudas, a mis amigas de la vida y a Roberto por darme ánimo y ayudarme a seguir adelante cuando a veces las fuerzas no eran suficientes.

Agradezco eternamente a quienes me han acompañado en estos largos años de descubrimiento científico y personal. Porque estudiar no solo significa entender fenómenos sino que también es un aprendizaje personal que queda para toda la vida y que ayuda a enfrentarse al mundo.

| | |
|---|----|
| Índice general | |
| Capítulo 1 Introducción | 1 |
| 1.1. Antecedentes de la energía solar | 1 |
| 1.1.1. Energía solar | 1 |
| 1.1.2. Radiación solar | 2 |
| 1.1.3. Radiación solar en Chile | 3 |
| 1.1.4. Breve historia del uso de la radiación solar por parte de las personas | 4 |
| 1.2. Sistemas solares térmicos (SST) | 6 |
| 1.3. Colectores solares térmicos (CST) | 8 |
| 1.3.1. Colectores solares de tubo al vacío: | 9 |
| 1.3.2. Colector solar plano | 10 |
| Capítulo 2 Objetivos | 17 |
| 2.2. Objetivos específicos | 17 |
| 2.3 Antecedentes generales del barrio San Valentín, en la comuna de Lo Prado | 17 |
| 2.3.1. Proyecto de monitoreo | 17 |
| 2.3.2. Sistema solar térmico instalado en el barrio San Valentín, comuna de Lo Prado | 18 |
| 2.3.3. Características técnicas de los colectores solares instalados | 19 |
| 2.3.4. Viviendas seleccionadas para instalar sistema de monitoreo | 20 |
| 2.3.5. Características de las familias que habitan las viviendas. | 21 |
| Capítulo 3 Desarrollo teórico | 23 |
| 3.1. Energía en los Sistemas Solares Térmicos | 23 |
| 3.2. Eficiencia en los Sistemas Solares Térmicos | 24 |
| Capítulo 4 Desarrollo experimental: | 25 |
| 4.1. Construcción del Sistema | 25 |
| 4.2. Calibración del sistema | 26 |
| 4.3. Instalación | 31 |
| Capítulo 5 Análisis y resultados | 36 |
| 5.1. Determinación de la energía medida en [kW-h] a partir de los datos obtenidos en monitoreo de lo prado. | 36 |
| 5.1.1. Determinación de la energía solar | 36 |
| 5.1.2. Cálculo de la energía en el SST | 38 |
| 5.2. Relación entre energía entregada por el panel y la energía demandada y energía solar | 41 |
| 5.2.1. Energía entregada y Energía demandada | 41 |
| 5.2.2. Relación entre Energía entregada y Energía Solar | 46 |
| 5.3. Eficiencia del SST | 50 |

| | |
|--|----|
| 5.4. Comparación de la eficiencia obtenida con un estudio similar | 52 |
| 5.5. Relación entre la energía entregada a la vivienda y el valor monetario (\$) | 53 |
| Capítulo 6 Conclusiones | 56 |
| Apéndice I | 58 |
| Apéndice II | 66 |
| Apéndice III | 67 |

Indice de figuras

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1.1.- Esquema de los diferentes tipos de energía</i> | 1 |
| <i>Figura 1.2.- Mapa de Energía Solar.</i> | 2 |
| <i>Figura 1.3.- Esquema de la radiación que llega a la tierra.</i> | 3 |
| <i>Figura 1.4.- Mapa de la Radiación Solar en Chile.</i> | 4 |
| <i>Figura 1.5.- Central de destilación solar en el desierto de Atacama,</i> | 5 |
| <i>Figura 1.6.- Primer sistema para el calentamiento de agua sanitaria.</i> | 6 |
| <i>Figura 1.7.- Esquema del sistema solar térmico.</i> | 7 |
| <i>Figura 1.8.- Panel solar de tubos al vacío tipo Heat pipe.</i> | 9 |
| <i>Figura 1.9.- Esquema de funcionamiento “Heat Pipe”.</i> | 10 |
| <i>Figura 1.10.- Colectores solares planos.</i> | 11 |
| <i>Figura 1.11.- Esquema de funcionamiento del colector solar plano.</i> | 12 |
| <i>Figura 1.12.- Partes de un Colector Plano.</i> | 14 |
| <i>Figura 1.13.- Dibujo de los circuitos.</i> | 15 |
| <i>Figura 2.1.- Colectores solares ubicados en los techos de los departamentos en el Barrio San Valentín.</i> | 18 |
| <i>Figura 2.2.- Colectores solares en el techo del bloque EFGH.</i> | 19 |
| <i>Figura 2.3.- Localización geográfica del barrio San Valentín en la comuna de Lo Prado</i> | 20 |
| <i>Figura 2.4.- Representación de los bloques de departamentos.</i> | 21 |
| <i>Figura 4.1.- A la derecha, esquema de las dimensiones termistor del termistor usado. Al lado contrario imagen aumentada del termistor NTC EPCOS modelo 0603.</i> | 26 |
| <i>Figura 4.2.- Gráfico de la Resistencia v/s la temperatura</i> | 27 |
| <i>Figure 4.3.- Gráfico Temperatura</i> | 27 |
| <i>Figura 4.4.- Primer circuito construido de la interfaz.</i> | 30 |
| <i>Figura 4.5.- Circuito final de la interfaz</i> | 30 |
| <i>Figura 4.6.- Imagen de los datos medidos durante un día.</i> | 31 |
| <i>Figura 4.7.- Esquema general de la instalación del sistema de monitoreo en las viviendas.</i> | 32 |
| <i>Figura 4.8.- Ubicación del termistor en la cañería del panel.</i> | 33 |
| <i>Figura 4.9.- Termistor EPCOS,</i> | 33 |
| <i>Figura 4.10.- Interfaz donde son conectados los termistores.</i> | 33 |
| <i>Figura 4.11.- Esquema de la posición de los termistores en el SST</i> | 34 |
| <i>Figura 4.12.- Esquema de conexión entre los elementos del monitoreo.</i> | 34 |
| <i>Figura 5.1.- Gráficos de la Energía Solar</i> | 37 |
| <i>Figura 5.2.-Gráfico de la temperatura de entrada del agua fría, la temperatura de consumo y del volumen del flujo.</i> | 39 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 5.3.- Día 2 de mayo.</i> | 39 |
| <i>Figura 5.4.- Día16 de junio.</i> | 40 |
| <i>Figura 5.5 a.- Relación entre la energía demandada y la energía entregada a la vivienda por el SST entre los meses de Enero y Abril.</i> | 41 |
| <i>Figura 5.5 b.- Relación entre la energía demandada y la energía entregada a la vivienda por el SST entre los meses de Mayo y Julio.</i> | 42 |
| <i>Figura 5.6.- Relación entre la Energía demandada y la energía entregada por el SST</i> | 43 |
| <i>Figura 5.7.- Relación entre la Energía demandada y la energía entregada por el SST a la vivienda entre los meses Enero y Julio.</i> | 44 |
| <i>Figura 5.8.- Relación entre el promedio mensual de la energía entregada y el promedio mensual de la energía demandada en Departamento G3.</i> | 45 |
| <i>Figura 5.9.- Relación entre la Energía Solar incidente y la Energía entregada por el SST a la vivienda entre los meses Enero y Julio en el Departamento E2.</i> | 46 |
| <i>Figura 5.10.- Relación entre la Energía Solar y la Energía entregada por el SST a la vivienda entre los meses Enero y Julio en el Departamento G3.</i> | 47 |
| <i>Figura 5.11.- Relación entre la Energía Solar promedio mensual y la Energía Entregada promedio mensual en el Departamento E2.</i> | 48 |
| <i>Figura 5.12.- Energía solar relacionada con la energía entregada en el Departamento G3. El comportamiento de las personas en el Departamento G3 es similar al del E2.</i> | 49 |
| <i>Figura 5.13.-Gráfico de la eficiencia porcentual promedio entre enero y julio.</i> | 51 |
| <i>Figura 5.14.- Gráfico del equivalente de la energía entregada diaria en costo monetario en Enero.</i> | 54 |
| <i>Figura 5.15.- Gráfico del equivalente de la energía entregada diaria en costo monetario en Julio.</i> | 54 |
| <i>Figura I.1.- Energía entregada en el Departamento E2.</i> | 59 |
| <i>Figura I.2.- Energía demandada en el Departamento E2.</i> | 62 |
| <i>Figura I.3.- Volumen diario mensual en el Departamento E2.</i> | 64 |
| <i>Figura I.4.- Energía entregada en el Departamento G3.</i> | 65 |
| <i>Figura I.5.- Energía demandada en el Departamento G3.</i> | 66 |
| <i>Figura I.6.- Volumen consumido diariamente en el Departamento G3.</i> | 67 |
| <i>Figura III.1.- promedio de la energía solar, energía entregada y energía demandada en Departamento E2.</i> | 69 |
| <i>Figura III.2.- promedio del volume diario mensual.</i> | 70 |

| | |
|---|----|
| <i>Figura III.3.- Eficiencia promedio.</i> | 70 |
| <i>Figura III.4 .- valor monetario promedio de la energía entregada a la vivienda por el SST en diferentes meses.</i> | 71 |
| <i>Figura III.5.- Energía solar, energía diaria y energía demandada promedio.</i> | 72 |
| <i>Figura III.6.- Volumen promedio por mes.</i> | 73 |
| <i>Figura III.7.- Eficiencia promedio por mes.</i> | 73 |
| <i>Figura III.8.- valor monetario promedio de la energía entregada a la vivienda por el SST en diferentes meses.</i> | 74 |
| <i>Figura III.9.- Energía solar, energía diaria y energía sumada.</i> | 75 |
| <i>Figura III.10.- Suma del Volumen por mes.</i> | 75 |
| <i>Figura III.11.- Suma de la Eficiencia por mes.</i> | 76 |
| <i>Figura 12.- valor monetario promedio de la energía entregada a la vivienda por el SST en diferentes meses.</i> | 76 |
| <i>Figura III.13.- Energía solar, energía diaria y energía sumada.</i> | 77 |
| <i>Figura III.14.- Suma del Volumen por mes.</i> | 78 |
| <i>Figura III.15.- Suma de la Eficiencia por mes.</i> | 78 |
| <i>Figura III.16.- valor monetario promedio de la energía entregada a la vivienda por el SST en diferentes meses.</i> | 79 |

Indice de tablas

| | |
|--|----|
| <i>Tabla 2.1.- Características del colector solar Britec.</i> | 19 |
| <i>Tabla 4.1.- Características técnicas del termistor</i> | 26 |
| <i>Tabla 4.2. Números de la ubicación de los termistores.</i> | 35 |
| <i>Tabla 5.1.- Factor de relación entre la energía entregada y la energía demandada.</i> | 43 |
| <i>Tabla 5.2.- Factor de relación entre la energía entregada y la energía demandada.</i> | 45 |
| <i>Tabla 5.3.- Eficiencia porcentual de los SST entre enero y julio.</i> | 50 |
| <i>Tabla 5.4.- Valor en pesos mensual de la energía entregada por el SST.</i> | 53 |
| <i>Tabla III.1.- Promedio de todos los datos medidos.</i> | 69 |
| <i>Tabla III.2.- Promedio de todos los datos medidos.</i> | 72 |
| <i>Tabla III.3.- Suma de todos los datos medidos.</i> | 74 |
| <i>Tabla III.4.- Suma de todos los datos medidos.</i> | 77 |

Resumen

Las energías renovables no convencionales se presentan como una fuerte alternativa frente a la disminución de recursos para enfrentar la demanda energética del mundo. Frente a este desafío, se propuso instalar Sistemas Solares Térmicos (SST) en viviendas sociales, pertenecientes a sectores menos favorecidos de la población. El propósito es que esas familias, gran parte del año, puedan tener Agua Caliente Sanitaria (ACS) a partir de la luz solar.

El presente trabajo analiza el comportamiento eficiente que tienen los sistemas solares térmicos en el barrio San Valentín, en la comuna de Lo Prado. Se instalaron medidores de temperatura en diferentes partes del recorrido del agua en el SST. Estos medidores son termistores, que se conectan a un interfaz, unido a un computador, donde se observan valores de temperaturas. De este modo se puede monitorear constantemente el comportamiento que tiene el SST. Con las temperaturas y midiendo el flujo de agua se puede calcular la energía que entrega el SST a las viviendas.

El Sol incide sobre el colector solar y un porcentaje de este es entregado al agua. Se relaciona la energía entregada por el colector con la energía solar como la fracción entre ambas y así se obtiene la eficiencia del sistema. El valor de energía entregado por el sistema puede ser traducido a valor monetario. Tomando equivalencia con el valor del [kg] de gas licuado, así se obtiene una cantidad de dinero que las personas no gastan en calentar agua y pueden destinar para satisfacer otro tipo de necesidades básicas.

Introducción

1.1. Antecedentes de la energía solar

1.1.1. Energía solar

El Sol produce energía en forma de radiación electromagnética derivada de las reacciones de fusión que tienen lugar en su interior, por lo que el hidrógeno que contiene se transforma en helio. Es, sin duda, la fuente energética más grande con la que cuenta la Tierra y se considera inagotable.

Los fenómenos producidos por el Sol dan origen a parte de los recursos en los que se basan las energías renovables. Esto se muestra en la *figura 1.1*.

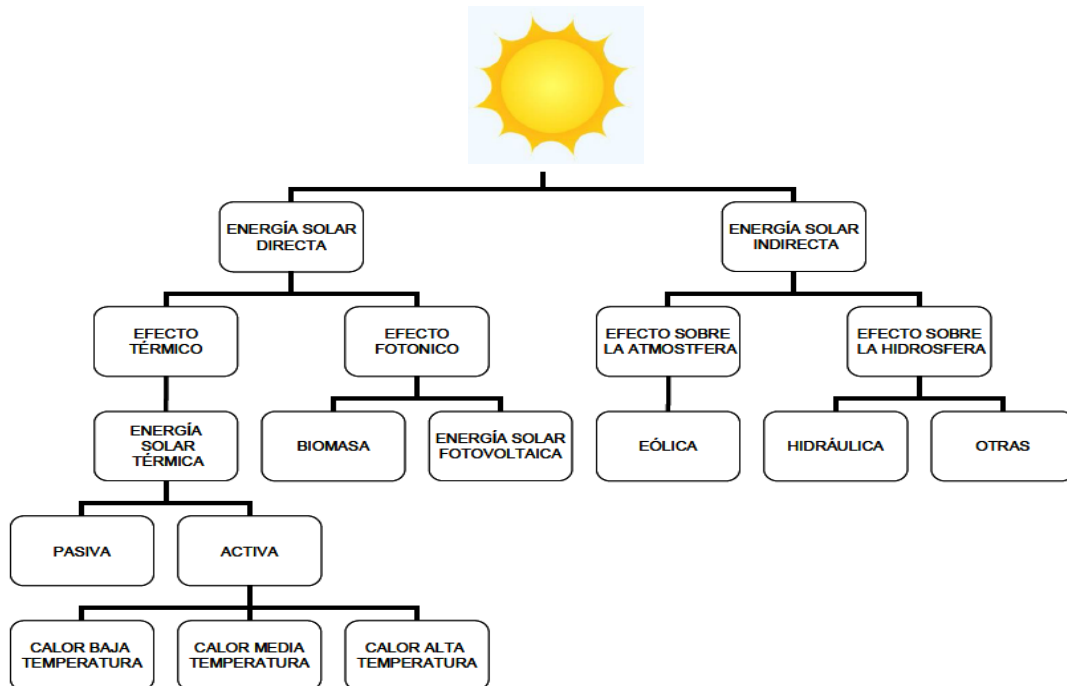


Figura 1.1.- Esquema de los diferentes tipos de energía que pueden obtenerse a partir del Sol.

El Sol es considerado una esfera de $13,9 * 10^5 [km]$ de diámetro. La superficie del Sol es aproximadamente equivalente a un cuerpo negro con una temperatura de $6000 [K]$ y emite $4,46 * 10^{23} [kW-h]$ de energía radiante.

1.1.2. Radiación Solar

La Radiación Solar se define como la energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas y es una magnitud que se puede expresar en términos de potencia o energía por unidad de área: $[kW-h]$

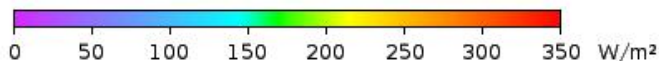
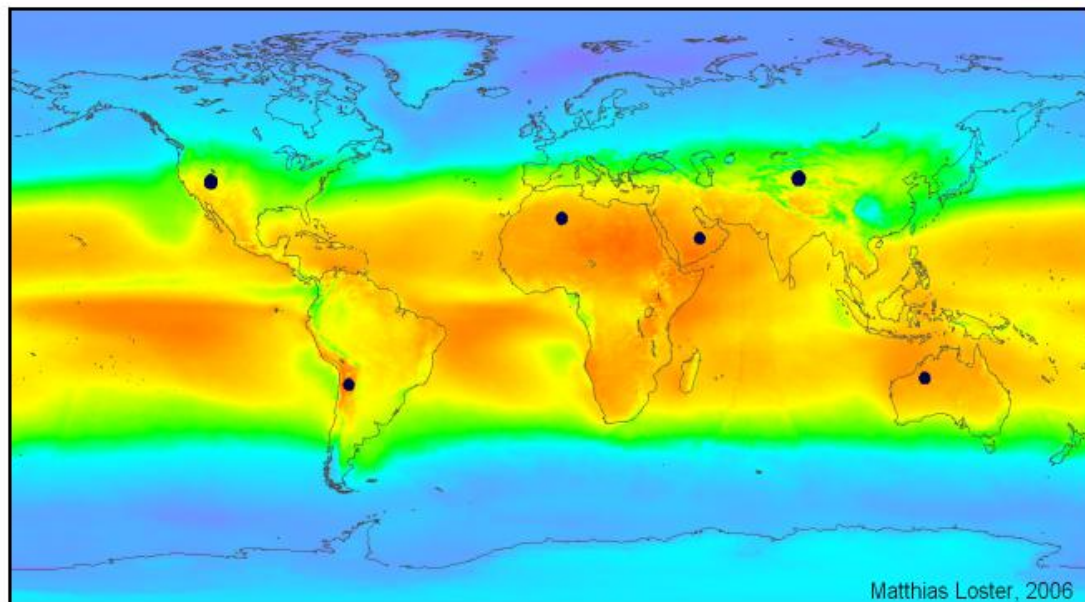
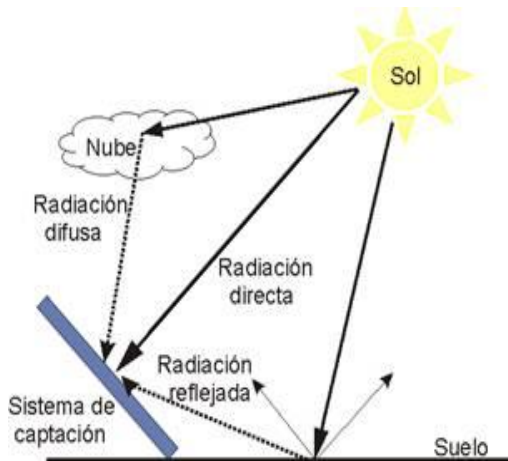


Figura 1.2.- Mapa de Energía Solar. La instalación de centrales de Energía Solar en las zonas marcadas en el mapa podría proveer algo más que la Energía actualmente consumida en el mundo (suponiendo una eficiencia de conversión energética del 8%) En este mapa se puede observar las zonas donde llega mayor Radiación Solar a la tierra. Los colores muestran un promedio de tres años de Radiación Solar, incluyendo noches y la cobertura de nubes. El color rojo indica la máxima Radiación y el violeta donde no hay Radiación¹.

¹ Fuente: http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/

² http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/glosario_terminos/absortancia

La Radiación Solar que llega a la superficie terrestre está formada principalmente por la radiación directa y radiación difusa (figura 1.3).



Radiación directa: es aquella que alcanza la superficie directamente desde el Sol sin experimentar cambios.

Radiación difusa: se considera como aquella que ha sufrido cambios debido a su interacción principalmente con los componentes atmosféricos.

Figura 1.3.- Esquema de la radiación que llega a la Tierra.

El valor de la radiación solar sobre una superficie va a estar condicionado principalmente por el periodo del año, la latitud y longitud del lugar, orientación e inclinación de dicha superficie, condiciones climáticas del lugar, etc [1].

La radiación solar medida fuera de la atmósfera en un plano perpendicular a la radiación incidente y a distancia media al sol se le denomina constante solar I_0 y es igual a $1353 \text{ [W/m}^2\text{]}$.

La condición óptima de inclinación y orientación de una superficie para captar mayor radiación solar es aquella que sigue la trayectoria del Sol, de manera que la superficie se mantenga perpendicular al Sol en cada instante [2].

1.1.3. Radiación solar en Chile

La radiación solar en Chile es de mayor o menor intensidad dependiendo de la zona del país.

Las condiciones meteorológicas de la zona norte del país permiten tener cielos con muy poca nubosidad y humedad, recibiendo casi únicamente radiación

directa. La zona norte del país es considerada una de las 6 zonas que recibe una alta radiación solar, destacándose las zonas aledañas al desierto de Atacama, que son muy propicias para la generación de energías renovables. Esto se observa en la *figura 1.4*.

En Chile, cada m² recibe de norte a sur entre 2200 y 900 [kW-h] de energía al año [1].

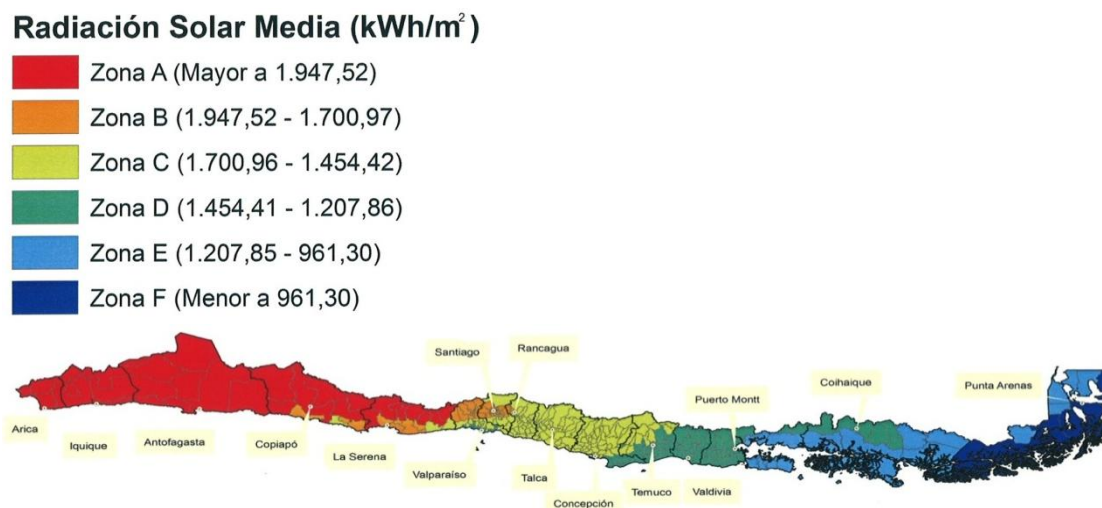


Figura 1.4.- Mapa de la Radiación Solar en Chile. En este mapa se observa el cambio de la intensidad de la radiación de norte a sur en el país. El color rojo representa la mayor radiación del país y a medida que esta disminuye va cambiando el color hasta llegar a azul.

1.1.4. Breve historia del uso de la radiación solar por parte de las personas

El calor del Sol ha sido un elemento muy cotidiano y habitualmente empleado por los seres humanos desde la prehistoria. Acciones tan sencillas como secar la ropa al Sol o simplemente calentarse exponiéndose a los rayos solares son actividades que han acompañado a las personas desde siempre, y que implican un aprovechamiento solar térmico.

Durante el siglo XIX surgieron diversos métodos de aprovechamiento de la energía proveniente del Sol. En 1874 el inglés Charles Wilson diseñó y dirigió una instalación para la destilación del agua marina en el desierto de Atacama para la Salitrera Lastenia Salinas (*figura 1.5*). Esta central era capaz de proporcionar un promedio de 22.500 [l] de agua diarios y estuvo en funcionamiento hasta el año 1907.



Figura 1.5.- Central de destilación solar en el desierto de Atacama, con una superficie de captación superior a los 4000 m². Se trata de la primera central conocida de estas características en el mundo.

Desde el punto de vista comercial, la primera patente de inversión para calentar agua con el Sol de una manera eficaz se dio en 1891, cuando Clarence Kemp sacó al mercado en Estados Unidos el calentador de agua “Climax” (*figura 1.6*). Este método combinaba el modelo de los tanques expuestos al Sol con el principio de la caja caliente.

En 1909, William Bailey patentó su modelo de calentador solar para agua. Este modelo superaba los inconvenientes que ofrecía el “Climax”, ya que era capaz de mantener el calor ganado durante toda la noche, siendo posible disfrutar del agua caliente solar a la mañana siguiente. El sistema creado por Bailey es el

mismo esquema que hoy en día se sigue usando en los calentadores solares de circulación natural o termosifónicos.

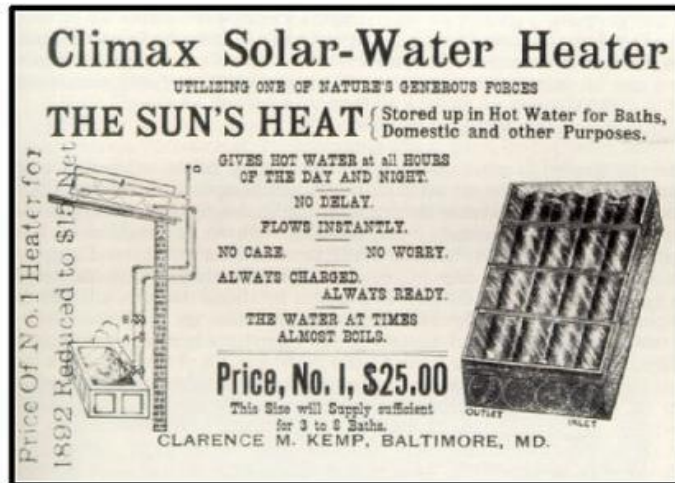


Figura 1.6.- Primer sistema para el calentamiento de agua sanitaria.

Es posible elevar la temperatura del agua hasta temperaturas, muy altas superiores al punto de ebullición (100°C). Sin embargo son las aplicaciones a baja temperatura (de entre 27° y 80°C) las más comunes, entre las que destaca el agua caliente sanitaria (ACS) para duchas y aseo personal, tanto para uso doméstico como para clubes deportivos o duchas múltiples donde se suele requerir temperaturas del agua de aproximadamente 45°C [1].

1.2. Sistemas solares térmicos (SST)

El sistema solar térmico (SST) se encarga de transformar la energía radiante del Sol en energía térmica acumulada en el agua caliente y que luego puede ser usada de diferentes maneras. En la *figura 1.7* se observan las partes y la clasificación según funcionamiento y circuito hidráulico. Es un conjunto de equipos y componentes que conforman una instalación solar térmica, que permite el aprovechamiento de la energía solar para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), para el consumo doméstico.

En el esquema de funcionamiento pueden distinguirse las siguientes partes:

Sistema de captación: es aquí donde se transforma la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura de un fluido llamado *fluido de trabajo*. Es el colector solar. El fluido de trabajo también llamado fluido caloportador, puede ser el agua de la llave que pasa directamente por el colector o un fluido que luego intercambia el calor con el sistema (como se verá más adelante).

Sistema de acumulación: almacena el agua caliente hasta que se requiera su uso. Este es el depósito acumulador.

Sistema de intercambio: realiza la transferencia de energía térmica entre el fluido de trabajo, que circula por el circuito primario, y el del circuito secundario (agua de consumo).

Sistema de apoyo (auxiliar o de respaldo): complementa el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir el consumo previsto. En algunos aspectos, este sistema no se considera incluido en el SST. Generalmente se usa un calefón.

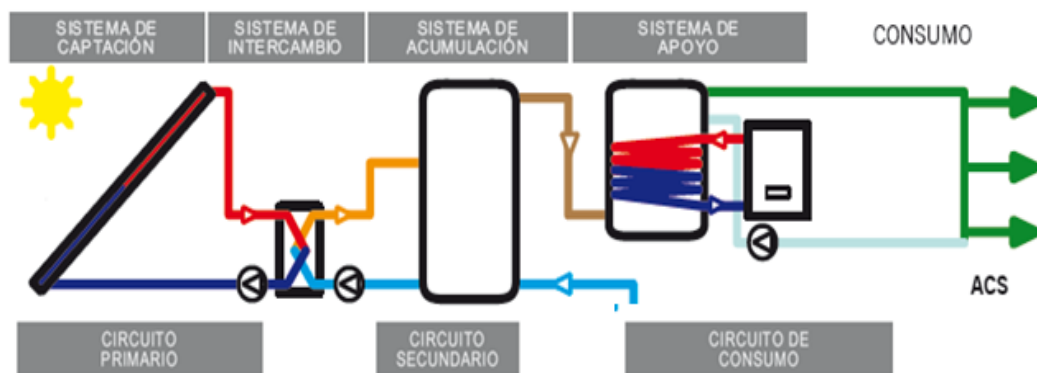


Figura 1.7.- Esquema del sistema solar térmico.

En el SST se pueden distinguir tres circuitos hidráulicos distintos [3].

Circuito primario: es el circuito que permite la circulación del fluido que es calentado en el colector solar hacia el lugar donde es acumulado.

Circuito secundario: es donde se produce el intercambio entre el fluido que es calentado y el fluido que es consumido. Recoge en el intercambiador la energía captada por el circuito primario y la transfiere al depósito acumulador.

Circuito de consumo: transporta agua potable de consumo.

Los sistemas solares térmicos pueden funcionar mediante un termosifón, donde la fuerza impulsora que hace circular el fluido es la diferencia de temperatura; y, el de circulación forzada, donde la fuerza que dé el impulso al fluido es producido por bombas [4].

1.3. Colectores solares térmicos (CST)

Se han desarrollado dos tipos de colectores solares: los de tubo al vacío y los planos. A su vez, la forma en que se traspa el calor del colector al depósito acumulador puede ser de dos tipos:

Sistema directo: es cuando el agua de consumo pasa directamente por el colector.

Sistema indirecto: es cuando hay un fluido que es calentado por el Sol y transfiere el calor mediante un intercambiador al agua de consumo que se encuentra en el depósito acumulador (*figura 1.7*).

1.3.1. Colectores solares de tubo al vacío:

Los colectores de tubo al vacío están conformados por tubos independientes entre sí que contienen un líquido en el interior, normalmente alcohol. El sol incide sobre el colector y éste sube de temperatura, por lo que se calienta el fluido. Los tubos son cilindros de vidrio con un eje de simetría común, entre los cuales hay vacío. Cada tubo funciona de manera independiente en relación a los otros.

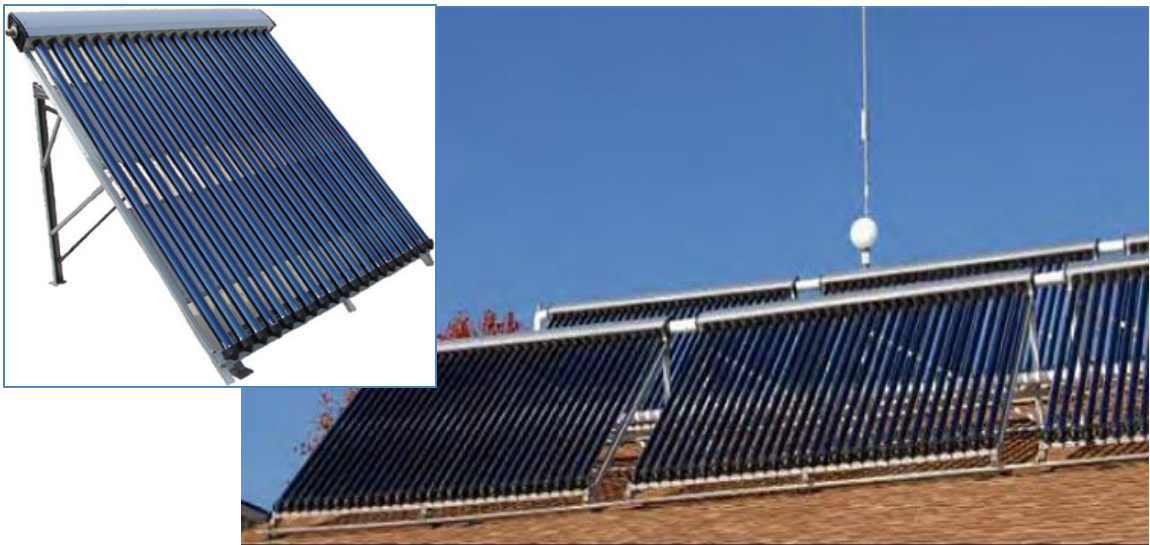


Figura 1.8.- Panel solar de tubos al vacío tipo Heat Pipe.

A pesar de que existen varias tecnologías de tubo al vacío, la más usada es la Heat Pipe. Este mecanismo consiste en un tubo cerrado en el que se introduce un fluido de propiedades específicas. Cuando el Sol incide sobre el absorbedor en el interior del tubo, el fluido se evapora y absorbe calor. Como gas asciende sobre el líquido hasta lo alto del tubo donde se sitúa el foco frío. Allí se licua (condensa) y cede su calor al fluido que nos interesa calentar volviendo a caer al fondo del tubo por gravedad (*figura 1.9*). Este proceso se repite mientras dure la radiación del Sol o hasta que el colector ha alcanzado una temperatura muy alta (en torno a los 130 °C que ocurre cuando no hay demanda de ACS) [3].

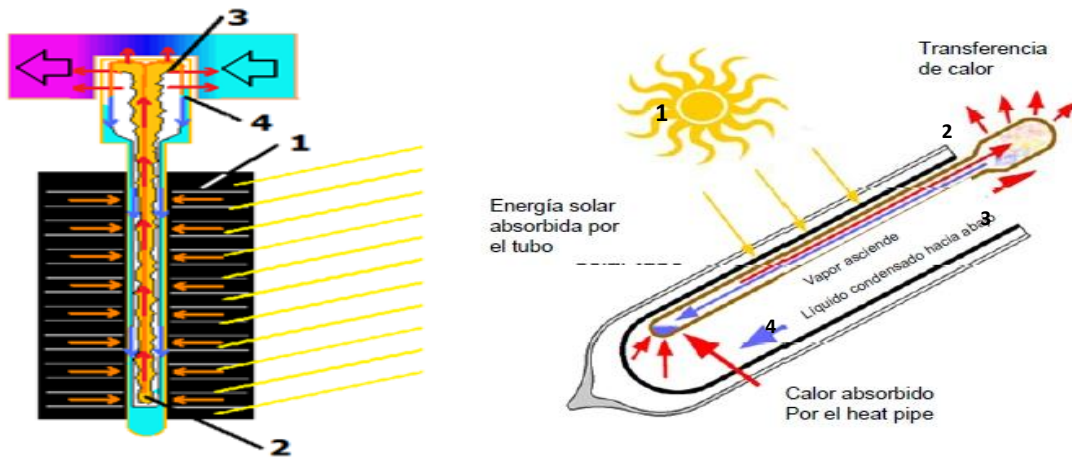


Figura 1.9.- Esquema de funcionamiento "Heat Pipe". 1) La radiación solar incide en el absorbedor que se calienta y transmite ese calor al tubo. 2) El calor recibido provoca que el fluido en el interior del tubo se evapore y ascienda portando energía 3) El fluido evaporado cede su calor latente al fluido más frío que circula por el exterior de la cabeza del tubo y al hacerlo se licua 4) El fluido de nuevo en estado líquido cae por gravedad al fondo del tubo para reiniciar el proceso.

1.3.2. Colector solar plano

El captador se sitúa en una caja rectangular. La cara expuesta al Sol está cubierta por un vidrio muy resistente, mientras que las cinco caras restantes son opacas y están aisladas térmicamente. Dentro de la caja, expuesta al Sol, se sitúa una placa metálica. Esta placa está unida o soldada a una serie de conductos por los que circula el fluido de trabajo (mezcla de agua y anticongelante). A dicha placa se le aplica un tratamiento selectivo para que aumente su absorción de calor.



Figura 1.10.- Colectores solares planos.

Los captadores o colectores solares en general, funcionan aprovechando el efecto invernadero. El Sol incide sobre el vidrio del colector, que siendo muy transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía (*figura 1.11*). Ésta calienta la placa colectora, que a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga (infrarrojos) menos energética. Pero como el vidrio es muy opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior. Mayoritariamente se utilizan cubiertas de vidrio en lugar de cubiertas plásticas, ya que éstas últimas suelen degradarse por efectos de la radiación solar ultravioleta y las altas temperaturas. Las cubiertas de vidrio deben tener un espesor mínimo, normalmente entre 3 y 4 mm, que evite su rotura y garantice la resistencia mecánica del conjunto.

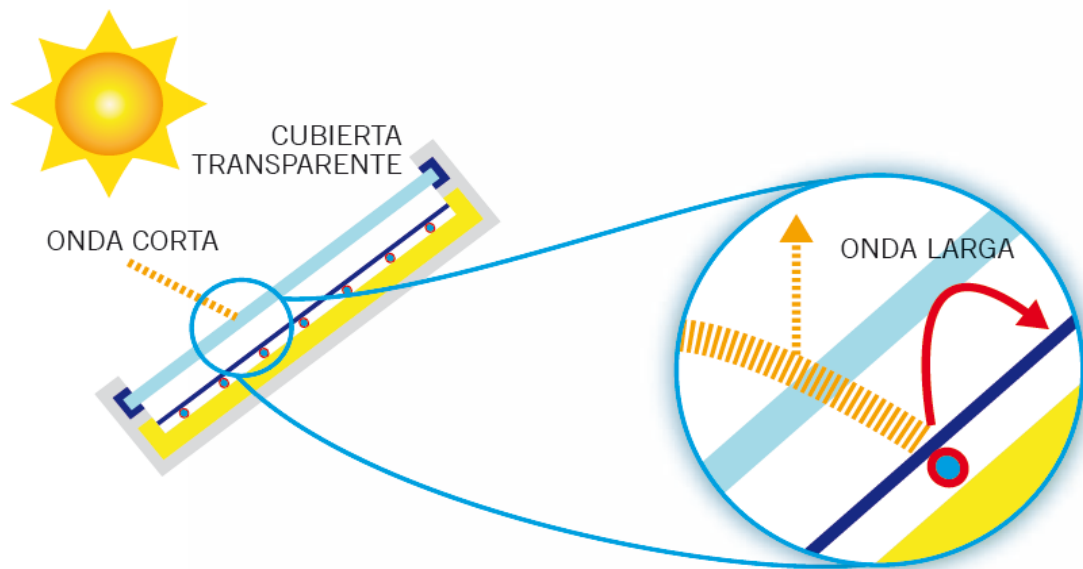


Figura 1.11.- Esquema de funcionamiento del colector solar plano. Se observa la onda que atraviesa la cubierta y llega hasta al absorbedor en donde traspasa el calor al fluido de trabajo.

Desde la cubierta de vidrio la onda pasa al absorbedor, que es el que traspasará el calor al fluido de trabajo o fluido caloportador.

El material habitualmente empleado para el absorbedor, como lámina entera o en bandas, es el cobre. En menor medida se usa el aluminio o el acero. El cobre también es el material más empleado en las cañerías debido a su buena conductividad térmica y su resistencia a la corrosión. Un buen contacto térmico entre la parte plana del absorbedor y las cañerías es imprescindible para facilitar la transferencia de calor por conducción. El rendimiento del colector solar depende, en gran medida, del tratamiento superficial del absorbedor. Se pueden distinguir los tratamientos con pintura negra y los tratamientos selectivos. La pintura negra proporciona una elevada absorptancia ²(fracción de la radiación incidente sobre un cuerpo que es absorbida por el mismo, 0,95)

² http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/glosario_terminos/absortancia

pero también una elevada emisividad³ (proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debida a una diferencia de temperatura determinada, 0,85-0,95), lo que produce muy buen rendimiento a temperaturas bajas pero. A altas temperaturas, los rendimientos son bajos y las temperaturas máximas alcanzables no son muy elevadas. Los tratamientos selectivos intentan, manteniendo un valor elevado de la absortancia (0,95), reducir la emisividad del absorbedor (0,05-0,15). Existe una gran variedad de tratamientos selectivos; desde hace años se han utilizado las electrodeposiciones de cromo negro aplicado, directamente o a través de una capa de níquel, sobre un sustrato de cobre.

Incorporado o adosado al absorbedor, existe un circuito hidráulico por el que circula el fluido caloportador que se calienta por la transferencia de calor, por conducción, fenómeno que tiene lugar entre el absorbedor y el circuito del fluido. Se pretende conseguir el aumento de la temperatura del fluido de trabajo, que a su vez hace disminuir la temperatura del absorbedor.

Se fabrica una gran variedad de absorbedores, siendo más comercializados los que tienen un circuito de tubos de cobre en forma de parrilla o de serpentín. En la mayoría de los casos, la distancia entre tubos paralelos suele estar en el rango de 100 a 120 [mm] y resulta del compromiso entre maximizar la transferencia de calor al fluido de trabajo y minimizar los costos de materiales y de fabricación.

³ Fuente: <http://www.nivelatermografia.net/blog/tecnicas-de-medicion-termografica-midiendo-la-emisividad/>

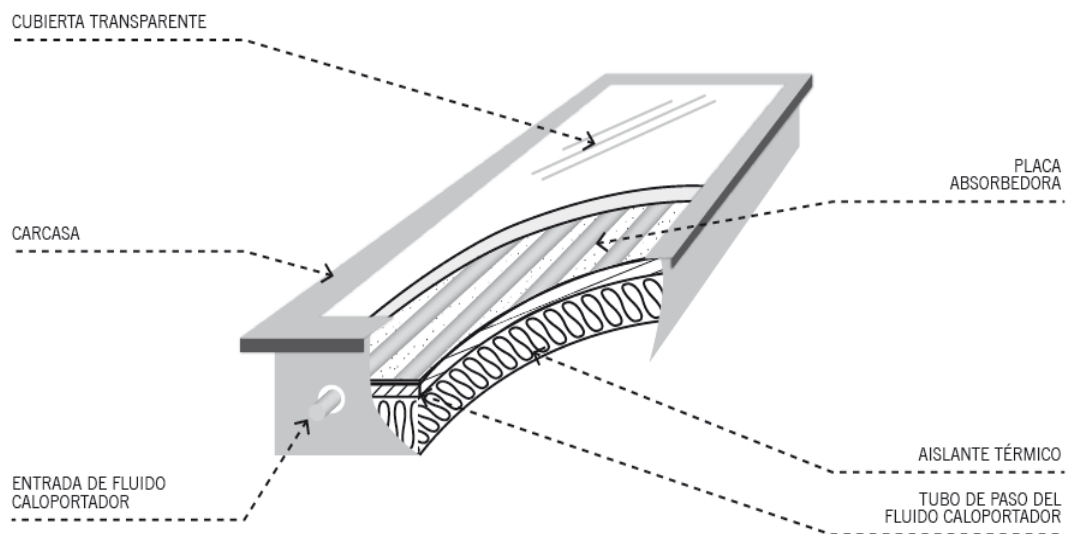


Figura 1.12.- Partes de un Colector Plano. Cubierta transparente: elemento plano de material transparente que además de reducir las pérdidas por radiación y convección, protege los componentes internos de agentes externos de tipo climático, etc. Placa absorbedora: transforma la radiación solar en energía térmica. Consiste en una superficie metálica plana que tiene adosadas unas cañerías metálicas por las que circula el fluido de trabajo para evacuar el calor. Carcasa: Marco del colector Aislante térmico: Es un aislante de la parte del fondo del colector para que el fluido no se enfríe. Entrada del fluido caloportador: En esta zona ingresa el fluido de trabajo. Tubo de paso del fluido caloportador: Tubo en donde circula el fluido caloportador en el circuito primario.

Para absorber la diferente dilatación térmica de los componentes del colector e impedir la entrada de agua se utilizan juntas elásticas entre la cubierta y la carcasa. El material de estas juntas debe ser resistente a la radiación solar, a las temperaturas extremas y a la humedad. Es común utilizar juntas de silicona o de EPDM2.

Tipos de absorbedores

Existen diferentes tipos de absorbedores entre los que destacan los siguientes:

Absorbedores tipo parrilla: en este tipo, el circuito hidráulico está constituido por varias cañerías paralelas que se unen a dos conductos distribuidores, formando

la denominada “parrilla de tubos” (*figura 1.13 a*). Dado que el fluido que entra por el distribuidor circula por todas las cañerías paralelas, el absorbedor tipo parrilla suele presentar una pérdida de carga relativamente pequeña. Por este motivo son los que normalmente se emplean en sistemas termosifón, porque es conveniente que haya una pérdida de carga reducida.

En los circuitos de tipo parrilla es muy importante el diseño de los conductos interiores del absorbedor, ya que la distribución del caudal de circulación a través de éste depende de la relación entre las pérdidas de carga de las cañerías paralelas y de los conductos distribuidores. Sin un diseño adecuado, podrían circular distintos caudales por cada tubería paralela y aparecer desequilibrios hidráulicos no aceptables.

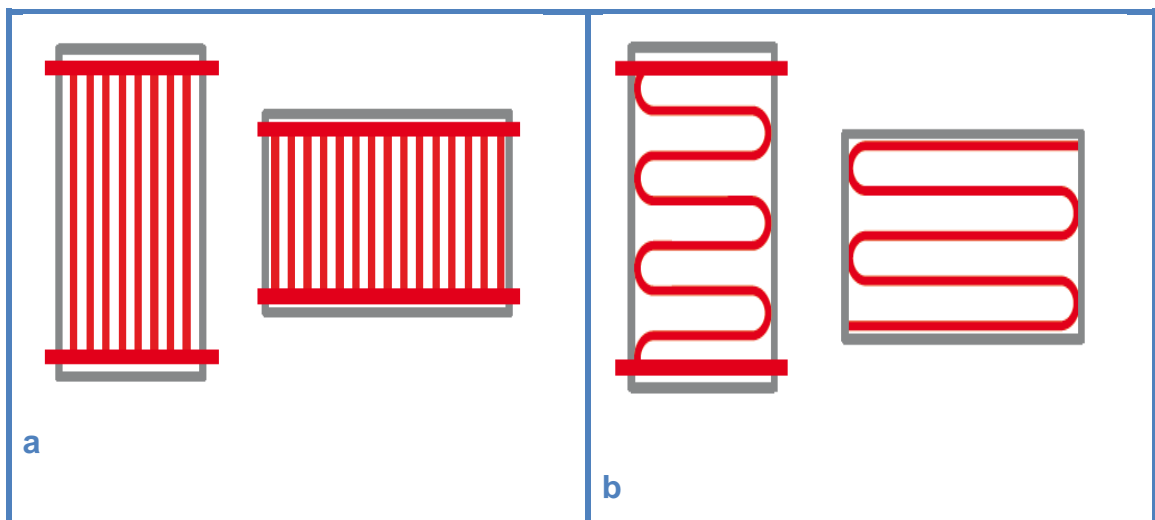


Figura 1.13.- Dibujo de los circuitos. a) Circuito de tipo parrilla b) Circuito tipo serpentín.

Absorbedores tipo serpentín: el circuito hidráulico lo constituye una única tubería con dicha forma que recorre el absorbedor completo (*figura 1.13 b*). Estos colectores pueden tener la salida del serpentín directamente al exterior o disponer de tubos distribuidores para facilitar la interconexión entre colectores para formar baterías.

En este caso, no existen problemas de desequilibrio hidráulico dentro de un colector, ya que todo el fluido de trabajo que circula a través del colector solar lo hace a través de esta única tubería.

Para el mismo régimen de caudal, aunque dependiendo de los diámetros, la pérdida de carga en el absorbedor tipo serpentín es mayor que la del absorbedor en forma de parrilla, porque el caudal que circula por la única tubería del tipo serpentín es superior al que circula por cada tubería del tipo parrilla de tubos. También, por la presencia de cambios de dirección en el circuito del tipo serpentín. Por esta mayor pérdida de carga no se recomienda el empleo de absorbedores tipo serpentín en instalaciones solares con circulación por termosifón [4].

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo general

Estudiar la eficiencia del Sistema Solar Térmico situado en el Barrio San Valentín, comuna de Lo Prado.

2.2. Objetivos específicos

- Monitorear el Sistema Solar Térmico durante al menos 6 meses.
- Calcular la eficiencia energética de las viviendas.
- Calcular la energía entregada por el colector solar a las viviendas.
- Comparar la eficiencia obtenida con otro estudio similar.
- Calcular el dinero que las personas que habitan en la vivienda no gastan en gas al usar un SST de ACS.
- Observar el comportamiento de las personas en relación a un SST y que efectos causa en ellos.

2.3 Antecedentes generales del barrio San Valentín, en la comuna de Lo Prado

2.3.1. Proyecto de monitoreo

Este SST fue instalado en el 2009, como parte de la implementación del programa “Quiero mi Barrio”, para mejorar la calidad de vida de los residentes del sector [5].

El proyecto de monitoreo surge debido a la necesidad de verificar el funcionamiento del sistema solar térmico que entrega éste SST mediante el cálculo de la energía térmica consumida y demandada por las viviendas situadas en el barrio San Valentín, comuna de Lo Prado. La manera de analizar

el funcionamiento es calculando la eficiencia. Esto se efectúa midiendo la temperatura, el volumen del flujo de agua y luego calculando la energía que los paneles solares entregan a la vivienda, así como la energía procedente de la radiación solar.

2.3.2. Sistema solar térmico instalado en el barrio San Valentín, comuna de Lo Prado

Los paneles dispuestos en los techos de los condominios (*figura 2.1*) suministran agua caliente a cada departamento. Los colectores solares instalados son “unifamiliares”, esto quiere decir que un colector solar es para una vivienda.



Figura 2.1.- Colectores solares instalados en los techos de los departamentos en el Barrio San Valentín.

2.3.3. Características técnicas de los colectores solares instalados

Los colectores solares son de marca Britec, planos, de sistema directo. Esto significa que el agua pasa directamente por el colector solar. El sistema absorbedor es de tipo parrilla y funciona por termosifón. Como se explicó en la introducción la circulación natural hace que se produzca el movimiento de agua. Algunas características se muestran en la *tabla 2.1*.

| | |
|---|------|
| Área total colector [m ²] | 2 |
| Área abertura colector [m ²] | 1,97 |
| Volumen estanque [litros] | 150 |
| Eficiencia óptica ⁴ % | 62 |
| Coeficiente global de pérdidas ⁵ % | 5 |

Tabla 2.1.- Características del colector solar Britec.



Figura 2.2.- Colectores solares en el techo del bloque EFGH.

⁴ Eficiencia óptica %: Es el rendimiento para una temperatura media del colector igual a la temperatura de ambiente. No hay pérdidas de calor. Este coeficiente toma en cuenta las pérdidas por reflexión y absorción en la superficie. (Fuente: Energie Solaire Hispano Swiss SA , 2002)

⁵ Coeficiente global de pérdidas %: El colector al ser calentado por el sol cede calor al ambiente por convección, conducción y radiación. (Fuente: Energie Solaire Hispano Swiss SA , 2002)

2.3.4. Viviendas seleccionadas para instalar sistema de monitoreo

La localización geográfica del barrio San Valentín es Av. Los Tamarindos N°5372. En la *figura 2.3* se muestra el emplazamiento del barrio. Han sido seleccionadas dos viviendas en el bloque EFGH. El departamento E2 ubicado en el primer piso y el departamento G3 ubicado en el segundo. La idea de seleccionar estas viviendas es observar cómo se comportan los colectores a diferente altura entre el departamento y el colector, con el objeto de hacer más representativa la muestra.

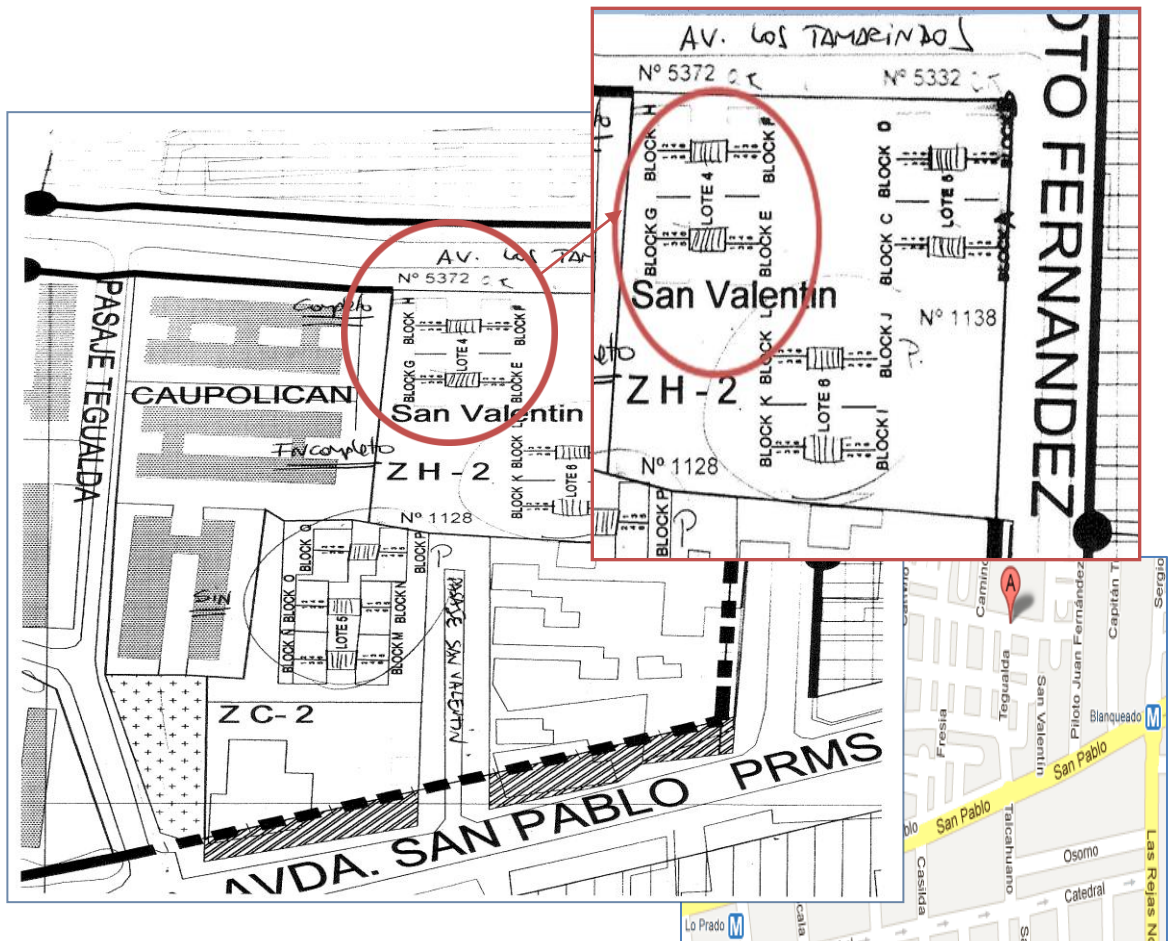


Figura 2.3.- Localización geográfica del barrio San Valentín en la comuna de Lo Prado⁶.

⁶ Fuente: ENCUESTA DE MONITOREO Y SATISFACCIÓN Proyecto Piloto Colectores de Agua e Iluminación Pública Solar: Barrio San Valentín, Lo Prado. Equipo de Información Estadística Georreferenciada y Observatorio Urbano-Habitacional – CEHU, MINVU. Jueves 18 de agosto 2011

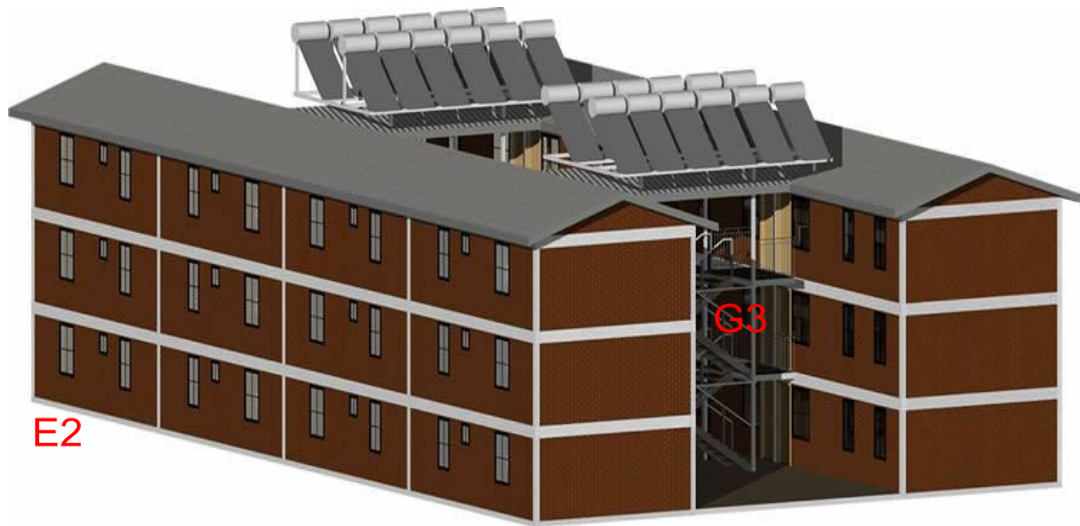


Figura 2.4.- Representación de los bloques de departamentos.

2.3.5. Características de las familias que habitan las viviendas.

Departamento E2:

Este departamento se encuentra dividido en dos viviendas independientes entre sí, una de las cuales es arrendada por la familia propietaria a otras personas.

El departamento principal (propietarios) es el único que usa ACS solar.

En total viven 9 personas. Cinco en el departamento principal y cuatro en el subarrendado. En el departamento principal son tres adultos y 2 niños. Los adultos se duchan en la mañana mientras que los niños en la noche y la lavadora es usada todos los días. En la parte subarrendada viven dos adultos y 2 niños donde los adultos se duchan en la mañana y los niños en la noche; sin embargo no están siempre, por lo que presentan un consumo de agua irregular.

Departamento G3:

En este departamento viven tres personas adultas que se duchan en diferentes horarios durante el día. Regularmente hay algún familiar de visita que se ducha en la mañana.

La lavadora se usa una vez por semana con varias cargas de ropa.

Capítulo 3

Desarrollo teórico

3.1. Energía en los Sistemas Solares Térmicos

En la sección 2.3.1, donde se describe el proyecto de monitoreo, se menciona que para analizar la eficiencia se debe medir la temperatura, el volumen del flujo de agua y luego calcular la energía que el SST entrega a las viviendas.

La energía entregada por el SST a la vivienda es *Energía Calorífica*, que es la que se transmite entre cuerpos que están a diferente temperatura.

Esta energía, es la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura del agua de consumo, desde la temperatura de entrada de agua fría T_i hasta la temperatura de uso T_f en los puntos de consumo. Las características del agua están representadas por su densidad ρ y por el calor específico C_p a presión constante. Se calcula mediante las siguientes ecuaciones.

$$Q = C_p V \Delta T \quad (3.1)$$

$$Q = C_p V (T_f - T_i) \quad (3.2)$$

Donde a presión constante y a 25°C:

$$C_p: \text{capacidad calórica} = 4,1813 \frac{j}{g^\circ C} = 4181,3 \frac{j}{kg^\circ C}$$

Este valor de C_p es válido mientras el agua se mantenga en estado líquido y las características del agua están representadas por su densidad $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$.

La energía que se calcula es la energía global que entrega el sistema a la vivienda. Esto significa que mediante la ecuación 3.2 se calcula la energía E_i entre la entrada de agua fría y el agua de salida a consumo.

3.2. Eficiencia en los Sistemas Solares Térmicos

La eficiencia de un colector solar se define como la relación entre la energía absorbida por el fluido portador del calor y la energía solar incidente sobre el área de abertura. La energía entregada al fluido luego será consumida por las personas en el ACS.

Esto significa que un porcentaje de la radiación solar es transferido al agua (recordar que el sistema de Lo Prado es directo).

Como se explicó en la introducción, siempre se pierde un poco de radiación debido a la reflexión y además sólo se considera el área de apertura, que es el área expuesta a la radiación incidente del sol.

La eficiencia total del sistema η se calcula como la fracción entre la energía total diaria entregada E_i y la energía incidente en el panel por el sol E_s .

$$\eta = \frac{E_i}{E_s} \quad (3.3)$$

Los valores que se pueden obtener van entre 0 y 1 idealmente pero puede ser mayor a uno cuando se produzca un día soleado y al día siguiente nublado. La eficiencia se muestra en porcentaje al multiplicar por 100. Cuando esto ocurre el agua queda en el depósito acumulador durante la noche y al otro día se usa. En este caso la eficiencia podría ser mayor a uno, si incluso se suma que en un día nublado hay un poco de calor y se calientan las cañerías donde pasa el agua

Al medir la eficiencia se obtiene una manera de saber que tan bueno es el SST a modo global, ya que este método sirve para evaluar cualquier sistema, ya sea indirecto o directo y del tipo que sea (tubos o plano). La eficiencia engloba todas las características y funcionamiento del SST, ya que para calcularla se toma en cuenta todas las características, principalmente del panel.

Desarrollo experimental

Para realizar mediciones de los parámetros necesarios, se debe construir un sistema que permita realizar las mediciones que se requieren para analizar el funcionamiento del SST. Se distinguen diferentes etapas de la construcción del sistema de medición: Construcción del sistema, Calibración del sistema e instalación.

4.1. Construcción del Sistema

La manera más efectiva para medir temperatura, es usar un termistor NTC (coeficiente de temperatura negativo) que tiene una relación no lineal con la temperatura. Se usa este termistor debido a su bajo costo y disponibilidad en el mercado, ya que para realizar cualquier experimentación o prueba se debe contar con muchos aparatos similares.

Para encontrar el termistor ideal se realizan varias pruebas. En una primera instancia se había pensado en utilizar unos termistores de 5 [k Ω], pero se agotaron en el comercio, además, los resultados que se muestran en la calibración varían demasiado entre la repetición de un experimento y otro, o cuando se le aplican los valores dados por el fabricante. Por este motivo es necesario encargar un termistor, también de 6,8 [k Ω], al extranjero, de marca EPCOS, modelo 0603, cuyas características técnicas se aprecian en la tabla 4.1. La calibración de este termistor era la adecuada y se muestra mas adelante.

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Ancho [mm] | 0,9 |
| Largo[mm] | 1,6 |
| Espesor [mm] | 0,8 |
| Potencia máxima [mW] | 180 |
| Resistance tolerance % | $\pm 3, \pm 5$ |
| Rated temperature °C | 25 |
| Dissipation factor [mW/K] | Aproximadamente 3 |
| Heat capacity [mJ/K] | Aproximadamente 12 |

Tabla 4.1.- Características técnicas del termistor NTC EPCOS modelo 0603.

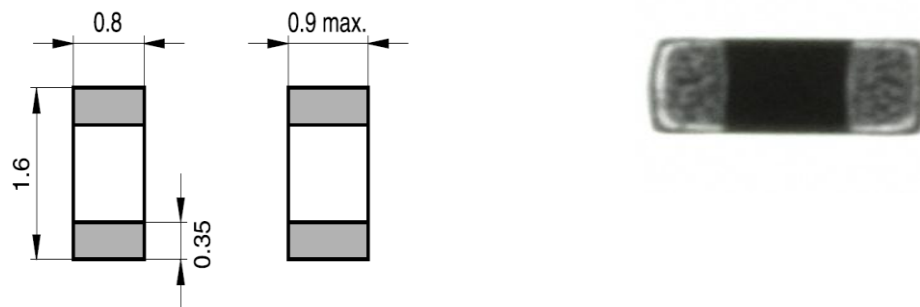


Figura 4.1.- A la derecha, esquema de las dimensiones termistor del termistor usado. Al lado contrario imagen aumentada del termistor NTC EPCOS modelo 0603.

4.2. Calibración del sistema

Calibración del termistor

Para comenzar a conocer el comportamiento del termistor usado, se mide el voltaje a una temperatura determinada. El termistor se coloca adentro de un horno cuyas temperaturas van desde los 40 °C hasta 100°C. Así se obtienen diferentes valores de temperaturas.

En el horno se coloca junto al termistor una termocupla que mide temperatura en el termómetro digital FLUKE modelo 52-2. De este modo se puede comparar los valores obtenidos. Esto se observa en las *figuras. 4.2 y 4.3.*

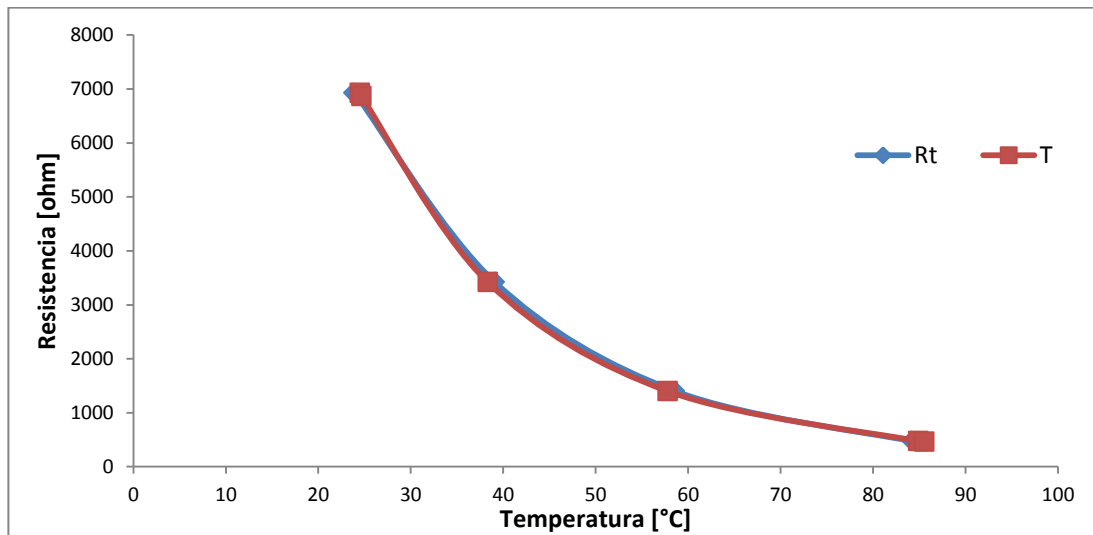


Figura 4.2.- Gráfico de la Resistencia v/s la temperatura. En el eje de abscisas se muestra la temperatura que fue obtenida al calcularla mediante la ecuación 4.1.

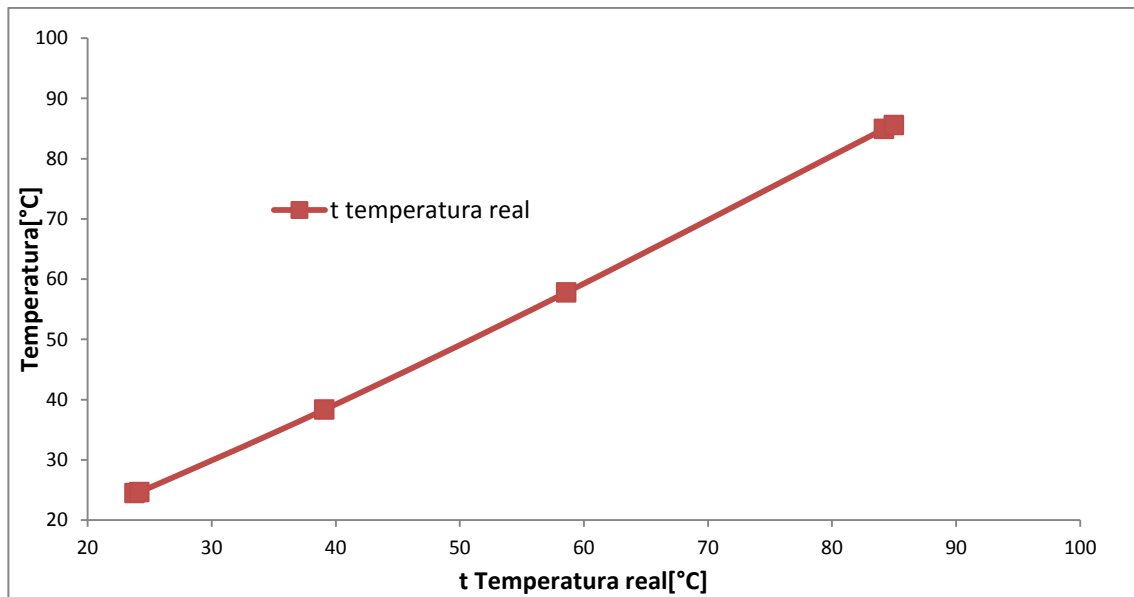


Figure 4.3.- Gráfico Temperatura obtenida en el termistor (T) y la temperatura medida por una termocupla (t).

Se observa que en los gráficos de las *figuras 4.2 y 4.3* la temperatura medida por la termocupla es muy cercana, solo de unas décimas de diferencia, a la temperatura obtenida mediante la *ecuación 4.1*. Lo que indica que la utilización de este termistor es muy eficaz para usarlo como medidor de temperatura.

La ecuación 4.1 muestra una relación entre el voltaje y la temperatura. Se observa que la relación no es lineal, ya que el termistor corresponde a un NTC.

$$R_T = R_N e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N} \right)} \quad (4.1)$$

En donde se desprende:

$$T = \frac{B}{\ln \frac{R_T}{R_N} + \frac{B}{T_N}} \quad (4.2)$$

Con

R_T : NTC Resistencia en Ω de temperatura T en K

R_N : NTC Resistencia en Ω a 298 K

T: Temperatura en K

T_N : Temperatura in K

B: Valor de la constante específica del material del termistor NTC.

Esta expresión de temperatura se ingresó en un programa en Visual Basic, que funcionaba en cada computador.

Se construye un circuito (*figura 4.4*) que se introduce en una caja. Esta es la interfaz. La caja tiene un puerto serial que debe ser convertido a USB, para que se pueda poner en los netbook.

Calibración de medidor de flujo:

Para medir el flujo se utiliza “Cyble Sensor”, de marca ITRON. Este medidor entrega una señal por dirección del fluido. Los pulsos son electrónicamente generados (perfectamente cuadrados). No es sensible a los imanes y puede tener en cuenta la dirección del flujo (contraflujo)⁷.

El “Cyble Sensor” debe ser calibrado, por lo que es necesario medir cuánta agua pasa por él. Cada vez que el medidor da una vuelta significa que pasa un litro de agua. Esto debe ser demostrado. Se conectó al osciloscopio y se le fue dejando caer agua paulatinamente al medidor de flujo. Se utilizó un recipiente de 1 litro exacto. Así se logró determinar cuándo se producía un pulso, aparte de saber cuál era la longitud y duración en el tiempo. En primera instancia se observó que entregaba un pulso medible de 212 [ms], sin embargo, esto es muy poco para que lo registre el computador. Para esto se coloca un condensador para alargar el pulso y dejarlo cercano a 1 s. En las figuras 4.4 y 4.5 se observa el circuito construido que está en el interior de la interfaz. Este circuito se ha ido modificando debido a problemas que fueron surgiendo en la toma de datos durante todo el proceso de experimentación.

⁷ Cyble_Sensor_ATEX_EN_V1.1_2009.07.pdf

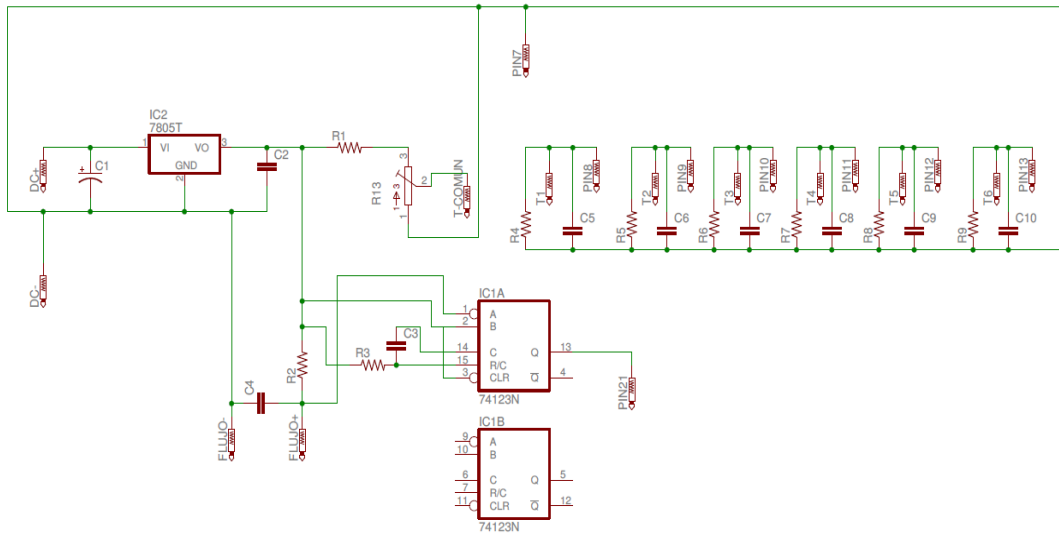


Figura 4.4.- Primer circuito construido de la interfaz. Que luego debió ser reemplazado debido a que la señal de flujo tenía mucho ruido.

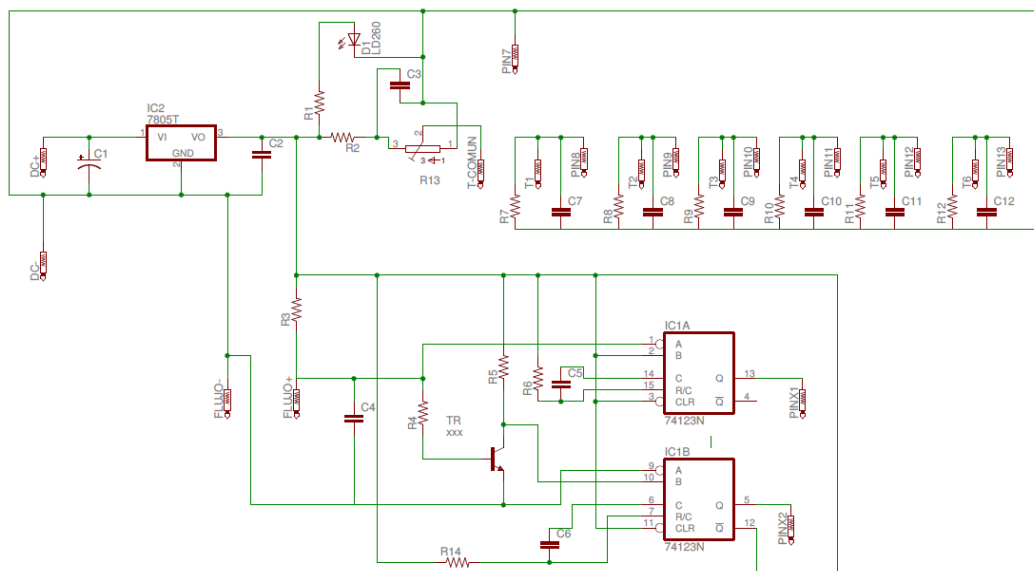


Figura 4.5.- Circuito final de la interfaz. Este circuito es el que está en funcionamiento en este momento. En este esquema el flujo ya no tiene el ruido que dificultaba la medición inicialmente.

4.3. Instalación

Luego de construir el circuito, se observa y determina en que partes del recorrido del SST deberían ir situados los termistores.

Sistema de monitoreo de temperatura:

Para monitorear el sistema, por la interfaz ingresan datos de voltaje que son convertidos en temperatura en el programa realizado en “Visual Basic”. Este programa realiza la operación de la ecuación 4.1. El programa mide datos cada 1 segundo pero los promedia y guarda el dato cada 5 minutos. De este modo se asegura tener los datos suficientes que se pueden analizar, ya que hay muchos datos que varían poco y entorpecerían el análisis al repetirse mucho.

El monitoreo de temperatura se puede observar de modo remoto en la página de la universidad, específicamente en la de temas de ambiente (figura 4.6).

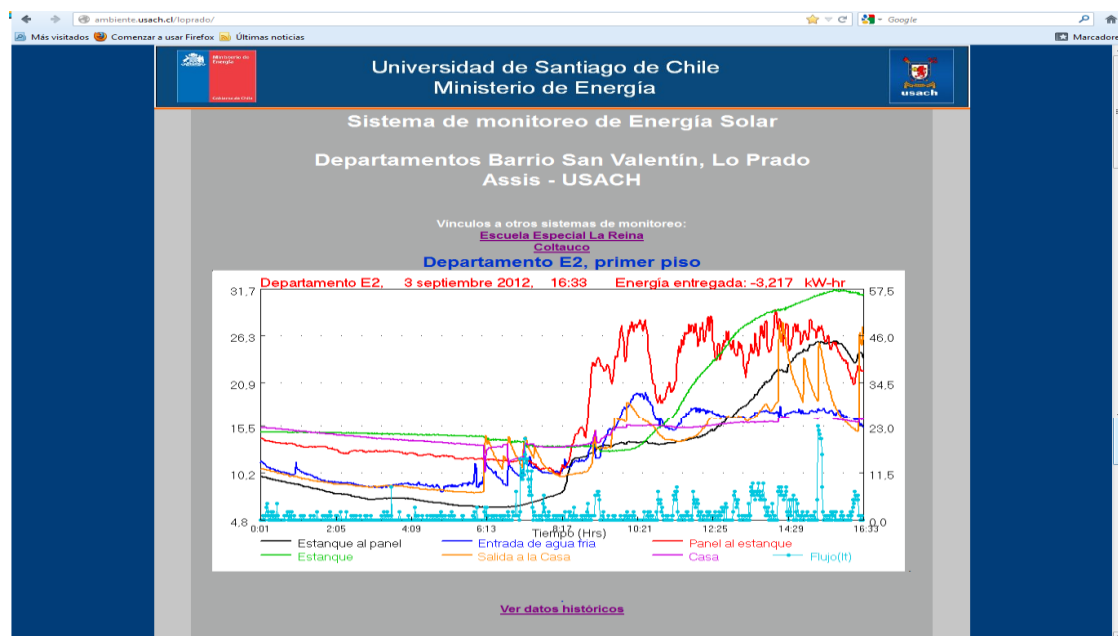


Figura 4.6.- Imagen de los datos medidos durante un día. Estos datos se pueden ver en la página web <http://ambiente.usach.cl/loprado/>.

ya que las viviendas sociales tienen muy poco espacio disponible y en ellas habitan muchas personas (esto se puede observar en el capítulo 2.3.5, en donde se detalla las características de los habitantes de los departamentos).

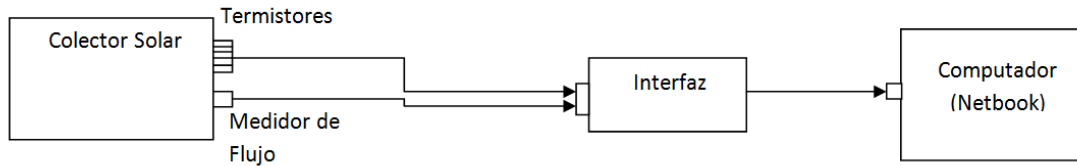


Figura 4.7.- Esquema general de la instalación del sistema de monitoreo en las viviendas.

Como se ha dicho anteriormente, para obtener datos de temperatura se usa una interfaz que permite entregar datos a partir del voltaje (circuito de la *figura 4.4*) en termistores de $6,8 \text{ [k}\Omega\text{]}$. El esquema del sistema general se muestra en la *figura 4.7*. Estos termistores se encuentran ubicados en distintas partes del panel. Se introducen en el interior de un tubo de cobre, en un agujero en la cañería. Estos se colocan en el depósito acumulador y cañerías del sistema solar térmico (*fig.4.9*). Estos termistores a la vez se conectan a la interfaz que ha sido conectada al netbook mediante un conversor análogo digital.



Figura 4.8.- Disposición del termistor en la cañería del panel.

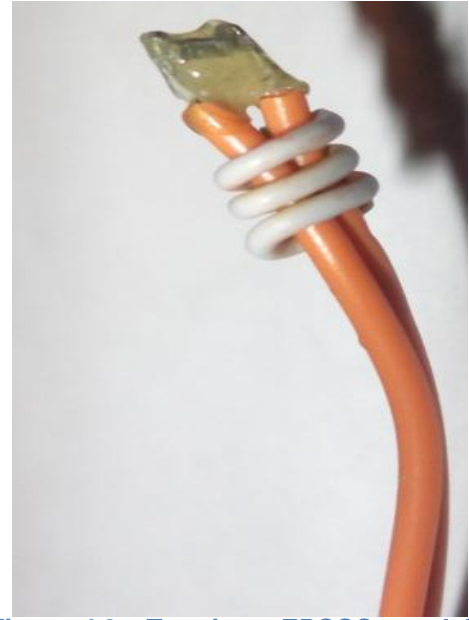


Figura 4.9.- Termistor EPCOS, modelo 0603. Está soldado en un cable y cubierto de poxipol para reforzar la soldadura.



Figura 4.10.- Interfaz donde son conectados los termistores.

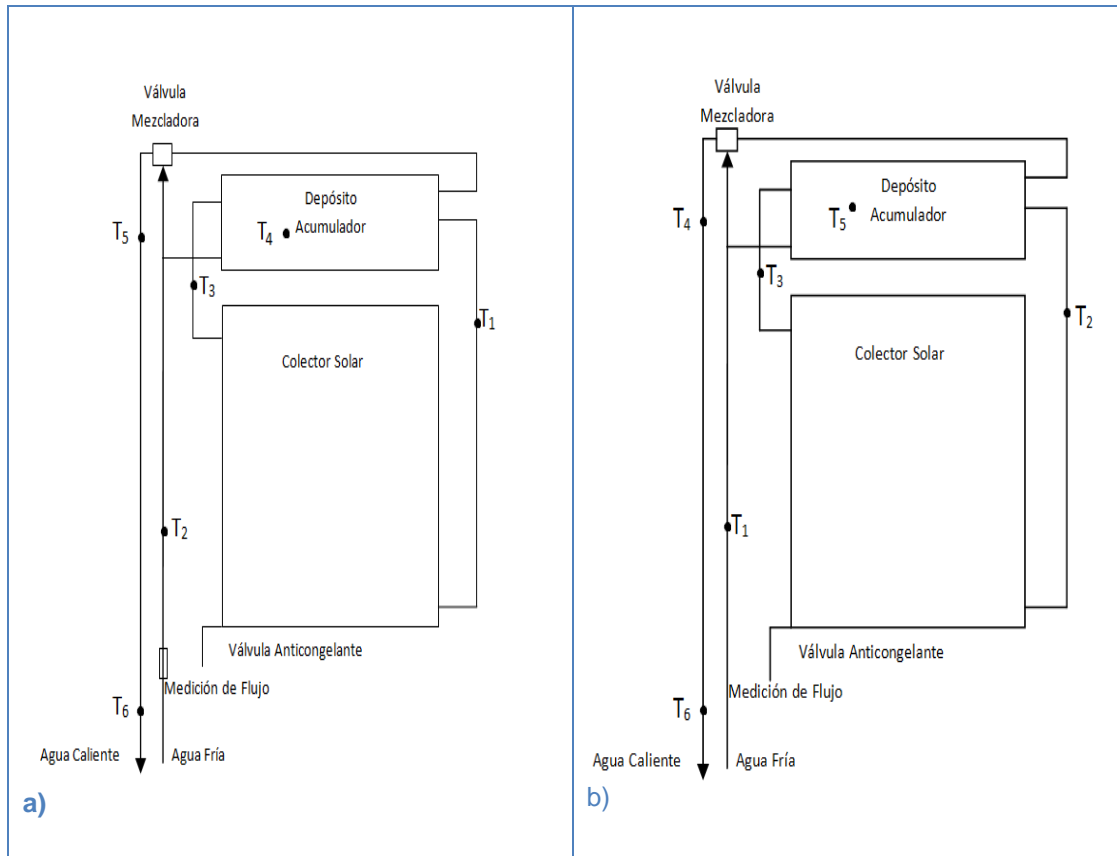


Figura 4.11.- Esquema de la posición de los termistores en el SST: a) Departamento E2 b) Departamento G3.

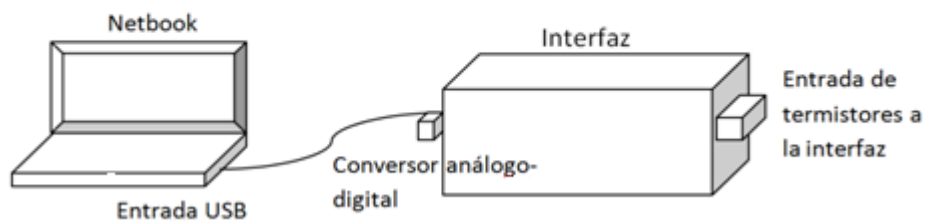


Figura 4.12.- Esquema de conexión entre los elementos del monitoreo.

Se instalan 6 termistores. El termistor T6 está antes de la entrada al calefón. En la caja (interfaz) se colocan números que indican la ubicación del termistor en el SST.

| Números en la caja | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---|------------------|------------------|------|-------|
| Departamento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| E2 | Entrada a panel desde estanque (largo) | Entrada de agua fría | Entrada a estanque desde panel (corto) | Estanque | Salida a la casa | Casa | Flujo |
| G3 | Entrada agua fría | Entrada a estanque desde panel (corto) | Entrada a panel desde estanque (largo) | Salida a la casa | Estanque | Casa | Flujo |

Tabla 4.2. Números de los termistores en la interfaz.

Análisis y resultados

5.1. Determinación de la energía medida en [kW-h] a partir de los datos obtenidos en monitoreo de lo prado.

5.1.1. Determinación de la energía solar

La energía solar se obtiene de la radiación solar medida en la Región Metropolitana (RM) y tiene un mismo valor para toda la región que como se ve en la introducción corresponde a la zona B (*figura 1.4, capítulo 1*).

Los valores de Radiación Solar son medidos en la estación meteorológica de la USACH cada 15 minutos y se registran en la página web <http://ambiente.usach.cl/meteo/>.

La Energía Solar se calcula a partir de la Radiación Solar y se obtiene la siguiente relación:

$$E = \int P(t) dt \quad (5.1)$$

Con $P(t) = I(t)A$ (5.2)

Donde P corresponde a la potencia en función del tiempo, A al área y t al tiempo donde incide la radiación solar. Para el caso de la radiación Solar en la RM el tiempo t corresponde a las mediciones cada 15 minutos.

Los valores de la Energía Solar diaria medida entre los meses Enero y Julio se muestran en los gráficos de la *figura 5.1*.

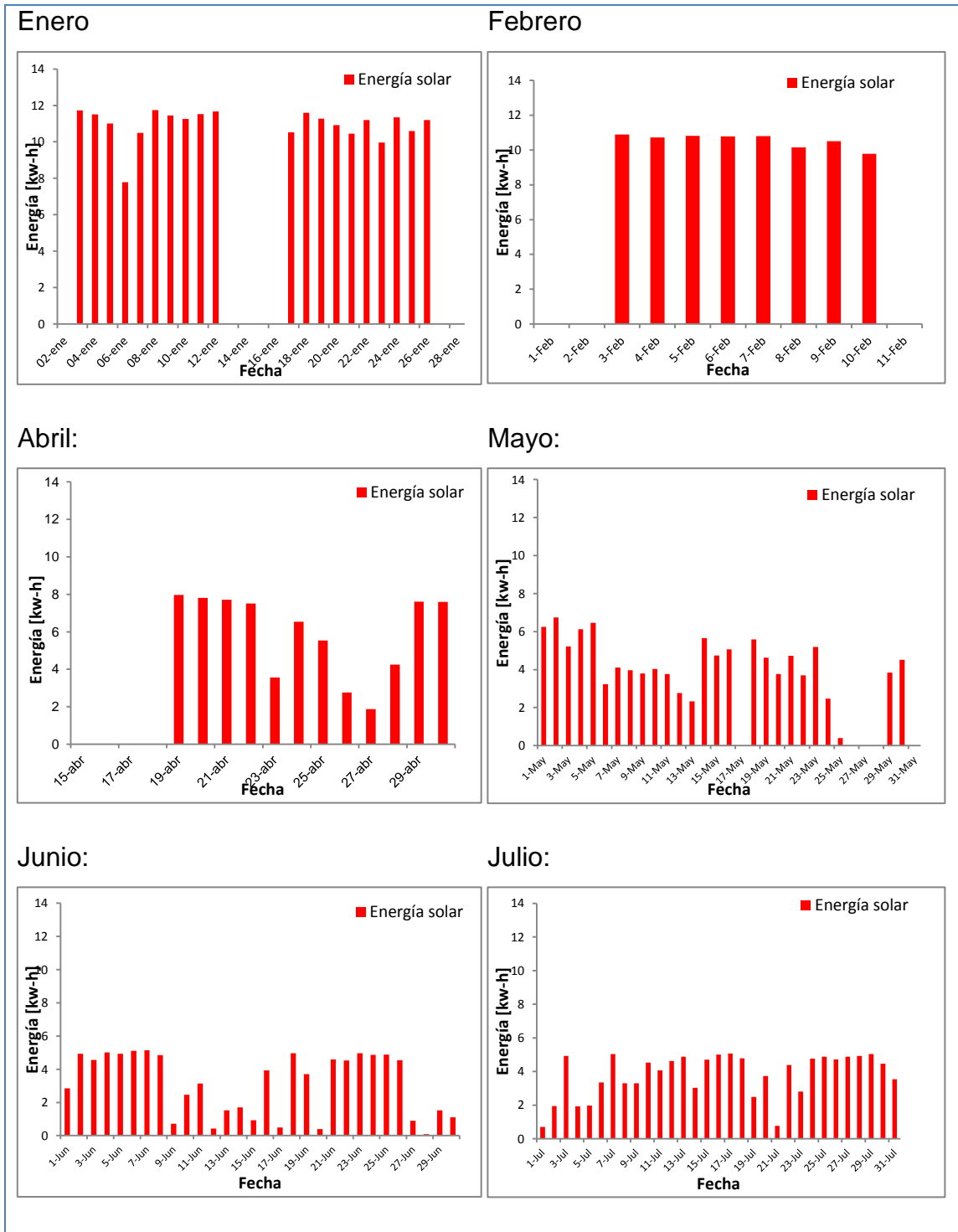


Figura 5.1.- Gráficos de la Energía Solar entre los meses Enero y Julio. No se tienen datos de marzo debido a vacaciones.

Al mirar los gráficos de la *figura 5.1* se ve que la energía solar, es muy alta en los meses de enero y febrero (del orden de 10 y 12 [kW-h]) y comienza a descender en abril. Como no se tienen datos de marzo no se puede saber cuales eran los valores, sin embargo se puede interpolar a que están entre los 9 y 10 [kW-h] observando el valor en los meses aledaños.

5.1.2. Cálculo de la energía en el SST

La energía en el SST se obtiene usando la *ecuación 3.2* (desarrollo teórico). Los valores son promediados entre un valor y otro para tener el valor estadístico de los datos, ya que las mediciones se realizan cada 5 minutos.

Para calcular la energía total utilizada en el sistema en el departamento G3, se utilizó la diferencia de temperatura entre la entrada (temperatura T1 que es el termistor en la de la red de agua fría) y la salida (T6 del termistor que está en el interior de la casa y que se encuentra en la entrada del calefón). Mientras que en el departamento E2 la temperatura del agua fría corresponde a T2 y T6 al interior de la casa.

El sistema se encuentra estacionario (no hay flujo de agua) hasta que se abre la llave del agua caliente. Esto se puede observar en el gráfico de la *figura 5.2*, donde el volumen está en celeste. Se observa que está en cero casi todo el tiempo y cuando se da el agua se empieza a ver que el volumen crece y el medidor de flujo empieza a medir. Aquí el sistema se pone en circulación y baja agua del depósito acumulador hacia la vivienda por lo que se observan las variaciones de temperatura en el SST. Se observa que cuando hay flujo de agua, en T6 la temperatura sube repentinamente en el momento. Es en estos momentos donde se debe calcular la energía. Esto se puede observar en los gráficos de las *figuras 5.2 y 5.3*.

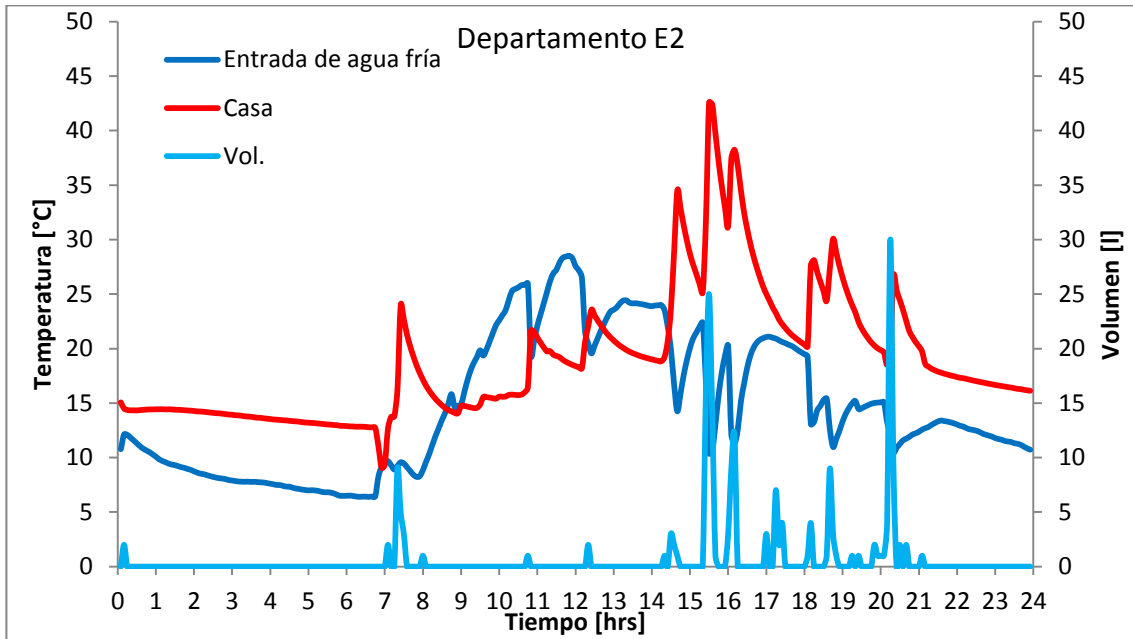


Figura 5.2.- Día 2 de Mayo. Gráfico de la temperatura de entrada del agua fría, la temperatura de consumo y del volumen del flujo. El volumen está en 0 todo el tiempo, solo cuando hay una variación de temperatura varía.

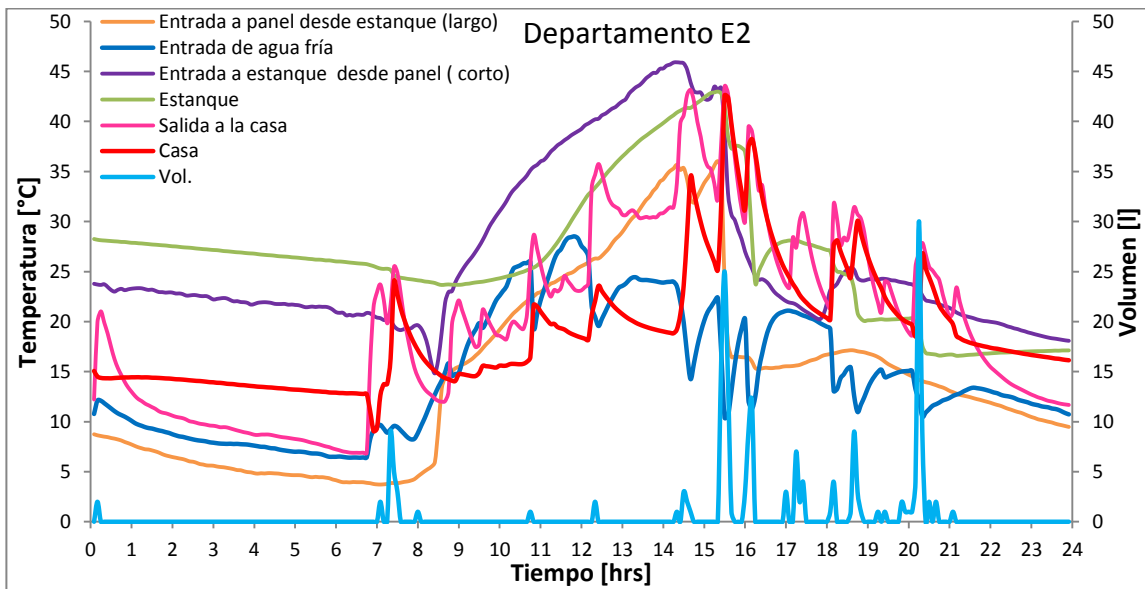


Figura 5.3.- Día 2 de mayo. En este gráfico se puede ver el comportamiento de las temperaturas en diferentes partes del SST a lo largo del día.

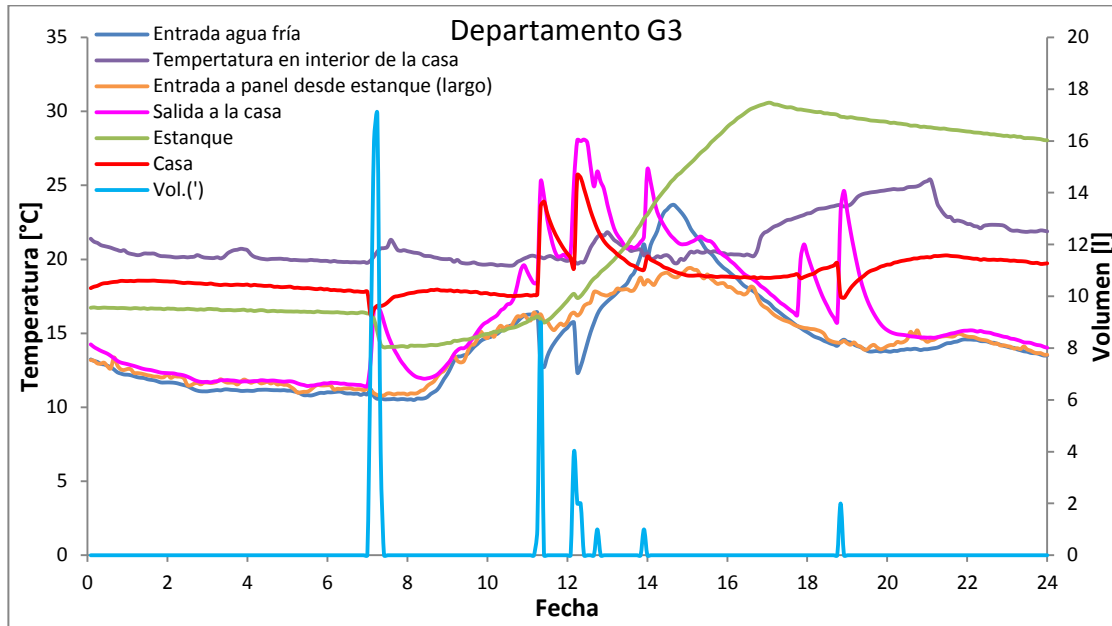


Figura 5.4.- Día 16 de junio. En este gráfico se puede ver el comportamiento de las temperaturas de agua en el SST a lo largo del día.

En los gráficos anteriores se puede ver como varía la temperatura de entrada del agua fría y a su vez como varía la de salida del agua caliente.

Energía demandada

La energía demandada se define estimando una temperatura del agua de consumo de referencia de 45°C [6]. En este caso para el departamento G3 y E2 la temperatura con este valor corresponde a la entrada al calefón (T6) y se calcula de la misma manera que la energía total del sistema.

Se puede ver como varía el flujo, la energía entregada y demandada por el panel en el Apéndice I.

5.2. Relación entre energía entregada por el panel y la energía demandada y energía solar

La energía entregada por el SST a la vivienda se relaciona con la energía demandada y la energía solar. Esto es para observar como es la eficiencia del SST instalado en Lo Prado.

5.2.1. Relación entre Energía entregada y Energía demandada

Departamento E2

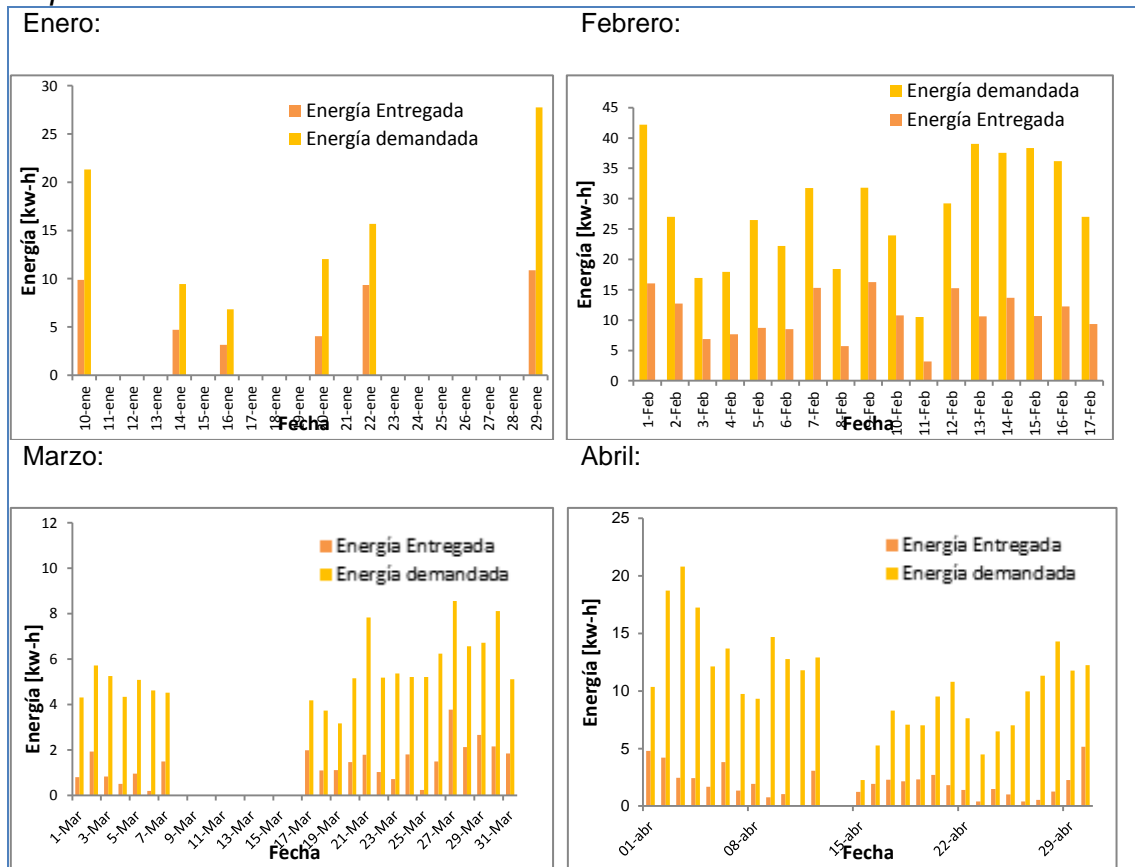
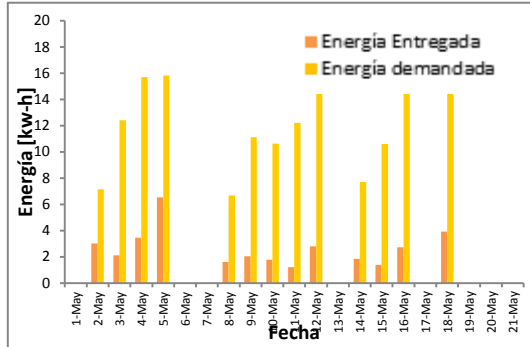
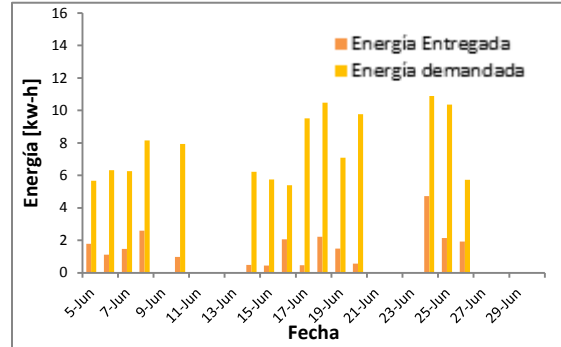


Figura 5.5 a.- Relación entre la energía demandada y la energía entregada a la vivienda por el SST entre los meses de Enero y Abril.

Mayo:



Junio:



Julio:

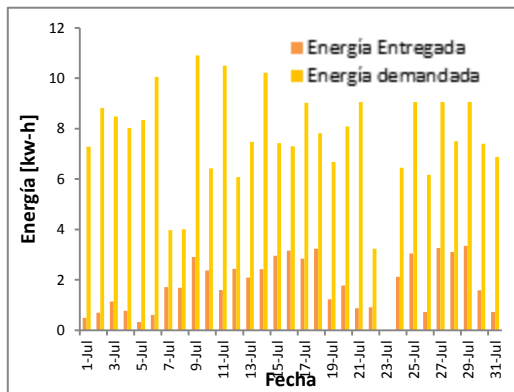


Figura 5.5 b.- Relación entre la energía demandada y la energía entregada a la vivienda por el SST entre los meses de Mayo y Julio.

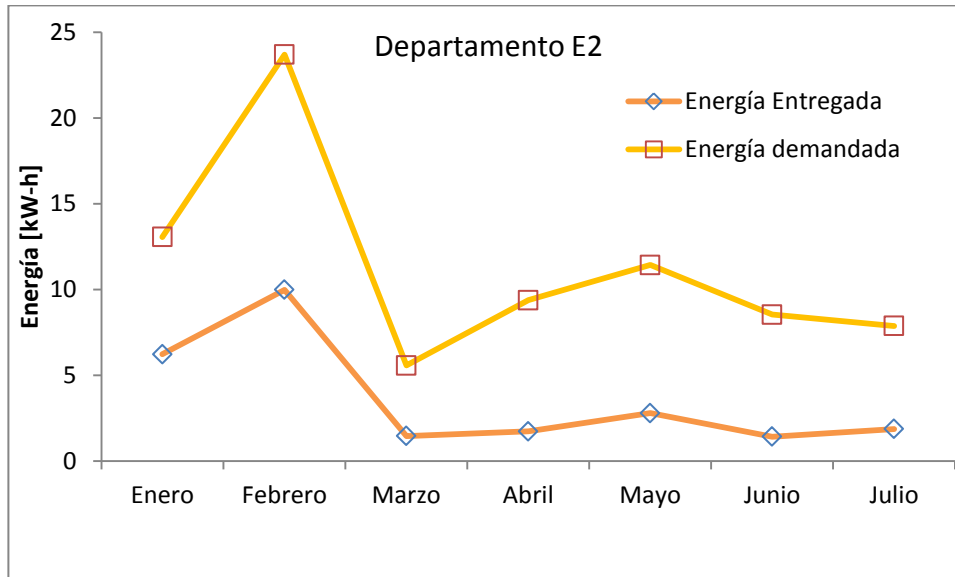


Figura 5.6.- Relación entre el promedio mensual de la energía entregada y el promedio mensual de la energía demandada.

La energía entregada y la demandada se relacionan como el cociente entre ellas.

| Mes | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
|-----------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| E diaria/ E demandada | 0,48 | 0,42 | 0,26 | 0,18 | 0,24 | 0,17 | 0,24 |

Tabla 5.1.- Factor de relación entre el promedio mensual de la energía entregada y el promedio mensual de la energía demandada.

En la tabla 5.1, se puede ver que en enero hay una gran demanda de energía y en invierno disminuye, ya que también disminuye el uso del SST:

Departamento G3

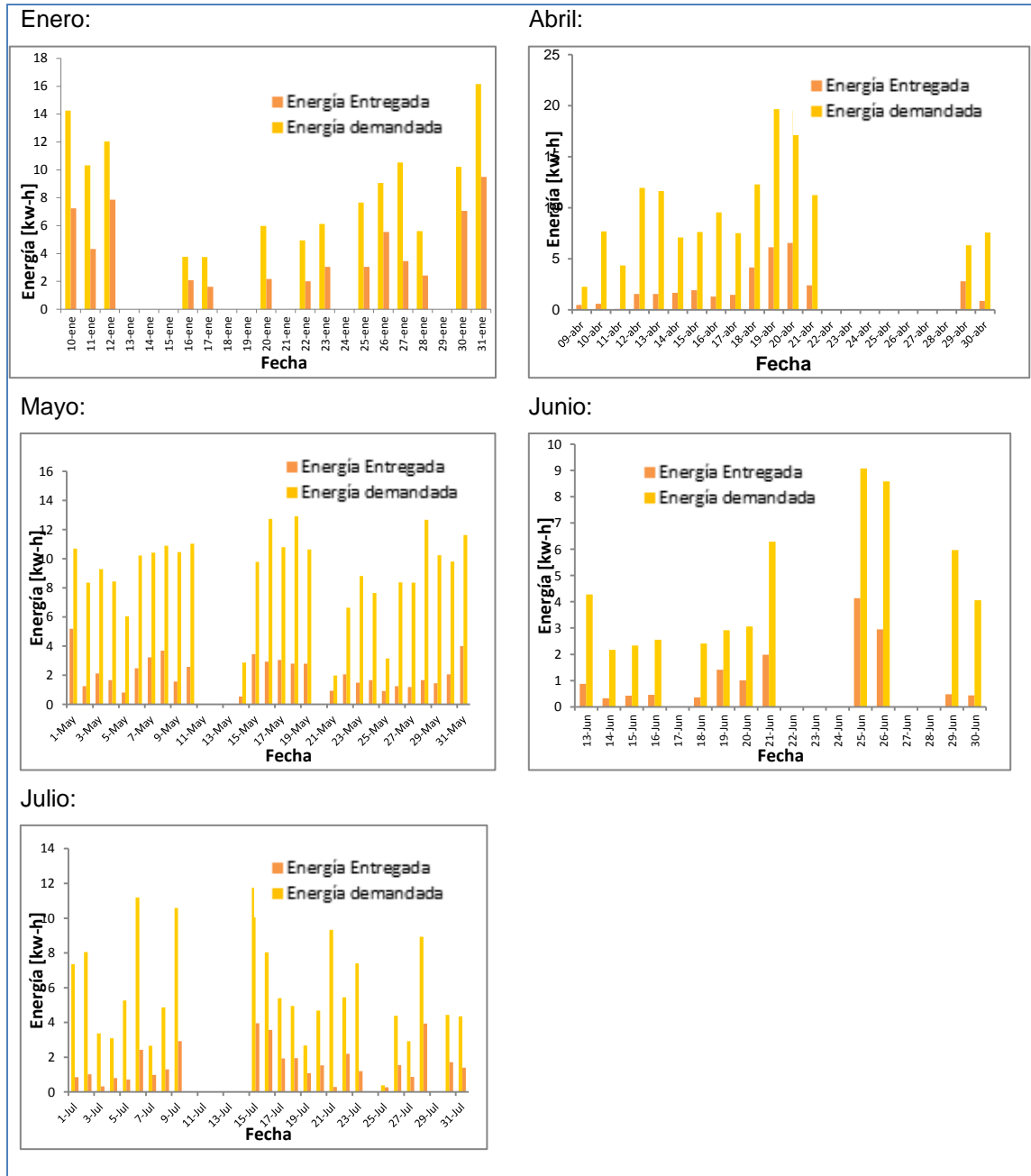


Figura 5.7.- Relación entre la Energía demandada y la energía entregada por el SST a la vivienda entre los meses Enero y Julio.

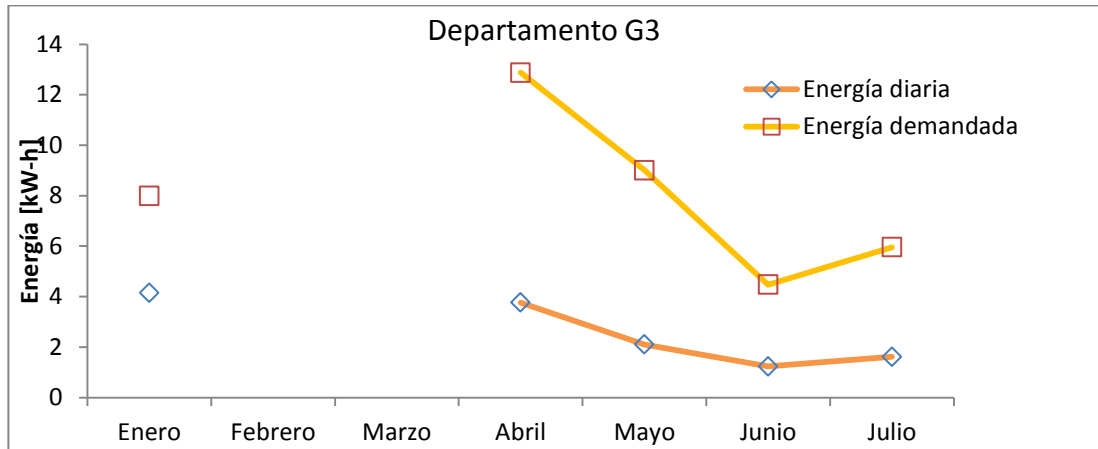


Figura 5.8.- Relación entre el promedio mensual de la energía entregada y el promedio mensual de la energía demandada en Departamento G3.

La energía entregada y la demandada se relacionan como el cociente entre ellas.

| Mes | Enero | Abril | Mayo | Junio | Julio |
|-----------------------|-------|-------|------|-------|-------|
| E diaria/ E demandada | 0,52 | 0,29 | 0,23 | 0,28 | 0,27 |

Tabla 5.2.- Factor de relación entre la energía entregada y la energía demandada.

En la tabla 5.8, se puede ver que en enero hay una gran demanda de energía y en invierno disminuye, ya que también disminuye el uso del SST: Del mismo modo que en el departamento E2.

En los gráficos de las *figura 5.5 y 5.6* la energía demandada se va distanciando más de la energía entregada a la vivienda a medida que transcurren los meses. Esto ocurre a la par con la disminución de radiación solar (*figura 5.1*). En este momento es cuando la familia hace uso del sistema de apoyo, que en el caso de ambas viviendas es el calefón.

Se observa que la energía demandada es muy alta en los días de verano. A medida que se acerca el invierno, la demanda de energía disminuye. Aunque en algunos días de meses del otoño e invierno se ven máximos de gran demanda de energía, esto se debe a que esos días la radiación solar fue muy fuerte pero al día siguiente nuevamente está nublado.

5.2.2. Relación entre Energía entregada y Energía Solar

Departamento E2

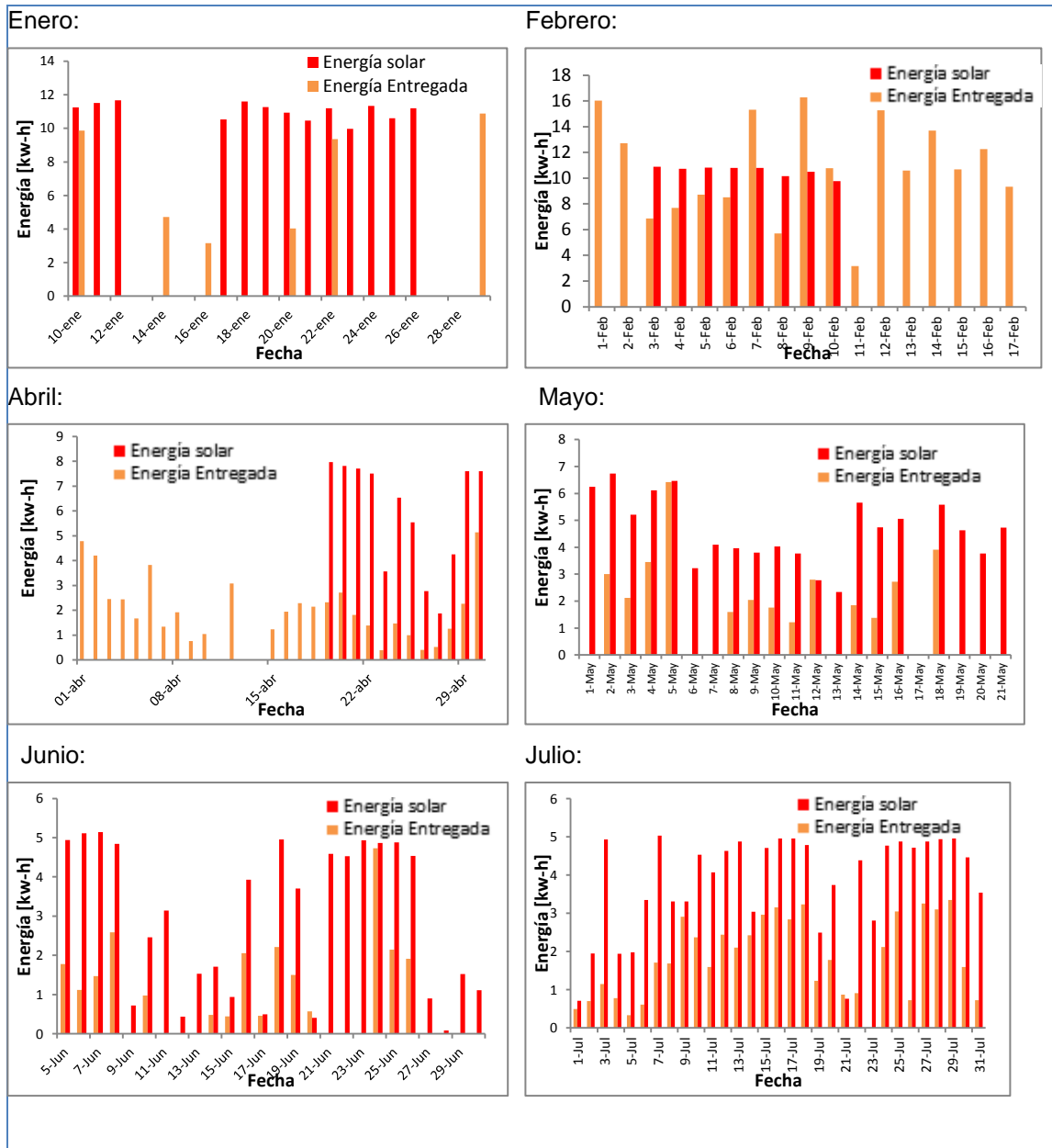


Figura 5.9.- Relación entre la Energía Solar incidente y la Energía entregada por el SST a la vivienda entre los meses Enero y Julio en el Departamento E2.

Departamento G3

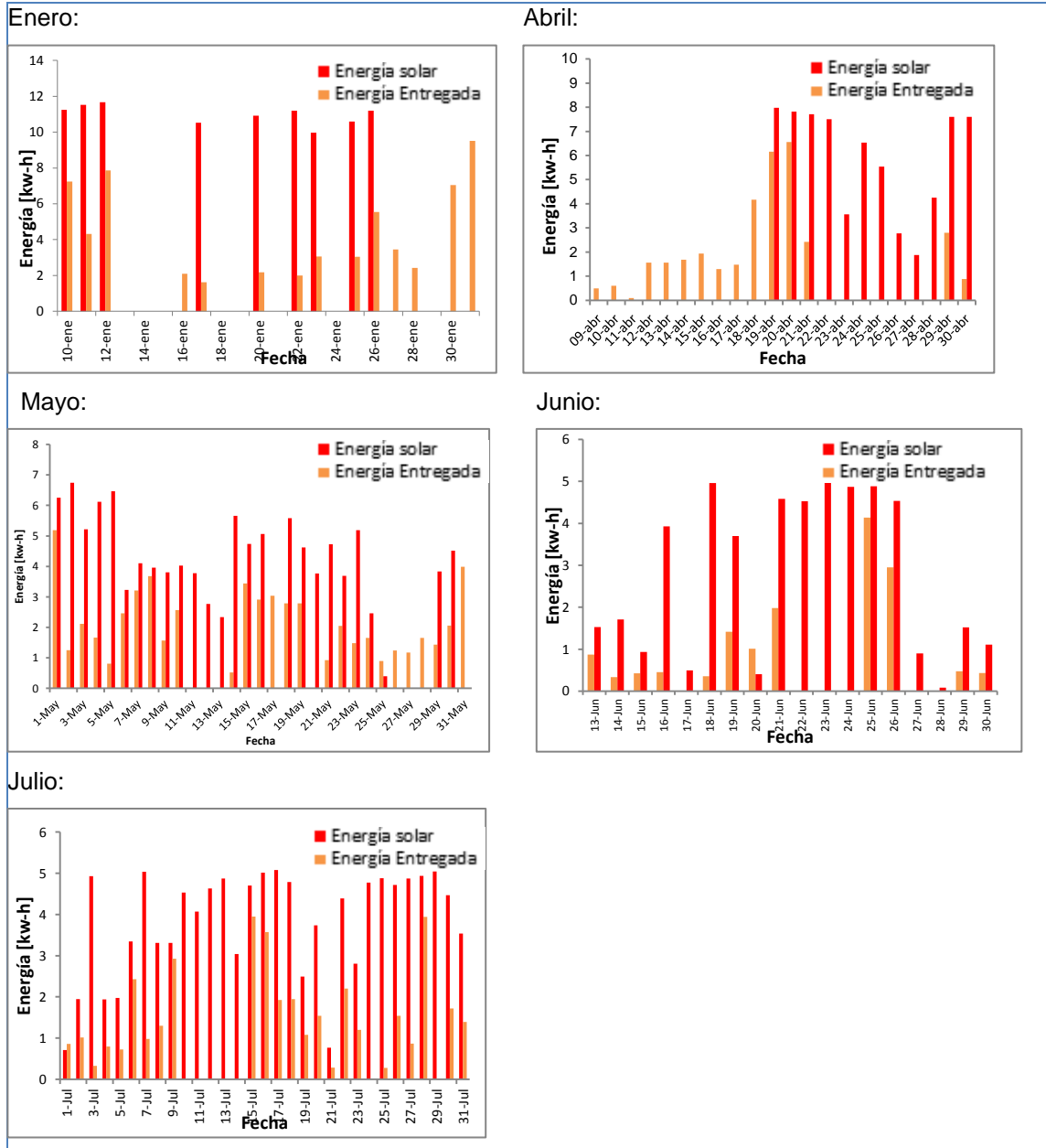


Figura 5.10.- Relación entre la Energía Solar y la Energía entregada por el SST a la vivienda entre los meses Enero y Julio en el Departamento G3.

Observando los datos las *figuras 5.9 y 5.10* se observa que la energía solar siempre es mayor que la energía entregada por el SST a la vivienda. Sin embargo, como se explica en el capítulo 3, a veces la energía entregada puede ser mayor a la solar, ya que puede haber sido guardada durante la noche en el depósito acumulador. Esto se observa en el mes de febrero, donde hay dos días con este fenómeno. Estos días también se podría haber registrado un mayor consumo de agua, ya que recordando la *ecuación 3.2* se requiere el volumen del agua para calcular la energía entregada diariamente por el SST a la vivienda.

Se observa que la energía entregada baja drásticamente en relación a la energía solar en el mes de abril en adelante. También se observa que en los días de lluvia la energía solar se diferencia poco de la energía entregada. En el mes de marzo no se registra medición por eso el valor es 0.

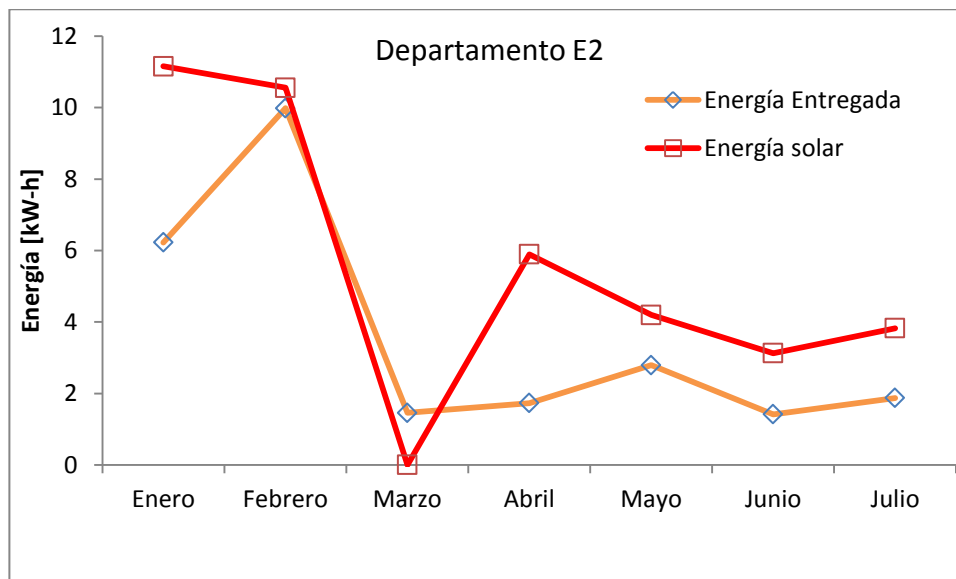


Figura 5.11.- Relación entre la Energía Solar promedio mensual y la Energía Entregada promedio mensual en el Departamento E2.

En los datos del departamento E2 (*figura 5.9*), se puede observar que la energía entregada por el colector solar los días 5 y 12 de mayo es casi igual a

la energía solar, varía solo en un pequeño valor. Esto puede ser por el consumo de agua. Fijándose en el calendario ambos días son día domingo, entonces este día varía el consumo de agua en todas las viviendas.

Se advierte el bajo volumen de algunos días (anexo), con el resultado de un valor muy bajo de energía. Esto se puede deber a que la familia viajó ese día o había solo una persona en la casa y consumió muy poca agua.

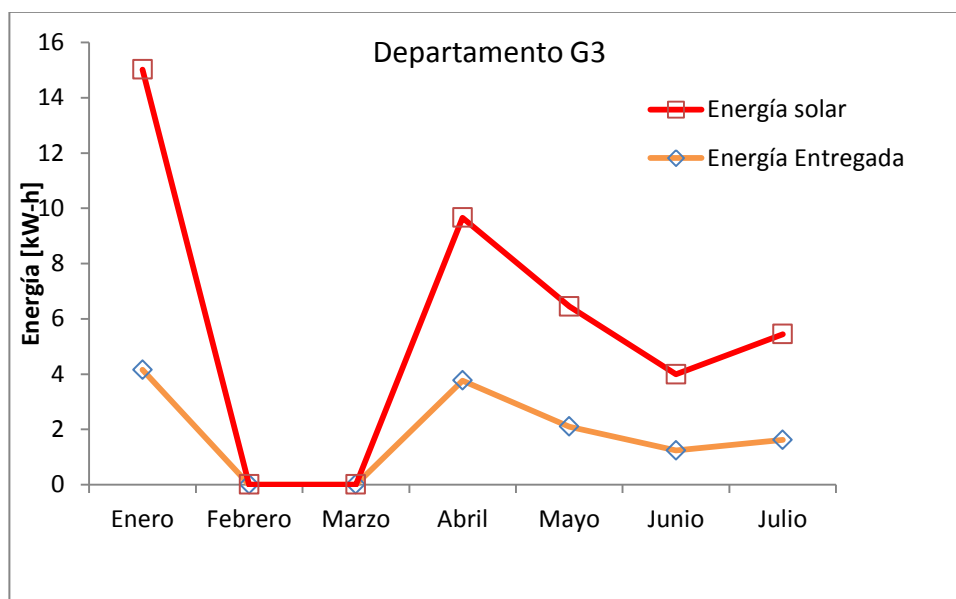


Figura 5.12.- Energía solar relacionada con la energía entregada en el Departamento G3. El comportamiento de las personas en el Departamento G3 es similar al del E2.

5.3. Eficiencia del SST

Remontando al capítulo 3 y la ecuación 3.3, la eficiencia del SST se calcula como la fracción entre la energía total diaria entregada y la energía incidente en el panel por el Sol. En la *tabla 5.2* se entrega la eficiencia promedio obtenida entre los meses de enero y julio.

| Departamento | Eficiencia % | | | | | | |
|--------------|--------------|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
| E2 | 69 | 94,6 | | 27 | 53,5 | 36,4 | 49,9 |
| G3 | 37 | | | 48 | 49,4 | 44 | 47,4 |

Tabla 5.3.- Eficiencia porcentual de los SST entre enero y julio.

El mes de enero arroja un alto valor de la eficiencia energética en el departamento E2 y un valor pequeño para los datos en el departamento G3. Como se muestra en los gráficos de la energía (*apéndice I*), el mes de enero tuvo muy pocos datos en el departamento G3, por lo que este valor no es representativo. Estos pocos datos representan también que las personas consumen toda el agua del depósito acumulador en el día.

En el mes de mayo se observa que la eficiencia del SST es muy alta, pero ocurre, que como se explicó anteriormente, el agua calentada un día de alta energía solar puede guardarse para el otro día, por lo que aunque haya un día nublado de todas maneras pudo usarse el agua recolectada el día anterior sin que tenga importancia que se mida radiación alta ese día o no.

En el apéndice II se encuentran la suma y el promedio de los valores obtenidos en todos los meses.

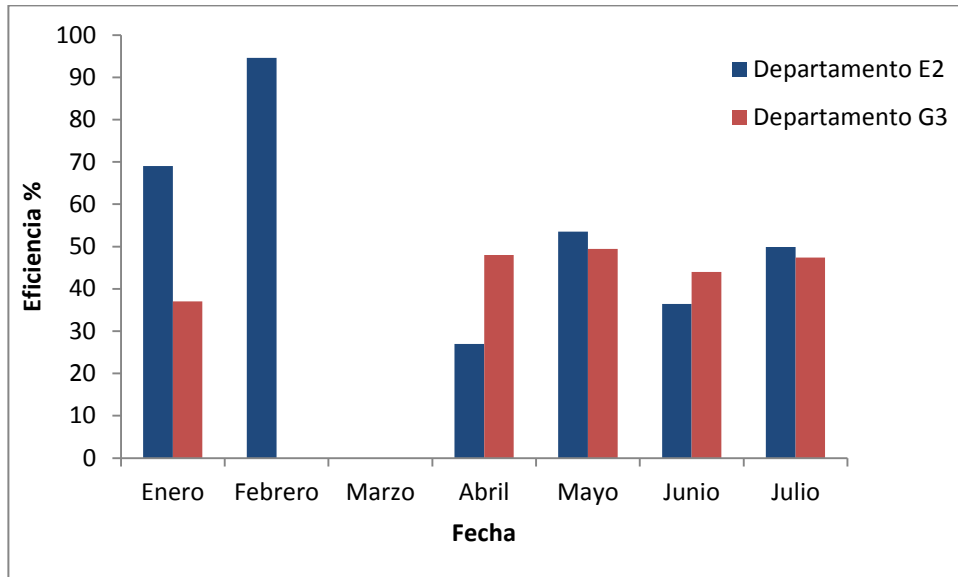


Figura 5.13.-Gráfico de la eficiencia porcentual promedio entre enero y julio.

Cuando la eficiencia de un SST se va acercando al valor de 100 e incluso lo sobrepasa significa que el SST está cumpliendo la función de calentar agua. Sin embargo, estos valores no indican si la familia puede usarla durante todo el año ya que el valor porcentual de la eficiencia no depende de los valores de la energía, sino del cociente entre la energía entregada a la vivienda y la energía solar y esto puede ser cercano a 100 aunque los valores de la energía sean muy bajos. Pero al ir observando la energía solar y la relación que se produce con la energía entregada y al mismo tiempo la energía demandada, se observa que gran parte de la energía incidente en el panel solar puede ser traspasada al agua de consumo y de este modo mientras más alta sea la energía solar, más alta será la energía entregada a la vivienda y la temperatura del agua será más óptima para el consumo de la familia.

5.4. Comparación de la eficiencia obtenida con un estudio similar

En la Escuela Profesional de Física de la Universidad Nacional de San Agustín en Perú, se realizó una medición similar a la hecha con los termistores y también se calculó la eficiencia. El colector al que se le hizo el estudio era de sistema indirecto porque miden la eficiencia en el colector solar y en el estanque, ya que los líquidos son distintos. Para medir temperatura también se ocuparon termistores.

Se realizaron cinco pruebas, en tres días de ensayo. Las pruebas se iniciaron aproximadamente a las 11:00 am con el colector solar tapado con un cobertor opaco externo. Luego se procedió a retirar el cobertor externo para que la radiación solar incidiera sobre el colector de manera que ésta contribuye en el aumento de temperatura del agua del colector. Se mantuvo el estado anterior hasta que la temperatura de la salida del agua del colector fuera constante.

Todas las mediciones se deben realizar con el cielo totalmente despejado y en las horas de mayor intensidad de radiación solar.

En cada una de las pruebas se ha esperado que el colector alcance condiciones casi estacionarias en la temperatura [8].

Eficiencia Colector solar: 60.35%

Eficiencia Depósito acumulador: 55,7 %

Energía Solar: 11,01 [kW-h]

Comparando con los datos obtenidos en el estudio de la eficiencia en el barrio San Valentín, los valores se asemejan al promedio de un mes, tomando en cuenta el mes de enero que es el que registra valores de radiación solar similares. Se observa que los valores obtenidos en ambos meses son similares. Sin embargo, la metodología es diferente, ya que en el estudio de la eficiencia

del barrio San Valentín los valores se miden durante varios meses, lo que hace más representativa la muestra.

5.5. Relación entre la energía entregada a la vivienda y el valor monetario (\$)

Un Kilowatt-hora equivale aproximadamente al calor que entregan 78 [gr] de gas licuado, 105 [cc] de kerosene o 250 [gr] de leña cuando se queman completamente sin que los gases producidos se condensen.⁸

La equivalencia en dinero de la energía entregada por el SST se calcula tomando el precio de un balón de gas de 15 [kg] a un valor de \$11.150 de enero a junio y de \$12.700 en julio. Sabiendo que 1 [kg] de gas corresponde a 14 [kW-h]⁹ entonces el precio de un 1 [kg] es aproximadamente \$750 el primer caso y \$850 en julio. Por lo que el valor de la energía se calcula haciendo la equivalencia entre estos valores. En la tabla 5.4 se ven los valores en pesos de la energía.

| | Valor monetario \$ | | | | | | |
|--------------|--------------------|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| Departamento | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
| E2 | 2251 | 9837 | 1718 | 2995 | 2386 | 1518 | 3412 |
| G3 | 3288 | | - | 1805 | 3139 | 795 | 2355 |

Tabla 5.4.- Valor en pesos mensual de la energía entregada por el SST.

Se debe tomar en consideración que el valor monetario corresponde al valor en pesos del [kW-h] del gas. En este caso se puede ver que los montos señalados corresponden a dinero que la familia puede invertir y usar para mejorar su calidad de vida.

Tomando como relación el valor del balón de gas para julio se puede hacer una estimación del valor de la energía usada en el mes de enero y en el mes de

⁸ http://www.toyotomi.cl/costo_kilowatt.php

⁹ <http://www.minetur.gob.es/energia/GLP/Paginas/Index.aspx>

julio. En las figuras 5.14 y 5.15 se observa el valor de la energía consumida en cada día.

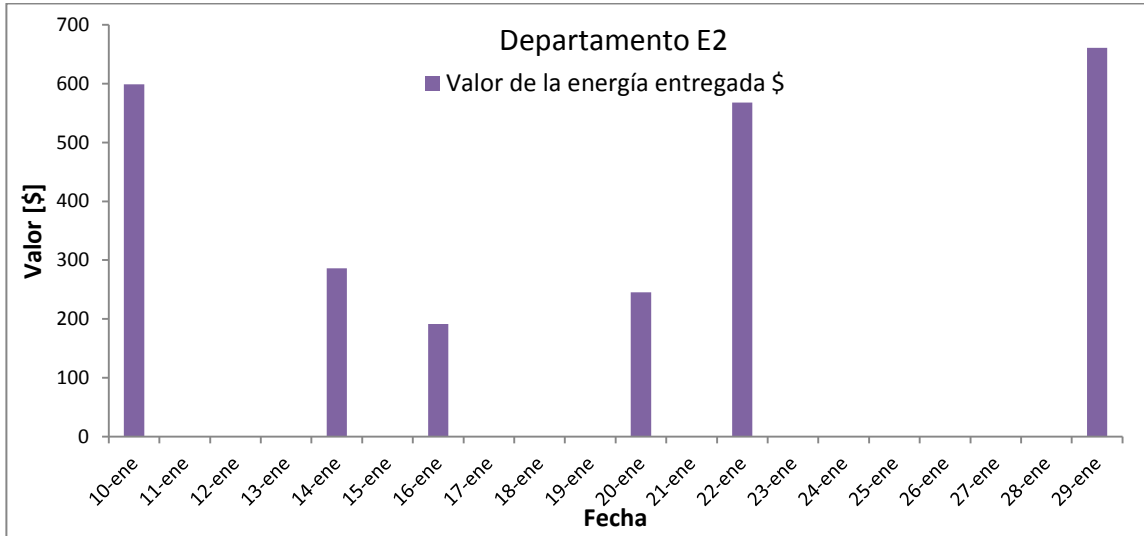


Figura 5.14.- Gráfico del equivalente de la energía entregada diaria en costo monetario en Enero.

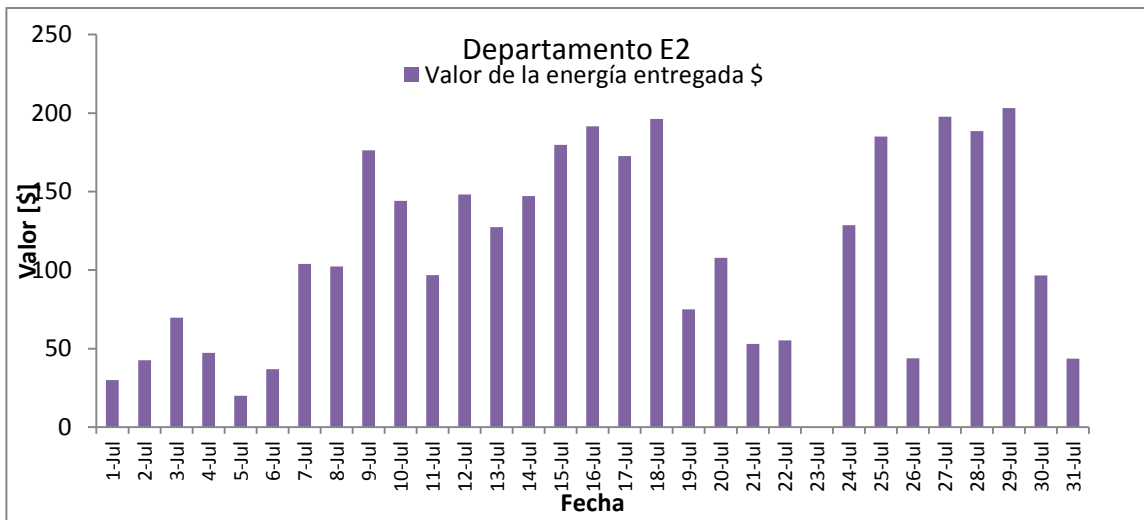


Figura 5.15.- Gráfico del equivalente de la energía entregada diaria en costo monetario en Julio.

Se observa que en el gráfico de enero el promedio del valor diario entregado por el SST es \$425 mientras que en julio es \$114. Haciendo una estimación solo con los promedios se puede ver que en ambos meses de 31 días el dinero que las personas no destinaron a combustible es:

Enero: \$13.180

Julio: \$3.525

Estas estimaciones se acercan bastante a lo que se midió. Los cálculos del valor fueron tomando un galón de gas de 15 kg con un valor de enero a junio de \$11.250, mientras que en julio el valor usado fue \$12.700, sin embargo para hacer los cálculos del valor de enero en la *figura 5.14* se usó el valor del balón de julio.

Capítulo 6

Conclusiones

En el presente trabajo se ha podido estudiar la eficiencia de un Sistema Solar Térmico desde el punto de vista de la energía solar incidente sobre el panel solar y de que modo esta es traspasada a los beneficiarios del sistema.

La eficiencia varió para distintos meses sin embargo, se advirtió que como la eficiencia es el cociente entre la energía entregada y la energía solar puede tener un alto valor sin importar el valor de las energías comprometidas y esto hace que en meses de invierno sea alta.

Promedio de Eficiencia porcentual mensual para cada departamento:

| Departamento | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
|--------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| E2 | 69 | 95 | | 27 | 54 | 36 | 50 |
| G3 | 37 | | | 48 | 49 | 44 | 47 |

Valor monetario promedio mensual:

| Departamento | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
|--------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E2 | 2.251 | 9.837 | 1.718 | 2.995 | 2.386 | 1.518 | 3.412 |
| G3 | 3.288 | - | - | 1.805 | 3.139 | 795 | 2.355 |

Energía entregada diaria mensual para cada departamento:

| Departamento | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
|--------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| E2 | 6,22 | 9,98 | 1,45 | 1,72 | 2,79 | 1,41 | 1,87 |
| G3 | 4,15 | - | - | 3,76 | 2,10 | 1,23 | 1,61 |

En las tablas anteriores se ven los valores promedios que se obtuvieron. Se puede observar que va disminuyendo a medida que avanza hacia los meses de invierno. Sin embargo el SST resulta un efectivo método para que las familias eviten gastar dinero en ACS y lo destinen a otra cosa.

Las personas que habitan las viviendas donde se instaló el equipo de monitoreo se mostraron dispuestas a colaborar arduamente con la investigación.

El monitoreo, para estudiar la eficiencia, es una experiencia única en el país, ya que los SST llevan poco tiempo en Chile como tecnología establecida. La idea de monitorear los colectores solares del barrio San Valentín surge para saber que tan bien están funcionando estos colectores, debido a que cuando se instalaron no había alguna norma técnica para las viviendas sociales. Luego se creó el itemizado técnico [9] que regula la instalación de SST en este tipo de viviendas.

El estudio de la eficiencia del SST en el barrio San Valentín, comuna de Lo Prado logró cuantificar el beneficio de la energía solar en las viviendas. Este estudio se puede aplicar de la misma manera para otros SST unifamiliares, ya sea en viviendas sociales o cualquier otro tipo de instalación.

Se observó que la eficiencia del sistema era buena, sin embargo al aislar las cañerías sería mejor. En el gráfico de la *figura 5.4* se ve que la línea rosada es la temperatura antes de recorrer la cañería y llegar al consumo y la línea roja es el agua de consumo. Hay una diferencia entre estas temperaturas, esto se debe que no existe aislamiento.

El estudio de la eficiencia demostró que los SST instalados en el barrio San Valentín en la comuna de Lo Prado son un aporte a la pequeña economía de cada hogar. Las personas se muestran muy contentas con el sistema ya que les permite tener hasta 6 meses de ACS sin tener que recurrir al gas. Esto les permite usar el dinero destinado a calentar agua para satisfacer otras

necesidades básicas. La importancia de la instalación de SST en viviendas sociales es un paso importante para el desarrollo de la comunidad.

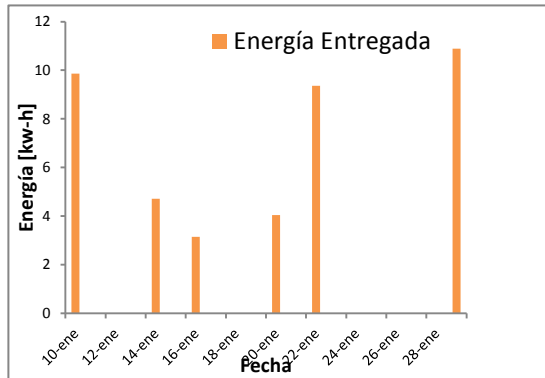
Apéndice I

Gráficos:

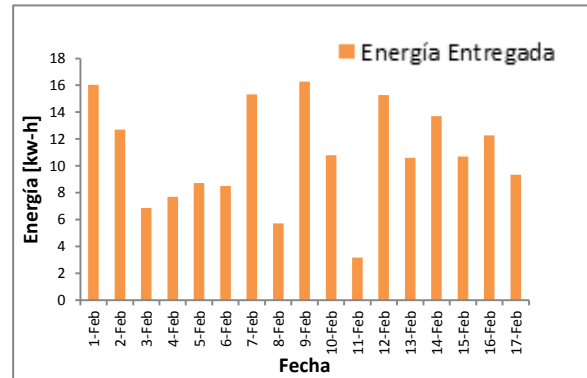
Departamento E2

Energía entregada por el SST en diferentes meses del año.

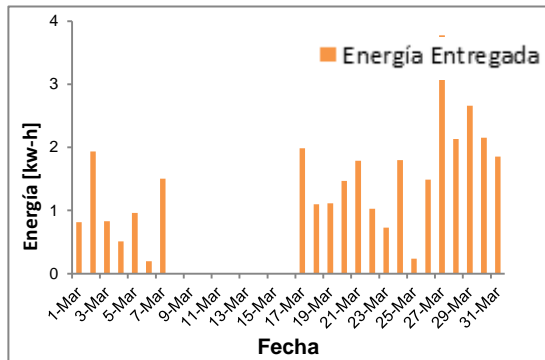
Enero:



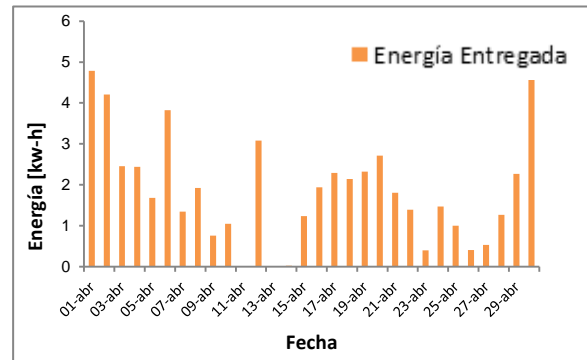
Febrero:



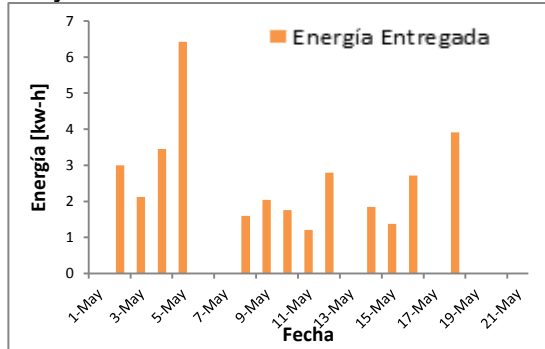
Marzo:



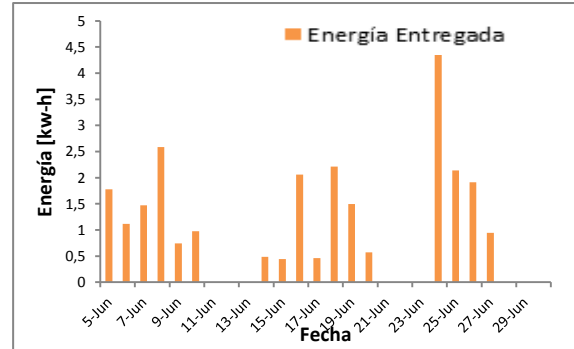
Abril:



Mayo:



Junio:



Julio:

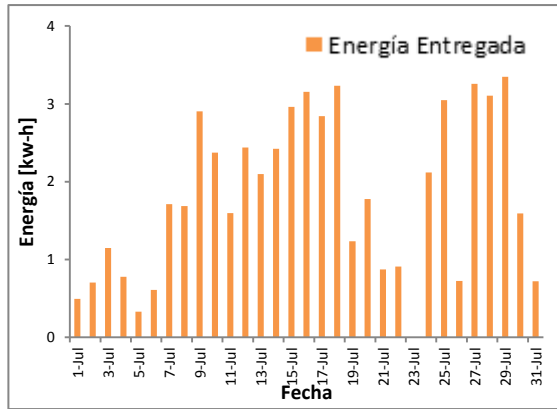
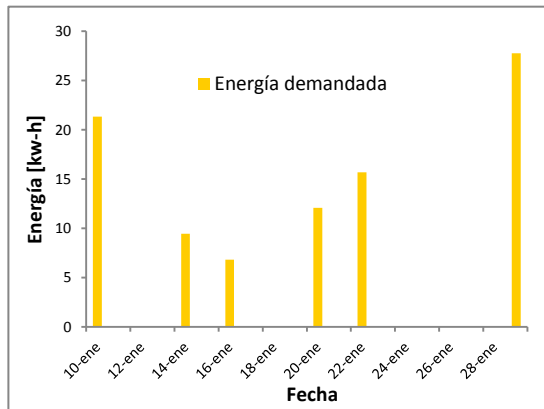


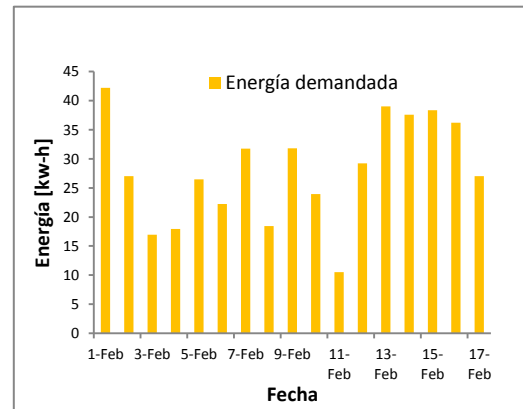
Figura I.1.- Energía entregada en el Departamento E2.

Energía demandada por las personas en el hogar:

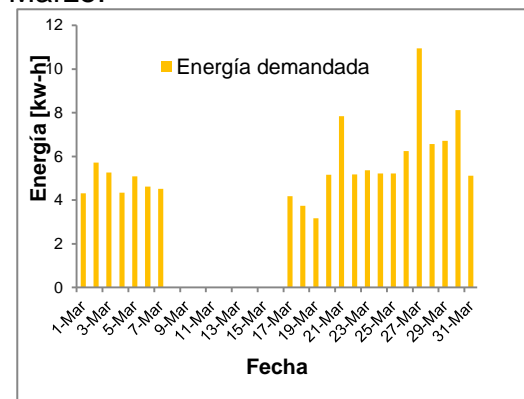
Enero:



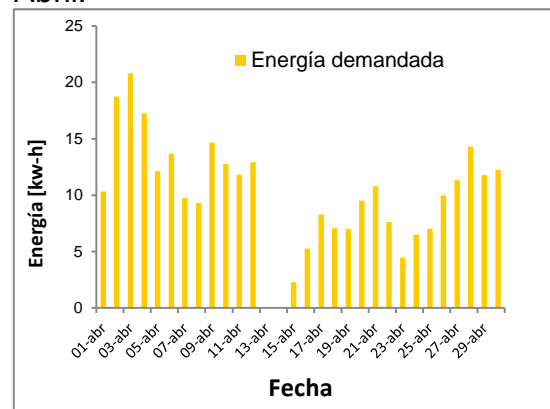
Febrero:



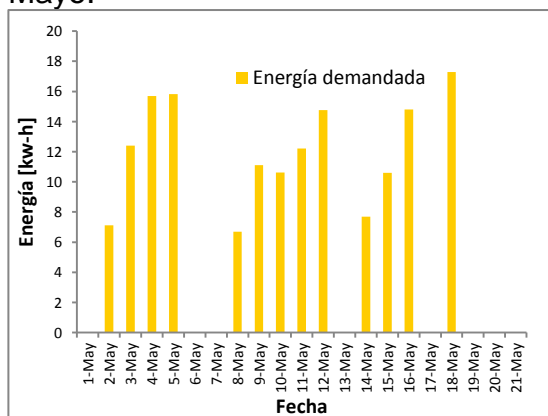
Marzo:



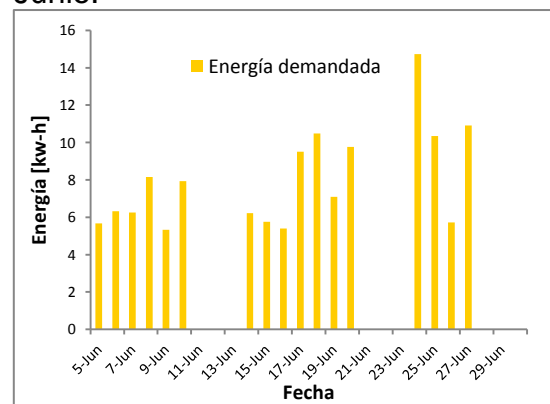
Abril:



Mayo:



Junio:



Julio:

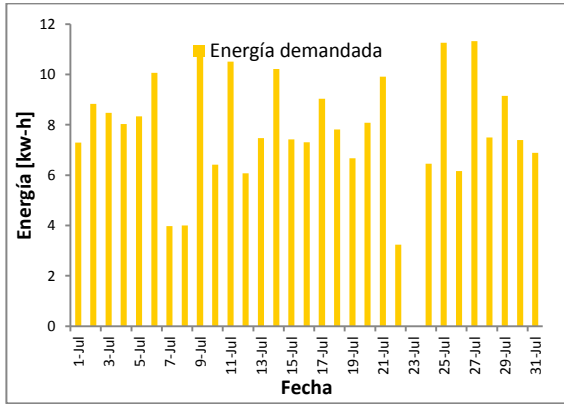
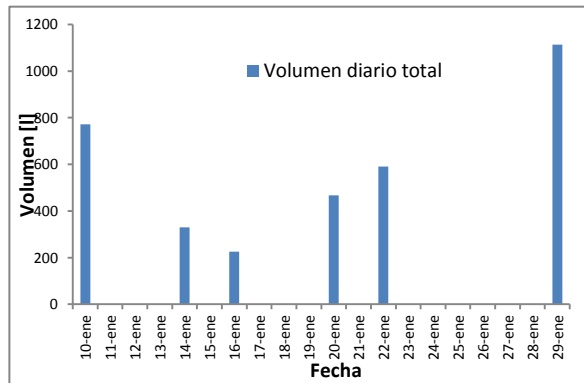


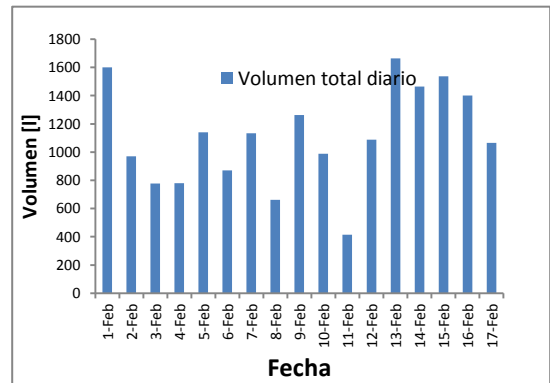
Figura I.2.- Energía demandada en el Departamento E2.

Volumen:

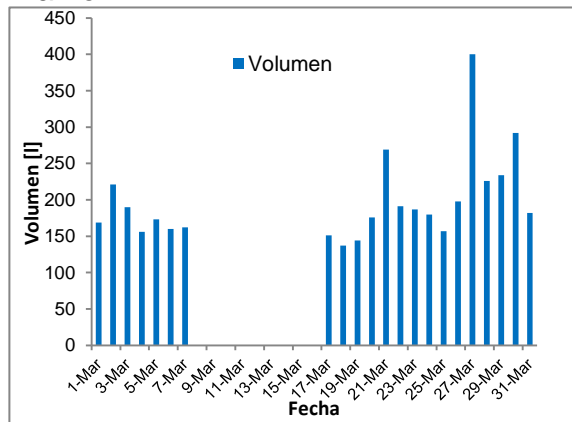
Enero:



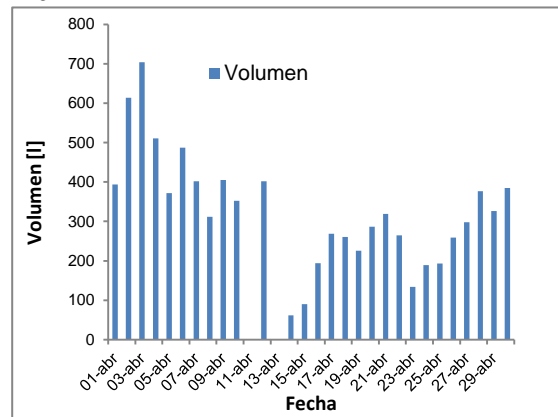
Febrero:



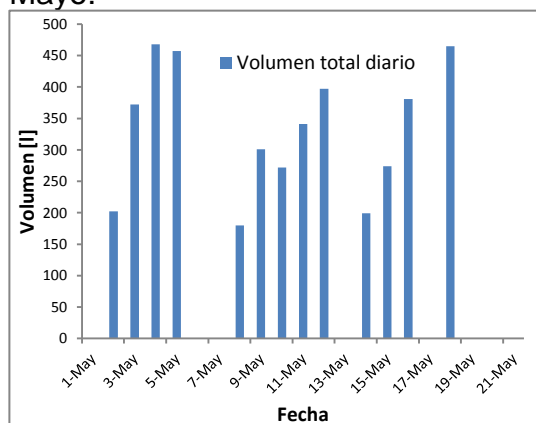
Marzo:



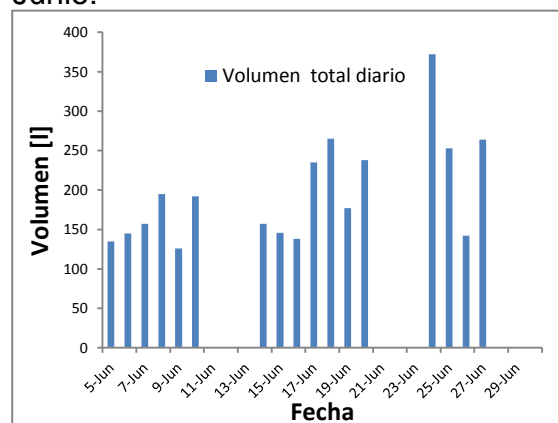
Abril:



Mayo:



Junio:



Julio:

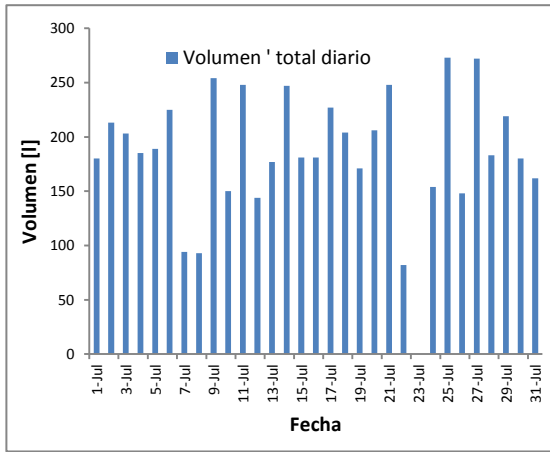
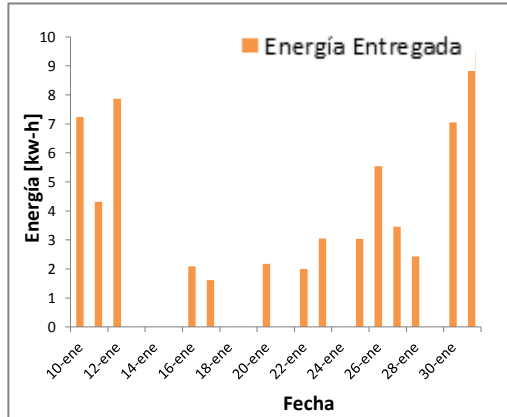


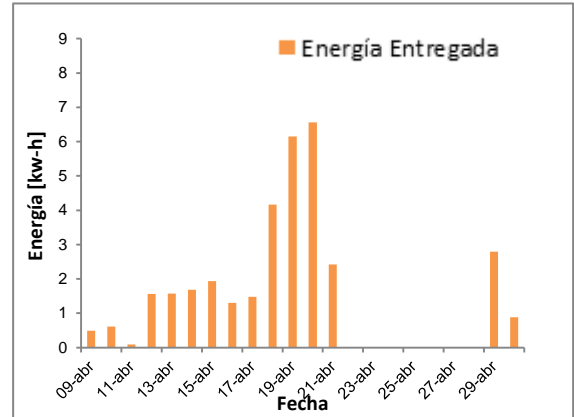
Figura I.3.- Volumen diario mensual en el Departamento E2.

Departamento G3
Energía entregada por el SST.

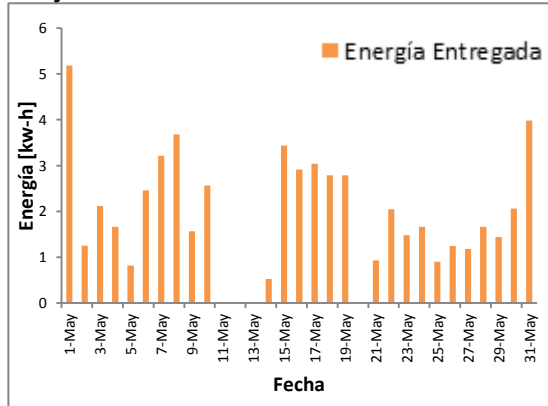
Enero:



Abril:



Mayo:



Junio:

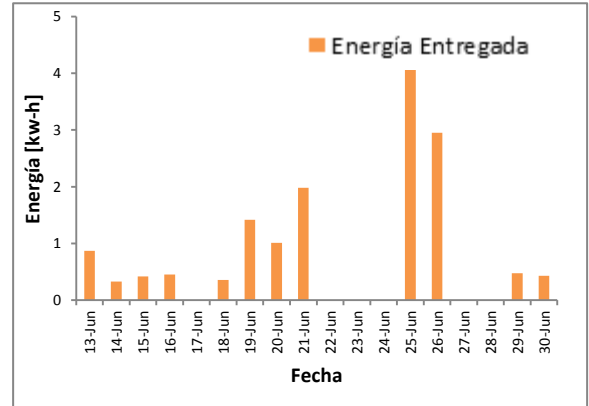
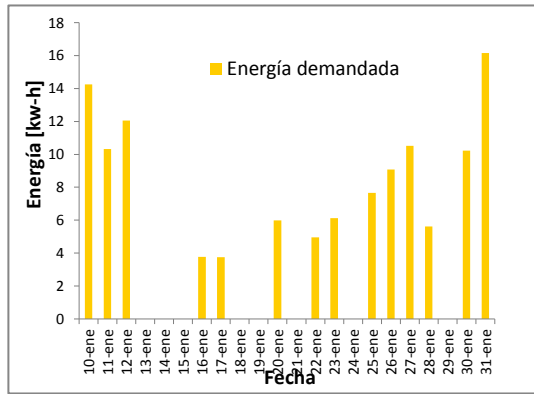


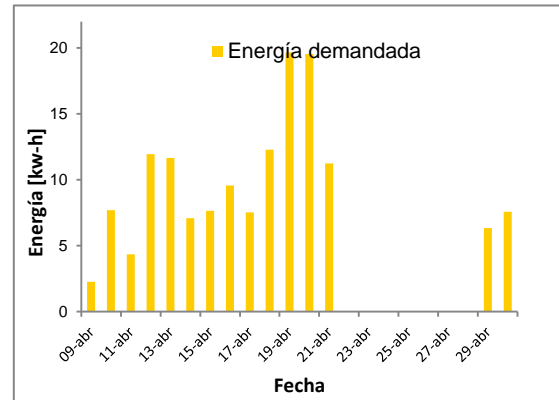
Figura I.4.- Energía entregada en el Departamento G3.

Energía demandada:

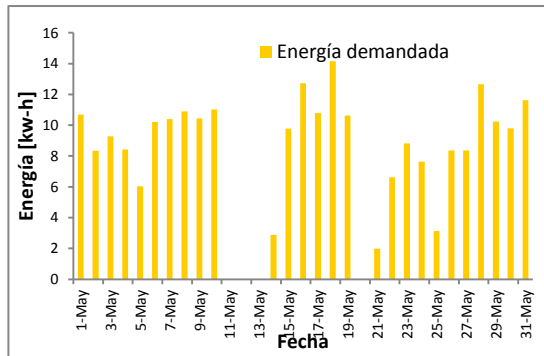
Enero:



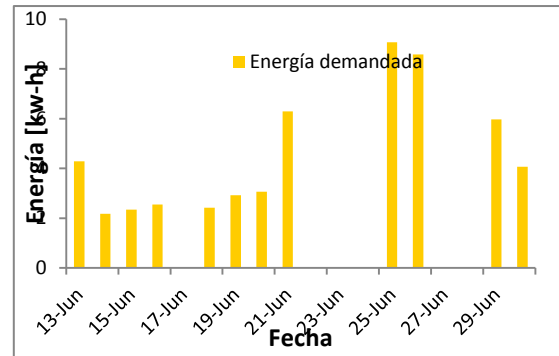
Abril:



Mayo:



Junio:



Julio:

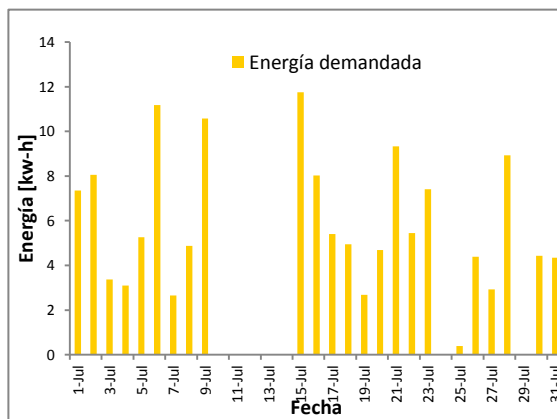
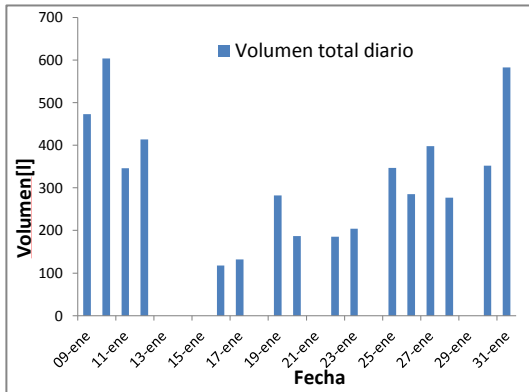


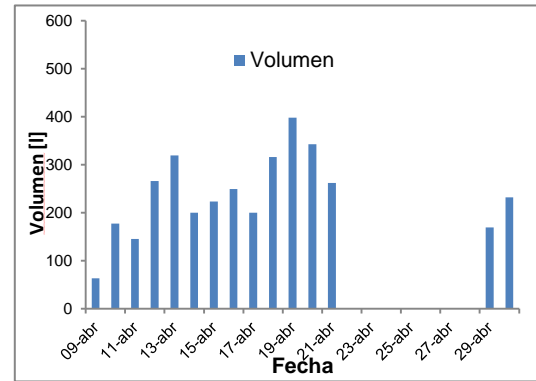
Figura I.5.- Energía demandada en el Departamento G3.

Volumen:

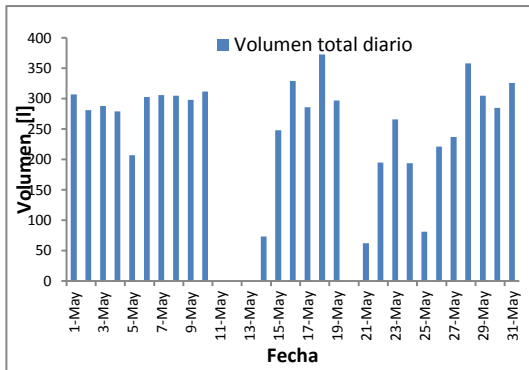
Enero:



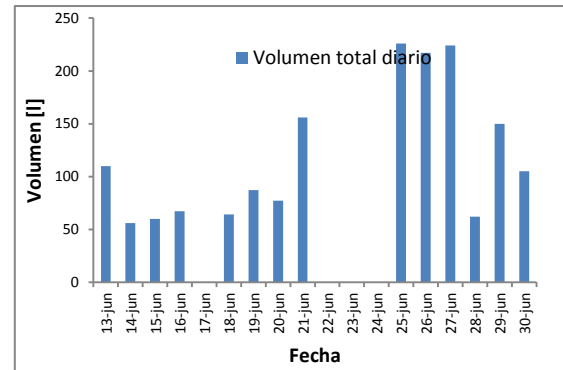
Abril:



Mayo:



Junio:



Julio:

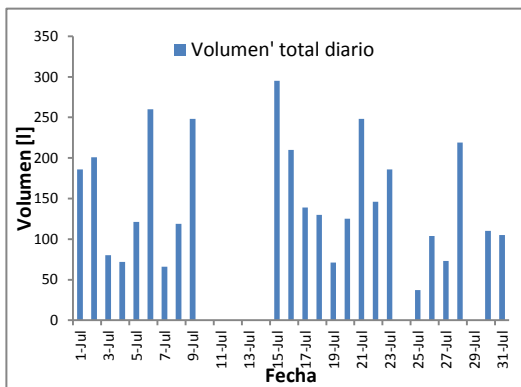


Figura I.6.- Volumen consumido diariamente en el Departamento G3.

Apéndice II

Departamento E2:

En el mes de enero se midieron 6 días del mes, por consiguiente el valor \$ que se obtuvo corresponde a la suma de dichos días del mismo modo en febrero (17), marzo (20), abril(28), mayo(13), junio(17), julio(30). Observando los datos día por día se observa que en enero el valor de la energía entregada supera en mucho al valor de la energía en julio.

Departamento G3:

La cantidad de días varió de la misma manera que en el dpto. E2 por lo que los valores tienen un comportamiento similar. Enero (14), abril(15), mayo(27), junio(12), julio(25).

Promedio de los valores en los meses medidos

Departamento E2

| Mes | Energía diaria | Energía demandada | Volumen diario total | Energía solar | E diaria/ E solar | Valor de la energía entregada \$ | Equivalencia en kg de gas |
|---------|----------------|-------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Enero | 6,22 | 13,06 | 477 | 11,163 | 0,69 | 425,18 | 0,170 |
| Febrero | 9,98 | 23,69 | 952,125 | 10,56 | 0,95 | 534,85 | 0,713 |
| Marzo | 1,45 | 5,57 | 197,95 | | | 78,07 | 0,104 |
| Abril | 1,72 | 9,37 | 271,5 | 5,89 | 0,27 | 92,55 | 0,123 |
| Mayo | 2,78 | 11,43 | 312,2 | 4,19 | 0,67 | 149,09 | 0,198 |
| Junio | 1,41 | 8,53 | 211,4 | 3,13 | 0,55 | 75,8 | 0,101 |
| Julio | 1,87 | 7,87 | 189,77 | 3,83 | 0,49 | 113,71 | 0,133 |

Tabla III.1.- Promedio de todos los datos medidos.

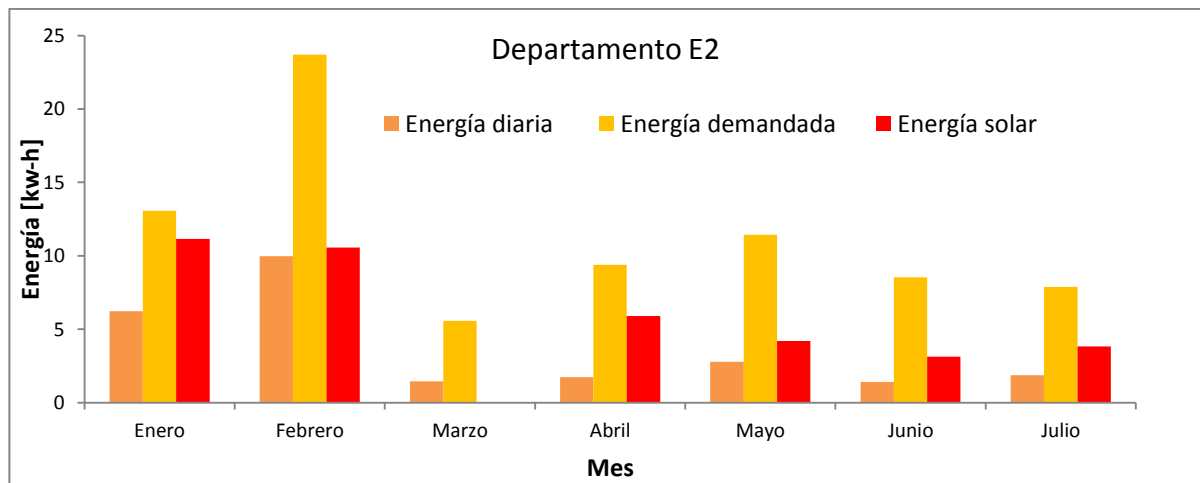


Figura III.1.- promedio de la energía solar, energía entregada y energía demandada en Departamento E2.

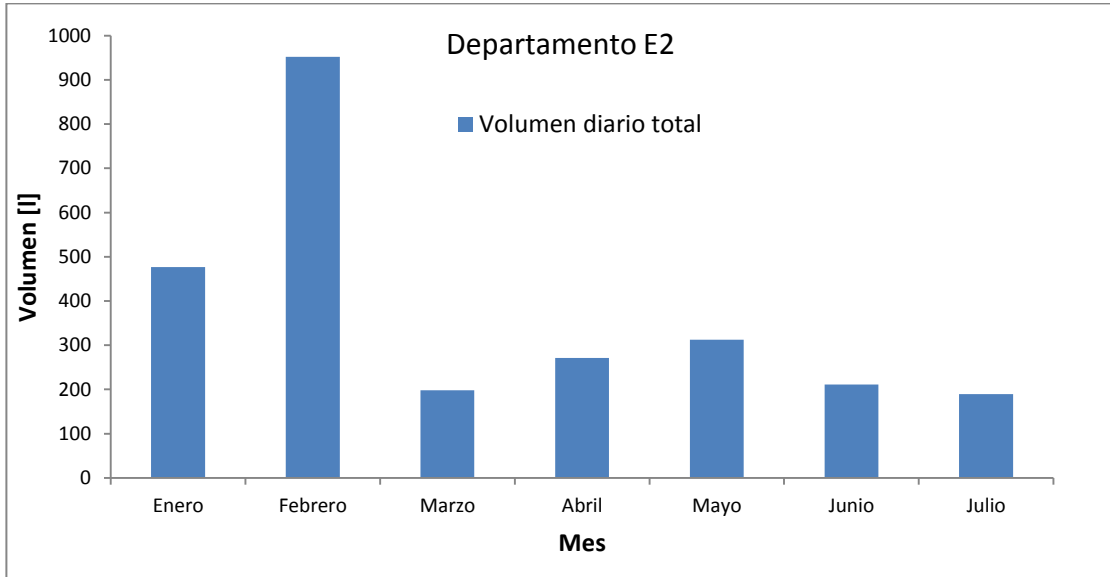


Figura III.2.- promedio del volumen diario mensual.

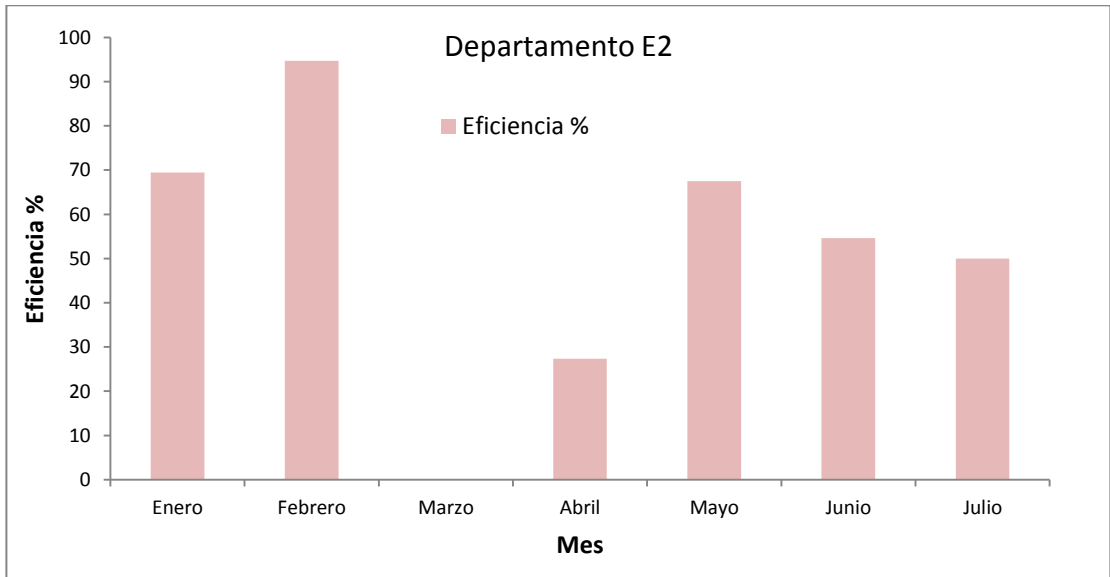


Figura III.3.- Eficiencia promedio.

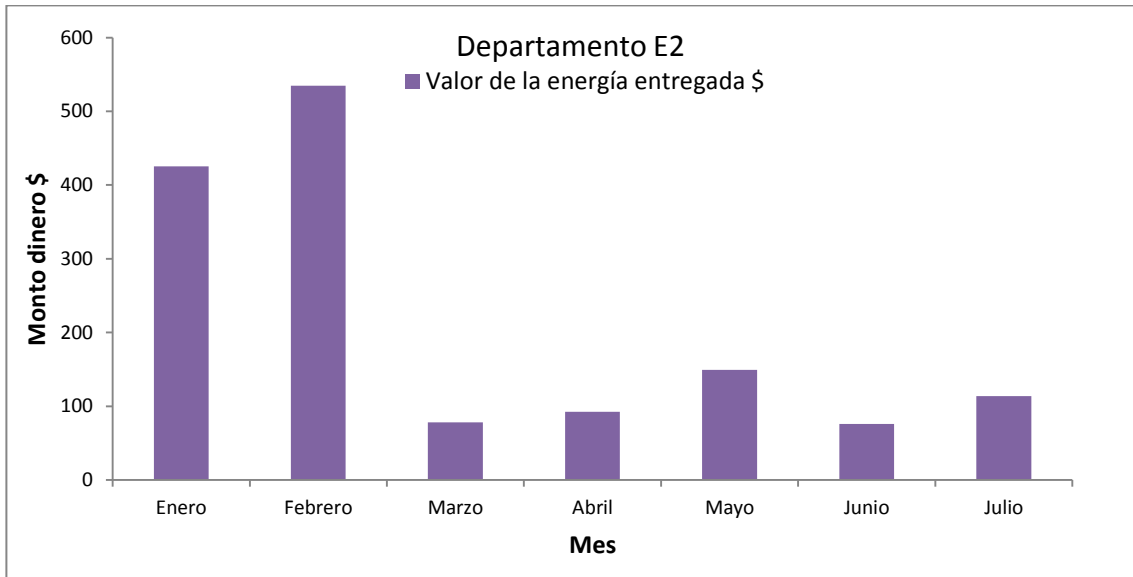


Figura III.4.- valor monetario promedio de la energía entregada a la vivienda por el SST en diferentes meses.

Se observa que a medida que transcurre el año el valor de la energía diaria va disminuyendo. Se ven algunas pequeñas diferencias pero estas se deben a que en una primera instancia hubo muchos problemas con el equipo de medición y el circuito se modificó varias veces hasta que se pudo medir correctamente el valor del flujo de agua.

Se observa que el valor de la energía entregada también va disminuyendo, dependiendo de los días de medición, como se ve en el gráfico.

Departamento G3

| Mes | Energía diaria | Energía demandada | Volumen diario total | Energía solar | E diaria/ E solar | Valor de la energía entregada \$ | Equivalencia en kg de gas |
|---------|----------------|-------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Enero | 4,15 | 7,99 | 289,50 | 10,87 | 0,37 | 234,88 | 0,26 |
| Febrero | | | | | | | |
| Marzo | | | | | | | |
| Abril | 3,76 | 12,89 | 280,80 | 5,90 | 0,48 | 201,61 | 0,27 |
| Mayo | 2,10 | 9,01 | 257,54 | 4,35 | 0,57 | 97,52 | 0,13 |
| Junio | 1,24 | 4,48 | 118,64 | 2,76 | 0,58 | 44,14 | 0,06 |
| Julio | 1,62 | 5,96 | 149,08 | 3,83 | 0,47 | 86,52 | 0,12 |

Tabla III.2.- Promedio de todos los datos medidos.

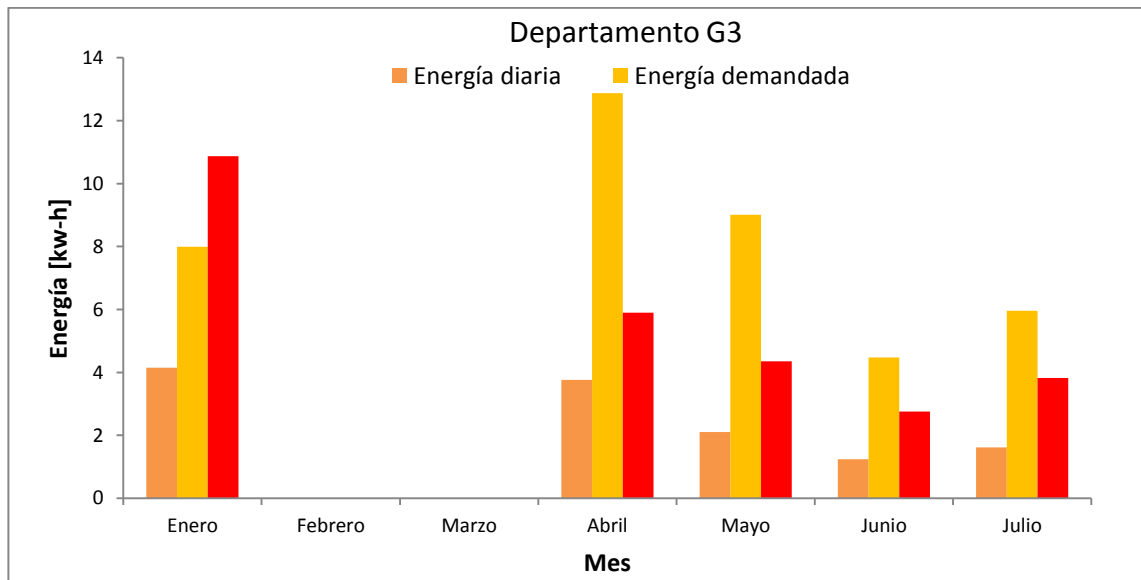


Figura III.5.- Energía solar, energía diaria y energía demandada promedio.

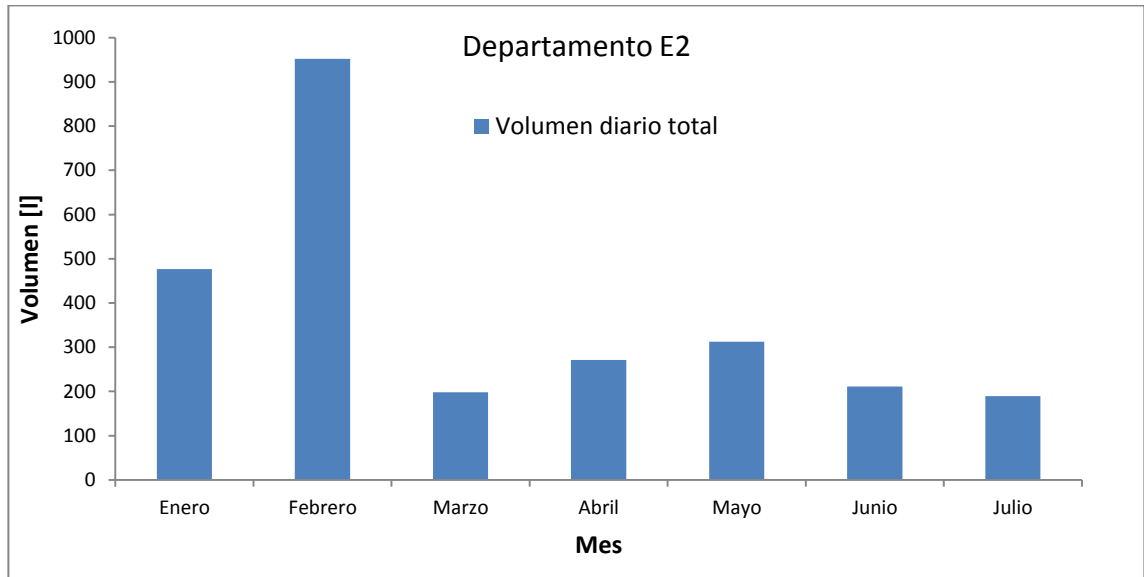


Figura III.6.- Volumen promedio por mes.

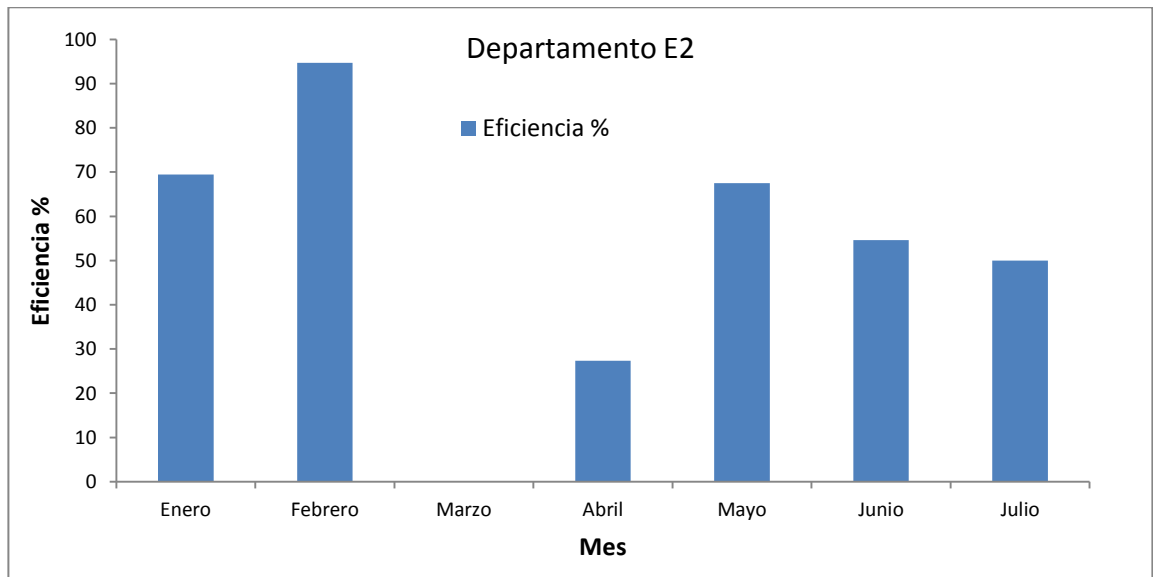


Figura III.7.- Eficiencia promedio por mes.

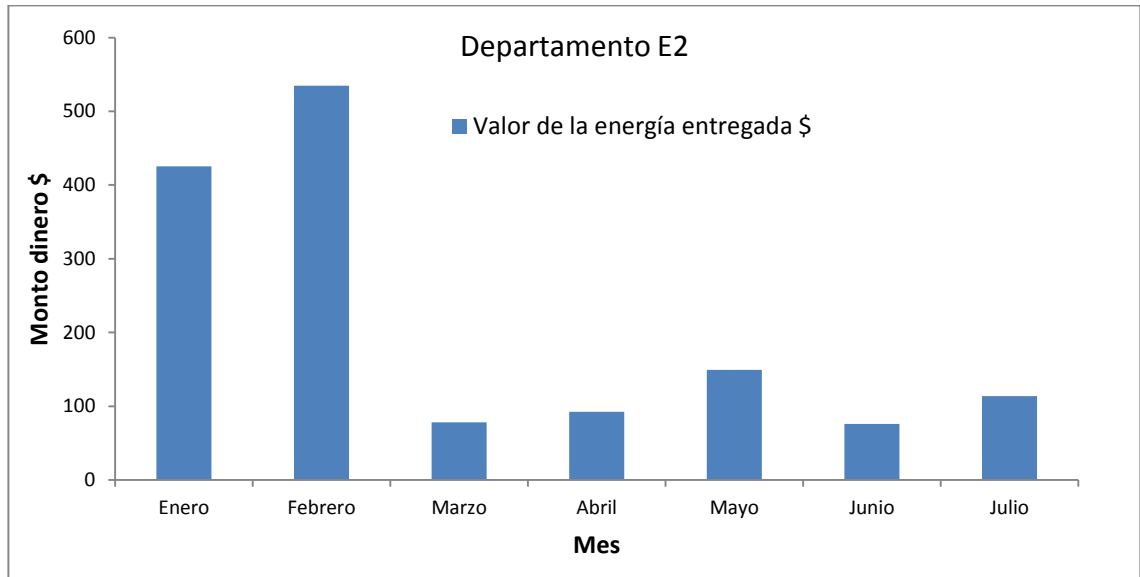


Figura III.8.- valor monetario promedio de la energía entregada a la vivienda por el SST en diferentes meses.

Suma de los valores en los meses medidos

Departamento E2

| Mes | Energía diaria | Energía demandada | Volumen diario total | Energía solar | E diaria/ E solar | Valor de la energía entregada \$ | Equivalencia en kg de gas |
|---------|----------------|-------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Enero | 42,019 | 93,07 | 3499 | 143,54 | 2,09 | 2551,1 | 3,4 |
| Febrero | 183,63 | 476,6 | 18823 | 84,46 | 7,57 | 9837,32 | 13,1 |
| Marzo | 32,06 | 122,7 | 4355 | | | 1717,59 | 2,29 |
| Abril | 55,904 | 299,57 | 9089 | 70,75 | 3,28 | 3,28 | 2994,9 |
| Mayo | 41,85 | 171,44 | 4683 | 111,32 | 9,45 | 2385,58 | 3,18 |
| Junio | 28,339 | 170,7 | 4228 | 92,65 | 10,93 | 1517,91 | 2,02 |
| Julio | 56,19 | 236,23 | 5693 | 118,66 | 14,99 | 3411,31 | 4,01 |

Tabla III.3.- Suma de todos los datos medidos.

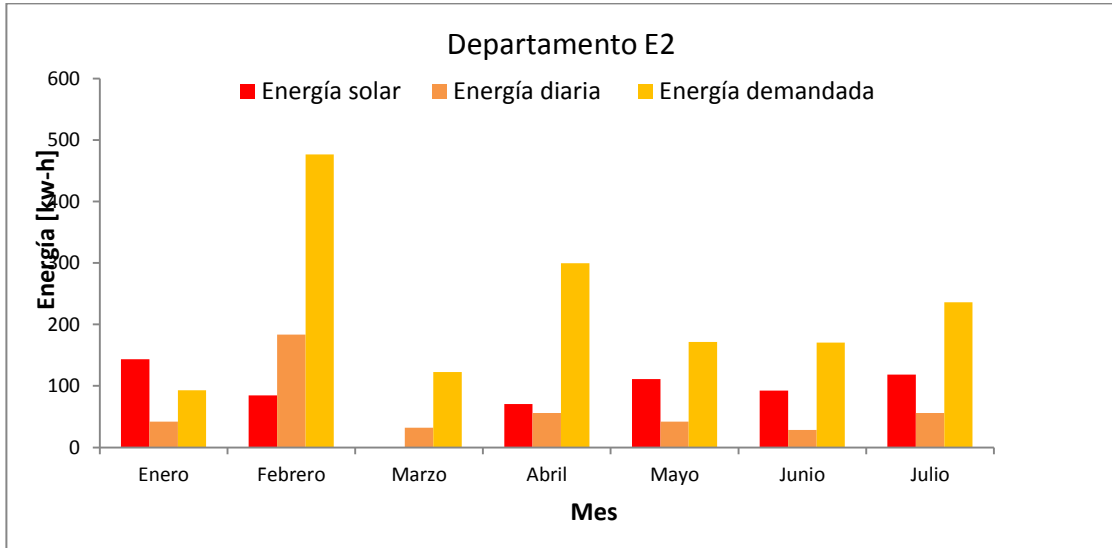


Figura III.9.- Energía solar, energía diaria y energía sumada.

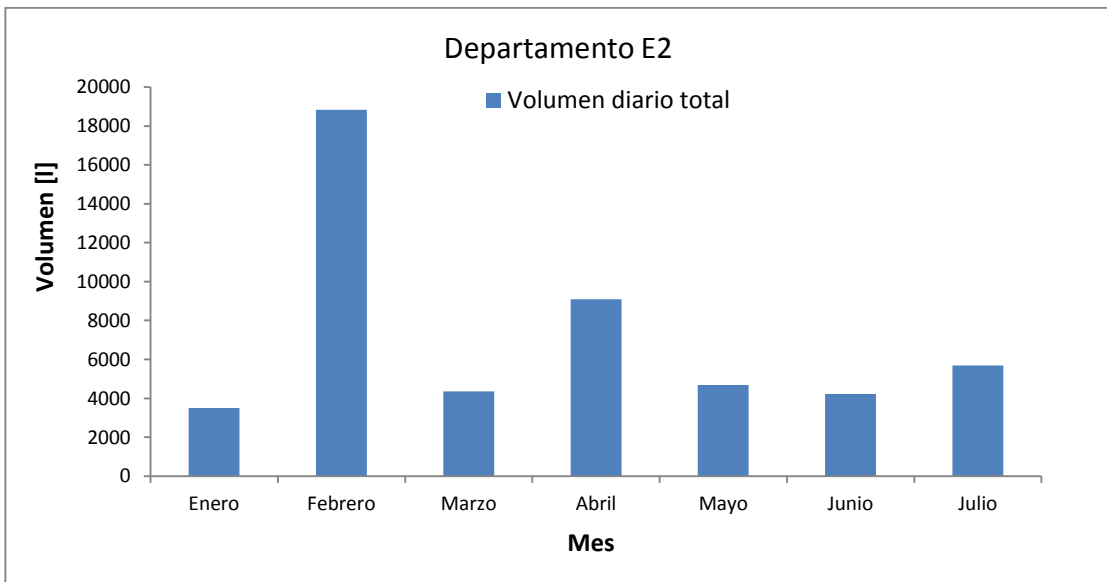


Figura III.10.- Suma del Volumen por mes.

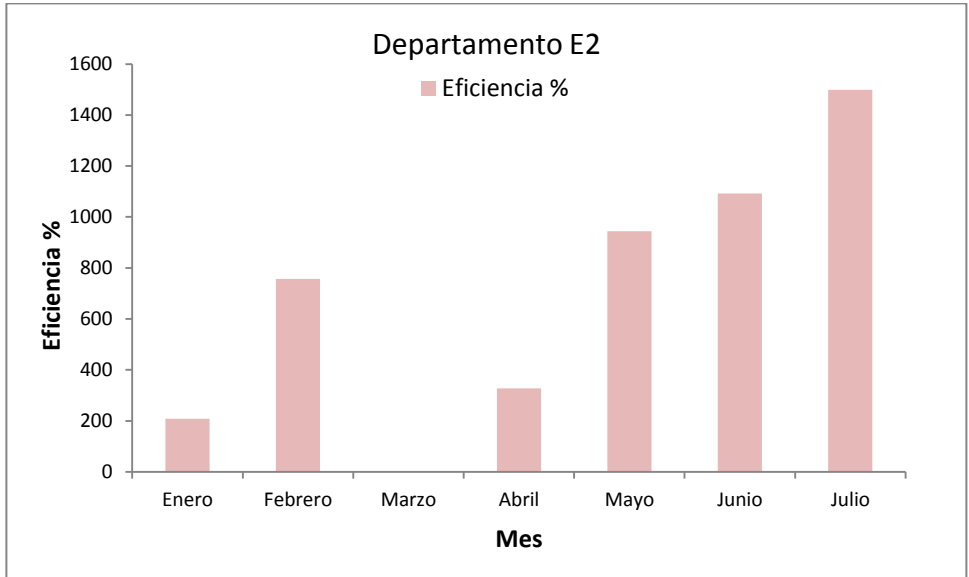


Figura III.11.- Suma de la Eficiencia por mes.

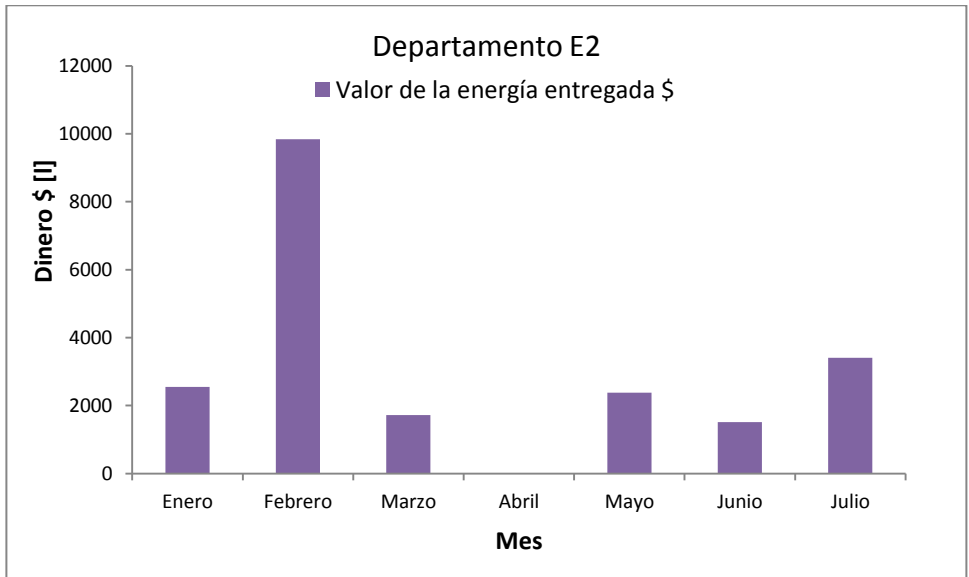


Figura 12.- valor monetario promedio de la energía entregada a la vivienda por el SST en diferentes meses.

Departamento G3

| Mes | Energía diaria | Energía demandada | Volumen diario total | Energía solar | E diaria/ E solar | Valor de la energía entregada \$ | Equivalencia en kg de gas |
|---------|----------------|-------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Enero | 61,382 | 120,43 | 4714 | 98,87 | 3,31 | 3288,33 | 4,39 |
| Febrero | | | | | | | |
| Marzo | | | | | | | |
| Abril | 33,69 | 146,44 | 3562 | 70,75 | 2,41 | 1805,03 | 33,69 |
| Mayo | 58,59 | 245,90 | 7022 | 113,07 | 12,65 | 3139,26 | 4,16 |
| Junio | 14,83 | 53,74 | 1661 | 49,61 | 6,94 | 794,66 | 1,06 |
| Julio | 40,38 | 148,93 | 3727 | 118,66 | 11,74 | 2163,03 | 2,88 |

Tabla III.4.- Suma de todos los datos medidos.

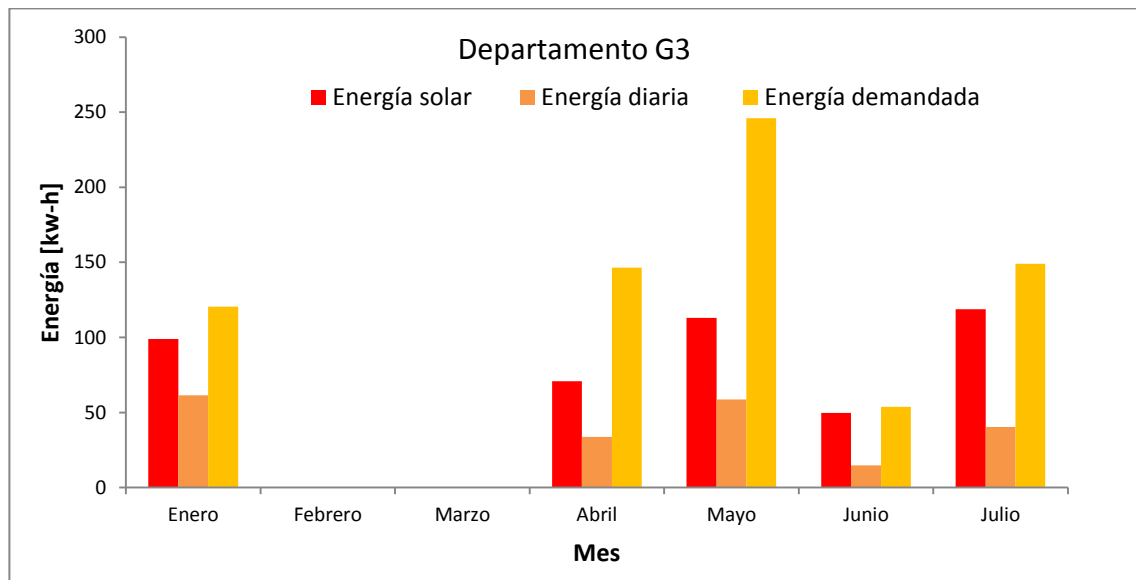


Figura III.13.- Energía solar, energía diaria y energía sumada.

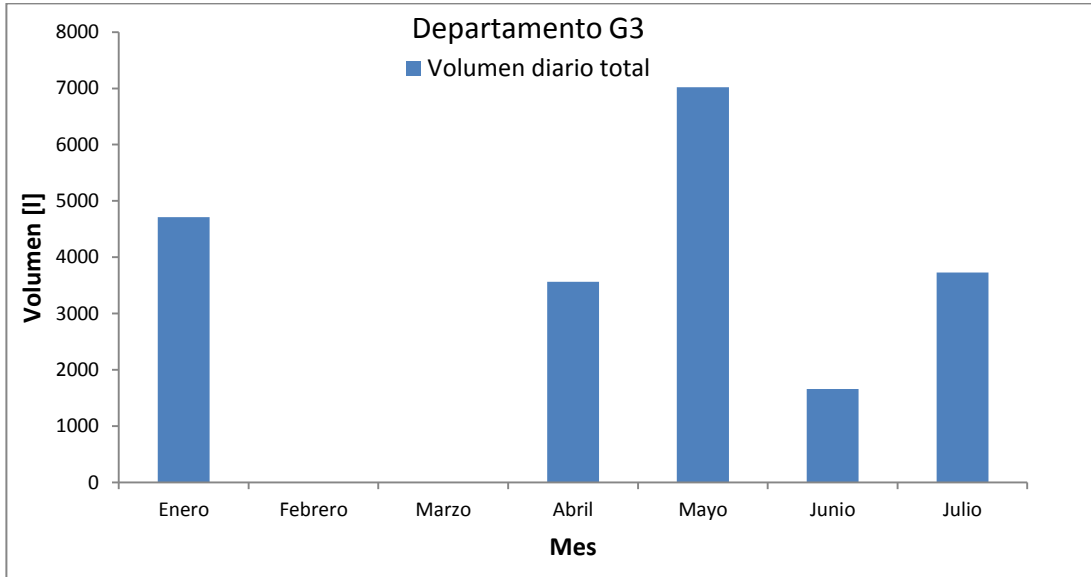


Figura III.14.- Suma del Volumen por mes.

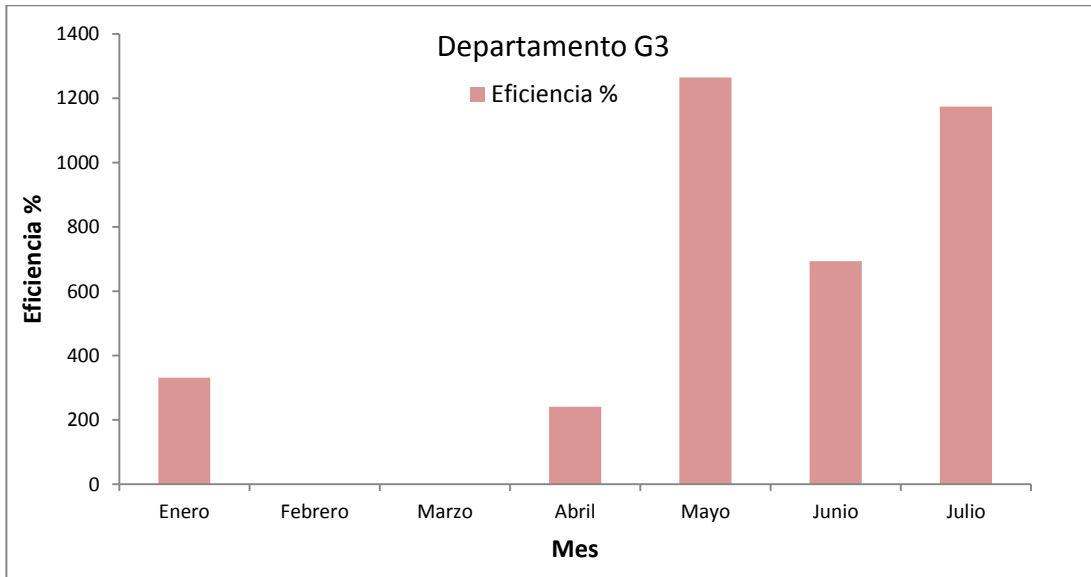


Figura III.15.- Suma de la Eficiencia por mes.

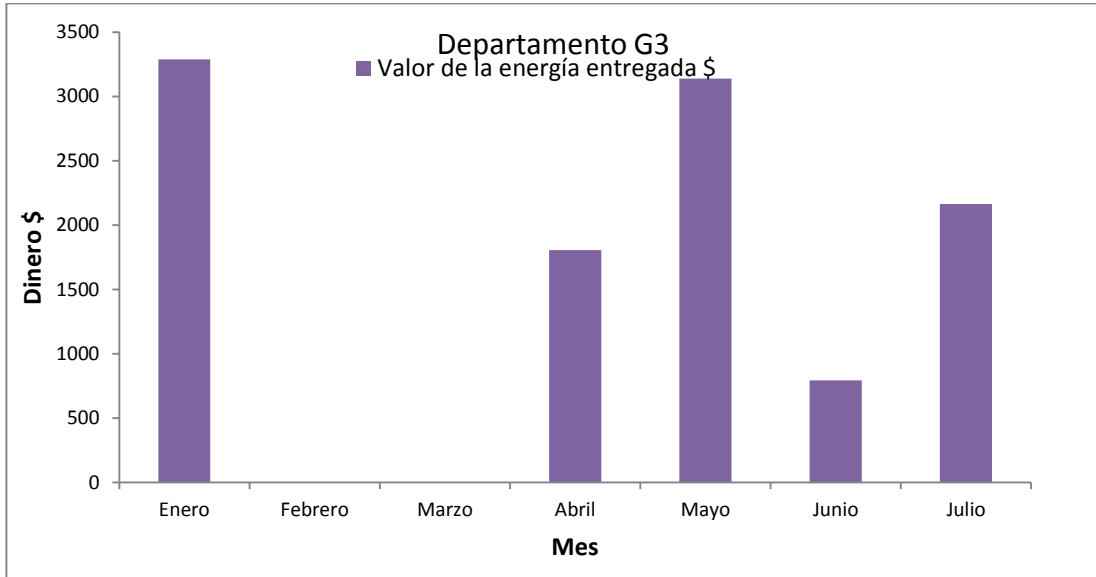


Figura III.16.- valor monetario promedio de la energía entregada a la vivienda por el SST en diferentes meses.

Bibliografía

- [1] Lanata, Camilo. *Presentaciones de SST*, MINVU. 2012.
 - [2] Quinteros, Jorge. *Estudio Teórico y experimental de colector solar parabólico para generación de energía eléctrica*. Memoria para optar al título de ingeniero Civil Electricista, Universidad de Chile. 2008.
 - [3] <http://www.sitiosolar.com/colectores%20de%20tubo%20de%20vacio.htm>
 - [4] Martínez E, Juan Carlos. Ingeniero Consultor. Presidente de la Comisión Técnica de ASIT, España. *Sistemas Solares Térmicos II Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria*. 2010.
 - [5] <http://www.loprado.cl/>
 - [6] Artículo 24, Título segundo, Decreto supremo 331. Ministerio de Energía. 2009.
 - [7] NTC thermistors for temperature measurement, SMD NTC thermistors, case size 0603 (1608) EPCOS. 2011.
 - [8] *Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo a Norma Técnica Peruana*. Luis Alberto Montoya Portugal. Juan Ernesto Palo Tejada, Wilson Ricardo Cabana Hanco. Lourdes Soria Guía - Universidad Nacional de San Agustín - Escuela Profesional de Física Centro de Energías Renovables y Eficiencia Energética. 2011.
 - [9] Itemizado técnico, DITEC, MINVU y MINENERGIA. 2011.
-

