

PREFACIO

La Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C. (NORMEX), es un Organismo Nacional de Normalización establecido el 3 de diciembre de 1993 en términos del Artículo 4 de los estatutos de la Acta Constitutiva de la Sociedad. Acreditado el 8 de diciembre de 1993 por la SECOFI Actualmente Secretaría de Economía – Dirección General de Normas para elaborar y expedir Normas Mexicanas con fundamento en los Artículos 3 Fracción 1, 65 y 66 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y de conformidad con las directrices y procedimientos para la acreditación de Organismos Nacionales de Normalización.

La Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C. (NORMEX), fue acreditada por la Dirección General de Normas para elaborar, modificar y expedir Normas Mexicanas en el área de energía solar, el 26 de agosto de 2004, No. Acreditamiento 0001-D oficio con número de folio: DGN.312 .01.2004.458

Fundamentado en el Artículo 51-A Fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y del Artículo 43 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el Diario Oficial de la Federación del día 18 de febrero del 2005 *el aviso de consulta pública del proyecto de norma*.

Con base; al Artículo 34 Fracción XI y XXX de la Ley Orgánica de la Administración; a los Artículos 51-A y 66 Fracciones II y V de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; al Artículo 24 Fracciones I y XV del Reglamento Interior de la Secretaría de Economía; y por conducto de la Dirección General de Normas; se publicó y expidió en el Diario Oficial de la Federación, del día 15 de agosto del 2005, la *declaratoria de vigencia como Norma Mexicana*.

Esta Norma Mexicana, entra en vigencia 60 días naturales después del anuncio de declaratoria de vigencia, la fecha de vigencia se señala en el encabezado de la Norma.

La presente Norma Mexicana fue elaborada por el Subcomité de Calentadores Solares; del Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar, NESO-13, coordinado por la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C., con la colaboración de las siguientes empresas e instituciones:

Miembros Promoventes:

- Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)
- Comisión Nacional del Ahorro de Energía (CONAE)
- Consejo de Ciencia y Tecnología de Guanajuato (CONCYTEG)
- H. Ayuntamiento de Cuautitlán.

Miembros Participantes:

- Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA SECCION 40)
- Centro de Investigación de Energía (CIE-UNAM)
- Grupo Ovonic
- Heliocol de México

- IIC-Universidad de Guanajuato
- Instituto de Geofísica de la UNAM
- Instituto Politécnico Nacional – Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (IPN-ESIME)
- Instalaciones Técnicas Especializadas, S.A.
- IMPREMA.
- Programa Universitario de Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (PUE-UNAM)
- Secretaria de Economía / Dirección General de Normas (SE/DGN)
- Secretaria de Energía (SENER)
- Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, S. C.
- Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)
- Usol, S.A. de C.V.

Esta Norma Mexicana cumple; las Directrices de los procedimientos para la elaboración y actualización de Normas (NOR-03/01); la Edición de documentos de normalización – Anteproyectos, Proyectos y Normas Mexicanas NORMEX (NOR-03/02); la aprobación por consenso del Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar (NESO-13) y la conformidad de la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, S.C.

La presente Norma Mexicana esta bajo la jurisdicción del Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar y la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, S.C. Con base; al Artículo 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y al Artículo 48 del Reglamento de la misma Ley, deberá revisarse o actualizarse esta Norma, a los 5 años siguientes a la publicación de la declaratoria de vigencia. Los comentarios que puedan surgir deberán ser enviados a la sede del Comité Técnico, sito, *Dirección de Normalización de NORMEX, Circuito Geógrafos No. 20, Ciudad Satélite Ote., Naucalpan de Juárez, C.P. 53101, Estado de México, Teléfono 53 74 14 02, Fax 53 74 20 37, Correo electrónico normas@normex.com.mx.*

ÍNDICE

PÁGINA

0.0	Introducción	4
1.0	Objetivo	4
2.0	Campo de aplicación.....	4
3.0	Referencias	4
4.0	Definiciones, Nomenclatura, Símbolos y abreviaturas	4
5.0	Clasificación	8
6.0	Especificaciones	8
7.0	Muestreo	9
8.0	Criterios de aceptación	9
9.0	Métodos de prueba	9
10.0	Información al público	28
11.0	Etiquetado	28
12.0	Bibliografía	29
13.0	Concordancia con Normas Internacionales	29
14.0	Transitorio	29
15.0	Anexos y apéndices	31

ENERGIA SOLAR- RENDIMIENTO TÉRMICO Y FUNCIONALIDAD DE COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA- MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO.

SOLAR ENERGY-THERMAL PERFORMANCE AND FUNCTIONALITY OF SOLAR COLLECTORS FOR WATER HEATING - TEST METHODS AND LABELLING

0.0 INTRODUCCIÓN

La presente Norma Mexicana es elaborada para disminuir el consumo de combustibles fósiles y su consecuente emisión de contaminantes, utilizando la radiación solar como fuente alterna de energía primaria, para calentamiento de agua de uso sanitario.

1.0 OBJETIVO

Esta Norma establece los métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico y las características de funcionalidad de los colectores solares que utilizan como fluido de trabajo agua, comercializados en los Estados Unidos Mexicanos.

2.0 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma aplica a los colectores solares que proporcionen únicamente agua caliente en fase líquida.

3.0 REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de la presente Norma se debe consultar la siguiente Norma Oficial Mexicana vigente:

3.1 NOM-008-SCFI-1993, Sistema General de Unidades de Medida.

4.0 DEFINICIONES, NOMENCLATURA, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Para efectos de la presente Norma Mexicana, se establecen las siguientes definiciones:

4.1 Definiciones.

4.1.1 Absorbedor

Componente del colector solar que recibe la radiación solar incidente y la transforma en energía térmica.

4.1.2 Aire circundante

Aire alrededor del colector solar que se está probando.

4.1.3 Área bruta

Máxima área proyectada del modulo completo del colector solar, incluyendo la estructura integral.

4.1.4 Área de apertura

Máxima área proyectada a través de la cual la radiación solar no concentrada entra al colector.

4.1.5 Capa absorbedora

Material que cubre la superficie de absorción con la cual se maximiza la capacidad absorbedora de la radiación solar del colector solar.

4.1.6 Colector solar

Dispositivo que absorbe la radiación solar incidente, la convierte en energía térmica y la transfiere al fluido que pasa por el.

4.1.7 Corrosión

Deterioro de una superficie causada por una reacción química o electroquímica con el ambiente.

4.1.8 Cubierta superior

Material o materiales que cubren el área de apertura del colector solar metálico cubierto y permiten el paso de la radiación solar al interior de éste.

4.1.9 Deformación severa

Cualquier condición que modifica las dimensiones, impide el funcionamiento adecuado del colector solar.

4.1.10 Delaminación

Separación de un material en capas.

4.1.11 Deterioro severo

Cualquier condición que impida el funcionamiento adecuado del colector solar.

4.1.12 Eficiencia Instantánea

Es la relación entre la energía útil y la energía solar incidente en el instante de la medición.

4.1.13 Emisión de Gases

Generación de vapores de los materiales durante su exposición a temperaturas elevadas y/o presiones reducidas.

4.1.14 Encapsulado del colector solar

Marco estructural que sostiene los componentes del colector metálico cubierto encapsulado y protege a los elementos internos del medio ambiente.

4.1.15 Fluido de Transferencia

Medio líquido, el agua en el caso de esta Norma, que pasa a través de, o está en contacto con el colector solar y transporta la energía térmica fuera de éste.

4.1.16 Irradiancia

Es la relación entre la energía removida por el fluido de transferencia durante un periodo de medición dado, y la radiación solar total (irradiación en MJ/m²), que incide sobre el área bruta del colector solar, durante dicho periodo de medición, expresada en porcentaje.

4.1.17 Piranómetro

Instrumento para medir la radiación solar incidente total (directa más difusa, y reflejada en el caso de estar inclinado) colocado en cierto punto sobre la

superficie terrestre, expresada en unidades de irradiancia (W/m²).

4.1.18 Pirheliómetro

Instrumento para medir la radiación solar directa incidente, colocado en un cierto punto de la superficie terrestre expresada en unidades de irradiancia (W/m²).

4.1.19 Presión máxima de operación

Es aquella definida por el fabricante como la presión de trabajo para la cual fue diseñado el colector solar.

4.1.20 Rendimiento Térmico

Es la relación de la energía térmica útil que el colector solar entrega, respecto de la energía de radiación solar que incide sobre su Área de Apertura, tomando en cuenta las características de la salida térmica del colector solar, determinadas por las pruebas a las que se sometió y que se especifican en esta Norma.

4.2 Nomenclatura

Tabla 1. Nomenclatura

Símbolo	Descripción	Unidades
α	Absortancia de la superficie absorbadora de la radiación solar del colector solar	Adimensional
θ	Angulo entre los rayos solares directos incidentes y la normal a la superficie del colector solar plano de cara al Sol (Área de Apertura).	Grados
β	Altura angular aparente del Sol	Grados
ϕ	Ángulo acimutal solar	Grados
τ	Transmitancia de la cubierta del colector solar	Adimensional
$(\tau\alpha)_e$	Producto efectivo de la transmitancia por la absortancia.	Adimensional
$(\tau\alpha)_e, n$	Producto efectivo de la transmitancia por la absortancia a incidencia normal	Adimensional
η_g	Eficiencia del colector basada en el área bruta del colector	%
A, b, a', b'	Constantes usadas en ecuaciones modificadoras por efectos del ángulo de la radiación solar directa incidente	Adimensional
B_0	Constante usada en la ecuación modificadora por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa	Adimensional
E	Ecuación del tiempo	Minutos
F'	Factor de eficiencia de absorción de la placa absorbadora	Adimensional

K	Factor definido por la ecuación 11	Adimensional
K_1	Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre colectores biaxiales	Adimensional
K_2	Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre colectores biaxiales	Adimensional
K_d	Irradiancia de la radiación difusa incidente en la dirección del ángulo modificador	Adimensional
K_{loc}	Longitud geográfica	Grados (Oeste)
K_{OT}	Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa	Adimensional
L_{st}	Longitud geográfica del meridiano estándar que determina el huso horario de la zona y en base al cual se establece la hora estándar local del observador.	Grados (Oeste)
LST	Hora estándar local	Horas decimales
LSTM	Longitud geográfica del meridiano del punto en donde se localiza el observador correspondiente a la hora estándar local	Grados (Oeste)
N	Día del año, enpezando con 1 para enero 1	
ρ	Reflectancia de una superficie reflejante de la radiación solar	Adimensional
P_λ	Reflectancia espectral de una superficie reflejante de la radiación solar	Adimensional
γ	Fración de la radiación reflejada especularmente por un reflector y que no llega al área de recepción del colector solar	Adimensional
λ	Longitud de onda de la radiación solar	μm
$\Delta\lambda_i$	Intervalo de longitud de onda	μm
λ_i	Longitud de onda específica de la radiación solar	μm
ΔP	Caída de presión a través del colector	Pa
Δt	Diferencia de temperaturas	$^\circ\text{C}$
A	Área transversal	m^2
A_2	Área frontal transparente de un colector no concentrador, o área de apertura de un colector concentrador	m^2
A_g	Área bruta del colector	m^2
A_r	Área absorbidora de un colector no concentrador o el área de recepción de un colector concentrador	m^2
AST	Tiempo solar (o Tiempo solar verdadero).	Horas decimales
B	Ángulo efectivo para determinar la ecuación del tiempo	Grados
C_A	Capacidad efectiva de calentamiento del colector solar	$\text{J}/^\circ\text{C}$
C_p	Calor específico del fluido de transferencia de calor	$\text{J}/(\text{Kg}\cdot^\circ\text{C})$
E_μ	Irradiancia solar espectral promediada sobre $\Delta\lambda_i$ centrado en λ_i , para una masa óptica relativa de aire de 1.5.	$(\text{W}/\text{m}^2) / \mu\text{m}$
G	Irradiancia de la radiación solar global	W/m^2
G_{bp}	Irradiancia de la radiación solar directa	W/m^2

NMX-ES-001-NORMEX-2005

FECHA DE INICIO DE VIGENCIA: 14 DE OCTUBRE DE 2005

	incidente sobre el Área de Apertura del colector	
G_d	Irradiancia de la radiación solar difusa incidente sobre el Área de Apertura del colector	W/m^2
G_{DN}	Irradiancia de la radiación solar directa que incide normal a la superficie del colector	W/m^2
G_{sc}	Constante solar	$1367 W/m^2$
G_t	Irradiancia de la radiación solar global incidente sobre el Área de Apertura del colector	W/m^2
H_a	Entalpía de la mezcla vapor- aire-agua del ambiente	J/kg
H_{fe}	Entalpía de la mezcla vapor-aire-agua del ambiente a la salida del colector	J/kg
H_{fi}	Entalpía de la mezcla vapor-aire-agua del ambiente a la entrada del colector	J/kg
H_L	Entalpía de la fuga de mezcla de vapor- aire-agua	J/kg
M	Masa óptica relativa del aire, igual a $1/\text{Sen}(\beta)$ para $\beta \geq 20^\circ$	Adimensional
M	Masa del fluido de transferencia de calor	kg/s
M_e	Nivel del flujo de la masa de aire	kg/s
M_t	Índice del flujo de la masa de aire corriente arriba	kg/s
M_L	Flujo de masa de aire filtrada	kg/s
$P_{f,i}$	Presión estática del fluido de transferencia de calor a la entrada del colector solar	Pa (lbf/in ²)
P_{fe}	Presión estática del fluido de transferencia de calor a la salida del colector solar	Pa (lbf/in ²)
Q_s	Índice del flujo de aire corregido a condiciones estándar	m ³ /s
Q_{mi}	Media volumétrica del índice de flujo de aire a la entrada del colector	m ³ /s
Q_u	Tasa de extracción de energía útil del colector (energía por unidad de tiempo)	W (J/s)
t	Temperatura efectiva definida por la ecuación VI.1	°C
t_{HHL}^-	Temperatura efectiva para una prueba de pérdida de calor dada por el índice de flujo	°C
t_1, t_2	Tiempo al iniciar y al finalizar un periodo de prueba	Horas y fracciones decimales o segundos
T_a	Temperatura del aire o Temperatura del ambiente	°C
T_f	Temperatura promedio del fluido	°C
$t_{f,i}$	Temperatura del fluido de transferencia entrando al colector	°C
$t_{f,e}$	Temperatura del fluido de transferencia de calor saliendo del colector	°C
$t_{f,e, \text{inicial}}$	Temperatura del fluido de transferencia saliendo del colector al iniciarse el periodo de la prueba, para la estimación de la constante de tiempo.	°C
$t_{f,e,T}$	Temperatura del fluido de transferencia de calor saliendo del colector en un momento específico	°C
t_p	Temperatura promedio de la superficie absorbidora de un colector no concentrador	°C
t_r	Temperatura promedio de la superficie	°C

	absorbedora de un colector concentrador	
U_L	Coficiente para estimar las pérdidas durante la transferencia de calor en el colector solar	$W/m^2/^\circ C$
W_n	Humedad específica	$kg(H_2O)/kg(\text{aire seco})$

Tabla 2. SISTEMA DE UNIDADES

MAGNITUD BÁSICA	UNIDADES EN EL SISTEMA INTERNACIONAL		OTRAS UNIDADES	Equivalencia en el Sistema Internacional	
	Símbolo	Nombre	Símbolo		Nombre
Tiempo	s	Segundo	Min	60 s.	Minuto
			Hr	3600 s.	Hora
Masa	Kg	Kilogramo			
Fuerza	N	Newton	kgf	9.81N	Kilogramo fuerza
Energía	J	Joule	MJ	10^{**6} J	Megajoule
Longitud	M	Metro	$\mu m.$	$10^{**(-6)}$ m	Micrómetro
Área	m^2	Metro cuadrado			
Volumen	m^3	Metro cúbico	ml	$10^{**(-6)}$ m^3	mililitro
Presión	Pa	Pascal	lbf/in ²	0.6896 N/cm ²	
Potencia	W	Watt	J/s	W	
Densidad	g/cm^3		kg/m^3		
Irradiancia	W/m^2				
Irradiación	J/m^2		WH/m ²	3600 J/m ²	
Temperatura	$^\circ K$	Kelvin	$^\circ C$	$(273.16+^\circ C)^\circ K$	Celcius
Voltaje	V	Voltio	μV	$10^{**(-6)}$ V	microvoltio

5.0 CLASIFICACIÓN

El colector solar al cual aplica esta Norma distingue a los siguientes cuatro tipos:

- 1) Colector solar metálico cubierto.
- 2) Colector solar metálico descubierto.
- 3) Colector solar de plástico cubierto.
- 4) Colector solar de plástico descubierto.

Esta clasificación es enunciativa más no limitativa. Los métodos de prueba de esta Norma son aplicables a cualquier colector solar determinado en esta clasificación o pueden ser aplicados a cualquier innovación tecnológica propuesta, siempre y cuando sean sujetos de ser sometidos a dichas pruebas.

6.0 ESPECIFICACIONES

- El colector solar metálico cubierto consiste de un elemento que actúa como absorbedor, el cual generalmente está cubierto con un material que permite una

N. E. 001

máxima absorción de la energía solar. Éste se encuentra dentro de una caja que lo protege del ambiente, además de darle rigidez. Cuenta con un aislamiento térmico en la parte inferior y las caras laterales de la caja. La parte superior es una cubierta transparente que permite el paso de la radiación solar y evita las pérdidas de calor por convección del viento sobre el absorbedor.

- El colector solar metálico descubierto es un elemento fabricado de lámina metálica en el cual la superficie que absorbe la radiación solar es esencialmente la superficie del colector solar.
- El colector solar de plástico descubierto es un elemento fabricado de plástico en el cual la superficie que absorbe la radiación solar es esencialmente la superficie del colector solar.
- El colector solar de plástico cubierto es un elemento con absorbedor de plástico y cubierta transparente.

Los colectores solares deben ser evaluados de acuerdo a los siguientes métodos de prueba:

6.1 Funcionalidad.

Para evaluar la funcionalidad del colector solar se deben realizar las siguientes pruebas, cuyos procedimientos se describen en el punto 9 de esta norma:

- 6.1.1 Inspección a la recepción del colector.
- 6.1.2 Presión estática previa a la prueba de exposición de treinta días.
 - 6.1.3 Exposición de treinta días.
 - 6.1.3.1 Exposición a la radiación solar.
 - 6.1.3.2 Choque térmico con rocío de agua fría.
 - 6.1.3.2 Choque térmico con circulación de agua fría.
 - 6.1.4 Presión estática posterior a la prueba de exposición de treinta días.
 - 6.1.5 Desarmado e inspección final de los componentes del colector.

6.2 Rendimiento térmico.

Para determinar el rendimiento térmico del colector solar se deben realizar las siguientes pruebas, cuyos procedimientos se describen en el punto 9 de esta norma.

- 6.2.1 Determinación de la constante de tiempo.
- 6.2.2 Rendimiento térmico.
- 6.2.3 Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar.

7.0 MUESTREO

7.1 Selección de la muestra.

Se debe elegir una muestra que conste de tres unidades del mismo modelo de colector solar que se desee certificar.

8.0 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

8.1 Certificación

Si durante el proceso de las pruebas de funcionalidad se determina que el colector solar no puede continuar con este proceso, este será suspendido y elaborado el informe respectivo, como se indica en el punto 9.10. En este caso, se establece un periodo mínimo de 3 meses, para repetir la prueba con el mismo modelo considerando las modificaciones pertinentes.

Si el colector solar pasa todas las pruebas de funcionalidad especificadas por esta Norma y ha sido sometido a las pruebas de rendimiento térmico, se otorgará la certificación correspondiente, como se indica en el punto 9.10

La certificación debe incluir el reporte técnico del rendimiento térmico del colector solar, conforme a los formatos incluidos en los anexos.

9.0 MÉTODOS DE PRUEBA

9.1 Secuencia de las pruebas.

Las pruebas de funcionalidad y rendimiento térmico al colector solar deberán realizarse de acuerdo a la siguiente secuencia:

- a) Inspección a la recepción del colector solar, descrita en el punto 9.2 de esta Norma.
- b) Presión estática previa a la prueba de exposición a la radiación solar durante treinta días, descrita en el punto 9.3 de esta Norma.
- c) Exposición a la radiación solar durante treinta días, descrita en el punto 9.4 de esta Norma.
 - c.1) Exposición a la radiación solar, descrita en el punto 9.4.1 de esta Norma.
 - c.2) Choque térmico con rocío de agua, descrita en el punto 9.4.2 de esta Norma.
 - c.3) Choque térmico con circulación de agua fría, descrita en el punto 9.4.3 de esta Norma.
- d) Presión estática posterior a la exposición de treinta días, descrita en el punto 9.5 de esta Norma.
- e) Determinación de la constante de tiempo, descrita en el punto 9.6 de esta Norma.
- f) Rendimiento térmico, descrita en el punto 9.6 de esta Norma.
- g) Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa, descrita en el punto 9.6 de esta Norma.
- h) Desarmado e inspección final, descrita en el punto 9.7 de esta Norma.

Para la realización de estas pruebas se debe utilizar agua que cumpla con la especificaciones indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

9.2 Inspección a la recepción del colector solar.

9.2.1 Fundamento.

Con objeto de establecer el estado inicial del colector solar y determinar si sufre cambios después de haber sido sometido a las pruebas establecidas por esta Norma, éste se deberá inspeccionar y documentar antes de las pruebas, según se especifica en el punto 9.2.4

9.2.2 Instrumentación.

- Balanza con una precisión de $\pm 2,00$ %.

9.2.3 Aparatos y equipos.

- No se requieren.

9.2.4 Procedimiento.

Registrar los valores solicitados en el Formato A: Recepción del colector solar del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.

9.2.5 Criterio de aprobación.

El colector solar no debe presentar daños visibles, y por lo tanto debe ser susceptible de ser sometido a la secuencia de pruebas establecida por esta Norma.

9.3 Prueba de presión estática previa a la prueba de exposición de treinta días.

9.3.1 Fundamento.

Con objeto de verificar su resistencia y capacidad de soportar las presiones a las que el colector solar se verá sometido durante su operación, previo a la prueba de exposición a la radiación solar durante treinta días el colector debe someterse a una prueba de presión estática. Ésta prueba será llevada a cabo bajo la siguiente condición:

- Para colectores solares metálicos con cubierta que trabajen a presión. Estos deben ser sometidos a una presión de 1,5 veces la presión máxima de operación definida por el fabricante. El valor mínimo de la presión de prueba será de 400 kPa manométrica.
- Para colectores solares plásticos con y sin cubierta que trabajen a presión. Estos deben ser sometidos a una presión de 1,5 veces la presión máxima de operación definida por el fabricante, El valor mínimo de la presión de prueba será de 150 kPa manométrica.
- Para colectores solares metálicos y de plástico con y sin cubierta que trabajen a presión menor a 100 kPa. Estos deben ser sometidos a una presión de 1,5 veces la presión máxima de operación definida por el fabricante. El valor máximo de la presión de prueba no deberá ser mayor a 150 kPa manométrica..

9.3.2 Instrumentación.

- Manómetro con una exactitud de por lo menos $\pm 3,5$ kPa.

9.3.3 Aparatos y equipos.

- Fuente de presión hidráulica.
- Dos válvulas.

9.3.4 Procedimiento.

Esta prueba debe realizarse bajo techo y a temperatura ambiente con una variación de máxima de ± 5 °C

- Registrar los valores de presión nominal de operación y de prueba en la Sección a) del Formato B: Prueba de presión estática previa a la prueba de exposición a la radiación solar durante 30 días, del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.
- Instalar el manómetro en el tubo de salida del colector solar.
- Instalar las válvulas, una en el tubo de entrada, y la otra en el tubo salida, inmediatamente después del manómetro.
- Llenar completamente el colector solar de agua a temperatura ambiente, hasta que todo el aire del interior haya sido removido.
- Cerrar la válvula de salida y verificar que el manómetro esté en un valor de 0,00 kPa.
- Aplicar presión gradualmente, hasta alcanzar un valor estable en la presión determinada por esta Norma en el punto 9.3.1
- Cerrar la válvula de entrada y mantener esta presión durante 15 minutos, verificando mediante el manómetro que la presión no varíe, así como los posibles cambios, fugas y deformaciones que pueda sufrir el colector en sus conexiones, soldadura y otros puntos susceptibles de dañarse.
- Desconectar el equipo de presión para permitir que el colector regrese a la presión atmosférica, verificando que el manómetro indique un valor de 0,00 kPa.
- Registrar los resultados obtenidos en la Sección b) del Formato B Prueba de presión estática previa a la prueba de exposición de 30 días del Anexo I.

9.3.5 Criterio de aprobación.

- No debe existir fuga de agua.

- No debe existir caída de presión.
- No debe existir deterioro o deformación severa. (dilatación o estiramiento)

9.4 Prueba de exposición a la radiación solar del colector solar durante treinta días.

Durante la prueba de exposición a la radiación solar del colector solar durante treinta días, se llevarán a cabo las siguientes tres pruebas:

- Prueba de exposición a la radiación solar.
- Prueba de choque térmico con rocío de agua.
- Prueba de choque térmico con circulación de agua fría.

9.4.1 Prueba de exposición a la radiación solar.

9.4.1.1.Fundamento.

Con el objeto de verificar la integridad del colector solar, éste se debe exponer por lo menos durante 30 días a una radiación solar incidente con valores de irradiación mínima por día de 29,0 MJ/m², medida en el plano de su área de apertura.

9.4.1.2 Instrumentación.

- Piranómetro.
- Termómetro.

9.4.1.3 Aparatos y equipos.

- Bomba para la extracción del fluido del colector solar.

9.4.1.4 Procedimiento.

- Llenar de agua el colector solar y posteriormente drenarlo por gravedad durante un periodo de 15 minutos. En algunos casos será necesario inclinar el colector solar para su drenaje completo. Aquellas unidades que sean demasiado grandes, y que no puedan ser drenadas mediante una inclinación, tendrán que ser drenadas mediante una bomba, hasta que el colector solar esté completamente vacío.
- Colocar el colector solar en el banco de pruebas, con una inclinación igual a la latitud geográfica del lugar donde se lleva a cabo la prueba, con una variación de $\pm 2,5$ grados.

Registrar el ángulo de inclinación utilizado, en la Sección a) del Formato C: Prueba de

exposición a la radiación solar del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.

- c) Sellar herméticamente los tubos de entrada y de salida del colector solar.
- d) Exponer el colector solar, sin agua, por lo menos durante cuatro horas diarias en 30 días acumulados, a una irradiancia mínima de 700,00 W/m² medida en el plano de apertura del colector solar. La temperatura ambiente promedio durante la prueba será no menor que 20,0 °C.
- e) Tanto el primero como el último día de esta prueba se realizará una revisión detallada del estado en que se encuentran los componentes del colector solar, según se especifica en la Sección b) del Formato C: Prueba de exposición a la radiación solar del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.
- f) Registrar diariamente la radiación solar integrada (irradiancia total diaria en MJ/m²), la temperatura promedio del aire circundante al colector solar y la precipitación pluvial total, en la Sección c) del Formato C: Prueba de exposición a la radiación solar del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.
- g) Realizar una inspección visual semanal, considerando que el tiempo entre las inspecciones no exceda de siete días, registrando las condiciones observadas del colector solar en la Sección d) del Formato C: Prueba de exposición a la radiación solar del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.

9.4.1.5 Criterio de aprobación.

Se dará por terminado el proceso de las pruebas, cuando sea evidente que, el colector solar ha sufrido algún daño o degradación de sus componentes.

9.4.2 Prueba de choque térmico con rocío de agua.

9.4.2.1 Fundamento.

Con objeto de verificar la resistencia del calentador solar plano a condiciones reales donde, después de estar expuesto por un largo periodo de tiempo a la

radiación y recibir en algún momento precipitación pluvial, éste no debe sufrir ningún daño a consecuencia del choque térmico.

9.4.2.3 Instrumentación.

- Medidor de Flujo de agua.
- Piranómetro.
- Termómetro.
- Cronómetro.

9.4.2.2 Aparatos y equipos.

- Sistema hidráulico capaz de suministrar el flujo de agua en forma de rocío.

9.4.2.4 Procedimiento.

Durante tres días diferentes, que se encontrarán comprendidos en los últimos 10 días de la prueba de exposición a la radiación solar de treinta días, se llevará cabo la prueba con el siguiente procedimiento:

- a) Exponer el colector solar a una irradiancia no menor a 800,00 W/m², por un periodo de tiempo de al menos 60 minutos y dentro de las dos horas del mediodía solar o las doce horas tiempo solar verdadero. Véase el Anexo II. Conversión de la hora civil a tiempo solar verdadero.
- b) Rocíar el colector solar en su parte superior uniformemente (cubierta transparente) durante un período de 5 minutos, con un flujo de agua no menor a 20,00 ml/s por metro cuadrado de colector, con un patrón de rocío diseñado para mojar la superficie como si se tratará de una precipitación normal de lluvia. La temperatura del agua deberá ser de 24,00 °C ± 1,00 °C.
- c) Registrar los resultados obtenidos en el Formato D: Prueba de choque térmico con rocío de agua del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.

9.4.2.5 Criterio de aprobación.

No debe existir penetración de humedad al interior del colector solar, ni ninguna deformación que provoque un mal funcionamiento.

9.4.3 Prueba de choque térmico con circulación de agua fría.

9.4.3.1.Fundamento.

Con objeto de verificar que el colector solar no sufra daños ocasionados por el choque térmico, que ocurre cuando en su operación normal, por alguna razón es drenado completamente, quedando expuesto a la radiación solar, y en algún momento es llenado con agua a temperatura ambiente, deberá realizarse la prueba de choque térmico con circulación de agua fría.

9.4.3.2 Instrumentación.

- Medidor de flujo de agua.
- Piranómetro.
- Termómetro.
- Cronómetro.

9.4.3.3 Aparatos y equipos.

- Equipo de bombeo hidráulico.

9.4.3.4 Procedimiento.

Durante la prueba de exposición a la radiación solar, y cuando el colector se encuentre vacío, por una ocasión exponerlo a una irradiancia mínima no menor a $800,00 \text{ W/m}^2$ durante una hora.

- a) Mientras el colector solar está siendo expuesto, conecte el equipo de bombeo hidráulico a la conexión de entrada y haga circular a través de sus conductos un flujo de agua de aproximadamente $17,00 \text{ ml/s}$ por metro cuadrado de colector solar, durante 5 minutos. La temperatura del líquido entrante durante la prueba será de $24,00 \text{ °C} \pm 5,00 \text{ °C}$.
- b) Registrar los resultados obtenidos en el Formato E: Prueba de Choque Térmico con circulación de agua fría del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.
- c) Drenar el colector solar por gravedad durante un periodo de 15 minutos. En algunos casos será necesario inclinar el colector solar para su drenaje completo. Aquellas unidades que sean demasiado grandes, y que no puedan ser drenadas mediante una inclinación, tendrán que ser drenadas mediante una bomba, hasta que el colector solar esté completamente vacío.
- h) Colocar el colector solar en el banco de pruebas, con una inclinación igual a la latitud geográfica del lugar donde se lleva a cabo la prueba, con una variación de $\pm 2,5$ grados.

- d) Sellar herméticamente los tubos de entrada y de salida del colector solar.

9.4.3.5 Criterio de aprobación.

No debe existir penetración de humedad al interior del colector solar, ni agrietamiento, alabeo o pandeo de la cubierta principal.

Los colectores solares podrán certificarse sin esta prueba, si sus diseños son tales que esta prueba no esté permitida. Esta declaración deberá ser manifestada por el fabricante y deberá incluirse en el reporte final de las pruebas de esta Norma, así como en la etiqueta y la calcomanía de información al consumidor.

9.5 Prueba de presión estática posterior a la prueba de exposición de treinta días.

Al término de la prueba de exposición de treinta días, realizar una segunda prueba de presión estática, siguiendo el procedimiento establecido en la Sección 9.3.4.

Registrar los resultados obtenidos en las secciones a) y b) del Formato F: Prueba de presión estática posterior a la prueba de exposición de 30 días, del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.

9.6 Pruebas para la determinación de la constante de tiempo, el rendimiento térmico y el factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar.

9.6.1 Fundamentos.

9.6.1.1 Prueba de determinación de la constante de tiempo.

Con objeto de determinar el tiempo de respuesta del colector solar, a fin de evaluar su comportamiento transitorio y seleccionar los intervalos de tiempo apropiados para las pruebas de eficiencia en estado cuasi-estable, se debe obtener la constante de tiempo del colector solar, esto es el tiempo requerido para que el fluido a la salida del mismo alcance un 63,2% de valor de estado estable.

9.6.1.2 Prueba de rendimiento térmico.

Con objeto de determinar la eficiencia instantánea del colector solar y poder caracterizar su

comportamiento bajo un amplio rango de temperaturas de operación, se deberán someter a la prueba que se indica en el punto 9.6.4, a aquellos que han pasado con éxito todas las pruebas de funcionalidad establecidas por esta Norma.

9.6.1.3 Prueba para estimar el factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar.

Con objeto de establecer el rendimiento del colector solar a diferentes ángulos de incidencia de la radiación solar directa, se deben llevar a cabo las pruebas para determinar el factor denominado modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar.

9.6.2 Instrumentación.

9.6.2.1 Medición de la radiación solar.

9.6.2.1.1 Radiómetros.

Deben usarse un piranómetro para medir la irradiación solar total (o global) y un pirheliómetro montado en un seguidor solar para medir la componente de la radiación solar normal directa. Ambos instrumentos deben contar al menos con las características que a continuación se enuncian, de acuerdo con las normas que se establecen en el documento: "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO No. 8 Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneve Switzerland, 5th Edition, 1983".

9.6.2.1.1.1 Cambio de respuesta o señal eléctrica debido a la variación de la temperatura de los instrumentos.

Durante las pruebas, el cambio en la respuesta de los instrumentos debido a las variaciones de la temperatura del instrumento debe ser menor al $\pm 1\%/^{\circ}\text{C}$. La comprobación de esta especificación debe llevarse a cabo utilizando la curva de la Respuesta contra Temperatura, determinada por el fabricante para cada instrumento específico.

9.6.2.1.1.2 Variación en la respuesta espectral.

Los piranómetros y pirheliómetros empleados deben tener una sensibilidad constante, dentro del $\pm 2\%$, respecto de la radiación solar espectral que tenga longitudes de onda en el rango de 0,3 a 2,5 micrómetros.

9.6.2.1.1.3 No linealidad de respuesta o señal eléctrica.

A menos que la respuesta del piranómetro o pirheliómetro se encuentre dentro del $\pm 1\%$ de linealidad dentro del rango de la variación de la irradiación existente durante la prueba, el piranómetro o pirheliómetro debe usarse consultando su curva de calibración que relaciona la señal eléctrica con la irradiación, la medición de estas variables debe realizarse con una exactitud de $\pm 1\%$.

9.6.2.1.1.4 Constante de tiempo del piranómetro y del pirheliómetro.

La constante de tiempo del piranómetro y el pirheliómetro, se define como el tiempo requerido por el instrumento para alcanzar una lectura reducida en 63,2% ($0,632 = (1 - (1/e))$) después de sufrir un cambio drástico en el valor de la irradiación solar incidente inicial, este tiempo debe ser al menos menor a 5 segundos para ambos instrumentos.

9.6.2.1.1.5 Variación de la respuesta con el ángulo de incidencia de la radiación solar directa (solo para piranómetros).

Idealmente la respuesta del piranómetro es proporcional al coseno del ángulo de incidencia (altura angular aparente del sol) de la radiación solar directa y es constante para todos los ángulos de acimut solar. A menos que la desviación de la respuesta o señal eléctrica del piranómetro por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sea menor que $\pm 1\%$ con respecto a una respuesta ideal regida por el coseno de los ángulos de incidencia encontrados durante las pruebas, el piranómetro debe usarse utilizando la última curva de calibración que relaciona su respuesta con el ángulo de incidencia de la radiación solar directa, medida con una exactitud dentro del $\pm 1\%$.

9.6.2.1.1.6 Variación de la respuesta con la inclinación (solo para piranómetros).

A menos que la respuesta del piranómetro varíe menos del $\pm 1\%$ para inclinaciones que fluctúan desde la posición horizontal hasta una inclinación máxima encontrada durante cualquiera de las pruebas, el piranómetro debe usarse consultando la última curva de calibración que relaciona su

respuesta con el ángulo de inclinación, medida con una exactitud dentro del $\pm 1\%$.

9.6.2.1.1.7 Consideraciones que se deben tomar para que los efectos del gradiente de temperatura se minimicen.

El instrumento (piranómetro o pirheliómetro) usado durante las pruebas debe ser colocado en su posición de prueba por lo menos durante 30 minutos para permitir que alcance su equilibrio térmico antes de iniciar la recolección de datos.

9.6.2.1.2 Sobre la vigencia y periodicidad de la calibración.

El piranómetro y pirheliómetro deben ser calibrados respecto de su respuesta o señal eléctrica en función de la irradiancia solar incidente, a lo cual generalmente se le llama Constante de Calibración expresada en $\mu V/(W/m^2)$, a lo más 12 meses previos a cualquiera de las pruebas a las que se someterá el colector solar. Esta calibración debe realizarse contra instrumentos de referencia (piranómetro o pirheliómetro, según sea el caso) cuya incertidumbre en su calibración, de acuerdo con las normas de medición establecidas, sea conocida. Cualquier cambio en su Constante de Calibración mayor al $\pm 1\%$, dentro de un periodo de un año, justificará una calibración más frecuente o el reemplazo del instrumento. Todas las Constantes de Calibración deben estar referidas a la Referencia Radiométrica Mundial, RRM (World Radiometric Reference o WRR). La Referencia Radiométrica Mundial representa la medición estándar de una unidad de irradiancia, en el Sistema Internacional de unidades, con una incertidumbre del $\pm 0.3\%$. La RRM fue adoptada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y se puso en vigencia a partir del 1 de julio de 1980. Esta referencia se establece en base al Grupo Estandar Mundial (WSG por sus siglas en inglés) formado por 7 radiómetros absolutos de cavidad, los cuales mantienen una estabilidad de largo periodo con una variación de no más del $\pm 0.2\%$ y una exactitud y precisión dentro de los límites de la RRM. Este Grupo tiene como sede el Centro Radiométrico Mundial, en Davos, Suiza.

9.6.2.2 Mediciones de temperatura.

9.6.2.2.1 Métodos.

Las mediciones de temperatura deben realizarse de acuerdo con la Norma ASHRAE 41.1-74, de

acuerdo a la Norma ASHRAE Standard 41.1-74, "Standard Measurement Guide: Section on Temperature Measurements", ASHRAE, Inc., 1971 Tullih Circle NE, Atlanta, GA 30329.

9.6.2.2.2 Exactitud y precisión.

La exactitud y precisión de los instrumentos, incluyendo sus mecanismos asociados debe estar dentro de los límites como sigue:

	Precisión del Instrumento*	Exactitud del Instrumento**
Temperatura	$\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$
Diferencia de Temperatura	$\pm 0,1\text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0,1\text{ }^\circ\text{C}$

* La capacidad del instrumento para indicar el valor real de la cantidad medida.

** Proximidad de los datos medidos en forma repetida de la misma cantidad física.

9.6.2.2.3 Constante de tiempo.

En la mayoría de los casos de prueba en estado cuasi-estable, el tiempo de respuesta de los sensores de temperatura es de importancia secundaria. Los casos en que el tiempo de respuesta puede ser importante son durante las mediciones de la constante de tiempo en estado transitorio y las mediciones del factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa con valores altos usando el Método 2 descrito en la Sección 9.6.5.2. Deben usarse termopares y termistores con constantes de tiempo de menos de 1 segundo, y termómetros de resistencia de precisión con constantes de tiempo menores a 10 segundos.

9.6.2.2.4 Medidas de diferencia de temperatura a través del colector solar.

Los mecanismos de medición de diferencia de temperatura deben ser calibrados para el rango de temperaturas y la diferencia de temperaturas encontradas en cualquiera de las pruebas. Los mecanismos recomendados para medir la diferencia de temperatura del agua a través del colector solar son:

- a) Un termopar tipo T.
- b) Termómetros de resistencia de precisión, separados o conectados en dos brazos de un circuito puente.
- c) Termómetros de precisión.

- d) Termistores de precisión separados o conectados en dos brazos de un circuito puente.
- e) Juego de termopares tipo T.

Esta lista es enunciativa mas no limitativa, por lo que se pueden utilizar otros dispositivos semejantes o mejores que los listados anteriormente.

9.6.2.3 Mediciones de flujo másico de agua a través del colector solar.

La precisión en la medición del flujo másico de agua debe ser menor al $\pm 1,0$ % del valor medido en unidades de masa por unidad de tiempo.

9.6.2.4 Registradores de datos.

9.6.2.4.1 Escala del instrumento.

En ningún caso la escala del instrumento o del sistema de éste debe exceder dos veces la precisión especificada. Por ejemplo, si la precisión especificada es $\pm 0,1$ °C, la escala no debe exceder 0,2°C.

9.6.2.4.2 Exactitud del instrumento.

Los registradores de datos digitales y análogos deben tener una exactitud igual o mayor que $\pm 0,5\%$ de la lectura de escala completa, y tener una constante de tiempo menor a 1 segundo. La indicación de señal pico debe encontrarse entre el 50% y el 100% de la escala completa.

9.6.2.4.3 Precisión del instrumento.

Las técnicas digitales y los integradores electrónicos usados deben tener una precisión igual o mayor que $\pm 0,1\%$ del valor medido.

9.6.2.4.4 Impedancia del instrumento.

La impedancia de entrada de los registradores debe ser mayor que mil veces la impedancia de los sensores o 10,00 MΩ cualquiera que sea mayor.

9.6.2.5 Mediciones de presión en el colector solar.

La presión de entrada del colector solar y la caída o cambio de presión a través del mismo deben ser medidas con un dispositivo que tenga una precisión de $\pm 3,50$ kPa.

9.6.2.6 Tiempo transcurrido.

Las medidas de tiempo transcurrido deben ser hechas para una precisión de $\pm 0,20\%$.

9.6.2.7 Velocidad del viento.

La velocidad del viento debe ser medida con un instrumento y un dispositivo asociado que permita la lectura de la señal de salida cada minuto, para determinar la velocidad del viento promedio a partir de la integral correspondiente a cada periodo de prueba, durante el cual se realizarán las mediciones con una precisión de $\pm 0,80$ m/s.

9.6.3 Aparatos y equipos.

9.6.3.1 Fluido de transferencia.

La configuración de prueba para los colectores solares se muestra en la figura 1, la cual es esquemática y no se encuentra a escala.

9.6.3.2 Montaje del colector solar.

El colector solar debe ser montado sobre el banco de prueba aislado tal como fue recibido (ver el Formato A: Recepción del colector solar del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas), de tal forma que se permita el libre flujo de aire alrededor de todas sus superficies.

9.6.3.3 Mediciones de temperatura ambiente.

Las mediciones de temperatura ambiente deben ser representativas de las condiciones de temperatura ambiental que rodea al colector solar durante las pruebas. Cualquiera de los siguientes dos métodos es aceptable.

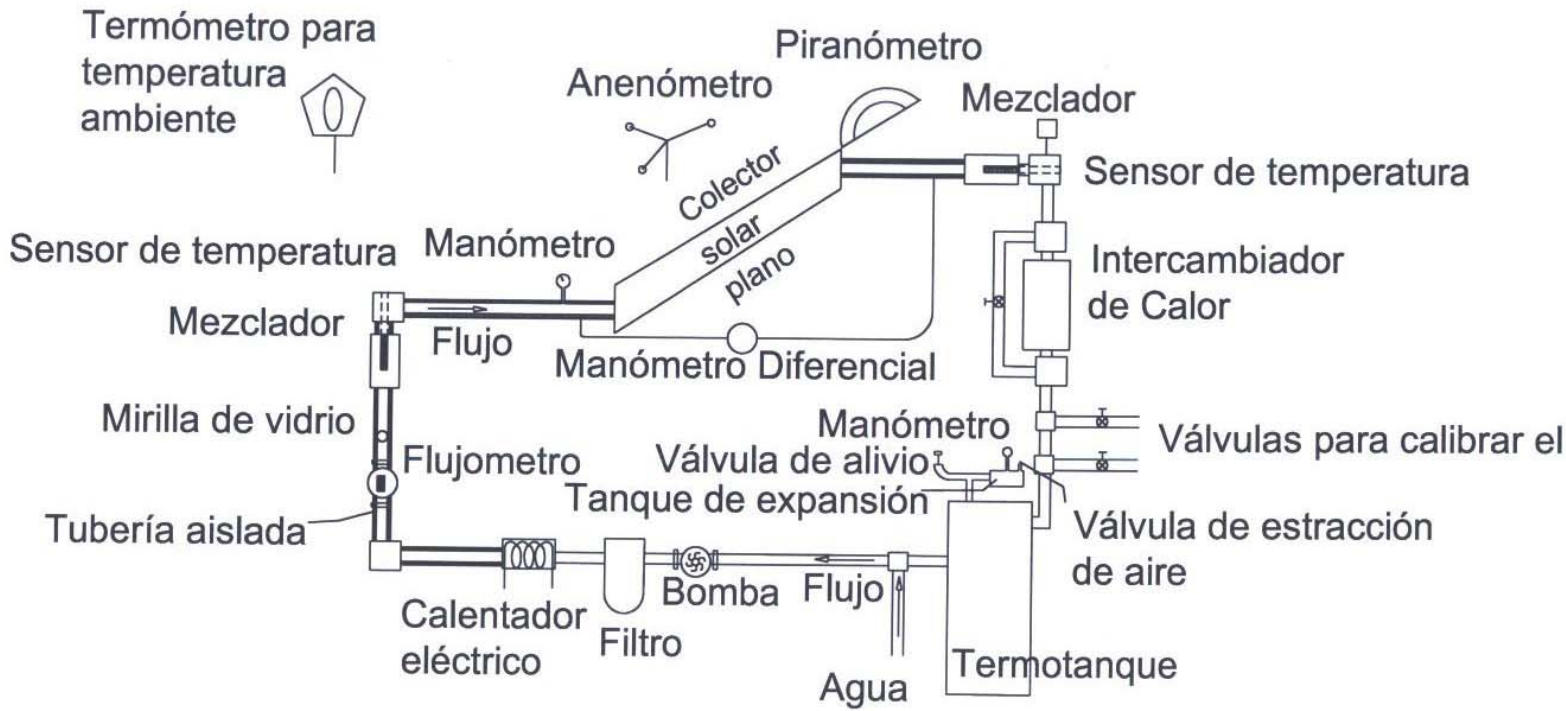


Figura 1. Configuración del banco de pruebas: circuito cerrado.

Método 1: el sensor de temperatura ambiente o termómetro debe ser alojado en un abrigo o garita meteorológica estándar bien ventilada, con la parte baja del sensor a 1,25 m por encima del nivel del piso. La puerta del abrigo debe estar orientada hacia el norte; cuando éste se encuentre abierto se deberá tener cuidado de que los rayos directos del sol no incidan sobre el sensor. El abrigo del instrumento debe ser pintado de blanco por fuera y no debe encontrarse a una distancia menor de dos veces la altura de alguna obstrucción (árboles, bardas, edificios, etc.).

Método 2: el sensor de temperatura ambiente debe ser alojado en un receptáculo con pantalla sombreadora de dimensiones adecuadas, ubicado por lo menos a 15,00 cm detrás del colector solar para que su temperatura no aumente por la incidencia de la radiación solar directa. Ver Norma ASHRAE 41.1-74 , de acuerdo a la Norma ASHRAE Standard 41.1-74, "Standard Measurement Guide: Section on Temperature Measurements", ASHRAE, Inc., 1971 Tullis Circle NE, Atlanta, GA 30329

9.6.3.4 Mediciones de la radiación solar global y directa.

Las mediciones de la radiación solar (global o directa) deben reportarse en términos de su irradiancia dada en W/m^2 , acompañadas de la fecha, hora local y de la hora en Tiempo Solar Verdadero que corresponda al sitio de pruebas. Ver Anexo III: Determinación de la cantidad de agua caliente obtenida por día.

El piranómetro debe cumplir con los requisitos especificados en la Sección 9.6.2.1 y debe ser montado de tal manera que su sensor sea coplanar al plano de apertura del colector solar y no debe proyectar ninguna sombra sobre éste durante el período de prueba. Asimismo debe ser montado de tal forma que reciba la misma radiación solar por unidad de área que el colector solar y sea adyacente a la periferia media superior del mismo. También se debe cuidar que los cables u otros componentes de conexión se encuentren sombreados, con objeto de minimizar el calentamiento de las conexiones eléctricas.

Deben tomarse precauciones para minimizar la incidencia de la radiación reflejada proveniente del colector solar y en dirección del piranómetro. Algunos de estos cuentan con plato delimitador de su campo de visión y los que no lo tienen, pueden

ser susceptibles de error debido a reflejos de radiación solar que se originen por debajo del plano del sensor.

La irradiancia de la radiación solar directa normal debe medirse usando un pirheliómetro montado en un seguidor solar (helióstato); además, el pirheliómetro debe cumplir con las especificaciones de la Sección 9.6.2.1.

9.6.3.5 Mediciones de diferencia de temperatura a través del colector solar.

La diferencia de temperatura del agua entre la entrada y la salida del colector solar debe ser medida de acuerdo a la Sección 9.6.2.2.

Para minimizar los errores en la medición de temperatura, cada sonda debe estar ubicada tan cerca como sea posible de la entrada o salida del colector solar y debe colocarse dentro de un dispositivo mezclador ubicado como se muestra en la figura 1. Adicionalmente, la tubería o el cabezal entre el dispositivo mezclador y el colector solar debe estar aislada de tal manera que la pérdida o ganancia calculada de calor por el aire ambiente no cause un cambio en la temperatura para ningún período de prueba de más de $0,05^{\circ}C$ entre cada dispositivo mezclador y el colector solar. Véase el Anexo IV: Procedimiento para evaluar y corregir las pérdidas de calor en los cabezales.

9.6.3.6 Medición de temperatura del fluido de transferencia.

La temperatura del agua en cada una de las dos posiciones citadas en el punto 9.6.3.5, debe también ser medida colocando sensores apropiados dentro de los dispositivos de mezclado (excepto para el caso en que se empleen termómetros de precisión para determinar la diferencia de temperatura). Ver Norma ASHRAE 41.1-74, de acuerdo a la Norma ASHRAE Standard 41.1-74, "Standard Measurement Guide: Section on Temperature Measurements", ASHRAE, Inc., 1971 Tullis Circle NE, Atlanta, GA 30329.

9.6.3.7. Mediciones de presión.

Se debe tener precaución al determinar la presión manométrica del agua entrante y al determinar la caída de presión a través del colector solar. Para los requerimientos en precisión ver la sección 9.6.2.5. La presión debe ser medida usando tomas de presión estática. Los bordes de las perforaciones para las tomas en su superficie

interior deben estar libres de irregularidades y su diámetro no debe exceder 40,00 % del espesor de la pared o 1,60 mm.

Las tomas de presión deben ser colocadas entre la entrada o salida del colector solar y la sección de medición de temperatura correspondiente. Si la entrada y la salida se encuentran a diferentes alturas, debe hacerse una corrección por la presión estática ocasionada por esta diferencia.

9.6.3.8 Aparato de acondicionamiento de agua.

El aparato de acondicionamiento de agua debe controlar, en todo momento durante el periodo de prueba, la temperatura del agua que entra al colector solar dentro de $\pm 0,05$ °C del valor de prueba deseado.

El uso de un banco de pruebas de circuito cerrado requiere el uso de un intercambiador de calor para enfriar el agua y el uso de un calentador de resistencia eléctrica ajustable en línea, para controlar la temperatura de entrada a los valores de prueba prescritos, tal como se muestra en la figura 1.

9.6.3.9 Equipo adicional.

Deben instalarse una bomba y un dispositivo para ajustar el flujo de agua en los sitios mostrados en la figura 1. Dependiendo del diseño del banco de prueba, puede requerirse el uso de una válvula de control adicional en la línea, precediendo la entrada al colector solar para tener un control apropiado del flujo.

Tal y como se muestra en la configuración de prueba de circuito cerrado, figura 1, deben instalarse un tanque de almacenamiento, un tanque de expansión, un sistema de purga de aire y una válvula de alivio. Esto con objeto de estabilizar el flujo de agua y permitir que ésta se expanda y contraiga libremente en el sistema. Dependiendo del diseño, en algunas ocasiones, un tanque de expansión y una válvula de alivio deben instalarse entre la bomba y el colector solar cuando se utilice un banco de pruebas de circuito abierto.

Deben instalarse filtros y una mirilla transparente dentro del banco de pruebas, con objeto de asegurar que el agua que está pasando a través del colector solar esté libre de contaminantes, incluyendo burbujas de aire y otros gases no condensables.

9.6.3.10 Condiciones de viento para las pruebas.

La medición de la velocidad de viento debe hacerse en los alrededores inmediatos del colector solar, a la altura media del mismo, y en una ubicación en la que el anemómetro no tenga obstrucciones de viento y que a la vez no proyecte sombra sobre el colector solar durante las pruebas. También debe ser determinada y reportarse la dirección del viento promedio para cada periodo de prueba.

9.6.4 Procedimientos de prueba y cálculos.

9.6.4.1 Descripción.

El rendimiento térmico del colector solar se determina mediante la obtención de valores de eficiencia instantánea de una combinación de valores de radiación incidente, temperatura ambiente, y la temperatura del agua de entrada. Esto requiere medir experimentalmente la radiación solar incidente sobre el colector solar, así como la tasa de incremento de la energía calorífica en el agua mientras pasa a través del colector solar, todo bajo condiciones de estado estacionario o cuasi-estacionario.

Asimismo, deben realizarse pruebas para determinar las características del tiempo de respuesta del colector solar, así como la manera en que su eficiencia térmica en estado estacionario varía según los diferentes ángulos con los que la radiación solar directa incide respecto de la normal al área de apertura del colector solar.

Los procedimientos delineados en esta Norma han sido desarrollados para controlar las condiciones de prueba, de tal manera que se pueda obtener una curva de eficiencia bien definida con un mínimo de dispersión de datos.

9.6.4.2 Ecuaciones básicas de la eficiencia térmica.

El rendimiento de un colector solar operando bajo condiciones de estado estables puede ser descrito con la siguientes relación:

Ecuación 1

$$\frac{Q_u}{A_a} = G_t F_R (\tau\alpha)_e - F_R U_L (t_{f,i} - t_a) = \frac{\dot{m}}{A_a} C_p (t_{f,e} - t_{f,i})$$

Si la eficiencia del colector solar se define como:

Ecuación 2

$$\eta_g = \frac{\text{Energía Entregada Por El colector}}{\text{Energía Solar Incidente Sobre El colector}}$$

entonces, la eficiencia del colector solar se obtiene con la siguiente ecuación:

Ecuación 3

$$\eta_g = \left(\frac{A_a}{A_g}\right) F_R [(\tau\alpha)_e - U_L (t_{f,i} - t_a)/G_t] = \frac{\dot{m} C_p (t_{f,e} - t_{f,i})}{A_g G_t}$$

La ecuación 3 indica que si la eficiencia η_g , para un colector solar se gráfica en función de $(t_{f,i} - t_a)/G_t$, se obtiene una línea recta, o casi recta, lo que

muestra que U_L es constante. La pendiente es igual a $(A_a/A_g) F_R U_L$ y la intersección en el eje de las ordenadas es igual a $(A_a/A_g) F_R (\tau\alpha)_e$. (véase anexo V: Método de cálculo del valor ponderado del producto de la transmitancia - absorbanza).

En realidad, U_L no es siempre una constante pero puede ser una función de la temperatura de la placa absorbadora del colector solar y de las condiciones climáticas del ambiente. Además, el producto $(\tau\alpha)_e$ varía con el ángulo de incidencia de la radiación solar. La figura 2 muestra resultados típicos de las pruebas.

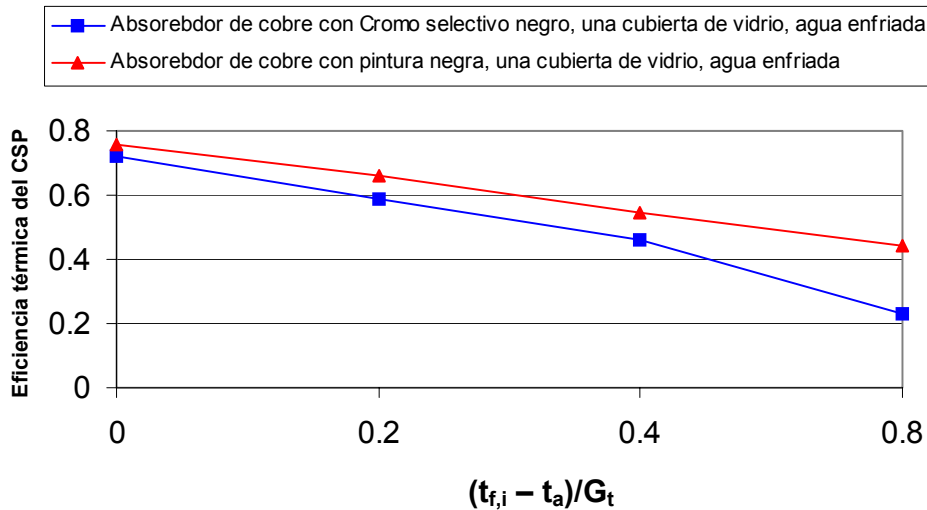


Figura 2. Ejemplos de curvas de eficiencia térmica.

A pesar de que una representación lineal de la curva de eficiencia suele ser suficiente para muchos colectores solares, algunos otros pueden requerir el uso de una ecuación de mayor grado como se indica en el punto 3 Referencias

9.6.4.3 Ecuaciones básicas de la Constante de tiempo del colector solar.

Es necesario determinar el tiempo de respuesta del colector solar para poder evaluar su comportamiento transitorio y seleccionar los intervalos de tiempo apropiados para las pruebas de eficiencia en estado cuasi-estable o en estado estable.

Siempre que existan condiciones transitorias, las igualdades definidas por las ecuaciones 1 a 3 no definen el rendimiento térmico del colector solar ya que una parte de la energía solar absorbida es usada para calentar al colector solar y a sus componentes, o una parte de la energía perdida enfría al colector solar.

La ecuación del comportamiento transitorio de un colector solar es:

Ecuación 4

$$\frac{C_a}{A_a} \frac{dt_f}{dT} = F_R G_t (\tau\alpha)_e - F_R U_L (t_{f,i} - t_a) = \frac{\dot{m} C_p}{A_g} (t_{f,e} - t_{f,i})$$

Si:

- (a) la radiación solar G_t sufre un cambio rápido y permanece constante, y si
- (b) $(\tau\alpha)_e$, U_L , t_a , m , y C_p pueden ser considerados constantes durante el periodo de transición, y si
- (c) la tasa de cambio de la temperatura del fluido de transferencia de salida en el tiempo está relacionada a la tasa de cambio de la temperatura promedio del agua en el tiempo por la relación:

Ecuación 5

$$\frac{dt_f}{dT} = K \frac{dt_{f,e}}{dT}$$

Donde, de acuerdo al documento de Simon, F.F., "Flat-Plate Solar Collector Performance Evaluation with a Solar Simulator as a Basis for Collector Selection and Performance Prediction", NASA TM X-71793, 1975 and Solar Energy, Vol. 18, 1976.

Ecuación 6

$$K = \frac{\dot{m} C_p}{F' U_L A_a} \left[\frac{F'}{F_R} - 1 \right]$$

Entonces la ecuación 4 se puede resolver para obtener la temperatura de salida del fluido de transferencia como función de tiempo en la forma siguiente:

Ecuación 7

$$\frac{FRG(\tau\alpha)_e - FRUL(t_{f,i} - t_a) - (\dot{m}C_p/A_a)(t_{f,e,T} - t_{f,i})}{FRG(\tau\alpha)_e - FRUL(t_{f,i} - t_a) - (\dot{m}C_p/A_a)(t_{f,e,initial} - t_{f,i})} = e^{-[\dot{m}C_p/KCA]T}$$

La cantidad $KCA/\dot{m}C_p$ se conoce como constante de tiempo y representa el tiempo requerido por la cantidad del lado izquierdo en la ecuación 7 para cambiar de 1,00 hasta 0,368, donde 0,368 es igual a $1/e$.

9.6.4.4 Ecuaciones básicas para determinar el factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar.

El factor de transmitancia-absortancia efectiva $(\tau\alpha)_e$ en la ecuación 3 puede ser reemplazado por el valor a la incidencia normal, $(\tau\alpha)_{e,n}$, si el factor

llamado modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar, $K_{\alpha\tau}$, es introducido. Entonces, la ecuación 3 se convierte en:

Ecuación 8

$$\eta_g = \left(\frac{A_a}{A_g} \right) FR [K_{\alpha\tau} (\tau\alpha)_{e,n} - U_L \frac{(t_{f,i} - t_a)}{G_t}]$$

Por lo tanto, para colectores solares:

Ecuación 9

$$(\tau\alpha)_e = K_{\alpha\tau} (\tau\alpha)_{e,n}$$

Se puede mostrar que para una gran variedad de colectores solares, $K_{\alpha\tau}$ debe variar con el ángulo con el que la radiación solar incide, de acuerdo con la expresión general:

Ecuación 10

$$K_{\alpha\tau} = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right)$$

Para determinar la constante b_0 , debe utilizarse el procedimiento mostrado en el Anexo VI: Del procedimiento para determinar el factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa.

La figura 3 muestra la variación de $K_{\alpha\tau}$ con el ángulo de incidencia para tres colectores solares. La figura 4 muestra trazos para $K_{\alpha\tau}$ como una función de $[(1/\cos\theta) - 1]$, y verifica la aplicabilidad de la forma general de la ecuación 10.

La importancia del modificador de ángulo de incidencia en los procedimientos de prueba aquí descritos es que los valores de eficiencia térmica son determinados por el colector solar en, o cerca, de condiciones de incidencia normales. Por lo tanto, la intersección en el eje de las ordenadas en la curva de eficiencia es igual a $(A_a/A_g)FR \cdot (\tau\alpha)_{e,n}$ para un colector solar. Para determinar el valor de $K_{\alpha\tau}$ se hace una medición aparte, de tal forma que el rendimiento del colector solar pueda ser predicho bajo un amplio rango de condiciones y/o horas del día usando la ecuación 8.

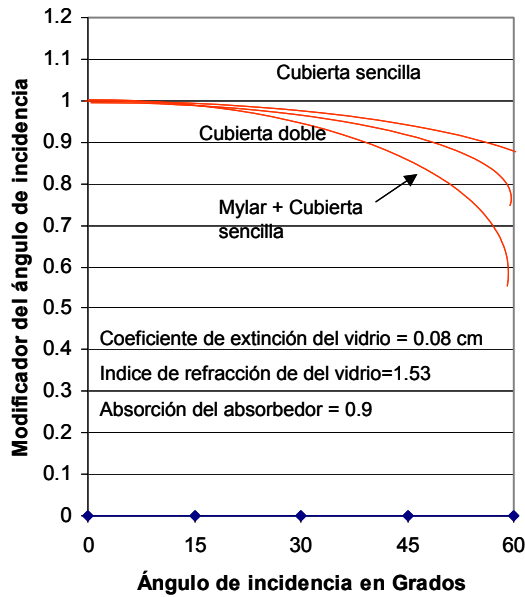


Figura 3. Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar para tres colectores solares con una capa no selectiva en el absorbedor, en función del ángulo de incidencia.

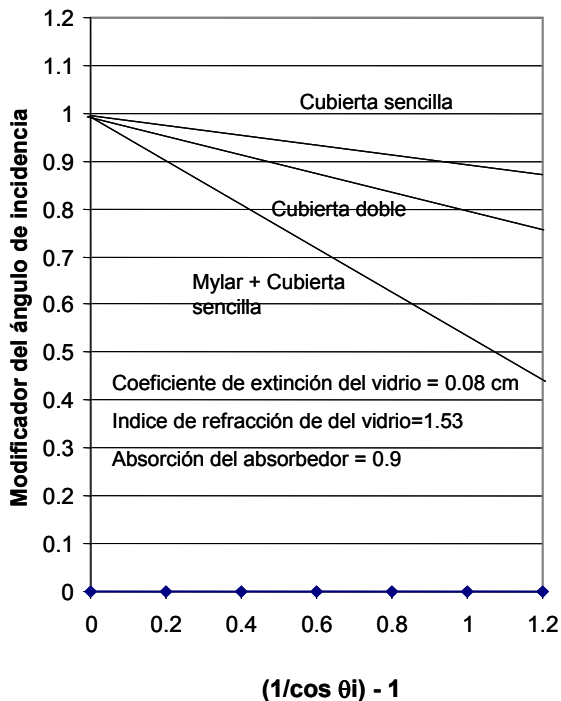


Figura 4. Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar para tres colectores solares con una capa no selectiva en el absorbedor en función de $[(1/\cos\theta - 1)]$.

El procedimiento para utilizar la curva de eficiencia normal y los factores modificadores por efectos del ángulo de incidencia, para calcular la energía generada en un día, se ilustran en el Anexo III: Determinación de la cantidad de agua caliente obtenida por día. Asimismo, se debe considerar, para determinar la irradiación solar horaria (en MJ/m²), el Tiempo Solar Verdadero, y la altura solar aparente, ya que la irradiancia solar total que incide sobre la superficie varía dependiendo de la hora del día (anexo VII: Fórmulas para la determinación del ángulo θ , que forman la dirección de incidencia de la radiación solar directa y la normal a la superficie del colector).

9.6.4.4 1 Colectores solares que requieren más de un modificador de ángulo de incidencia.

Se reconoce que hay colectores para los cuales K_{OT} no es simétrico con respecto a la dirección de incidencia de la radiación solar. Algunos colectores solares con un diseño asimétrico en las cubiertas, o en las placas absorbedoras, pueden requerir la determinación de los modificadores del ángulo de incidencia en más de un plano para determinar la respuesta asimétrica a la irradiancia, según el azimut solar y la variación de los ángulos de altitud a lo largo del día.

9.6.5. Procedimiento para la prueba.

La primer prueba de rendimiento que debe realizarse a un colector solar, es la determinación de su constante de tiempo. El método para realizar esta prueba se explica en la sección 9.6.5.2.1. Después de ser completada, una serie de pruebas de eficiencia térmica se llevan acabo como se explica en la sección 9.6.5.2.2.1 Finalmente el Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar es determinado como una función del ángulo de incidencia de acuerdo con la sección 9.6.5.2.3. Los resultados de estas pruebas deben reportarse usando el formato del Anexo VIII: Datos e información a registrar de las Pruebas de Rendimiento Térmico.

9.6.5.1 Condiciones para las pruebas.

Para determinar la eficiencia térmica o el Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar mediante 9.6.5.1.2, se deben cumplir las siguientes condiciones.

9.6.5.1.1 Valor mínimo de irradiancia solar.

Las pruebas deben ser desarrolladas de tal manera que el promedio de la irradiancia global medida en una superficie normal a la dirección de incidencia del flujo de energía solar (irradiancia) directa, no sea menor de $800,00 \text{ W/m}^2$.

Un registro gráfico con una velocidad de graficación de $30,00 \text{ cm/h}$ o mayor, debe ser usado para monitorear la señal de salida del piranómetro, de tal forma que se pueda asegurar que la radiación incidente se ha mantenido estable durante el periodo de prueba. Asimismo, cualquier integrador electrónico o banda de papel para registro gráfico pueden ser usados para determinar los valores integrados de la radiación solar incidente (irradiancia en MJ/m^2).

9.6.5.1.2 Irradiancia de la radiación solar difusa.

Las pruebas deben ser realizadas durante los periodos en los que la irradiancia de la radiación solar difusa promedio que incide en el área de apertura del colector solar no es mayor de 20 % del total de la irradiancia de la radiación solar global (hemisférica) que incide sobre el área de apertura del colector solar. Para determinar y reportar la fracción de la radiación solar incidente que es difusa por cada valor de eficiencia, se requiere el uso de un pirheliómetro y un piranómetro como se explicó en la sección 9.6.3.4., o bien usando un piranómetro con un dispositivo sombreador. La componente difusa de la radiación solar global en el área efectiva del colector es simplemente $G_d = G_t - G_{DN} \text{ Sen}\beta$.

9.6.5.1.3 Rango de temperatura ambiente.

El valor de temperatura ambiente para todos los puntos de prueba reportados que comprenden la curva de eficiencia debe ser menor a $30,00 \text{ }^\circ\text{C}$.

9.6.5.1.4 Condiciones de Viento.

Para las mediciones hechas para determinar la eficiencia térmica y el modificador de ángulo de incidencia, la velocidad de viento promedio debe estar entre $2,5 \text{ m/s}$ durante cualquier periodo de prueba y un tiempo mínimo de $10,00$ minutos o dos

constantes de tiempo, cualquiera que sea mayor, para el colector solar bajo prueba, justamente antes del inicio del periodo de prueba. Algunos colectores solares con una cubierta de vidrio pueden necesitar un tiempo de hasta $20,00$ minutos o cuatro constantes de tiempo, cualquiera que sea mayor. Esto es porque el tiempo de respuesta térmico transitorio del vidrio puede ser menor que el de la placa absorbidora.

9.6.5.1.5 Flujo de agua a través del colector solar.

El flujo de agua a través del colector solar debe ser el mismo para todos los puntos. Los valores recomendados de flujo por unidad de área (cubierta transparente o área de apertura) para pruebas son de Colector metálico con cubierta $0,02 \text{ kg/s-m}^2$. Colector de plástico con o sin cubierta $0,06 \text{ kg/s-m}^2$.

En algunos casos en los que el colector solar está diseñado para un valor de flujo muy diferente al especificado anteriormente, debe usarse éste registrándolo en los resultados de las pruebas.

9.6.5.2 Determinaciones experimentales.

9.6.5.2.1 Constante de tiempo del colector solar.

La prueba para determinar la constante de tiempo del colector solar se lleva a cabo como se indica a continuación.

La temperatura de entrada del fluido de transferencia, $t_{f,i}$, es ajustada lo más cercano posible a la temperatura ambiente (preferentemente en un $\pm 1,00 \text{ }^\circ\text{C}$) y es controlada como se especifica en la sección 9.6.3.8, mientras el fluido de transferencia circula a través del colector solar dentro del valor especificado en la sección 9.6.5.1, manteniéndose en un estado estable o cuasi-estable con un irradiancia solar mayor a $800,00 \text{ W/m}^2$. La energía solar incidente se reduce entonces abruptamente a cero, cubriendo el colector solar con una tapa opaca y blanca o volteando el colector solar al norte (esto, cuando se utiliza un banco de pruebas móvil).

La cubierta debe estar suspendida sobre la superficie del colector solar, de manera que el aire del ambiente pueda pasar sobre el colector solar antes de empezar la prueba transitoria.

La temperatura del fluido de transferencia en la entrada $t_{f,i}$, y en la salida $t_{f,e}$, son continuamente registradas como función del tiempo hasta:

$$\frac{t_{f,e,T} - t_{f,i}}{t_{f,e,inicial} - t_{f,i}} < 0.30$$

La constante de tiempo, es el tiempo T requerido para que la cantidad $[(t_{f,e,T} - t_{f,i}) / (t_{f,e,inicial} - t_{f,i})]$ cambie de 1,00 a 0,368.

9.6.5.2.2 Eficiencia térmica del colector solar.

Durante las pruebas para determinar la eficiencia térmica en condiciones de incidencia casi-normal, el ángulo de incidencia debe estar en el rango en el cual el Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar no varíe más de $\pm 2,00$ % del valor de incidencia normal. Para las pruebas que se realicen para determinar el Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar, la orientación del colector solar debe ser tal que ésta se mantenga dentro del rango de $\pm 2,50$ grados del ángulo de incidencia para el cual la prueba se este realizando, durante el período de prueba.

9.6.5.2.2.1 Distribución de la temperatura de entrada.

Una distribución aceptable de las temperaturas de entrada se obtiene poniendo $(t_{f,i} - t_a)$ a 0,00 , 30,00 , 60,00 y 90,00 % del valor de $(t_{f,i} - t_a)$, obtenido a la temperatura ambiente del aire para la prueba, y las recomendaciones del fabricante para la temperatura de operación máxima del colector solar. Una distribución alternativa es tal que los valores de $(t_{f,i} - t_a)$ correspondan en primera aproximación a la eficiencia térmica del colector que se ven reducidos de $(A_a/A_g) F_r(\tau\alpha)_{e,n}$, por un 0,00 , 30,00 , 60,00 y 90,00 % , respectivamente.

9.6.5.2.2.2 Numero de puntos a considerar.

Por lo menos cuatro puntos deben ser tomados por cada valor de $t_{f,i}$.

Para el caso de aparatos de pruebas con montura fija, dos de los cuatro puntos deben ser tomados durante el periodo de tiempo anterior al mediodía solar y los otros dos deben ser tomados en el periodo posterior al mediodía solar, cuidando que los periodos específicos se seleccionen de manera que los datos representen tiempos simétricos respecto al mediodía solar. Estos requerimientos son hechos

para que cualquier efecto transitorio que se pueda presentar no altere la tendencia de los resultados de la prueba, cuando estos son usados con propósitos de diseño.

Los requerimientos para obtener puntos simétricos respecto al mediodía solar no son obligatorios cuando se esta probando con una montura altazimuth. Todos los datos de prueba deberán ser reportados en adición a la curva ajustada (ver anexo VIII: Datos e información a registrar de las pruebas de rendimiento), para que cualquier diferencia en la eficiencia debida solamente al nivel de temperatura de operación del colector solar pueda ser discernida en el reporte de la prueba.

La curva debe ser establecida por los puntos que representen valores de eficiencia determinadas por la integración de los datos sobre un periodo de tiempo igual a la constante de tiempo, ó 5,00 minutos, cualquiera que sea mayor, como se indica en la sección 9.6.5.1. El valor integrado de la energía solar incidente será dividido entre el valor integrado de la energía obtenida del colector solar para obtener el valor de la eficiencia para ese periodo de prueba como se describe en la sección 9.6.7.2.

9.6.5.2.2.3 Condiciones de estado estable.

Para obtener condiciones de estado estable o cuasi-estable el fluido debe circular a través del colector solar a los valores adecuados de temperatura de entrada y de flujo hasta que permanezca constante dentro del $\pm 2,00$ % o $\pm 1,00$ °C y $\pm 0,000315$ l/s cualquiera que sea mayor, respectivamente, por 15,00 minutos antes de cada periodo en el cual los datos sean tomados para calcular los valores de eficiencia. También, la temperatura ambiente debe variar como máximo $\pm 1,50$ °C durante el mismo intervalo de tiempo.

9.6.5.2.2.4 Revisión de polvo y humedad.

La superficie de la cubierta de la placa principal del colector solar, así como las cubiertas o envolturas expuestas del piranómetro y pirheliómetro deben estar limpias y secas antes del período de prueba. Si existe un depósito de contaminación local o polvo en las superficies transparentes, la limpieza debe llevarse a cabo con mucho cuidado, preferentemente después de sacudir la mayoría del material suelto o después de humedecerlo, para no rayar la superficie.

Esto es particularmente importante para los instrumentos que miden la radiación solar, puesto que la acción abrasiva puede alterar apreciablemente

las propiedades de transmisión originales de la envoltura. El piranómetro debe ser revisado antes de la prueba para ver si existe alguna acumulación de vapor de agua encerrada en la cubierta de vidrio. No se permite el uso de piranómetros húmedos.

9.6.5.2.3 Determinación experimental del factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar del colector.

La prueba del colector solar para determinar su Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar puede ser hecha con cualquiera de dos métodos que se indican a continuación. Sin embargo, durante cada periodo de prueba, la orientación del colector solar debe ser tal que ésta se mantenga dentro de $\pm 2,50$ grados del ángulo de incidencia, para el cual la prueba está llevándose a cabo.

Método 1: Este método es aplicable para pruebas usando un banco de pruebas movable (montaje altazimutal del colector solar), de tal forma que la orientación del colector solar pueda ser ajustada con respecto a la dirección de la radiación solar incidente.

El colector solar es orientado de tal manera que los ángulos incidentes de prueba, entre él y la radiación solar directa para las cuatro condiciones de prueba, son aproximadamente 0,00 , 30,00 , 45,00 y 60,00 grados, respectivamente. Se recomienda que estos datos sean tomados durante un solo día. Para algunos colectores solares, con características ópticas inusuales, otros ángulos de incidencia serán más adecuados.

Para cada punto de lectura, la temperatura de entrada del fluido de transferencia de calor debe ser controlada para estar dentro de un rango de $\pm 1,00$ °C en relación con la temperatura ambiente del aire. Los cuatro valores de eficiencia separados son determinados de acuerdo con la Sección 9.6.5.2.2.

Método 2: Este método es aplicable para pruebas en exteriores usando un banco de pruebas estacionario, donde la orientación del colector solar no es ajustada arbitrariamente con respecto a la dirección de la radiación solar incidente (excepto para los ajustes en la inclinación).

Para cada punto de lectura, la temperatura de entrada del fluido de transferencia de calor debe ser controlada para estar dentro de un rango de $\pm 1,00$ °C en relación con la temperatura ambiente del aire.

Los valores de eficiencia son determinados en pares, donde cada par incluye un valor de eficiencia antes del mediodía solar y un segundo valor después del mediodía solar.

El ángulo de incidencia promedio para ambos puntos de lectura es el mismo. La eficiencia del colector solar para el ángulo de incidencia específico debe ser considerada igual al promedio de los dos valores.

Los valores de eficiencia son determinados de acuerdo al método descrito en la Sección 9.6.5.2.2. En forma similar al método 1, los datos deben ser medidos para ángulos de incidencia de aproximadamente 0,00 , 30,00 , 45,00 y 60,00 grados. Asimismo, para algunos colectores solares con características de eficiencia óptica inusuales, otros ángulos de incidencia serán necesarios.

9.6.5.2.3.1 Colectores solares con seguimiento en un solo eje.

9.6.5.2.3.1.1 Ángulo incidente perpendicular al eje de seguimiento.

Esta prueba es usada para determinar el ángulo de aceptación del colector solar, que a su vez puede ser usado para determinar la exactitud de seguimiento requerida para el colector solar.

La temperatura de entrada del agua debe ser controlada para estar tan cerca como sea posible, dentro de un rango entre $\pm 1,00$ °C, a la temperatura ambiente del aire que rodea al colector solar, durante el periodo de prueba. Cualquiera de los siguientes dos métodos de prueba pueden ser usados.

Método 1: Eje Norte-Sur.- Cuando sea montado un calentador solar plano para seguimiento en el eje norte-sur, la prueba debe ser realizada aproximadamente al mediodía solar. El colector solar es ajustado a una inclinación de 7,50 grados a 10,00 grados hacia el sol, y entonces permanecerá estacionario durante el resto de la prueba, que deberá durar 60,00 minutos en una dirección de 7,50 grados o 80,00 minutos para una inclinación de 10,00 grados. Durante este período, la irradiancia normal directa debe exceder los 800,00 W/m² y deberá permanecer lo más constante posible.

El colector solar puede ser colocado con una inclinación igual a la latitud, a una inclinación de 90,00 grados menos la altitud máxima del sol para ese día y ubicación, o puede ser colocado horizontalmente, de acuerdo con el uso que establezca el fabricante. El aumento en la

temperatura del fluido debe ser tomado y registrado en intervalos de un minuto, o más seguido de ser necesario, durante el tiempo que el sol esté dentro de los cinco minutos del plano de enfoque del colector.

Método 2: Eje este-oeste.- Cuando sea montado el colector solar para seguimiento en el eje este-oeste, la prueba debe realizarse de manera continua de 10:00 a.m. a 2:00 p.m. del tiempo solar aparente del sitio donde se realiza la prueba. La temperatura de entrada del fluido debe ser ajustada a un nivel tal que, $t_{f,i}-t_a$, pueda mantenerse constante durante la prueba. El colector solar debe ser ajustado a un ángulo que equivalga a la altitud solar a las 11:00 a.m. Para la ubicación con respecto al sitio de prueba (altitud) y época del año (mes), los ángulos en que debe colocarse el colector solar, se indican en el anexo VI: Tablas para la determinación de la posición e insolación solar. Durante todo el periodo de prueba la irradiancia normal directa debe exceder los 800,00 W/m² y debe ser tan constante como sea posible. El incremento en la temperatura del fluido debe ser tomado y registrado en intervalos de un minuto, o con mayor frecuencia de ser necesario, y de preferencia, en el período 10:00 a.m. a 2:00 p.m.

9.6.6 Cálculos.

9.6.6.1 Constante de tiempo del colector solar.

De acuerdo a la definición de constante de tiempo dada en la sección 9.6.4.3, éste es el tiempo requerido para que el miembro izquierdo de la Ecuación 9.7 sea igual a 0,368. Independientemente del método experimental de la Sección 9.6.4.3 que sea usado, la radiación solar incidente es igual a cero, y la temperatura de entrada del fluido es mantenida suficientemente cerca de la temperatura ambiente, de tal forma que $(t_{f,i}-t_a) = 0,00$. Por lo tanto, mediante el monitoreo de las temperaturas de entrada y de salida como una función de tiempo, la constante de tiempo es el tiempo requerido para:

Ecuación 11

$$\frac{(t_{f,e,T} - t_{f,i})}{(t_{f,e,inicial} - t_{f,i})} = 0,368$$

En el caso en que la temperatura de entrada del fluido no pueda ser controlada para estar dentro del rango de $\pm 1,00$ °C, un estimado del producto $(A_a/A_g) F_R U_L$ debe ser evaluado para el colector solar, para las condiciones de la prueba y de la constante de tiempo calculada como el tiempo requerido para:

Ecuación 12

$$\frac{(A_a/A_g) - FRUL (t_{f,i} - t_a) + (\dot{m} C_p/A_a)(t_{f,e,T} - t_{f,i})}{(A_a/A_g) - FRUL (t_{f,i} - t_a) + (\dot{m} C_p/AP)(t_{f,e,inicial} - t_{f,i})} = 0,368$$

9.6.6.2 Eficiencia térmica del colector solar.

Para el intervalo de prueba y para cada punto de eficiencia, el valor de la eficiencia es calculado usando la ecuación:

Ecuación 13

$$\eta_g = \frac{\int_{T_1}^{T_2} \dot{m} C_p (t_{f,e} - t_{f,i}) dT}{A_g \int_{T_1}^{T_2} G dT}$$

Nótese que el área del colector solar usada para el cálculo no es el área de la superficie absorbadora, sino más bien el área neta del colector solar. Para aquellos colectores solares que no acepten radiación difusa, G en el denominador de la ecuación 13 es sólo el componente directo en el plano de apertura, G_{bp}. Para colectores solares, debe usarse la irradiancia global incidente, G_t.

Para el establecimiento de la curva de eficiencia se deben obtener, por lo menos, diez y seis puntos. Asimismo, la ecuación de la curva debe ser obtenida usando el método de mínimos cuadrados; la curva no debe ser extrapolada más allá de los límites de información.

9.6.7.3 Cálculo del factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar.

Independientemente del método experimental de la Sección 9.6.5.2.3 que sea usado, los valores de la eficiencia térmica del colector deben ser determinados para cada valor del ángulo incidente. Sólo cuatro ángulos de incidencia son necesarios: 0,00, 30,00, 45,00 y 60,00 grados. Es conveniente hacer notar que éste método de prueba debe requerir que K_{oi} sea medido para un conjunto diferente de ángulos de incidencia.

Puesto que la temperatura de entrada del fluido se mantiene suficientemente cercana a la temperatura ambiente, de tal manera que $(t_{f,i} - t_a)$ es igual a cero, las relaciones entre K_{oi} y la eficiencia es, de acuerdo a la ecuación 8:

Ecuación 14

$$K_{\alpha\tau} = \frac{\eta_g}{(A_a/A_g) FR (\tau\alpha)_{e,n}}$$

Puesto que $(A_a/A_g) FR (\tau\alpha)_{e,n}$ ya fue obtenida como la intersección en el eje de las ordenadas de la curva de eficiencia, determinada de acuerdo a las Secciones 9.6.5.2.2 y 9.6.6.2, los valores de $K_{\alpha\tau}$ pueden ser calculados para los diferentes ángulos de incidencia usando la ecuación 14 (véase sección 9.6.5.2.3). Otros métodos de correlación deben ser usados para describir una ecuación para el factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar, e.g., $K_{\alpha\tau}(\theta)$.

Si la temperatura de entrada del fluido no puede ser controlada para mantener la temperatura ambiente dentro del rango de $\pm 1,00$ °C, un estimado del producto $(A_a/A_g) FR U_L$ debe ser evaluado para el colector solar para las condiciones de la prueba y cada valor de $K_{\alpha\tau}$ calculado como:

Ecuación 15

$$K_{\alpha\tau} = \frac{\eta_g + (A_a / A_g) FR U_L (t_{f,i} - t_a) / G_t}{(A_a / A_g) FR [\tau\alpha]_{e,n}}$$

Alternativamente, cada punto puede ser graficado en la misma gráfica de la curva de eficiencia determinada de acuerdo a la Sección 9.6.5.2.2 y 9.6.7.2 y una curva trazada a través de cada punto paralelo a la curva de eficiencia, hecha para intersectar en el eje de las ordenadas. Los valores de intersección en el eje de las ordenadas son los valores de eficiencia que se habrían obtenido habiendo estado controlada la temperatura del agua a la entrada para igualar la temperatura del aire ambiente. Por lo tanto, estos valores pueden ser usados en conjunción con la ecuación 15 para calcular los diferentes valores de $K_{\alpha\tau}$.

9.6.7 Determinación de la cantidad de agua caliente obtenida por día.

Con objeto de proporcionar al usuario final, un parámetro de comparación entre los diferentes colectores solares, se deberá determinar la cantidad de agua caliente obtenida por unidad de área para un día normalizado, utilizando el método especificado en Anexo III: Determinación de la cantidad de agua caliente obtenida por día.

9.7 Desarmado e inspección final.

9.7.1 Fundamento.

Con objeto de determinar los cambios sufridos por el colector solar en sus componentes durante las pruebas de funcionalidad, al término de la prueba del factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar debe desarmarse para ser inspeccionado visualmente, según se especifica en el punto 9.7.4.

9.7.2 Aparatos y equipos.

Ninguno.

9.7.3 Instrumentación.

Ninguno.

9.7.4 Procedimiento.

Al término de la secuencia de las pruebas descritas en los puntos 9.1 al 9.6 de esta Norma, el colector solar será desarmado para realizar una inspección visual de sus componentes, según se especifica en las Secciones a) y b) del Formato G: Prueba de desarmado e inspección final del Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas, de esta Norma.

9.7.5 Criterio de aprobación.

El colector solar no pasa la prueba si muestra alguna de las siguientes condiciones:

- I. Deformación severa del absorbedor.
- II. Deformación severa de los conductos de flujo de fluido.
- III. Pérdida de contacto entre los conductos de flujo de fluido y la placa absorbedora.
- IV. Fugas en los conductos de flujo de fluido o en alguna de sus conexiones.
- V. Pérdida de integridad de la caja del colector.
- VI. Corrosión u otros deterioros severos causados por acción química.
- VII. Agrietamiento, desprendimiento y/o abombamiento de la capa absorbedora.
- VIII. Retención excesiva de humedad en el interior de la caja del colector solar.
- IX. Dilatación o emisión excesiva de gases en detrimento del aislamiento.
- X. Agrietamiento, pérdida de elasticidad y/o pérdida de la adhesión excesiva de las juntas y los sellos.
- XI. Fuga hidráulica en el absorbedor o daño severo en las conexiones hidráulicas.
- XII. Agrietamiento, ruptura, alabeo o pandeo severo, permanente de la cubierta superior.

XIII. Ruptura o deformación severa de los materiales de la caja del colector solar.

Se considera severa o excesiva cualquier condición que impida el funcionamiento del colector solar.

9.8 Informe de las pruebas.

Con objeto de documentar los resultados de las pruebas se debe elaborar el informe respectivo, según se especifica en Anexo IX: Informe de las Pruebas de Funcionalidad.

10.0 INFORMACIÓN AL PÚBLICO

Los colectores solares objeto de esta Norma, que se comercialicen en los Estados Unidos Mexicanos, deben proporcionar a los usuarios la información relacionada con su certificación de funcionalidad y el valor de su rendimiento térmico.

11.0 ETIQUETADO

Los colectores solares objeto de esta Norma que se comercialicen en los Estados Unidos Mexicanos deben llevar una calcomanía, con lo cual se pueda comparar con otros de su mismo tipo.

La calcomanía debe contener la información y cumplir con los requerimientos indicados en el punto 11.1 de esta Norma.

11.1 Etiqueta o calcomanía.

11.1.1 Permanencia.

La calcomanía debe ir adherida al producto de tal forma que no pueda ser removida fácilmente.

11.1.2 Ubicación.

La calcomanía debe estar ubicada en un área del producto visible al consumidor.

11.1.3 Información.

La calcomanía debe contener la información que se lista a continuación:

11.1.3.1 La leyenda "**RENDIMIENTO Y EFICIENCIA TÉRMICA**", en tipo negrita.

11.1.3.2 La leyenda "Modelo" seguida del modelo del fabricante.

11.1.3.3 La leyenda "Marca" seguida del nombre registrado del fabricante.

11.1.3.4 La leyenda "Tel:" seguida del número telefónico del fabricante.

11.1.3.5 La leyenda "Área de apertura (m²):" seguida del área en metros cuadrados.

11.1.3.6 La leyenda "Fecha de prueba": seguida del mes y año en que el laboratorio entregó el informe de resultados.

11.1.3.7 La leyenda "Presión Máxima de operación (kPa)" seguida de la especificación indicada por el fabricante.

11.1.3.8 La leyenda "Temperatura del agua (°C):" seguida del valor numérico de la temperatura promedio del agua, utilizando un número entero de dos dígitos, según el punto 9.7 de esta Norma.

11.1.3.9 Una tabla que muestre, para diferentes usos el colector solar, la temperatura típica de operación, el calor útil y la capacidad de calentamiento de climas prevalecientes. Los diferentes usos del colector solar son: alberca, doméstico e industrial. La temperatura de operación está en grado Celsius. El calor útil se presenta en Mega Joules/ (día·m²) y la capacidad de calentamiento en litros / (día·m²) . Los climas prevalecientes son: Tropical, Templado y Semidesértico. Así mismo, la capacidad de calentamiento debe expresarse en un rango correspondiente a valores representativos de los meses de julio y diciembre.

11.1.3.10 La leyenda "**Ecuación de Eficiencia Térmica**", inmediatamente abajo se presentará dicha ecuación desglosada:

$$h = 0,691 - 3,5x - 12,2x^2; x = (T_{in} - T_a) / G -$$

11.1.3.11 La leyenda flujo recomendado del colector solar (l/min): en litros por minuto, en enteros y un decimal.

11.1.3.12 La leyenda "Producto certificado de conformidad con las especificaciones requeridas de funcionalidad y calidad de acuerdo a los procedimientos establecidos en la Norma Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005.

11.1.3.13 Aparecerá un recuadro en el cual se especificaran los símbolos referentes a la ecuación de eficiencia térmica.

11.1.3.14 Los valores de temperatura del agua son: para uso doméstico la ambiente promedio anual y para industrial 18 °C

11.1.3.15 La leyenda "IMPORTANTE", en tipo negrita, seguida del texto "El sustento del rendimiento térmico y funcionalidad efectiva del producto dependerá del mantenimiento preventivo y localización del producto".

11.1.3.16 El tipo de letra de fuente puede ser Arial o Helvética, en tipo normal.

11.1.4 Dimensiones.

Las dimensiones de la etiqueta son las siguientes:

- Alto 7,00 cm
- Ancho 24,00 cm

11.1.5 Distribución de la información y colores.

La información debe distribuirse como se muestra en la figura 5, que presenta un ejemplo de etiqueta.

11.1.6 Distribución de los colores.

Toda la información descrita en el inciso 11.3, así como las líneas de la gráfica debe ser de color negro.

- El contorno de la etiqueta debe ser sombreado.
- El resto de la etiqueta debe ser de color amarillo.

12.0 BIBLIOGRAFÍA

12.1 Florida Solar Energy Center, "Collector Test Methods, Test Methods and Minimum Standards for Certifying Solar Collectors", FSEC-GP-5-80, (Supersedes FSEC-77-5), January 1980.

12.2 The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors", ASHRAE STANDARD, ANSI/ASHRAE 93-1986(RA 91).

12.3 Junta de Andalucía, "Especificaciones Técnicas de Diseño y Montaje de Instalaciones Solares para la Producción de Agua Caliente", Consejería de Fomento al Trabajo, Dirección General de Industria, Energía y Minas, 1990.

12.4 Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI; "Norma Técnica Peruana"; NTP 399.400; 2001.

12.5 "Guide to Meteorological Instruments and methods of Observation", WHO No.8 Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva Switzerland, 5th Edition, 1983.

12.6 Proctor, D., "A Generalized Method for Testing all Classes of Solar Collector- I. Attainable Accuracy, II. Evaluation of Collector Thermal Constants, III. Linearized Efficiency Equations", Solar Energy, Vol. 32, No. 3, 1984, pp. 377-399.

12.7 ASHRAE STANDARD, ANSI/ASHRAE 93-1986(RA 91), Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.

12.8 ISO 9806-1: 1994, Test methods for solar collectors – Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop.

13.0 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

La presente Norma Mexicana concuerda parcialmente con la siguiente Norma Internacional: ISO 9806-1: 1994.

14.0 TRANSITORIO

La presente Norma Mexicana será certificable a partir del momento en que exista un laboratorio de pruebas acreditado para tal fin.

RENDIMIENTO Y EFICIENCIA TÉRMICA

Fabrica Modelo

Marca Tel.

Area de apertura m²/ Fecha de prueba

Presión máxima de operación Kpa

ECUACION DE EFICIENCIA TERMICA
 $h = 0,691 - 3,5 X - 12,2 X^2 ; X = (T_{in} - T_a)/G$

Flujo recomendado del colector solar l/min

** Tem peratura °C	Para uso típico en	Calor útil al día/m ²			Capacidad de Calentamiento		
		Tropical	Templado	Semidesértico	Tropical	Templado	Semidesértico
30	Alberca	7,2-11,1	7,7-9,3	5,5-12,3	N.A.	N.A.	N.A.
50	Doméstico	6,5-10,4	6,6-8,2	4,5-11,5	67-109	46-58	39-104
70	Industrial	5,1-9,1	5,6-7,3	3,2-10,3	19-36	21-28	11-41

CERT No. 000/NESO/CP. De conformidad con los criterios establecidos en el esquema de certificación NORMEX/ESQ/NESO/000/2005 El cual considera: Las especificaciones de la Norma NMX-ES-001-NORMEX-2005. Buenas prácticas de manufactura y control de los puntos críticos de proceso.

Símbolos h > Eficiencia, T_{in} > Temperatura de entrada °C, T_a > Temperatura ambiente °C
 G > Irradiancia solar W/m²

*Los valores de la temperatura del agua fría de entrada se consideran variables de acuerdo a la norma.
 ** Temperatura típica de operación N.A. No aplica

Dimensiones aproximadas 24 x 7 cm
 Debe ser calcomanía no placa metálica

Figura 5.- Ejemplo de la etiqueta.

15.0 ANEXOS Y APÉNDICES

Anexo I. Registro de Datos de las Pruebas

Formato A: Recepción del colector solar

Sección I: A continuación se indica la información que debe proporcionar el fabricante del calentador solar

Nombre del fabricante	<input type="text"/>
Modelo del colector solar	<input type="text"/>

Dimensiones del colector solar (en metros y hasta dos decimales)		
Largo	<input type="text"/>	m
Ancho	<input type="text"/>	m
Profundidad	<input type="text"/>	m
Área bruta (largo . ancho)	<input type="text"/>	m ²

Dimensiones frontales de la cubierta transparente (en metros y hasta dos decimales)		
Largo	<input type="text"/>	m
Ancho	<input type="text"/>	m
Área (largo . ancho)	<input type="text"/>	m ²
Características de la superficie:		

Existe algún ángulo de uso específico del colector solar	<input type="text" value="SI"/>	<input type="text" value="NO"/>
Hay contacto eléctrico entre la caja y el absorbedor?	<input type="text"/>	<input type="text"/>
En caso afirmativo, especifique:		

Flujo recomendado	<input type="text"/>	l/min
Temperatura de operación	<input type="text"/>	°C
Presión Máxima de operación	<input type="text"/>	kPa

Descripción de los materiales del colector solar (cambiar esta tabla).	
Concepto	Material
Aislamiento de fondo	
Aislamiento lateral	
Aleta o placa del absorbedor	
Cabezales del absorbedor	
Caja del colector	
Recubrimiento del absorbedor	
Cubierta superior	
Marco para fijar la cubierta	
Medios de soporte	
Porcentaje del perímetro del tubo de transferencia de calor, que esta en contacto con la aleta o placa absorbente	
Sellos entre la caja del colector y tubos de entrada y salida	
Sellos entre la cubierta transparente y la caja	
Unión entre aleta o placa y los tubos de transferencia de calor	
Tubos de entrada y salida del colector solar	
Tubos de transferencia de calor del absorbedor	

Comentarios y sugerencias del fabricante para el manejo del colector solar :

Sección II: Información que debe ser recabada por la persona que recibe el colector solar, durante la inspección-recepción del mismo

a) Datos generales

Nombre del Fabricante	
Modelo del colector solar	

b) Estado en el que se recibe el colector solar

	SÍ	NO
¿Nota algún daño en el contenedor de transporte del colector solar?		
¿Nota algún daño en el colector solar? (Ponga especial atención en elementos como: cubierta de vidrio (si tiene), la estructura, los cabezales, soportes y sellos)		
Material impreso, componentes sueltos; especifique		

Explique cualquier daño que haya sido detectado:

	SÍ	NO
De acuerdo a las condiciones observadas ¿el colector solar es susceptible de ser sometido a las pruebas?		

Si la respuesta es positiva continúe con el procedimiento indicado; por el contrario, de por terminado el proceso y elabore el reporte indicado en el punto 9.10 de esta Norma.

c) Dimensiones del colector solar (en metros y hasta dos decimales)

Nota: No incluya protuberancias, tales como los tubos de entrada de agua. Si el colector, notoriamente no tiene la forma geométrica de un rectángulo, dibuje un bosquejo en el recuadro al final de este formato, donde muestre sus dimensiones.

Largo		m
Ancho		m
Profundidad		m
Área bruta (largo . ancho)		m ²
Material(es) de la cubierta transparente		

d) Dimensiones frontales de la cubierta transparente (en metros y hasta dos decimales)

Largo		m
Ancho		m
Área (largo . ancho)		m ²
Características de la superficie:		

e) Capacidad volumétrica (en m³ y hasta cuatro decimales)

Mediante una báscula determine el peso de los siguientes rubros (en Newtons y hasta dos decimales)

Peso del colector solar seco		N
Peso del colector solar lleno de agua		N

Calcule el peso del agua, empleando la siguiente formula:

$$\text{Peso del agua} = \text{peso del colector lleno} - \text{peso del colector seco}$$

Peso del agua		N
Temperatura del agua		°C

Calcule la masa de agua utilizando la siguiente formula:

$$\text{Masa del agua} = \text{Peso del agua} / 9,80665$$

Calcule el volumen de agua en litros, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de agua} = \text{Masa del agua} / \text{Densidad del agua}$$

Use la densidad del agua a 25,00 °C la cual es 1 000,00 kg/m³ ; Multiplique por 1 000,00 para obtener litros.

	m ³	litros
Volumen del agua		

Área para dibujar un bosquejo del colector solar:

NOMBRE (responsable de la prueba)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

Formato B: Prueba de presión estática previa a la prueba de exposición de 30 días

a) Valores de presión para la prueba

Nota: los valores de presión deberán registrarse en kPa.

Presión máxima de operación	Presión de la prueba

b) Prueba hidrostática del colector solar

Presión Inicial	Presión Final

	SÍ	NO
¿Existe evidencia de fuga de agua?		
¿Presenta deterioro severo?		
¿Se observó alguna caída de presión durante la prueba?		

Comentarios:

Si alguna de las respuestas es positiva de por terminado el proceso de pruebas y elabore el reporte indicado en el punto 9.10 de esta Norma; en caso contrario continúe con el procedimiento indicado.

NOMBRE (responsable de la prueba)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

Formato C: Prueba de exposición a la radiación solar

a) Ángulo de inclinación para la prueba

Ángulo de inclinación para la prueba		grados
--------------------------------------	--	--------

b) Inspecciones inicial y final durante la prueba de exposición de treinta días

Inspección en el primer día	Inspección en el último día
-----------------------------	-----------------------------

Fecha (día/mes/año)		
---------------------	--	--

Tubos de entrada y salida del absorbedor	SÍ	NO	SÍ	NO
Deformación severa del absorbedor				
Deformación severa de los conductos de flujo de fluido y la placa absorbedora				
Perdida de contacto entre los conductos de flujo de fluido o en alguna de sus conexiones				
Fugas en los conductos de flujo de fluidos o en alguna de sus conexiones				
Perdida de integridad de la caja del colector				
Corrosión u otros deterioros severos causados por acción química				
Agrietamiento, desprendimiento o abombamiento de la capa absorbedora				
Retención excesiva de humedad al interior de la caja del colector solar.				
Dilatación o emisión excesiva de gases en detrimento del aislamiento.				
Agrietamiento, pérdida de elasticidad o pérdida de la adhesión excesivas de las juntas y los sellos.				
Fugas hidráulicas en el absorbedor o daño severo en las conexiones hidráulicas.				
Agrietamiento, ruptura, alabeo o pandeo severo permanente de la cubierta superior.				
Ruptura o deformación severa de los materiales de la caja del colector solar.				

Condiciones observadas durante las pruebas de inspección	SI	NO	SI	NO
¿El colector solar es susceptible de ser sometido a las pruebas?			-----	
¿El colector solar es susceptible de ser certificado?	-----			

Si la respuesta es positiva continúe con el procedimiento indicado; en caso contrario, si su respuesta es negativa de por terminado el proceso y elabore el informe indicado en el punto 9.10 de esta Norma.

NMX-ES-001-NORMEX-2005
FECHA DE INICIO DE VIGENCIA: 14 DE OCTUBRE DE 2005

	NOMBRE (responsable de la prueba)	FIRMA	FECHA(día/ mes/año)
Inspección previa			
Inspección posterior			

c) Condiciones de radiación solar y meteorológicas de la prueba de exposición de 30 días

Día	Fecha (día/mes/año)	Radiación solar integrada (MJ/m ²)	Temperatura promedio del aire (°C)	Precipitación pluvial (mm)	Laboratorista	
					Iniciales	Antefirma
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

NOMBRE (responsable de la prueba)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

d) Inspecciones semanales durante la prueba de exposición de treinta días

Durante las inspecciones poner especial cuidado en los siguientes puntos:

- Encapsulado
- Cubierta superior
- Absorbedor
- Capa absorbedora
- Aislamiento, juntas y sellos
- Tubos de entrada y salida

Detalle cualquier cambio observable indicando su localización exacta; sea tan específico como sea posible:

Fecha de la inspección (día/mes/año)	Resultados de la inspección	Laboratorista	
		Iniciales	Antefirma

Condiciones observadas durante las inspecciones semanales	SI	NO
¿El colector solar presentó algún daño?		

Si la respuesta es negativa continúe con el procedimiento indicado; en caso contrario, si su respuesta es positiva de por terminado el proceso y elabore el reporte indicado en el punto 9.10 de esta Norma.

NOMBRE (responsable de las pruebas)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

Formato D: Prueba de choque térmico con rocío de agua

Prueba	Fecha de la prueba (día/mes/año)	Temperatura del agua de rocío (°C)	Hora de inicio	Promedio de radiación solar (W/m ²)	Algún cambio notable	
					SÍ	NO
1					SÍ	NO
2					SÍ	NO
3					SÍ	NO

Observaciones:

Prueba	Descripción	Laboratorista	
		Iniciales	Antefirma
1			
2			
3			

¿En la cubierta transparente se presentó alguno de los daños listados a continuación?

	SÍ	NO
Agrietamiento severo		
Ruptura excesiva		
Pandeo severo		
Delaminación severa		
Alabeo excesivo		
Otros (especifique)		

Si todas las respuestas son negativas continúe con el procedimiento indicado; en caso contrario, si existe alguna respuesta positiva dé por terminado el proceso y elabore el reporte indicado en el punto 9.10 de esta Norma.

NOMBRE (responsable de las pruebas)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

Formato E: Prueba de Choque térmico con circulación de agua fría

Fecha de la prueba	
Hora de inicio de la prueba	

Condiciones del agua de entrada:

Temperatura (°C)	
Flujo (ml/s)	

Observaciones:

Indique si los tubos de circulación y cabezales del absorbedor presentan alguno (s) de los daños listados a continuación:

	SÍ	NO
Deformación severa		
Corrosión excesiva		
Fugas hidráulicas		
Separación (pérdida de contacto) con las aletas del absorbedor o con otros componentes		
Otros (especifique)		

Si todas las respuestas son negativas continúe con el procedimiento indicado; en caso contrario, si existe alguna respuesta positiva dé por terminado el proceso y elabore el reporte indicado en el punto 9.10 de esta Norma.

NOMBRE (responsable de las pruebas)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

Formato F: Prueba de presión estática posterior a la prueba de exposición de 30 días

a) Valores de presión para la prueba.

Nota: los valores de presión deberán registrarse en kPa.

Presión de operación máxima recomendada	Presión de la prueba

b) Prueba de presión del colector solar.

Presión Inicial	Presión Final

	SÍ	NO
¿Existe evidencia de fuga de agua?		
¿Presenta dilatación ó estiramiento severo?		

Comentarios:

Si alguna de las respuestas es positiva de por terminado el proceso y elabore el reporte indicado en el punto 9.10 de esta Norma; en caso contrario, si las respuestas son negativas continúe con el procedimiento indicado.

NOMBRE (responsable de las pruebas)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

Formato G: Desarmado e inspección final

a) Inspección durante la prueba de desarmado e inspección final

	Inspección final con el colector solar desarmado	
Fecha		
Caja del colector, sujetadores	SÍ	NO
Agrietamiento		
Alabeo		
Corrosión		
Otros (especifique)		
Medios de soporte (ménsula de soporte, pestañas, etc.)	SÍ	NO
Pérdida de rigidez del soporte		
Otros (especifique)		
Sellos y empaquetaduras del marco metálico	SÍ	NO
Agrietamiento		
Pérdida de Elasticidad		
Pérdida de Adhesión		
Otros (especifique)		
Cubiertas o Reflectores	SÍ	NO
Agrietamiento		
Ruptura		
Pandeo		
Delaminación		
Alabeo		
Otros (especifique)		
Capa Absorbadora	SÍ	NO
Agrietamiento		
Abombamiento		
Ruptura		

Continuación: Inspección durante la prueba de desarmado e inspección final

	Inspección final con el colector solar desarmado	
	SÍ	NO
Tubos de entrada y salida del absorbedor		
Deformación		
Corrosión		
Fugas		
Otros (especifique)		
Tubos de circulación del absorbedor		
Deformación		
Corrosión		
Fugas		
Separación (pérdida de contacto) con las aletas del absorbedor o con otros componentes		
Otros (especifique)		
Cabezales del absorbedor		
Deformación		
Corrosión		
Fugas		
Otros (especifique)		
Estructura del absorbedor		
Pérdida de rigidez		
Otros (especifique)		
Aislamiento		
Retención de agua		
Inflado		
Emisión de Gases		
Otros (especifique)		

Continuación: Inspección durante la prueba de desarmado e inspección final

b) Mediciones de la prueba de desarmado e inspección final

Dimensiones frontales de la cubierta transparente (hasta tres decimales)		
Espesor		m
Largo		m
Ancho		m
Tipo de sello (especifique material)		

Absorbedor (hasta dos decimales)		
Largo		m
Ancho		m
Espesor		cm
Número de tubos		
Separación entre los tubos (desde el centro de estos)		cm
Diámetro externo del tubo		cm
Diámetro externo de los cabezales		cm
Espacio de aire entre la cubierta transparente y el absorbedor		cm
Patrón de flujo		
Tipo de unión de la placa con los tubos		
Tipo de unión de los tubos con los cabezales		
Capa absorbedora		

Caja del colector solar	
Material (costados)	
Material (posterior)	
Acabado de la superficie	
Sujetadores (tipo y material)	
Tipo de barrenos (sin rosca, con rosca)	
Selladores de los barrenos (tipo y material)	

Aislamientos		
	Material	Espesor (cm)
Lateral		
Inferior		

Tipos de sellos o empaques del encapsulado	
Cubierta de vidrio	
Orificios para los tubos de entrada y de salida	

NOMBRE (responsable de las pruebas)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

Anexo II. Conversión de la hora civil (también llamada hora oficial) a la hora en Tiempo Solar Verdadero

La hora en Tiempo Solar Verdadero (TSV) corresponde a la posición aparente del Sol en la Bóveda Celeste.

El TSV se calcula en términos de la hora oficial, T_{ofc} , según el huso horario que le corresponda al punto geográfico de que se trate, como sigue:

$$TSV = T_{ofc} + \frac{L_{st} - L_{loc}}{15} + \varepsilon,$$

en donde: L_{st} es la longitud del meridiano de referencia (estándar) correspondiente al huso horario del lugar, L_{loc} es la longitud geográfica del lugar y ε es la llamada Ecuación del Tiempo que se refiere al efecto acumulado de la variación del Día Solar, v.g. del retraso o adelanto del paso del Sol por el meridiano del lugar, como consecuencia de dos factores principales: 1) el radio vector del Sol a la Tierra barre áreas iguales en tiempos iguales sobre el plano de la eclíptica en su movimiento de translación alrededor del Sol, y 2) el eje de rotación de la Tierra permanece oblicuo respecto del plano de la eclíptica. El promedio de esta variación a lo largo del año se ajusta a cero de tal manera que el efecto acumulativo anual de estas variaciones se anula.

- El valor del Meridiano de Referencia (L_{st}) en grados (°)

ESTADOS	MERIDIANO DE REFERENCIA	
	Del último domingo de octubre a partir de las 3 de la mañana y hasta el primer domingo de abril, hasta las 3 de la mañana	De primer domingo de abril a partir de las 3 de la mañana y hasta el último domingo de octubre, hasta las 3 de la mañana
Sonora	105 °	
Baja California	120 °	105 °
Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa y Nayarit	105 °	90 °
Resto de las entidades federativas	90 °	75 °

El Sol toma cuatro minutos para cruzar 1° de longitud geográfica o bien 15° en una hora, por lo que la corrección en cuanto a la diferencia de la longitud geográfica local respecto del Meridiano de Referencia (Estandar) está dada por el término:

$$\frac{L_{st} - L_{loc}}{15}, \text{ en horas,}$$

o bien, $4(L_{st} - L_{loc})$, en minutos.

La ecuación del tiempo se puede calcular usando ciertas fórmulas empíricas que existen en la literatura especializada, por ejemplo:

$$\varepsilon = 9.87 \cdot \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B),$$

en donde:

- $B = (n-81)(360/364)$
- n es el día del año correspondiente a la fecha de realización de la prueba ($n=1$ para el primero de enero).

Ejemplo de calculo:

Convertir la hora civil de 11:30 horas a la hora en TSV, para un sitio localizado a 99° grados de longitud al Oeste de Grenwich, tomando como referencia el meridiano de 90°, y para el día 30 de junio de 2003.

Calculamos B:

$$B = (n-81)*360/364$$

El día 30 de junio de este año no bisiesto es el día número 181 (n= 181)

$$B = (181-81)*360/364= 98.90$$

Sustituyendo en la ecuación del tiempo para encontrar ε , se tiene que:

$$\varepsilon = 9.87*\sin(2*98.90) - 7.53\cos(98.90) - 1.5*\sin(98.90) = -3.334, \text{ minutos,}$$

o bien,

$$\varepsilon = -3.334/60 = -0.0556 \text{ horas}$$

Sustituyendo en la ecuación del TSV, se tiene que:

$$TSV = T_{ofc} + \frac{L_{st} - L_{loc}}{15} + \varepsilon$$

$$TSV = 11.5000 - 0.0556 - 0.6000.$$

Por lo tanto:

$$TSV = 10.8444 \text{ horas} = 10:50:40$$

O bien:

$$TSV = 11 \text{ horas}:30 \text{ minutos} - 3.334 \text{ minutos} + 4*(90 - 99) \text{ minutos.}$$

Por lo tanto:

$$TSV = 11:30 - 00:3.334 - 00:36 = 10:50:40$$

Anexo III. Determinación de la cantidad de agua caliente obtenida por día

Este método es aplicable a los colectores solares sujetos a la presente norma.

Parámetros que intervienen en los cálculos:

a) Temperatura Promedio de Operación del Calentador Solar (T_{uso}).

Es la temperatura que debe considerarse para la operación del colector solar. Para el caso de colectores domésticos, ésta es de 50°C, para el caso de usos industriales ésta se considerará igual a 70°C y para el caso de albercas debe considerarse una temperatura de 30°C.

b) Temperatura del agua a la entrada del colector para diferentes usos (T_{agua}).

Colectores cuya temperatura de trabajo sea de 30°C (uso típico en albercas) la temperatura del agua a la entrada del colector se considerará de 29°C, para cualquier clima.

Colectores cuya temperatura de trabajo sea de 50°C y 70°C (usos típicos doméstico e industrial), la temperatura del agua a la entrada del colector se considerará igual a la temperatura promedio anual diaria para cada uno de los tres tipos de clima prevalecientes que se considera existen en el país y que abarcan amplias zonas territoriales, como se muestra en la Tabla III.1

Tabla III.1 Temperaturas del agua a la entrada de colectores con temperatura de trabajo de 50°C y 70°C

CLIMA	T_{agua} (°C)		EJEMPLO
	Anual	dic-jul	
TROPICAL	26.0	23.5-28.6	Chetumal, Q.R.
TEMPLADO	15.45	13.6-17.3	Distrito Federal
SEMIÁRIDO	22.5	15.1-29.9	Monterrey

c) Irradiancia Solar Promedio Horaria (I_{ph})

Se considerará aquella que corresponda a la de un día típico para cada uno de los climas prevalecientes que se considera existen en el país y que abarcan amplias zonas territoriales, dada en promedios horarios para un periodo de al menos 10 horas. En la Tabla III.1.1, Tabla III.1.2 y Tabla III.1.3, se muestran estos valores.

Tabla III.1.1 Irradiancia en un día Típico en un Clima Tropical			
		julio	diciembre
Hora No.	Horario	W/m ²	W/m ²
1	7 a 8	225.0	87.5
2	8 a 9	412.5	212.5
3	9 a 10	625.0	375.0
4	10 a 11	825.0	562.5
5	11 a 12	962.5	725.0
6	12 a 13	962.5	725.0
7	13 a 14	825.0	562.5
8	14 a 15	625.0	375.0
9	15 a 16	412.5	212.5
10	16 a 17	225.0	87.5
11	17 a 18	87.5	12.5

Tabla III.1.2 Irradiancia en un día Típico en un Clima Templado			
		julio	diciembre
Hora No.	Horario	W/m ²	W/m ²
1	7 a 8	137.5	100.0
2	8 a 9	287.5	250.0
3	9 a 10	500.0	437.5
4	10 a 11	712.5	600.0
5	11 a 12	900.0	712.5
6	12 a 13	900.0	712.5
7	13 a 14	712.5	600.0
8	14 a 15	500.0	437.5
9	15 a 16	287.5	250.0
10	16 a 17	137.5	100.0
11	17 a 18	50.0	12.5

Tabla III.1.3 Irradiancia en un día Típico en un Clima Semidesértico			
		julio	diciembre
Hora No.	Horario	W/m ²	W/m ²
1	7 a 8	325.0	50.0
2	8 a 9	537.5	125.0
3	9 a 10	725.0	250.0
4	10 a 11	875.0	437.5
5	11 a 12	962.5	612.5
6	12 a 13	962.5	612.5
7	13 a 14	875.0	437.5
8	14 a 15	725.0	250.0
9	15 a 16	537.5	125.0
10	16 a 17	325.0	50.0
11	17 a 18	137.5	0.0

Procedimiento.

Se debe utilizar la ecuación de eficiencia de segundo grado obtenida según el punto 9.6 de esta norma, la cual es de la forma:

$$\eta = a - bx - cx^2 \tag{III.1}$$

Donde **a**, **b** y **c** son las constantes evaluadas para cada colector solar según se establece en el punto 9.6 de esta norma, y **x** se evalúa usando la siguiente ecuación.

$$x = (T_{uso} - T_{ambiente}) / I_{ph} \tag{III.2}$$

Cálculos.

El calor útil total para cada hora se calcula con la siguiente ecuación:

$$q(\text{horario}) = \eta I_{ph} \Delta t \quad (\text{III.3})$$

En donde η está dada por la ecuación III.1 y en donde I (en W/m^2) es la irradiancia promedio horaria dada en la tabla III., la cual se multiplica por Δt (en segundos) para obtener la irradiación (en J/m^2) horaria, la cual corresponde al sitio en donde se realizó le prueba del calentador solar.

La sumatoria de los valores de calor para cada hora, será el calor total para el día de la prueba, esto es:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=10} I_i (ax - bx - cx^2) \beta.6, kJ / m^2 \quad (\text{III.4})$$

Para determinar el volumen (cantidad en litros) de agua caliente por cada metro cuadrado del colector solar y para cada hora en un periodo de al menos diez horas, se usará la siguiente fórmula:

$$V_{\text{agua}}(\text{horario}) = q(\text{horario}) / (4,186 (T_{\text{uso}} - T_{\text{agua}})) \quad (\text{III.5})$$

El volumen total de agua caliente obtenida durante el periodo de la prueba será la suma de los volúmenes horarios.

Ejemplo de cálculo.

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo para la determinación de la cantidad de agua caliente obtenida por día, considerando un calentador solar para uso doméstico con una eficiencia determinada mediante el procedimiento que se establece en la presente Norma, la cual se representa por la siguiente ecuación de segundo grado:

$$\eta = 0,526 - 0,96x - 0,526x^2$$

El cálculo se realiza para un lugar de clima templado y en las épocas de verano (julio) e invierno (diciembre). Para los efectos de este ejemplo, se considera la temperatura del agua dada en la Tabla III.0 y los valores de irradiancia en un día típico los que están dados en la Tabla III.1.2.

La evaluación del calor útil y el volumen de agua caliente para cada hora se presenta en las siguientes Tablas:

NMX-ES-001-NORMEX-2005
FECHA DE INICIO DE VIGENCIA: 14 DE OCTUBRE DE 2005

ANEXO III: EJEMPLO (VERANO)

Tuso 50 °C							
Horario	Irradiancia(I) W/m2	Temperatura °C	x (m2 °C/ W)	η	ηI W/m2	Calor kJ/m2	Agua l/m2
7 a 8	137.5	15.50	0.251	0.25	34.65	124.7	0.9
8 a 9	287.5	15.50	0.120	0.40	115.93	417.3	2.9
9 a 10	500.0	15.50	0.069	0.46	228.63	823.1	5.7
10 a 11	712.5	15.50	0.048	0.48	340.78	1226.8	8.5
11 a 12	900.0	15.50	0.038	0.49	439.58	1582.5	11.0
12 a 13	900.0	15.50	0.038	0.49	439.58	1582.5	11.0
13 a 14	712.5	15.50	0.048	0.48	340.78	1226.8	8.5
14 a 15	500.0	15.50	0.069	0.46	228.63	823.1	5.7
15 a 16	287.5	15.50	0.120	0.40	115.93	417.3	2.9
16 a 17	137.5	15.50	0.251	0.25	34.65	124.7	0.9
17 a 18	50.0	15.50	0.690	-0.39	-19.34	-69.6	

Valor total diario **8224.1 57.8**

ANEXO III: EJEMPLO (INVIERNO)

Tuso 50 °C							
Horario	Irradiancia(I) W/m2	Temperatura °C	x (m2 °C/ W)	η	ηI W/m2	Calor kJ/m2	Agua l/m2
7 a 8	100.0	15.50	0.345	0.13	13.22	47.6	0.3
8 a 9	250.0	15.50	0.138	0.38	95.88	345.2	2.4
9 a 10	437.5	15.50	0.079	0.45	195.57	704.1	4.9
10 a 11	600.0	15.50	0.058	0.47	281.44	1013.2	7.0
11 a 12	712.5	15.50	0.048	0.48	340.78	1226.8	8.5
12 a 13	712.5	15.50	0.048	0.48	340.78	1226.8	8.5
13 a 14	600.0	15.50	0.058	0.47	281.44	1013.2	7.0
14 a 15	437.5	15.50	0.079	0.45	195.57	704.1	4.9
15 a 16	250.0	15.50	0.138	0.38	95.88	345.2	2.4
16 a 17	100.0	15.50	0.345	0.13	13.22	47.6	0.3
17 a 18	12.5	15.50	2.760	-6.13	-76.63	-275.9	

Valor total diario **6626.0 46.2**

De esta manera se determina el volumen (en litros) de agua caliente a 50 °C, que se obtiene por cada metro cuadrado del colector solar, de acuerdo con lo establecido por la presente norma.

Anexo IV: Procedimiento para evaluar y corregir las pérdidas de calor en los cabezales

Durante las pruebas de rendimiento térmico del colector solar, debido a la mezcla o los requerimientos en los estados de transición, las medidas de temperatura a la entrada y salida son tomadas a cierta distancia de la entrada y salida del mismo. Las pérdidas de calor en el cabezal, si no se aplica alguna corrección, podrían producir un error sistemático en las diferencias de temperatura y consecuentemente en la eficiencia. Por lo que se sugiere evaluar estas pérdidas y corregirlas usando el siguiente procedimiento.

- a) Inicie con los cabezales bien aislados y de idéntica construcción.
- b) Coloque los dos cabezales punta a punta. Use la misma instrumentación que usa durante las pruebas, evalúe t tomando lecturas de temperatura del fluido de transferencia a la entrada ($t_{f,i}$) y a la salida ($t_{f,e}$), así como de la temperatura ambiente, utilizando la siguiente fórmula:

$$\bar{t} = 2 \left(\frac{t_{f,i} + t_{f,e} + 2t_a}{t_{f,i} - t_{f,e}} \right) \quad \text{IV.1}$$

Dado que “ t ” es proporcional al flujo másico, una “ t ” obtenida para cierto valor de flujo másico es sólo aplicable para ese único valor de flujo. Para otros flujos, por ejemplo “ m ”, su correspondiente “ t ”, puede evaluarse mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{t} = \frac{\dot{m}}{(\dot{m})_{per}} \times \bar{t}_{per} \quad \text{IV.2}$$

Esta corrección es válida dado que el incremento resultante (o decremento) en la resistencia del coeficiente de transferencia de calor de la película interna es insignificante comparado con la resistencia del aislante que cubre al cabezal.

El valor mínimo ($t_{f,i} - t_{f,e}$) necesario para mantener la incertidumbre aleatoria en la diferencia de temperatura (debido a las pérdidas de calor en el cabezal) bajo 0.5% puede ser evaluado usando la figura IV.1. Estas curvas están basadas a una precisión en las mediciones de ($t_{f,i} - t_{f,e}$) de 0.1 °C (véase la sección 9.6.2.2). En la figura IV.1 $Y = X/t$.

$$X = \frac{(t_{f,i} + t_{f,e} + 2t_a) / 2 - t_a}{t_{f,e} + t_{f,i}} \quad \text{(IV.3)}$$

- c) Usando la siguiente ecuación corrija la diferencia de temperatura obtenida en las mediciones ($t_{f,i} - t_{f,e}$)_{med} para obtener la diferencia ya corregida ($t_{f,i} - t_{f,e}$)_{corr}.

$$(t_{f,e} - t_{f,i})_{corr} = (t_{f,e} - t_{f,i})_{med} + \frac{2}{t} (t_{f,e} + t_{f,i} - 2t_a) \quad \text{(IV.4)}$$

d) Ejemplo de un calculo. Dos cabezales son colocados punta a punta y las mediciones arrojan los siguientes valores:

$m = 0.025 \text{ kg/s}$
 $t_{f,i} = 100.00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_a = 24.4 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_{f,i} - t_{f,e} = 0.95 \text{ }^\circ\text{C}$

Entonces: $t = 320.3$

Las condiciones de la prueba de rendimiento térmico fueron:

$t_{f,i} = 60.00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_a = 20.00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_{f,e} = 70.00 \text{ }^\circ\text{C}$

Entonces $X = 4.5$ y $Y = 0.014$

Usando la ecuación IV.3 la diferencia de temperatura corregida es

$$(t_{f,i} - t_{f,e})_{\text{corr}} = 10.56$$

De la figura 9 se estima que la incertidumbre aleatoria en la diferencia de temperatura (o en la eficiencia) para una incertidumbre en $t_{f,e} - t_{f,i}$ de $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ es de aproximadamente de 0.5% .

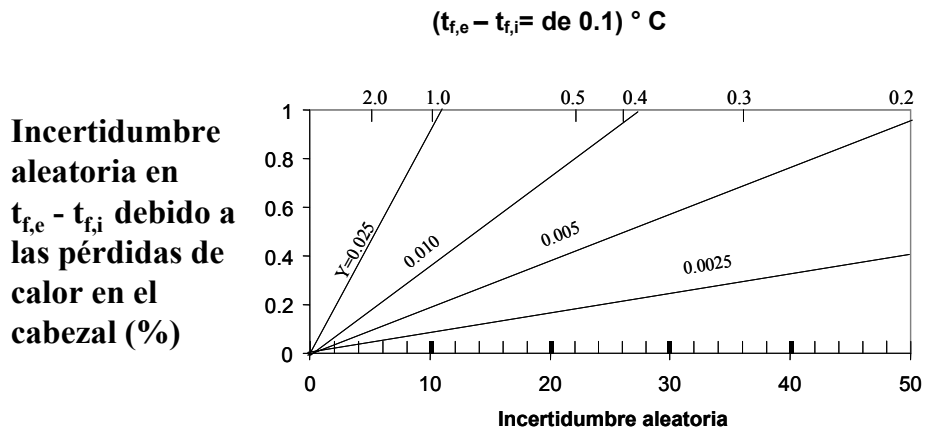


Figura IV.1 Mínimo valor de $(t_{f,e} - t_{f,i})$ necesario para mantener la diferencia de incertidumbre aleatoria de temperatura por debajo de $\pm 5\%$.

Anexo V : Método de cálculo del valor ponderado del producto de la transmitancia-absortancia

El intervalo $[\lambda_1 ; \lambda_n]$ que contiene la totalidad del espectro se divide en intervalos $\Delta\lambda_i$, centrado en los valores λ_i por las cuales se conoce el valor de la irradiancia espectral E_{λ_i} .

Se asigna a cada intervalo el valor :

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_1 &= \lambda_2 - \lambda_1 \\ \Delta\lambda_n &= \lambda_n - \lambda_{n-1}\end{aligned}$$

y para los otros valores de i:

$$\Delta\lambda_i = (\lambda_{i+1} - \lambda_{i-1})/2$$

El valor ponderado τ_α del producto de la transmitancia - absorbencia se calcula a partir de los valores individuales $\tau_\alpha(\lambda_i)$ del producto de la transmitancia - absorbencia conocidas para cada longitud de onda λ_i , según la fórmula :

$$\tau_\alpha = \frac{\sum_i (\tau_\alpha(\lambda_i) * E_{\lambda_i} * \Delta\lambda_i)}{\sum_i (E_{\lambda_i} * \Delta\lambda_i)}$$

Anexo VI: Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar .

A continuación se muestra el procedimiento recomendado para determinar b_0 .

Para los colectores solares cuyas propiedades de radiación son simétricas con respecto a θ , $(\tau\alpha)_e$, puede ser correlacionado con θ con la ecuación:

$$(\tau\alpha)_e = a - b/\cos\theta \quad \text{VI.1}$$

Combinando esta ecuación con la ecuación 9, el factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar es

$$K\tau\alpha = \frac{a - b/\cos\theta}{a - b} \quad \text{VI.2}$$

o

$$K\tau\alpha = 1 - \frac{b}{a - b} \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) \quad \text{VI.3}$$

Sea:

$$b_0 = b/(a-b) \quad \text{VI.4}$$

Entonces $K_{\sigma T}$ varía con el ángulo de incidencia de acuerdo a la expresión general dada por la ecuación 10, es decir:

$$K_{\tau\alpha} = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) \quad \text{VI.5}$$

Entonces, $K_{\sigma T}$ es una función lineal del parámetro $[(1/\cos\theta)-1]$. La correlación de la constante b_0 puede ser determinada a partir de las ecuaciones 3 y VI.4. Primero, considere

$$a' = (A_a / A_g) F_R a \quad \text{VI.6}$$

$$b' = (A_a / A_g) F_R b \quad \text{VI.7}$$

Entonces, la ecuación 3 puede ser escrita como:

$$\eta_g = \left(\frac{A_a}{A_g} \right) F_R (\tau\alpha)_e = a' - b' \cos\theta \quad \text{VI.8}$$

Donde η_g es la eficiencia medida al colector para $(t_f, i = t_a)$ al ángulo de incidencia θ .

Entonces,

$$\frac{b}{a - b} = \frac{b'}{a' - b'} \quad \text{VI.9}$$

de donde:

$$b_0 = b'/(a'-b') \quad \text{VI.10}$$

Las constantes a' y b' pueden ser fácilmente determinadas por mínimos cuadrados o a partir de una ecuación de primer orden descrita en la ecuación VI.8 y los valores que se obtengan en la sección 9.6.5.2.3 Determinación experimental del factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar del colector.

El valor de b_0 se determina de la ecuación VI.10.

Ejemplo de cálculo:

Datos:

?	$(Aa/Ag)F_R(ta)e$
0	0.770
30	0.716
30	0.720
45	0.702
45	0.710
60	0.647
60	0.652

De la expresión de mínimos cuadrados y usando la ecuación VI.8 obtenemos $a = 0,846$ y $b = 0,0992$, lo que da:

$$\eta_g = 0,846 - 0,0992 \cos \theta \quad \text{VI.11}$$

Entonces, de la ecuación VI.10 se obtiene:

$$b_0 = 0.133$$

Finalmente,

$$K_{\tau\alpha} = 1 - 0,133\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right)$$

Anexo VII: Fórmulas para calcular el ángulo que forman la dirección de incidencia de la radiación solar directa y la normal a la superficie del colector.

Si θ es el ángulo que forman el vector \mathbf{s} y \mathbf{n} como se muestra en la figura de abajo, entonces

$$\text{Cos}(\theta) = \hat{s} \cdot \hat{n}$$

en donde \mathbf{s} y \mathbf{n} son vectores unitarios definidos de la siguiente manera:

$$\hat{n} = (\text{Sen } \Psi \text{ Sen } \Delta, \text{Cos } \Psi \text{ Sen } \Delta, \text{Cos } \Delta)$$

$$\hat{s} = (\text{Sen } A \text{ Sen } Z, \text{Cos } A \text{ Sen } Z, \text{Cos } Z)$$

Como resultado del producto escalar entre \mathbf{n} y \mathbf{s} , se tiene que:

$$\text{Cos}(\theta) = \text{Sen } Z \text{ Sen } \Delta \text{Cos}(A - \Psi) + \text{Cos } Z \text{ Cos } \Delta$$

en donde:

Δ es el ángulo que forma el colector con el plano horizontal igual al ángulo que forma la normal a la superficie del colector (dada por \mathbf{n}) y la vertical al plano horizontal

Ψ es el ángulo acimutal de la proyección de la normal (\mathbf{n}) a la superficie del colector, sobre el plano horizontal.

Z es el ángulo cenital de Sol, ángulo complementario de la altura angular aparente del Sol, es decir $\beta = 90 - Z$, y

A es el ángulo acimutal del Sol, $A = 0$ al Sur, al Oriente $A < 0$ y $A > 0$ al Poniente.

Se sabe también que:

$$\text{Cos}(Z) = \text{Sen}(\delta) \text{Sen}(\phi) + \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(\phi) \text{Cos}(\omega) = \text{Sen}(\beta)$$

en donde:

δ es la declinación solar y se puede calcular usando alguna de las fórmulas empíricas que existen en la literatura, como la siguiente:

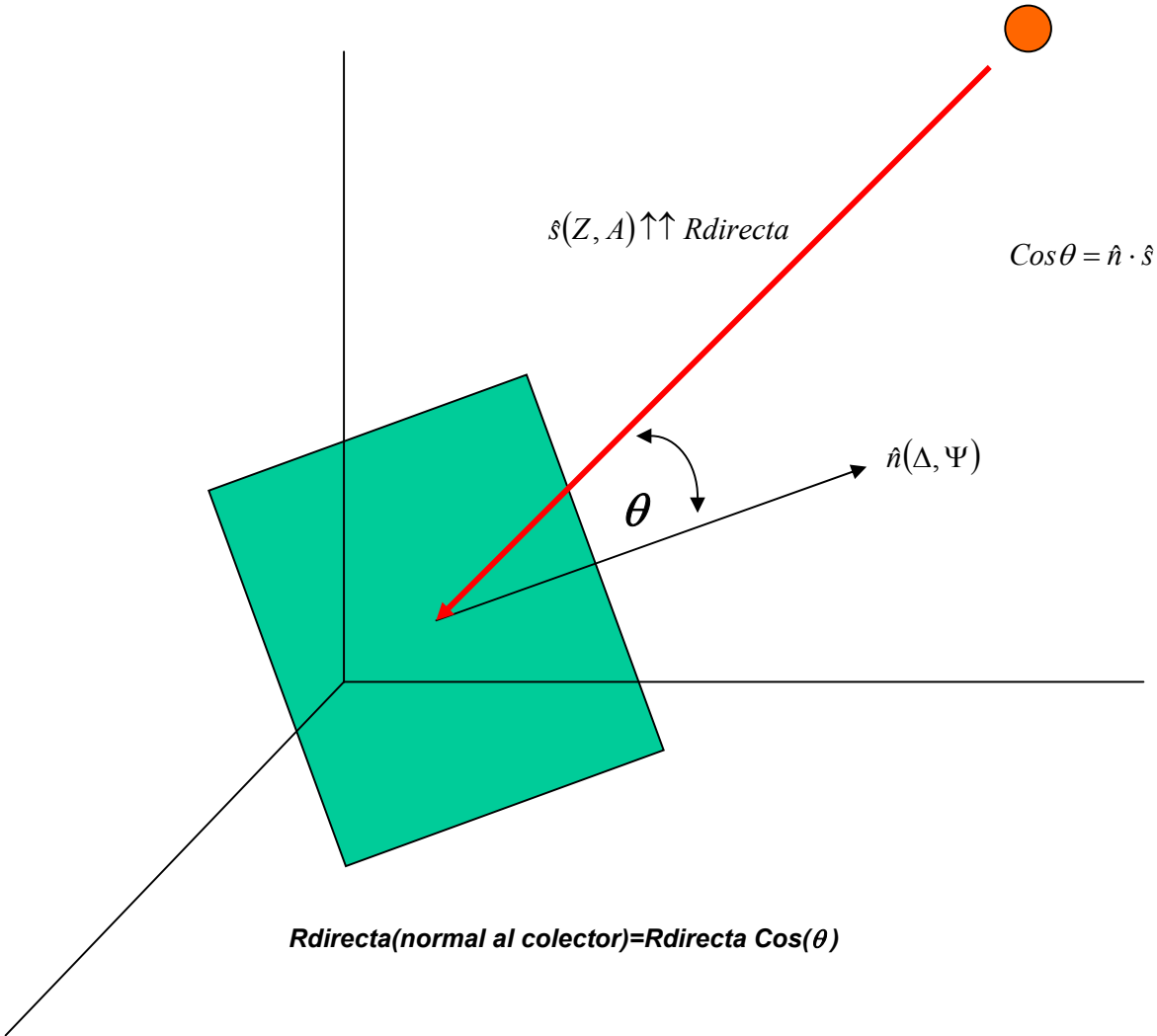
$$\delta(j) = \text{Sen}^{-1} \left[0.399 \text{Sen} \left(\frac{360}{365} (j - 82) \right) \right],$$

en donde j es el día del año.

ϕ es la latitud geográfica del sitio en donde se realiza la prueba.

ω es el ángulo horario el cual se calcula en términos del TSV de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{\pi}{12} (TSV - 12)$$



Para calcular el Ángulo Acimutal del Sol, A , se tienen que:

$$\cos(A) = \frac{\text{Sen}(\phi)\text{Cos}(Z) - \text{Sen}(\delta)}{\text{Cos}(\phi)\text{Sen}(Z)}$$

$$\text{Sen}(A) = \frac{\text{Cos}(\delta)\text{Sen}(\omega)}{\text{Sen}(Z)}$$

Si $\text{Sen}(A) < 0$, entonces: $A = -\text{Cos}^{-1}(\text{Cos}(A))$

Si $\text{Sen}(A) > 0$, entonces: $A = +\text{Cos}^{-1}(\text{Cos}(A))$

Ejemplo:

Calcule la posición del Sol en la bóveda celeste en términos de sus coordenadas locales: Altitud Angular Aparente y Ángulo Acimutal, cuando son las 11:30 de la mañana del día 3 de octubre en un lugar cuyas coordenadas geográficas son: Latitud: 18°: 50' N y Longitud 99°: 14' W.

El día del año correspondiente a esa fecha es $j = 277$

Para $j = 277$, se tiene que:

$$\delta(277) = \text{Sen}^{-1} \left[0.399 \text{Sen} \left(\frac{360}{365} (277 - 82) \right) \right] = -4^{\circ} : 53',$$

$$B = (277 - 81) \frac{360}{364} = 193.8462^{\circ},$$

$$\varepsilon(277) = 9.87 \text{Sen}(2B) - 7.53 \text{Cos}(B) - 1.5 \text{Sen}(B) = 12^{\text{min}} : 16^{\text{seg}} = 0.20428 \text{Horas},$$

$$TSV = 11.50 + \frac{90 - 99.233}{15} - 0.20428 = 11.08873 \text{Horas},$$

$$\omega = \frac{180}{12} (TSV - 12) = -13.66905^{\circ} \text{ (grados antes del medio día solar).}$$

Con los valores calculados de estos parámetros, se tiene que:

$$\text{Cos}Z = \text{Sen}(\delta) \text{Sen}(\phi) + \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(\phi) \text{Cos}(\omega) = 0.88881, \text{ entonces el ángulo cenital es:}$$

$$Z = 27.276^{\circ} \text{ y la altura angular aparente del Sol es: } \beta = 62.7240^{\circ}$$

Con estos mismos datos, el ángulo acimutal del Sol se calcula como sigue:

$$\text{Cos}(A) = \frac{\text{Sen}(\phi) \text{Cos}(Z) - \text{Sen}(\delta)}{\text{Cos}(\phi) \text{Sen}(Z)} = 0.85792$$

$$\text{Sen}(A) = -0.51378$$

Si $\text{Sen}(A) < 0$, entonces: $A = -\text{Cos}^{-1}(\text{Cos}(A)) = -30.9160^{\circ}$ (medidos al Oriente de la línea Norte-Sur).

Ejemplo:

Con los datos del ejemplo anterior, calcular el ángulo θ que forman la dirección de incidencia de la radiación solar directa y la normal a la superficie de un colector solar plano orientado al Sur y tiene una inclinación igual a la latitud geográfica de ese lugar. Calcule este mismo ángulo para cuando el colector esté orientado al Sur pero con una inclinación de 30° respecto del plano horizontal.

Del ejemplo anterior se tiene que:

$$\text{Cos}(Z) = \text{Sen}(\delta)\text{Sen}(\phi) + \text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\omega) = 0.88881,$$

$$\text{Sen}(Z) = 0.45828$$

$$\text{Cos}(A) = \frac{\text{Sen}(\phi)\text{Cos}(Z) - \text{Sen}(\delta)}{\text{Cos}(\phi)\text{Sen}(Z)} = 0.85792$$

$$\text{Sen}(A) = -0.51378$$

Para el primer caso, se tienen que:

$$\Psi = 0^\circ$$

Si $\Delta = \phi = 18^\circ: 50' = 18.8333^\circ$, entonces:

$$\text{Sen}(\Delta) = 0.32282$$

$$\text{Cos}(\Delta) = 0.94646$$

Por lo tanto:

$$\text{Cos}(\theta) = \text{Sen}(Z)\text{Sen}(\Delta)\text{Cos}(A - \Psi) + \text{Cos}(Z)\text{Cos}(\Delta)$$

$$= 0.45828 \cdot 0.32282 \cdot 0.85792 + 0.88881 \cdot 0.94646 = 0.96815,$$

de donde:

$$\theta = a \cos(0.96815) = 14.4999^\circ$$

Para el segundo caso, se tienen que:

$$\Psi = 0^\circ \text{ y } \Delta = 30^\circ$$

entonces:

$$\text{Sen}(\Delta) = 0.50000$$

$$\text{Cos}(\Delta) = 0.86603$$

Por lo tanto:

$$\text{Cos}(\theta) = \text{Sen}(Z)\text{Sen}(\Delta)\text{Cos}(A - \Psi) + \text{Cos}(Z)\text{Cos}(\Delta)$$

$$= 0.45828 \cdot 0.50000 \cdot 0.85792 + 0.88881 \cdot 0.86603 = 0.96815,$$

de donde:

$$\theta = a \cos(0.96815) = 14.4912^\circ$$

Anexo VIII: Datos e información a registrar de las Pruebas de Rendimiento Térmico

VII.1 Eficiencia térmica del colector solar

- a) Recolección de datos de prueba para calcular la eficiencia energética
- Obtener al menos 16 puntos

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
Flujo másico m (kg/s)					Hora de inicio de la prueba	
Calor específico Calor específico C_p					Hora de termino de la prueba	
Angulo de inclinación del colector (grados)					Duración (minutos)	
Angulo azimutal del colector (grados)						
Angulo incidente (grados)						
Medición	Hora (hora : minuto)	Temperatura del fluido (°C)		Porcentaje de radiación incidente difusa (%)	Viento	
		Entrada	Salida		Velocidad (m/s)	Dirección (grados desde el norte)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

- b) Obtenga la gráfica de la eficiencia contra $(t_{fi}-t_a)/G_t$
- Graficar los puntos obtenidos de la prueba del inciso anterior, en forma similar a la figura 4.
- c) La ecuación para la curva de eficiencia (η_g)
- Obtención de los términos a, b y c de la ecuación III.1
- d) Una gráfica de la Irradiancia G como una función continua de tiempo

NOMBRE (responsable de las pruebas)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

VII.2 Constante de tiempo del colector

- a) Recolección de datos de prueba para calcular la constante de tiempo del colector (minutos)
- Obtener al menos 16 puntos

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
Flujo másico m (kg/s)				Hora de inicio de la prueba
				Hora de termino de la prueba
				Duración (minutos)
Medición	Hora (hora : minuto)	Temperatura del fluido (°C)		Temperatura ambiente ° C
		Entrada	Salida	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
Describa la cubierta para reducir abruptamente la irradianza:				

- b) En una misma gráfica presentar:
- La temperatura de entrada del colector solar, $t_{f,i}$, contra el tiempo
 - La temperatura de salida del colector solar, $t_{f,e}$, contra el tiempo
 - La temperatura ambiente, t_a , contra el tiempo
 - Indique el tiempo de inicio y tiempo de terminación de la prueba
- c) Si la temperatura de entrada no puede ser igualada con la temperatura ambiente, proporcionar los siguientes datos para calcular la constante de tiempo:

$(A_a / A_g) F_R U_L$		$W / (m^2 \cdot ^\circ C)$
Calor específico del fluido, C_p		$J / (kg \cdot ^\circ C)$
Area absorbadora del colector, A_r		m^2

NOMBRE (responsable de las pruebas)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

VII.3 Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar.

- a) Recolección de datos de prueba para calcular la constante de tiempo del colector (minutos)
 - Obtener al menos 16 puntos

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
Flujo másico m (kg/s)				Hora de inicio de la prueba			
Calor específico Calor específico C_p				Hora de término de la prueba			
$(A_g/A_0)F_R U_R$ (W/m ² °C)				Duración (minutos)			
Método de prueba		1		2			
Medición	Hora (hora : minuto)	Temperatura del fluido (°C)		Temperatura ambiente del aire	Porcentaje de radiación incidente difusa (%)	Viento	
		Entrada	Salida			Velocidad (m/s)	Dirección (grados desde el norte)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

- b) Obtenga la gráfica
 - K_{gr} Vs. θ ó $[(1/\cos \theta) - 1]$

NOMBRE (responsable de las pruebas)	FIRMA	FECHA(día/mes/año)

Anexo IX. Informe de las Pruebas de Funcionalidad

Prueba	¿Aprobó la prueba?		En caso negativo, explique por qué
	SI	NO	
Inspección a la recepción del colector			
Presión estática previa a la prueba de exposición de treinta días			
Prueba de exposición a la radiación solar			
Prueba de choque térmico con rocío de agua			
Prueba de choque térmico con circulación de agua fría			
Presión estática posterior a la exposición de treinta días			
Desarmado e inspección final de los componentes del colector solar			

Continuación: Informe de las pruebas de funcionalidad

Existen discrepancias entre la información proporcionada por el fabricante y la observada y/o medida por el inspector en el momento de la recepción	SI	NO
En caso afirmativo especifique:		
Concepto:	Discrepancia:	

Anexar una copia de todos los formatos del Anexo 1: Registro de Datos de las Pruebas

¿De acuerdo a los criterios de prueba de la presente norma, el colector solar ha obtenido la certificación de funcionalidad?

SÍ	NO
----	----

Comentarios adicionales:

Nombre de la Institución	
Nombre del responsable	
Puesto	
Fecha	
Firma del responsable	