

**UNIDAD DE APOYO TÉCNICO
PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO
SOLAR DE AGUA**



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por:



Agencia Suiza para el
Desarrollo y la Cooperación

**UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA
EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL**

DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA

**Sixto Guevara Vásquez
UNATSABAR – OPS/CEPIS**



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

Lima, 2003

Tabla de contenido

	Página
1. Introducción	3
2. Aspectos generales	3
3. Radiación solar	3
4. Demanda energética	5
5. Número de colectores solares	6
5.1 Área de captación	6
5.2 Eficiencia global del sistema de calentamiento	6
5.3 Número de colectores	6
6. Volumen y aislamiento del depósito de almacenamiento	6
7. Desarrollo del CEPIS/OPS	7

Anexo 1: Tabla de radiación solar del Perú

Anexo 2: Ejemplo de diseño

DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA

1. Introducción

En el éxito de los sistemas de calentamiento solar de agua influyen dos factores. El primer factor es el nivel de radiación solar en el lugar de instalación del calentador de agua y el segundo factor es el diseño del colector solar. La combinación de ambos factores determina el costo del sistema. Estos costos se reducen notablemente en zonas de alta incidencia solar.

En este documento se presentan los criterios para el diseño de sistemas de calentamiento de agua, estos criterios están basados en las experiencias acumuladas durante la evaluación de un calentador solar prototipo, en la investigación teórica y en el desarrollo de un programa para el cálculo de calentadores solares.

Esta publicación es gracias al apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

2. Aspectos generales

Un aspecto importante a tener en cuenta en el diseño de calentadores solares es el régimen de uso del agua caliente, ya que éste puede variar debido a diversos factores. Por ejemplo, si una familia en la cual todos sus integrantes trabajan, el uso del agua caliente se hace al empezar el día o al terminar el mismo; sin embargo, en un baño comunitario, el uso del agua caliente se realiza durante todo el día, es decir conforme se produce el agua caliente, ésta se consume. Estas dos formas de uso del agua caliente se denominan *sistema puntual* y *sistema continuo* respectivamente. El sistema continuo es más eficiente y menos costoso que el sistema puntual; esto se debe, básicamente, a dos condiciones: en el sistema continuo se utiliza un depósito de almacenamiento de menor capacidad, y la temperatura del agua almacenada es menor, por lo que las pérdidas de calor se reducen notablemente.

En el diseño de sistemas de calentamiento es necesario disponer de datos que definen el sistema los cuales están representados por:

- Radiación solar
- Demanda energética
- Número de colectores
- Volumen y aislamiento del depósito de almacenamiento

3. Radiación solar

En el diseño del sistema de calentamiento es necesario, en lo posible, conocer los datos de radiación solar diaria, los que se pueden encontrar en los reportes de radiación solar de las estaciones meteorológicas o en cuyo defecto deben ser determinados. En el cuadro N° 1 se presenta, a modo de ejemplo, los valores de radiación solar promedio diario

anual para diversas localidades del Perú. En el anexo 1 se presenta un cuadro con valores de radiación promedio diario mensual para diversas localidades del Perú.

En estos sistemas de calentamiento es importante definir los períodos de uso, ya que como consecuencia de las estaciones climáticas, los valores de la radiación solar cambian para cada época del año. Estos valores influyen de manera importante en el tamaño del sistema, por lo que debe hacerse un análisis del valor que se utilizará en el diseño del sistema.

Los criterios para la selección del valor de radiación solar en un período determinado, son:

a) Baja radiación

Se aplica cuando se desea cubrir durante todo el año la demanda de agua caliente con energía solar. En épocas de alta radiación esto hace ineficiente al sistema, por cuanto al incrementarse la radiación se produce un exceso de agua caliente.

b) Alta radiación

Se diseña con este valor cuando se cuenta con un sistema auxiliar para el calentamiento de agua, como electricidad, gas y en algunos casos leña. Son los sistemas más eficientes, pero su aplicación está limitada por el empleo de un sistema auxiliar.

c) Valor promedio de radiación

El diseño con el promedio anual de radiación satisface parcialmente la demanda de agua caliente durante los meses de baja radiación y se tienen pequeños excesos en los meses de alta radiación, pero puede ser complementado con un sistema auxiliar de calentamiento en las épocas frías.

Cuadro 1. Radiación solar en el Perú (promedio diario anual)

Lugar	Departamento	Altitud (m)	Radiación. Solar (I_d) (kWh/m ² -día)
Zorritos	Tumbes	5	4,93
Guayabamba	Iquitos	122	4,46
Tablazo	Piura	147	5,12
Tarapoto	San Martín	356	4,43
Lambayeque	Lambayeque	18	5,00
Cajamarca	Cajamarca	2.750	6,58
Cartavio	La Libertad	51	4,86
Huaraz	Ancash	3.207	5,79
Huánuco	Huánuco	1.800	5,15
Atacocha	Cerro de Pasco	4.023	5,45
Fdo. Iberia	Madre de Dios	180	4,52
Huancayo	Junín	3.350	6,78
La Molina	Lima	251	4,09
Tunel Cerro	Huancavelica	4.600	5,87
Kayra	Cusco	3.219	5,28
Abancay	Apurímac	2.398	5,21
Ica	Ica	398	5,28
Cachapampa	Ayacucho	2.450	6,62
Puno	Puno	3.825	6,80
Characato	Arequipa	2.461	7,09
Moquegua	Moquegua	1.420	6,14
Calana	Tacna	590	5,43

4. Demanda energética

Es la energía necesaria para elevar la temperatura de un volumen determinado de agua, desde una temperatura inicial (T_i) hasta una temperatura de consumo (T_f).

$$E = MC_p (T_f - T_i)$$

Donde:

- E : Demanda energética (kJ/día)
- M : Masa de agua a calentar en un día(kg/día)
- C_p : Capacidad calorífica del agua (4,18 kJ/kg °C)
- T_i : Temperatura inicial del agua (°C)
- T_f : Temperatura de consumo del agua (°C)

De otra parte, la masa de agua M está dada por la siguiente ecuación:

$$M = n_p \rho_{H_2O} V_p$$

Donde:

- n_p : Número de personas (personas/día)
- V_p : Volumen de agua *per cápita* (lt/persona)
- ρ_{H_2O} : Densidad del agua (1 000 kg/m³)

El volumen de agua per cápita V_p es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente, este volumen varía en un rango de 20 a 60 litros.

5. Colectores

En la determinación del número de colectores del sistema de calentamiento de agua, es necesario conocer el área de captación y la eficiencia global del colector.

5.1 Área de captación

Es el área necesaria para captar la energía solar que pueda satisfacer la demanda energética. El área depende de la radiación global y de la eficiencia total del sistema de calentamiento de agua.

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p \times \eta_g}$$

Donde:

- A_{cap} : Área de captación (m^2)
- H_p : Radiación solar (Wh/m^2)
- η_g : Eficiencia global diaria del sistema (%)

5.2 Eficiencia global del sistema de calentamiento

Es la relación entre la cantidad de energía empleada para elevar la temperatura del agua en el depósito de almacenamiento (Q_u) y la energía solar que incide sobre un área determinada (I_d).

$$\eta_g = Q_u / I_d$$

5.3 Número de colectores

La cantidad de colectores necesarios para satisfacer la demanda energética está determinada por la relación:

$$N_c = \frac{A_{cap} \times F.S.}{A_c}$$

Donde:

- N_c : Número de colectores
- A_{cap} : Área captación (m^2)
- A_c : Área de un colector (m^2)
- F.S. : Factor de seguridad o de proyección de demanda (1 - 1,5)

6. Volumen y aislamiento del depósito de almacenamiento

La temperatura a la que almacena el agua, se denomina *temperatura equivalente* (T_{eq}), la cual varía en función de la temperatura del agua fría. Sin embargo el incremento de temperatura, es decir la temperatura equivalente menos la temperatura del agua fría, es un valor aproximadamente constante para cada sistema, 30 °C en el sistema puntual y 20 °C en el sistema continuo.

Con el valor de la temperatura equivalente se recalcula la demanda energética, y se obtiene otro valor de la masa de agua, que se denomina masa de agua a almacenar.

En los cálculos se reemplaza el valor la temperatura de consumo por el de la temperatura equivalente, y el valor de la masa a calentar por el de masa a almacenar.

El volumen del depósito está determinado por la masa de agua a almacenar y por el tipo de uso, ya sea un sistema puntual o un sistema continuo.

En el sistema puntual, el volumen se calcula 15% más que la masa de agua a almacenar en un día:

$$V_{dep}=1,15M$$

Donde:

V_{dep} : Volumen del depósito de almacenamiento (litros)

M : Masa de agua a almacenar (kg/día)

En el sistema continuo, el volumen se calcula 20% de la masa de agua a almacenar; sin embargo, por detalles constructivos la capacidad del depósito no debe ser menor a 80 litros.

La selección del tipo y espesor del aislamiento del depósito de almacenamiento se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2. Tipo de aislamiento y espesor recomendado

Tipo de aislamiento	Espesor Recomendado (mm)		Conductividad térmica (W/m °C)
	Sistema puntual	Sistema continuo	
<i>Algodón</i>	50	75	0,059
<i>Asbesto</i>	75	125	0,174
<i>Lana de vidrio</i>	25	50	0,038
<i>Paja</i>	50	100	0,090

7. Desarrollo del CEPIS/OPS

Con el programa de cálculo desarrollado por el CEPIS/OPS se ha diseñado dos modelos de colectores solares denominados como CS1 y CS2. Ambos modelos son muy similares, variando solamente en la placa de absorción. En el modelo CS1, la placa está constituida por ocho tubos de cobre y aletas de hierro galvanizado, mientras que en el modelo CS2 la placa está constituida por 11 tubos de hierro galvanizado y aletas del mismo material. La eficiencia global de estos modelos se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. Eficiencias globales en sistemas puntual y continuo

	Modelo CS1	Modelo CS2
Eficiencia global diaria sistema puntual (η_{gsb})	43%	42%
Eficiencia global diaria sistema continuo (η_{gsc})	53%	52%

Anexo 1

Tabla de Radiación solar del Perú (fuente: World Solar Irradiation Database)

Promedio diario mensual para el Perú (kWh/m²/día)

Site	Lat	Long	Ele	Yr	I	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avg	Sr
Abancay	13,63 S	72,88	2398	2	I	5,42	4,89	5,03	4,94	4,72	4,56	4,81	5,11	5,08	5,86	5,97	5,33	5,14	H
Angostura	15,17 S	71,63	4155	3	I	5,47	4,92	4,89	4,97	4,83	4,78	4,89	5,36	5,42	6,86	6,14	5,64	5,28	H
Alacocha	10,58 S	76,22	4023	2	I	4,78	4,44	4,75	5,08	5,00	4,94	5,11	5,28	4,94	5,53	5,44	5,11	5,03	H
Bambamarca	6,68 S	78,52	2600	3	I	4,75	4,67	4,64	4,69	4,56	4,94	5,11	5,17	5,17	5,17	5,53	5,39	4,96	H
Cajamarca	7,17 S	78,52	2750	1	I	4,56	4,89	4,25	4,44	4,58	4,28	4,44	5,08	4,72	4,75	5,11	5,08	4,68	H
Calana	17,93 S	70,18	590	3	I	6,44	6,19	5,72	5,11	4,33	4,03	4,11	4,69	5,28	6,39	6,44	6,42	5,43	P
Campo de Marte	12,07 S	77,03	137	1	I	4,94	5,58	5,17	5,39	4,06	2,89	2,56	2,83	3,56	3,5	5,28	5,06	4,24	H
Capachica	15,63 S	69,83	3868	3	I	5,47	5,44	5,19	5,31	4,89	4,83	5,03	5,44	5,78	6,17	6,28	5,64	5,46	H
Cañete	13,10 S	76,30	36	3	I	5,19	5,19	5,14	4,97	3,92	2,97	2,92	3,17	3,56	4,25	4,75	5,22	4,27	H
Cartavio	7,92 S	79,17	51	3	I	5,53	5,44	5,5	5,0	4,89	4,06	4,14	4,08	4,5	5,06	5,67	5,67	4,96	H
Casa Grande	7,77 S	79,17	158	3	I	5,39	5,33	5,39	5,0	5,19	3,92	4,06	4,28	4,42	4,97	5,14	5,53	4,88	H
Caylloma	15,18 S	71,77	4320	2	I	5,56	4,92	4,78	4,86	4,75	4,78	4,97	5,44	5,31	6,06	6,14	5,86	5,28	H
Cayalli	6,88 S	79,57	150	2	I	5,36	5,81	5,5	5,39	5,25	4,44	4,72	5,08	5,22	5,78	5,86	6,03	5,37	H
Characato	16,47 S	71,45	2461	3	I	6,14	5,33	6,56	5,50	5,22	4,81	5,19	5,64	6,11	6,92	7,06	6,58	5,84	H
Conococha	10,12 S	77,33	4020	3	I	4,86	4,33	4,44	4,72	4,78	4,89	5,17	5,42	5,25	4,69	5,53	5,08	4,95	H
Cuenca Río Verde	15,48 S	70,67	4260	3	I	5,47	4,81	5,00	5,14	4,89	4,83	4,97	5,36	5,42	5,94	5,92	5,53	5,27	H
Cuzco	13,52 S	71,95	3365	3	I	5,19	4,69	4,92	5,03	4,81	4,78	5,06	5,11	5,17	5,64	5,75	5,22	5,11	H
Desaguadero	16,65 S	69,00	3850	3	I	5,72	5,56	5,58	5,53	4,92	4,67	4,81	5,39	5,47	6,17	6,06	5,67	5,46	H
Don Martin	11,03 S	77,68	50	3	I	5,33	5,06	5,06	4,86	4,0	3,25	3,36	3,58	3,97	4,36	5,03	5,44	4,44	H
El Fraile	16,15 S	71,18	4015	2	I	5,39	4,39	4,47	4,56	4,75	4,67	4,81	5,22	5,67	6,06	5,94	5,67	5,13	H
Fundo Iberia	11,35 S	69,57	180	3	I	4,81	4,67	4,64	4,31	4,25	4,31	4,69	5,25	5,03	5,0	5,06	4,61	4,72	H
Granja M. Sassape	6,52 S	79,92	45	1	I	5,75	5,81	6,22	6,28	5,83	5,0	4,86	5,31	5,81	6,0	5,94	5,89	5,72	H
Hacienda Majoro	14,83 S	74,97	620	3	I	5,56	5,72	5,81	5,06	5,03	4,28	4,53	5,06	5,81	6,58	6,36	5,94	5,48	H
Haciendita	17,02 S	71,62	450	2	I	6,42	5,58	5,92	5,33	4,39	4,06	3,94	4,5	4,78	6,08	6,42	5,56	5,25	H
Huaraz	9,53 S	77,52	3207	2	I	5,06	4,83	5,08	5,11	5,25	5,11	5,39	5,72	5,47	5,28	5,72	5,5	5,29	H
Huancayo	12,05 S	75,18	3350	3	I	5,25	4,86	4,94	4,64	4,92	4,83	5,0	5,11	5,11	5,33	5,83	5,39	5,1	H
Huancayo	12,12 S	75,33	3380	3	I	7,38	6,71	6,54	6,54	6,18	6,28	6,3	6,75	7,18	7,47	7,75	7,21	6,86	P
Huánuco	9,90 S	75,75	1912	2	I	4,67	4,53	4,64	4,64	4,78	4,58	4,81	5,14	4,86	5,08	5,33	4,89	4,83	H
Huraya-Moho	15,35 S	69,50	3890	3	I	5,25	4,69	5,0	5,31	4,83	4,83	5,14	5,56	5,69	5,86	6,03	5,31	5,29	H
Ica	14,08 S	75,73	398	2	I	5,86	5,0	5,42	5,11	4,78	5,75	4,17	4,81	5,25	6,17	6,44	6,14	5,41	H
Imata	17,02 S	71,07	4405	3	I	5,25	4,81	4,78	4,94	4,81	4,72	5,0	5,33	5,31	5,86	5,94	5,53	5,19	H
Juli	16,20 S	69,43	3862	2	I	5,5	4,81	4,47	5,25	5,11	4,78	4,97	4,97	5,47	6,06	6,06	5,33	5,23	H
Kayra	13,55 S	71,88	3219	2	I	5,0	4,47	4,61	4,86	4,64	4,78	4,97	5,03	5,08	5,33	5,56	4,89	4,93	H
Lagunillas	15,58 S	70,92	4280	3	I	5,67	5,22	5,11	5,03	4,67	4,53	4,89	5,53	5,58	6,28	6,39	5,75	5,39	H
Lambayeque	6,70 S	79,90	18	3	I	5,17	5,61	5,5	5,31	5,08	4,64	4,39	4,72	5,03	5,47	5,64	5,81	5,2	H
La Molina	12,08 S	76,95	251	3	I	5,03	5,17	5,25	5,0	3,97	3,33	3,31	3,56	3,75	4,36	4,83	5,08	4,39	H
Lampas Alto	10,08 S	77,28	4030	3	I	4,78	4,11	4,56	4,56	4,78	4,72	5,25	5,42	5,25	4,67	5,44	4,97	4,88	H
Lampas Bajo	10,07 S	77,37	3950	3	I	4,86	4,44	4,56	4,64	4,81	4,92	5,36	5,42	4,19	4,97	5,64	5,53	4,94	H
La Punta	12,07 S	77,17	13	2	I	4,5	5,08	4,94	4,72	3,89	2,94	2,89	3,0	3,17	3,61	4,28	4,86	3,99	H
La Salle	16,40 S	71,53	2330	3	I	6,14	5,33	5,58	5,33	5,22	4,72	5,11	5,64	5,94	6,58	7,06	6,58	5,77	H
Llaucan	6,68 S	78,52	2600	1	I	4,64	4,89	4,56	4,48	4,14	4,47	4,39	4,72	5,03	5,28	5,53	5,69	4,78	H
Los Cedros	3,13 S	80,67	5	3	I	4,78	5,39	5,44	5,25	5,28	4,53	4,61	4,67	4,39	4,58	4,86	5,39	4,93	H
Moquegua	17,20 S	70,93	1420	2	I	7,67	5,19	5,89	5,92	5,14	4,92	5,0	5,75	6,5	7,03	7,33	7,28	6,13	H
Neshuya	8,63 S	74,92	340	1	I	4,81	4,72	4,14	3,75	3,78	3,53	4,28	5,03	5,17	5,08	5,17	5,67	4,59	H
Pampa Blanca	17,10 S	71,75	455	2	I	5,28	4,75	5,19	4,78	3,67	3,11	3,42	3,42	3,28	4,42	4,66	5,11	4,27	H
Pampa De Majes	16,35 S	72,17	1433	3	I	6,58	5,97	6,08	5,69	5,22	4,86	5,36	5,81	6,22	7,03	7,31	6,92	6,09	H
Pane	15,42 S	71,07	4524	3	I	5,03	4,69	4,58	4,67	4,33	4,61	4,64	4,83	4,83	5,22	5,72	5,31	4,87	H
Puno	15,83 S	70,03	3875	2	I	5,69	5,22	5,28	5,28	4,97	4,78	5,0	5,61	5,78	6,39	6,61	5,67	5,52	H
Punta de Cotes	17,68 S	71,38	15	2	I	6,67	6,36	6,61	5,19	4,14	3,25	3,0	3,67	3,42	4,58	6,36	6,28	4,96	P
Querococha	9,68 S	77,35	3935	1	I	4,33	4,22	4,56	4,83	4,72	4,61	5,0	5,25	5,17	4,67	5,31	4,64	4,78	H
Quillabamba	12,83 S	72,72	1660	2	I	4,44	4,33	4,72	4,25	4,33	4,22	4,44	4,44	4,5	4,89	4,97	4,56	4,51	H
Salcedo	15,32 S	70,02	3852	3	I	5,47	5,11	5,11	5,14	4,83	4,61	4,69	5,28	5,5	6,17	5,36	5,64	5,34	H
San Jacinto	9,17 S	78,32	283	3	I	5,06	4,33	5,17	4,94	4,75	4,0	4,33	4,5	4,97	5,72	5,83	5,83	4,95	H
San Jorge	8,53 S	74,87	270	2	I	4,81	4,61	4,67	4,5	4,42	4,36	4,92	5,39	5,0	5,19	4,53	4,61	4,75	H
San Lorenzo	9,75 S	77,47	3750	1	I	4,86	4,44	4,56	4,92	4,72	4,75	5,28	5,42	5,36	5,19	5,75	5,19	5,04	H
San Ramon	11,15 S	75,38	800	3	I	4,5	4,33	4,44	4,5	4,53	4,25	4,64	4,69	4,72	5,19	5,14	5,14	4,67	H
Sibayo	15,48 S	71,45	3847	3	I	5,36	4,69	4,69	4,94	4,81	4,75	4,89	5,0	5,22	5,86	5,94	5,53	5,14	H
Tablazo	5,37 S	81,78	147	3	I	4,19	5,28	5,61	5,17	5,33	4,64	4,83	5,44	5,64	5,89	5,78	6,14	5,33	H
Tarapoto	6,58 S	76,32	356	3	I	4,75	4,67	4,36	4,28	4,17	4,06	4,58	4,83	4,72	4,72	4,69	4,83	4,57	H
Tejedores	4,75 S	80,23	2500	3	I	4,47	4,75	5,08	4,81	5,28	4,86	5,05	5,39	5,64	5,75	5,78	5,58	5,2	H
Tinajones	6,67 S	79,47	220	3	I	5,44	5,61	5,39	5,58	5,72	5,06	5,75	5,86	6,0	6,22	6,5	6,64	5,81	H
Tunelcero	13,12 S	75,07	4600	3	I	4,97	4,67	5,14	4,97	4,67	4,81	5,08	5,42	5,28	5,66	6,97	5,44	5,19	H
Yurac	9,00 S	75,67	420	3	I	4,31	4,0	4,14	4,11	3,94	3,67	4,17	4,72	4,69	4,67	4,64	4,31	4,28	H
Zorritos	3,67 S	80,67	5	2	I	5,03	5,53	5,08	5,42	5,25	5,11	4,75	4,25	4,56	5,11	5,42	5,33	5,07	H

Anexo 2

Ejemplo de diseño de un sistema de calentamiento

1. Problema

Se desea diseñar un sistema de calentamiento de agua para satisfacer los requerimientos de agua de una familia de nueve personas en la localidad de Cartavio. La familia requiere de 40 litros de agua a 40 °C por persona.

Condiciones de uso durante un año:

- En los meses de octubre a abril los integrantes de la familia utilizan agua caliente en las noches, y lo hacen todos los días sin excepción. El agua fría ingresa a un promedio de 15 °C.
- En los meses de mayo a septiembre, los integrantes de la familia utilizan el agua caliente dejando un día. El agua fría ingresa a un promedio de 12 °C.

2. Solución

Para este caso se diseñará un sistema puntual debido a que el uso del agua caliente se realizará al finalizar el día, para ello se partirá de un colector solar imaginario cuya eficiencia global es de 45%.

Siguiendo con la solución del problema se plantearán dos sistemas, uno para los meses de octubre a abril (meses de alta radiación), y otro diseño para los meses mayo a septiembre (meses de baja radiación). Luego, comparando las áreas de captación de cada sistema, se seleccionará el sistema de mayor área.

2.1 *Diseño para los meses de octubre a abril*

a) *Radiación promedio*

A partir del anexo 1 se ubican los valores de radiación mensuales para la localidad de Cartavio, debido a que los valores no varían demasiado tomamos el valor promedio para efectuar los cálculos.

$$H_p = \frac{H_{Oct} + H_{Nov} + H_{Dic} + H_{Ene} + H_{Feb} + H_{Mar} + H_{Abr}}{7}$$

$$H_p = \frac{5,06 + 5,67 + 5,67 + 5,53 + 5,44 + 5,5 + 5}{7} = 5,41 \text{ kWh/m}^2$$

b) *Demanda energética*

Se cuentan con los siguientes datos:

$$C_p : 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_i : 15^\circ\text{C}$$

$$T_f : 40^\circ\text{C}$$

$$n_p : 9$$

$$V_p : 40 \text{ l}$$

$$\rho_{H_2O} : 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

Reemplazando en la siguiente fórmula:

$$M = n_p \rho_{H_2O} V_p$$

$$M = 9 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 40 \text{ l} \times \left(\frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} \right) = 360 \text{ kg}$$

Luego, la demanda energética se calcula por la siguiente fórmula:

$$E = MC_p (T_f - T_i)$$

$$E = 360 \text{ kg} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} (40 - 15)^\circ\text{C} = 37\,620 \text{ kJ}$$

c) *Número de colectores*

Para determinar el número de colectores se emplean los siguientes datos:

$$A_c : 2,40 \text{ m}^2$$

$$n_g : 45 \%$$

$$\text{F.S.} : 1,00$$

$$H_p : 5,41 \text{ kWh/m}^2$$

Reemplazando en la fórmula:

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p \times \eta_g}$$

$$A_{cap} = \frac{37\,620 \text{ kJ}}{5,41 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) \times 0,45 \times \left(\frac{\text{kJ/s}}{\text{kW}} \right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \right)} = 4,30 \text{ m}^2$$

El número de colectores es:

$$N_c = \frac{A_{cap} \times F.S.}{A_c}$$

$$N_c = \frac{4,50 \text{ m}^2 \times 1,00}{2,45 \text{ m}^2} = 1,64$$

Número de colectores a emplear: 2

2.2 *Diseño para los meses de mayo a setiembre*

a) *Radiación promedio*

Del anexo 1 ubicamos los valores de radiación mensuales para la localidad de Cartavio.

$$H_p = \frac{H_{May} + H_{Jun} + H_{Jul} + H_{Ago} + H_{Sep}}{5}$$

$$H_p = \frac{4,89 + 4,06 + 4,14 + 4,08 + 4,50}{5} = 4,33 \text{ kWh/m}^2$$

b) *Demanda energética*

Se cuentan con los siguientes datos:

$$T_i : 12^\circ\text{C}$$

$$T_f : 40^\circ\text{C}$$

$$V_p : 40 \text{ l}$$

El número de personas disminuye a la mitad debido a que en estos meses el uso del agua caliente es interdiario, por lo tanto el número de personas será 9/2, redondeando al entero superior, el número de personas para el diseño es cinco.

Reemplazando los datos se obtiene:

$$M = 5 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 40 \text{ l} \times \left(\frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} \right) = 200 \text{ kg}$$

Luego la demanda energética será:

$$E = 200 \text{ kg} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (40 - 12)^\circ\text{C} = 23\,408 \text{ kJ}$$

c) *Número de colectores*

Se cuentan con los siguientes datos:

$$A_c : 2,40 \text{ m}^2$$

$$\eta_g : 45 \%$$

$$F.S. : 1,00$$

$$H_p : 4,33 \text{ kWh/m}^2$$

Reemplazando en la fórmula:

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p \times \eta_g}$$

$$A_{cap} = \frac{23\,408 \text{ kJ}}{4,33 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) \times 0,45 \times \left(\frac{\text{kJ/s}}{\text{kW}} \right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \right)} = 3,34 \text{ m}^2$$

El número de colectores se determina de la siguiente manera:

$$N_c = \frac{A_{cap} \times F.S.}{A_c}$$

$$N_c = \frac{3,34 \text{ m}^2 \times 1,00}{2,40 \text{ m}^2} = 1,39$$

De igual forma, que para el caso anterior, el número de colectores es dos.

Comparando los dos diseños, en ambos casos, el sistema requiere dos colectores. Por lo que este será el número de colectores necesarios para satisfacer la demanda de agua caliente durante todo el año.

2.3 *Depósito de almacenamiento*

Al tratarse de un sistema puntual, el incremento de temperatura es de 30 °C.

$$T_{eq} = T_i + 30 = 15 + 30 = 45 \text{ °C}$$

Se calcula la demanda que podrá cubrir este sistema con dos colectores:

$$E = N_c \times H_p \times A_c \times \eta_g$$

$$E = 2 \times 4,33 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) \times 2,40 \text{ m}^2 \times 0,45 \times \left(\frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \times \frac{\text{kJ/s}}{\text{kW}} \right) = 42\,068 \text{ kJ}$$

Luego la masa a almacenar es:

$$M = \frac{E}{4,18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (T_{eq} - T_i)}$$

$$M = \frac{42\,068 \text{ kJ}}{4,18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (45 - 15)} = 335 \text{ kg}$$

Por lo que el volumen del depósito de almacenamiento es:

$$V_{dep} = 1,15 \times 335$$

$$V_{dep} = 385,3 \text{ l}$$

El volumen máximo del depósito disponible es de 200 litros, esto implica que se requieren dos depósitos de 200 litros para el almacenamiento del agua caliente.

3. Conclusiones

Para satisfacer la demanda de agua caliente de la familia de la comunidad de Cartavio se requiere un sistema con las siguientes características:

- a) Dos colectores con conexión en paralelo.
- b) Dos depósitos de 200 litros cada uno.

Debido a que el sistema requiere de dos colectores y dos depósitos, puede optarse por dividir en dos sistemas individuales, ello debe definirse de acuerdo a la disposición de espacio y la ubicación del mismo.

En la figura 1 se muestra el montaje del sistema con conexión en paralelo.

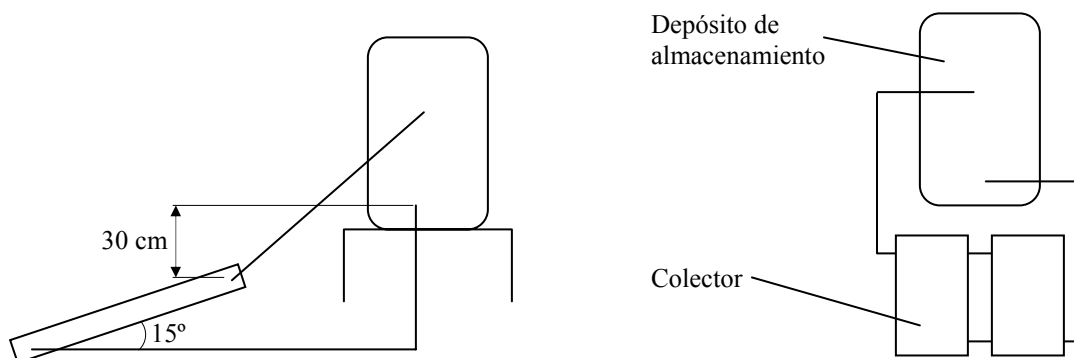


Figura 1. Montaje del sistema de calentamiento