



Viceministerio de Ciencia y Tecnología
Sistema Boliviano de Innovación



Norma boliviana para Sistemas Termosolares

Nicolas Noël

Taller Internacional
Dinamizando el Uso de la Tecnología Termosolar en Bolivia

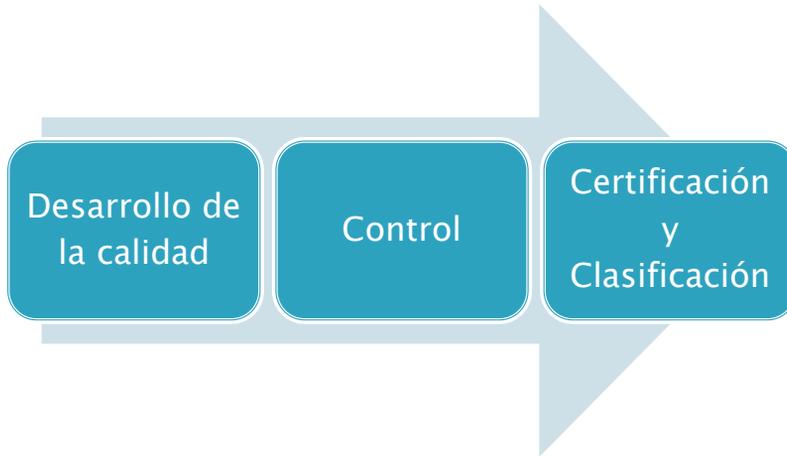
La Paz, 29 de septiembre 2011

Los objetivos del proyecto:



- Mejoramiento de la capacidad técnica
- Estimular la demanda de sistemas termosolares
- Establecer un modelo de financiamiento
- Desarrollo de la oferta de productos

Desarrollo de la oferta de productos



Desarrollo de la oferta de productos

Norma actual

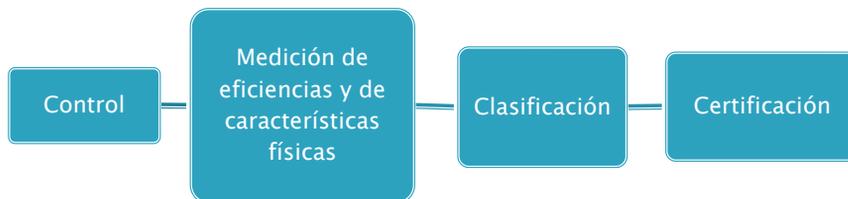


Las mediciones necesitan muchos equipos como: controlador de temperatura del fluido, refrigerador, sensores de temperatura, bombas de circulación, control presión, anemómetro, radiómetro, etc.

Parámetros: coeficiente de eficiencia (óptica y térmica)

Desarrollo de la oferta de productos

Nueva Norma



Mediciones simplificadas y aplicables para una clasificación específica para Bolivia

Parámetros: coeficiente de eficiencia (óptica y térmica)
Clasificación: rendimiento en día típico

4 textos:

- ▶ Pruebas de rendimiento de termotanque
- ▶ Pruebas de rendimiento de colectores
- ▶ Clasificación de colectores
- ▶ Vocabulario Energía Solar

Prueba de rendimiento de termotanque

- ▶ Determina los factores de eficiencia de un termotanque utilizado en un sistema termosolar cual sea su utilización, termosifón o circulación forzada, directo e indirecto.

Termotanque directo e indirecto:

- ▶ Medición de conservación de calor, aplicado a sistemas directos e indirectos.
 - Se llena el termotanque de agua caliente, y se monitorea su temperatura en tres puntos para calcular la energía perdida durante 24 horas.
 - Nos permite definir el coeficiente térmico del aislamiento del TT.

Termotanque indirecto:

- ▶ La prueba de eficiencia del intercambiador se hace con circulación controlada de un fluido caliente en el intercambiador
 - Midiendo las temperaturas de entrada, salida y del agua interna al TT, se hace el balance energético para definir el rendimiento del intercambiador.

Prueba de rendimiento de los colectores

- ▶ Proceso de medición en ambiente natural, con equipos sencillos, pero con rangos de precisión elevados.
- ▶ Mediciones durante unos tres días.
- ▶ El tratamiento de los resultados nos permite tener los coeficientes de eficiencia óptica y pérdida térmica de los colectores, los que definen la curva del rendimiento frente la temperatura reducida.

Eficiencia de un colector de placa plana

Tengo dos expresiones del rendimiento, así puedo representarlo gráficamente y hallar sus coeficientes

$$\eta = \frac{E_u}{E}$$

$$\eta = \alpha \cdot \tau - U'_t \left(\frac{(T_e - T_{amb})}{I} \right)$$

Eficiencia de un colector de placa plana

Energía que gana el fluido pasando por el colector:

- Medición del flujo
- Medición del volumen del colector
- Medición de las temperaturas de entrada y salida

Medición de la temperatura de entrada del fluido

Medición la temp. ambiente

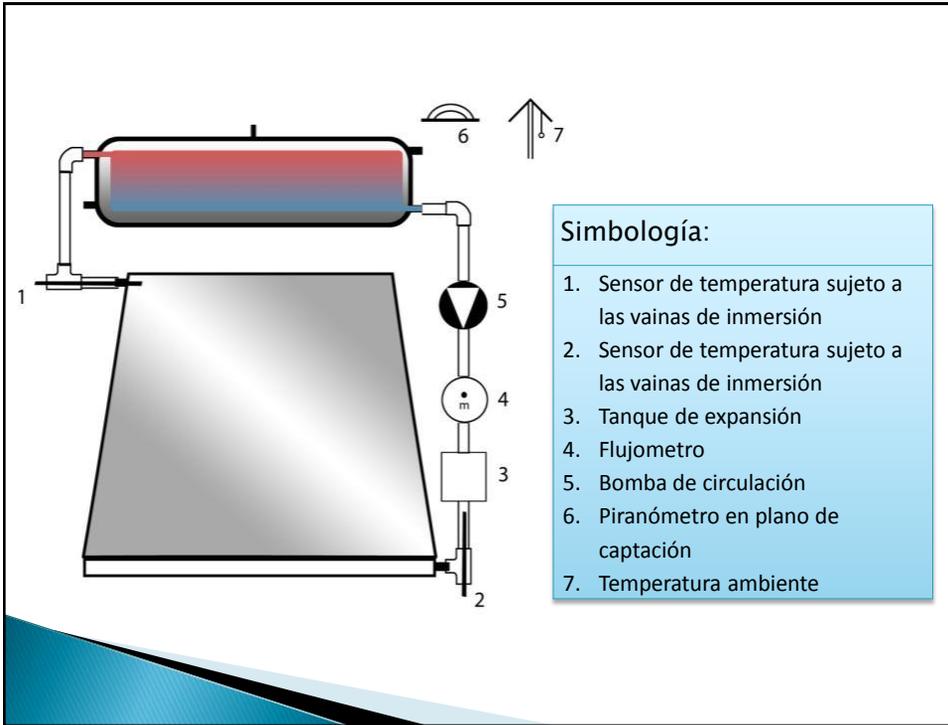
$$\frac{E_u}{E} = \alpha \cdot \tau - U'_t \left(\frac{(T_e - T_{amb})}{I} \right)$$

Energía que recibe el colector:

- Medición de la radiación solar
- Medición del área del colector

Radiación solar que recibe el colector:

- Medición de la radiación solar



Medición de temperatura:



Vainas de cobre ½"



Termocoplas + datalogger
mediciones cada 30 segundos

Medición de radiación solar:



Piranómetro + datalogger, mediciones cada segundo

Medición de caudal:

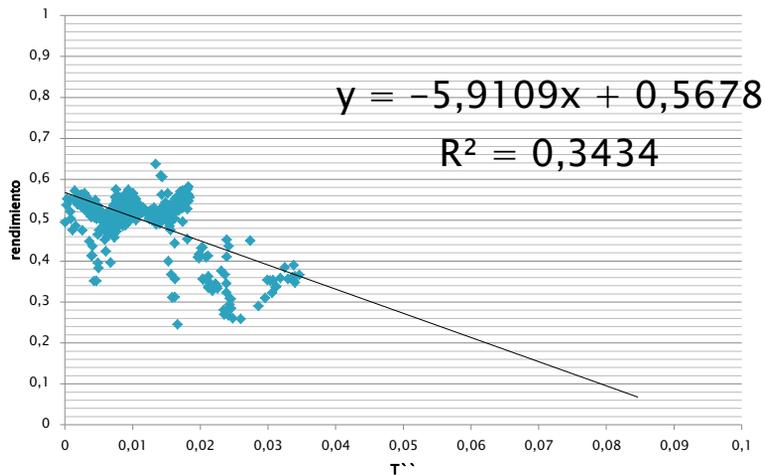


Flujometro + amperimetro

Resultados de las pruebas

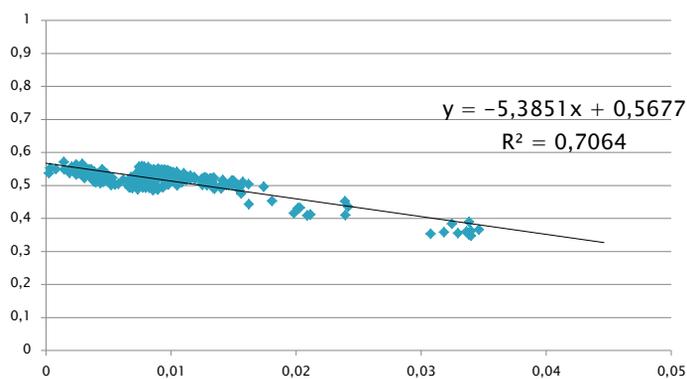
- ▶ Las ultimas pruebas se hicieron sobre 3 colectores distintos, siguiendo rigurosamente la norma redactada.
 - Colector importado
 - Colector nacional de cobre/aluminio
 - Colector nacional de acero galvanizado
- ▶ Tratamientos:
 - Selección de datos con continuidad temporal
 - Estadístico en base a la primera aproximación lineal

Tratamiento de datos



Colector nacional 2da generación

Tratamiento de datos



Colector nacional 2da generación

Numero de datos brutos: 455

Desviación típica: 0,036

Porcentaje de datos: 61%

Clasificación de colectores

- ▶ Calculo de la energía que produciría el colector dentro de un día típico boliviano.
- ▶ Traduce los coeficientes obtenidos en las pruebas de rendimiento en datos entendibles para el público

Clasificación de colectores

- ▶ Propone las bases para tener un etiquetaje modelado.
- ▶ El resultado nos permite obtener un dato de generación de energía, y una clasificación correspondiente, haciendo esa clasificación visible, el cliente puede comparar varios modelos y elegir el que le convenga.

Clasificación del colector:

Necesitamos transformar los datos de eficiencia en algún dato que sea mas entendible por parte de los consumidores.

Coefficientes de
rendimiento
 $\alpha \cdot \tau \cdot \gamma \cdot U'_t$



Energía en kWh

Debemos calcular la energía que produce nuestro colector durante un mes.

Clasificación del colector:

Creación de un día boliviano de referencia.

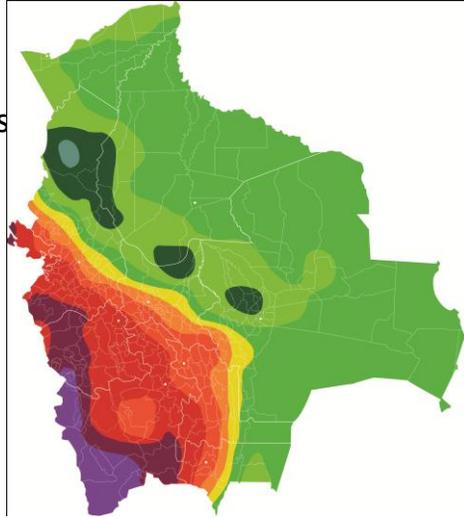
- Necesidad de crear un día típico coherente que tenga respaldo científico
- Perfil de radiación
- Perfil de temperatura ambiente
- Perfil de temperatura de entrada
- Perfil coeficiente de corrección de inclinación

Todos esos datos resultaran de promedios de los municipios

Clasificación del colector:

Perfil de radiación:

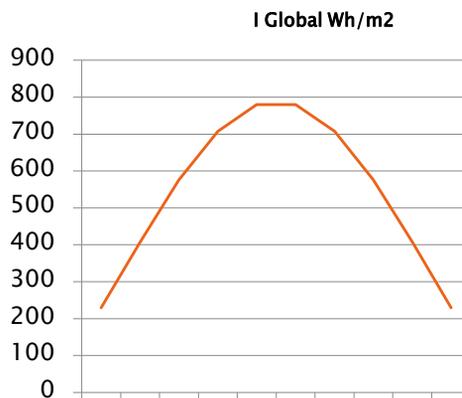
Promedio de los valores de radiación de todos los municipios bolivianos. Ese promedio es de:
 $E=5,57 \text{ kWh/m}^2$



Clasificación del colector:

Perfil de radiación:

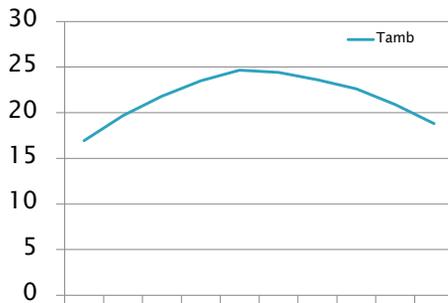
Con ese valor aplico el método de Liu-Jordan para tener un perfil horario:



Clasificación del colector:

Perfil de temperatura ambiente:

Se calculan los promedios de temperatura mínima, máxima y media para todos los municipios. Con esos datos se construye un perfil con el método de Vera:



Hora	Tamb
De 7 a 8	16,95
De 8 a 9	19,70
De 9 a 10	21,80
De 10 a 11	23,50
De 11 a 12	24,65
De 12 a 13	24,40
De 13 a 14	23,60
De 14 a 15	22,60
De 15 a 16	20,90
De 16 a 17	18,80

Clasificación del colector:

Perfil de temperatura de entrada:

Se fija la temperatura inicial de entrada a la hora 7:00 a 20°C.

Las temperatura siguientes dependen de la energía ganada a la hora anterior, dando continuidad a nuestro modelo.

Ejemplo:

$$\boxed{\text{Temperatura de entrada a la hora 8:00}} = \boxed{\text{Temperatura de entrada a la hora 7:00}} + \boxed{\text{Gradiente de temperatura entre la hora 7:00 y 8:00}}$$

Clasificación del colector:

Perfil de coeficiente de corrección de incidencia :

Depende de la inclinación de los rayos solares según el momento del día.

Hora	K_t
De 7 a 8	0,89
De 8 a 9	0,97
De 9 a 10	0,99
De 10 a 11	1,00
De 11 a 12	1,00
De 12 a 13	1,00
De 13 a 14	1,00
De 14 a 15	0,99
De 15 a 16	0,97
De 16 a 17	0,89

Clasificación del colector:

$$Q = (I_t \cdot K_t) \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot (T_e - T_{amb})$$

Energía producida = Radiación aprovechada - Perdidas de calor

Día típico boliviano:

$$Q_{diaria} = \sum_{h=7}^{17} Q(h)$$

Energía mensual:

$$Q_{mensual} = 30 \cdot Q_{diaria}$$

Hora	K_t	I_t	T_{amb}	T_e
De 7 a 8	0,89	224,58	16,95	20,00
De 8 a 9	0,97	406,37	19,70	
De 9 a 10	0,99	575,86	21,80	
De 10 a 11	1,00	708,66	23,50	
De 11 a 12	1,00	781,84	24,65	
De 12 a 13	1,00	781,84	24,40	
De 13 a 14	1,00	708,66	23,60	
De 14 a 15	0,99	575,86	22,60	
De 15 a 16	0,97	406,37	20,90	
De 16 a 17	0,89	228,53	18,80	

Clasificación del colector:

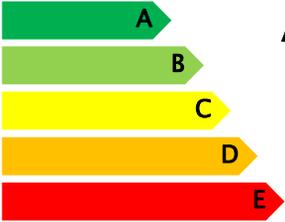
Energía mensual:

$$Q_{mensual} = 30 \cdot Q_{diaria}$$

Según el valor de esa energía mensual, se clasifica el colector de una letra de clase:

Clase	Rangos de energía
A	A partir de 71 kWh/m2/mes
B	De 61 a 70 kWh/m2/mes
C	De 51 a 60 kWh/m2/mes
D	De 41 a 50 kWh/m2/mes
E	Debajo de 40 kWh/m2/mes

Etiquetaje del colector:

Fabricante:	
Modelo:	2da generación
Superficie:	1,4 m ²
Energía total diaria:	2,46 kWh/m ²
Energía total mensual por unidad de superficie:	73,7 kWh/m ²
Clasificación del colector:	
	A
Energía total mensual generada por el colector:	103,18 kWh

Clasificación del colector:

Fabricante:			
Modelo:	Importado	2da generación	1ra generación
Superficie:	1,4 m ²	1,4 m ²	1,8 m ²
Energía total diaria:	2,43 kWh/m ²	2,46 kWh/m ²	1,84 kWh/m ²
Energía total mensual por unidad de superficie:	72,8 kWh/m ²	73,7 kWh/m ²	55,3 kWh/m ²
Clasificación del colector:			
 A	A	A	
 B			
 C			C
 D			
 E			
Energía total mensual generada por el colector:	101,92 kWh	103,18 kWh	99,54 kWh

Conclusiones

- Nuevo protocolo de mediciones satisfactorio
- Nueva norma aplicable directamente
- Clasificación posible

Etapas siguientes:

- Seguir coordinando con Iborca para la discusión y redacción de las normas
- Automatizar todo el proceso de recolección de datos y tratamiento
- Hacer aceptar el centro de testeo por el Iborca



GRACIAS POR SU ATENCION