

The logo for Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) is displayed in white text on a green square background. It consists of the letters 'UACM' in a large, bold, sans-serif font.

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE ENERGÍA

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA LA
EVALUACIÓN DE COLECTORES SOLARES,
DESTINADOS AL CALENTAMIENTO DE AGUA CON
LA NMX-ES-001-NORMEX-2005 Y DTESTV**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA
(ORIENTACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA)**

PRESENTA:

JOSÉ FRANCISCO ROMERO DÍAZ

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Álvaro E. Lentz Herrera,

UACM del Valle

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Integración del jurado:

Presidente:	Dr. José Alberto Valdés Palacios, UACM
Secretario:	Dr. Álvaro E. Lentz Herrera, UACM
Vocal:	Dr. Carlos Chávez Baeza, UACM
1 ^{er} . Suplente:	Dr. Iván Galileo Martínez Cienfuegos, UAEM

Lugar donde se realizó el posgrado:

Plantel Del Valle, UACM.

Director de tesis:

Dr. Álvaro E. Lentz Herrera
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haber sido favorecido con la beca al proyecto 263488, en el fondo Sectorial SENER-CONACyT de Sustentabilidad Energética.

Dedicatorias

Agradezco a Dios por todo lo que me ha brindado y por permitirme llegar a este punto, a mi padre Jesús, por su gran ejemplo de padre, esposo, abuelo, por ser un gran amigo en los momentos difíciles y por tener las palabras adecuadas que me motivan para seguir adelante y conseguir mis objetivos. Aun cuando no has dicho nada, tus actos han hablado por ti para mostrarme que lo correcto siempre es lo mejor.

A mi madre Teresita, por su paciencia y por llenar de amor mi vida, por apoyarme en todo lo que he emprendido y exigirme que lo que he comenzado debo terminarlo. Tu ejemplo de mujer ha hecho de mí un hombre responsable y comprometido, gracias por estar ahí siempre.

A mi hermana Hatziri y hermano Uriel, por su cariño y apoyo en todos los aspectos de mi vida.

A mi amada esposa Jazmín, por ser la mujer ideal para mí, por darme mi mayor felicidad mis hijas Allison, Ximenay a mi hijo Yusef, por amarme, comprenderme y esperar pacientemente. Este logro lo hemos conseguido juntos.

Diseño de un banco de prueba para la evaluación de colectores solares, destinados al calentamiento de agua con la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y DTESTV

Contenido

Resumen.....	10
Justificación	10
Objetivos.....	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	11
Metodología	12
Introducción	14
Capítulo I. Antecedentes	20
1.1. Experiencias internacionales	21
1.2. La energía solar	23
1.2.1. Beneficios por el uso de la Energía Solar	23
1.3. Sistemas de calentamiento solar.....	24
1.3.1. Sistemas de baja temperatura (hasta aprox. 100 °C).....	25
1.3.2. Sistemas de media temperatura (de los 100 hasta los 300 °C aprox.).....	25
1.3.3. Sistemas de alta temperatura (mayores de 300 °C aprox.).....	25
1.4. Calentadores solares.....	26
1.4.1. Tipos de colectores solares no concentradores	27
1.4.2. Colectores solares de tubos de vacío	28
1.4.3. Colectores solares de placa plana	29
1.4.4. Comparativa.....	30
1.5. Calentadores solares de agua de uso domésticos.	31
1.6. Normas nacionales e internacionales para captadores solares y sistemas solares.....	33
1.6.1. Normas mexicanas de calentamiento solar de agua.....	34
1.6.2. Normas internacionales para equipos calentamiento solar de agua.....	35
1.7. Legislación en México	36
1.8. Estándares de Competencia Laboral	37
1.9. Laboratorios de certificación existentes para calentadores solares	38

1.9.1.	Instituto de Energía Renovable (IER-UNAM)	38
1.9.2.	Grupo Industrial Saltillo	38
1.9.3.	CONCYTEG -Universidad de Guanajuato.....	38
1.9.4.	Laboratorio Mexicano de Pruebas Solares (Mexolab).....	39
1.9.5.	Instituto de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables y Eficiencia Energética (IIDEREE).....	39
Capítulo II. Norma mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda (DTESTV)		40
2.1.	Norma Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005. Energía Solar-Rendimiento Térmico y Funcionalidad de Colectores Solares para Calentamiento de Agua-Métodos de Prueba y Etiquetado: Métodos de ensayo.....	40
2.1.1.	Manual de instrucciones para la realización de cada una de las pruebas contenidas en la Norma Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005	40
2.1.2.	Tiempos estimados para la realización de los métodos de ensayo de la Norma Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005	52
2.2.	Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV). Métodos de ensayo.....	53
2.2.1.	Manual de instrucciones para la realización de cada una de las pruebas contenidas el Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV)	53
2.2.2.	Tiempos estimados para la realización de los métodos de ensayo del Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV).....	66
Capítulo III. Configuración del banco de pruebas		67
3.1.	Sistema hidráulico	67
3.2.	Alternativas para la configuración del banco de pruebas NMX-ES-001-NORMEX-2005 y DTESTV.....	68
3.3.	Selección de Instrumentos y componentes.....	70
Capítulo IV. Diseño de elementos del banco de pruebas y selección de materiales		82
4.1.	Módulo para ensayo de impacto.....	82
4.1.1.	Primera opción	82
4.1.2.	Segunda opción.....	83
4.2.	Especificaciones del banco de pruebas	85
4.2.1.	Distribución del banco de pruebas en el diseño e implementación laboratorio de pruebas y certificación para colectores destinados para el calentamiento de agua (UACM).88	
4.2.2.	Áreas y distribución del laboratorio.....	91
4.2.3.	Elaboración de sombras para el banco de pruebas.....	92

4.3.	Diseño del módulo para ensayos de lluvia y choques térmicos	95
4.3.1.	Recomendación para la instalación.....	95
4.3.2.	Condiciones Generales.....	96
4.3.3.	Aspersores para el banco	96
4.4.	Diseño del módulo para ensayo de impacto.....	98
4.4.1.	Condiciones Generales.....	98
4.4.2.	Recomendación para la prueba de resistencia a impacto.....	99
4.4.3.	Banco de ensayo de impacto.....	101
4.4.4.	Sistema de sujeción y liberación del proyectil.....	102
4.4.5.	Banco de pruebas de impacto	103
Capítulo V.	Norma ISO/IEC 17025(2017)	105
5.1.	Preparación para la acreditación y elementos de un manual de calidad para laboratorios de calibración y ensayo.	105
5.2.	Proceso y Requisitos para Acreditar un Laboratorio	105
5.3.	Características de la Norma ISO/IEC 17025 (2017).....	106
5.4.	Elaboración del manual de gestión ISO/IEC 17025 (2017).....	107
5.4.1.	Requisitos generales.....	108
5.4.2.	Requisitos estructurales	108
5.4.3.	Requisitos relativos a los recursos	109
5.4.4.	Requisitos del proceso	109
5.4.5.	Requisitos del sistema de gestión	110
Conclusiones y recomendaciones		111
a)	Conclusiones	111
b)	Recomendaciones	112
Referencias bibliográficas.....		115

Listas de Figuras

Figura 1. Metodología Empleada para el Diseño del Banco de Pruebas	13
Figura 2. Evolución del área de colectores solares instalados desde 2005 hasta 2015.....	21
Figura 3. Reacción de Fusión Nuclear en el Sol.....	23
Figura 4. Instalación típica de un sistema solar termosifónico para vivienda e instalación típica de un sistema solar de convección forzada para el sector comercial.....	28
Figura 5. Esquema de un tubo al vacío utilizado en colectores solares.....	29
Figura 6. Elementos que componen un colector solar de placa plana	29
Figura 7. Colectores planos en el mercado, comparados con marca y largo	31
Figura 8. Colectores de tubos evacuados en el mercado, comparados con marca y largo	32
Figura 9. Colectores de tubos evacuados en el mercado, comparados con marca y ancho	32
Figura 10. Colectores planos en el mercado, comparados con marca y ancho.....	33
Figura 11. Inspección a la Recepción del Colector.....	41
Figura 12. Manómetro en el Tubo de Salida del Colector Solar	41
Figura 13. Válvulas de entrada y salida	42
Figura 14. Llenado del colector solar de agua a temperatura ambiente.....	42
Figura 15. Drenarlo por gravedad durante un periodo de 15 minutos	44
Figura 16. Colector solar en el banco de pruebas	44
Figura 17. Exposición a la radiación.....	45
Figura 18. Rociado de agua sobre el colector solar	46
Figura 19. Drenado de agua del colector solar	47
Figura 20. Variación de ± 2.5 grados.....	47
Figura 21. Medición de temperaturas de entrada y salida	49
Figura 22. Resultados de las evaluaciones experimentales de temperatura.....	49
Figura 23. Valores de radiación incidente	50
Figura 24. Valores de temperatura ambiente dirección del viento	50
Figura 25. Ajuste de ángulo de incidencia en el colector solar	51
Figura 26. Desarmado para realizar una inspección visual de sus componentes.....	52
Figura 27. Exposición a la radiación.....	54
Figura 28. Exposición del calentador a resistencia a alta temperatura	54
Figura 29. Rociado de agua a temperatura ambiente	55
Figura 30. Choque térmico interno	56
Figura 31. Penetración de lluvia	57
Figura 32. Carga uniformemente distribuida a colector placa plana	58
Figura 33. Resistencia al sobre calentamiento	59
Figura 34. Resistencia a la presión hidrostática.....	60
Figura 35. Resistencia a las heladas.....	61
Figura 36. Esquema de instalación para medir consumo de gas de un sistema, con colector y calentador de gas.....	63
Figura 37. Diseño del sistema Hidráulico de las normas.....	67
Figura 38. Esquema banco de pruebas.....	68

Figura 39. Esquema banco de pruebas.....	69
Figura 40. Piranómetro Kipp & Zonen.....	72
Figura 41. Anemómetro HD2003.....	73
Figura 42. Sensor de flujo de pulso Multi-Jet.....	74
Figura 43. Sensor de temperatura tipo cable MBT 153.....	75
Figura 44. Manómetro tipo Bourdon.....	76
Figura 45. Datalogger HD32M.T.....	77
Figura 46. Bomba Hidráulica Periferica.....	78
Figura 47. Filtro estándar de agua.....	79
Figura 48. Tanque de 1100 litros.....	80
Figura 49. Tanque de 5000 litros.....	80
Figura 50. Calentador ECO 11.....	81
Figura 51. Primer diseño banco de ensayo para realización de pruebas.....	83
Figura 52. Diseño del banco de pruebas.....	84
Figura 53. Diseño de la base o bastidor.....	85
Figura 54. Diseño de la base rectangular.....	86
Figura 55. Diseño de la bisagra o chumacera.....	86
Figura 56. Diseño de patas ajustable.....	87
Figura 57. Diseño de cruz y soportes.....	87
Figura 58. Diseño de mesa de instrumentación.....	88
Figura 59. Fachada del laboratorio.....	89
Figura 60. Plano superior del laboratorio.....	90
Figura 61. Plano de la planta inferior del laboratorio.....	90
Figura 62. Análisis de sombras 21 de junio mañana.....	92
Figura 64. Análisis de sombras 21 de junio tarde.....	92
Figura 64. Análisis de sombras 21 de marzo mañana.....	93
Figura 65. Análisis de sombras 21 de marzo tarde.....	93
Figura 66. Análisis de sombras 21 de diciembre mañana.....	94
Figura 67. Análisis de sombras 21 de diciembre tarde.....	94
Figura 68. Aspersor para módulo de penetración de lluvia.....	96
Figura 69. Boquilla del aspersor.....	97
Figura 70. Aspersores para pruebas de penetración de lluvia.....	97
Figura 71. Esquema de posición vertical del colector solar de ensayo de.....	99
Figura 72. Esquema de posición horizontal del colector solar de ensayo de.....	99
Figura 73. Esquema del colector solar de ensayo a la resistencia al Impacto usando bolas de acero.....	100
Figura 74. Sistemas del banco de impacto.....	102
Figura 75. Sujeción y liberación de los balines.....	103
Figura 76. Banco de pruebas de impacto (colector plano).....	104
Figura 77. Banco de pruebas de impacto (tubos evacuados).....	104

Lista de Tablas

Tabla 1. Distribución del laboratorio de pruebas UACM.....	18
Tabla 2. Subdivisión de tipos de colectores según temperatura	26
Tabla 3. Subdivisión de tipos de colectores según diferentes criterios.....	27
Tabla 4. Comparativa de Calentadores Solares	30
Tabla 5. Pruebas de la NMX-ES-001-NORMEX-2005	52
Tabla 6. Pruebas de DTESTV	66
Tabla 7. Instrumentos de medición, materiales y equipos NMX-ES-001-NORMEX-2005	70
Tabla 8. Instrumentos de medición, materiales y equipos DTESTV	71
Tabla 9. Especificaciones técnicas del piranómetro Kipp & Zonen	73
Tabla 10. Especificaciones técnicas del anemómetro HD2003	73
Tabla 11. Especificaciones técnicas del sensor de flujo Multi-Jet.....	74
Tabla 12. Especificaciones técnicas del sensor de temperatura MBT 153	75
Tabla 13. Especificaciones técnicas del manómetro PGT – 30L – 15.....	76
Tabla 14. Componentes del Datalogger HD32M.T	77
Tabla 15. Especificaciones técnicas de la bomba PKm60.....	79
Tabla 16. Filtro estándar de agua	79
Tabla 17. Especificaciones del calentador	81
Tabla 18. Ventajas y desventajas del primer diseño del banco de pruebas	83
Tabla 19. Ventajas y desventajas del segundo diseño del banco de pruebas.....	84
Tabla 20. Distribución de áreas del laboratorio de pruebas UACM.....	91
Tabla 21. Especificaciones de equipo para la realización de las pruebas de penetración.	95
Tabla 22. Proceso para obtener la Acreditación ISO/IEC 17025(2017).....	106
Tabla 23. Contenido de la norma ISO/IEC 17025:2017	107

Resumen

El presente trabajo tiene por objeto diseñar un banco de pruebas, ya era necesario un diseño propio para evaluar colectores solares de tubos evacuados y placa plana conforme a la normatividad existente, ésta menciona los equipos a emplear, pero no un diseño específico, así como la elaboración de su respectivo manual para el desarrollo de las pruebas de la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y del Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV). El diseño del banco de pruebas deberá ser capaz de realizar los métodos de prueba que se describen en la normatividad antes mencionada, por lo que se inicia con la revisión de las normas mexicanas vigentes que deben cumplir los Sistemas de Calentamiento Solar de Agua (SCSA), con la finalidad de obtener los requerimientos y especificaciones que permitan desarrollar el manual para cada una de las pruebas y con ello diseñar finalmente el banco de pruebas.

Durante la revisión de las normas, se analizaron y clasificaron las características de los métodos de ensayo, creando bloques o módulos con función específica, identificando las características físicas que definen el método, y posteriormente, estas condiciones fueron trasladadas a la configuración del banco, de tal forma que el banco de pruebas es armado mediante un sistema de bloques según la condición física que se deba desarrollar para cada prueba.

Justificación

Este trabajo está basado en el desarrollo de un proyecto de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), con el apoyo del CONACyT, para la instalación de un laboratorio de pruebas y certificación para colectores solares destinados al calentamiento de agua, que consistirá en el diseño de las instalaciones, de los bancos de prueba, basados en los métodos de ensayos.

El laboratorio contará con dos bancos de pruebas para poder evaluar colectores solares para las normas:

- 1) NMX-ES-001-NORMEX 2005
- 2) NMX-ES-004-NORMEX 2010
- 3) Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV)

4) ISO 9806-2013

En este sentido uno de los bancos de pruebas evaluará la NMX-ES-001-NORMEX 2005 y el Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV) y el otro banco los métodos de ensayos para la NMX-ES-004-NORMEX-2010 e ISO 9806-2013 serán evaluados en un segundo banco.

El diseño de los bancos de pruebas para colectores solares destinados al calentamiento de agua, conforme a la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 Y DTESTV, se desarrolló para poder realizar los métodos de prueba de dichas normas y con ello garantizar la funcionalidad y durabilidad de los colectores solares; estas pruebas se llevan a cabo dentro del proceso de certificación de equipos para dar mayor certeza a los consumidores de que los equipos a adquirir son seguros y de calidad.

El diseño del laboratorio y los bancos de pruebas se realizarán considerando dar cumplimiento a la norma 17025 para laboratorios de calibración y ensayo, la cual contiene los requisitos que permiten a los laboratorios demostrar que operan de forma competente y que tienen la capacidad de generar resultados válidos y con ello obtener la certificación del mismo.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar un banco de pruebas para colectores solares destinados al calentamiento de agua conforme la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el DTESTV, para el laboratorio de calentadores solares de la UACM.

Objetivos Específicos

- Evaluación los diferentes tipos de colectores solares destinados al calentamiento de agua, existentes en el mercado mexicano.

- Diseñar un banco de pruebas y la configuración de los instrumentos para realizar los métodos de ensayo para cada una de las pruebas contenidas en la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y DTESTV.
- Proveer los elementos para poder desarrollar los manuales de instrucciones para la realización de cada una de las pruebas contenidas en la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y en el DTESTV.
- Realizar la comparación entre los métodos de prueba de la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y los métodos del DTESTV.
- Elaboración de los documentos preliminares para el trámite de acreditación del laboratorio de certificación conforme a la Norma 17025.

Metodología

La metodología empleada en el proceso de diseño del banco de pruebas, se compone básicamente por tres etapas principales:

- Búsqueda de normativas tanto nacionales como internacionales, relevantes para el desarrollo del banco de pruebas.
- Elaboración de propuestas y determinación de alternativas de solución y,
- Desarrollo la ingeniería de detalle del banco de pruebas, con su respectivo análisis de costo para su implementación.

A continuación, en la Figura 1 se muestra un diagrama esquemático de la metodología empleada para el diseño del banco de pruebas.

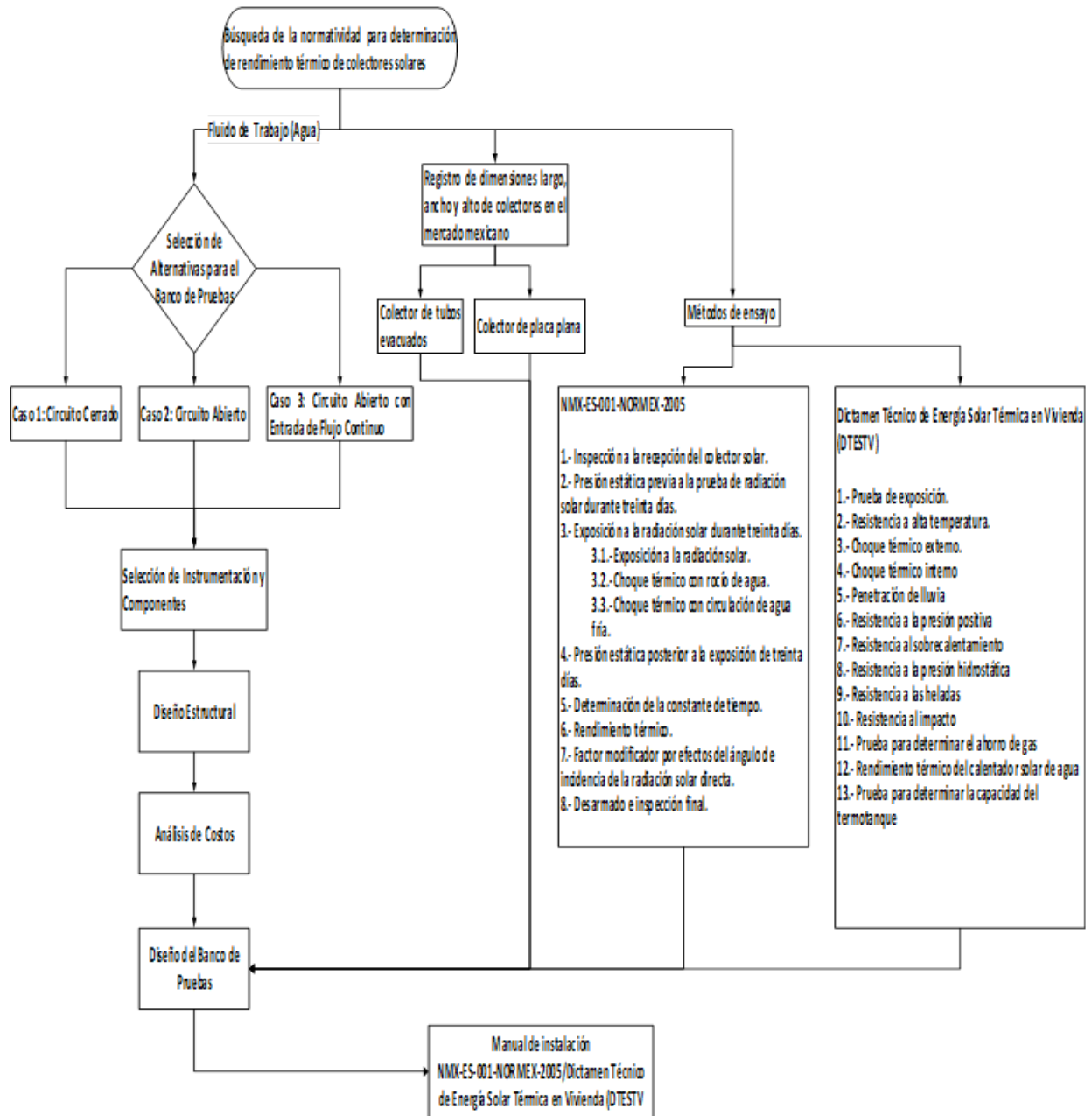


Figura 1. Metodología Empleada para el Diseño del Banco de Pruebas
 Nota: Las Alternativas de Solución para el Banco de Pruebas se Fundamentan en la Norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 y DTESTV.

Introducción

Debido a los altos niveles de radiación sobre todo el territorio mexicano y a un gran número de necesidades energéticas de nuestra sociedad, el empleo de calentadores solares de agua para uso doméstico (entre otras múltiples aplicaciones), es enormemente beneficioso desde el punto de vista termodinámico, además del económico, ambiental y social (Lentz y Rincón,2016).

Se han hecho grandes esfuerzos para impulsar el aprovechamiento de la energía solar, sin embargo, aún existe una carencia de información al respecto, y como consecuencia la gran mayoría de la población en México no cuenta con estos equipos en sus hogares.

Actualmente el gobierno federal y algunos gobiernos estatales están incentivando en los hogares la introducción de Sistemas de Calentamiento Solar de Agua (SCSA), estos apoyos impulsan un crecimiento en la fabricación e importación de dichos equipos, lo que inherentemente requerirá certificar los equipos que quieran entrar al mercado mexicano.

En el año 2007, la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE, actualmente CONUEE), trabajó con la colaboración de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) en el Programa para la promoción de calentadores solares de agua en México (PROCALSOL). Este programa consideraba dentro de sus líneas de acción promover y facilitar el desarrollo de normas e instrumentos regulatorios para sistemas e instalaciones solares e impulsar los programas de capacitación y certificación de técnicos, y tomando como base para su elaboración las normas internacionales ISO y la experiencia de los fabricantes nacionales de CSA, la CONUEE elaboró el DIT (Dictamen de Idoneidad Técnica) que posteriormente fue mejorado y convertido en el Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV).

El DTESTV está formado por una serie de requisitos aplicables a los sistemas de calentamiento de agua, cuya fuente de energía sea la radiación solar y como respaldo un calentador de agua, cuya fuente de energía sea GLP o gas natural, la energía eléctrica o cualquier otra fuente de energía.

Derivado de lo anterior, actualmente existen en México 5 laboratorios de pruebas para colectores solares, entre los que se encuentran: Laboratorio del Instituto de Energías Renovables (IER, UNAM); Laboratorio de la Universidad de Guanajuato; Laboratorio de Grupo Industrial Saltillo GIS; Laboratorio Mexicano de Pruebas Solares (Mexolab); y, Laboratorio del Instituto de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables y Eficiencia Energética (IIDEREE).

La Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) desea sumarse a este grupo de instituciones con el propósito de fortalecer la Infraestructura para el aseguramiento de calidad y generando un impacto positivo en el fortalecimiento de laboratorios de ingeniería de la UACM, por ello se desarrolla un proyecto para la instalación de un laboratorio de certificación de colectores solares de agua en el Plantel San Lorenzo Tezonco.

El trabajo que actualmente desarrolla la Universidad Autónoma de la Ciudad de México en colaboración con la Universidad Autónoma de Campeche, es la ejecución de un proyecto que inicio en el 2014.

Dentro de sus objetivos es el desarrollo de un banco de pruebas y por ello ha iniciado el diseño que permita evaluar los SCSA conforme a la normatividad vigente en México.

Los elementos principales a diseñar en el laboratorio de pruebas de la UACM son: el edificio de certificación (Coordinación de obras y Conservación UACM) y los bancos de pruebas que permitan desarrollar los métodos de prueba que se describen en la normatividad Mexicana, es por esta razón, que en este trabajo, se analizan las normas nacionales, en particular la norma mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el DTESTV, para la determinación e identificación de aspectos claves, que puedan ser aplicados a un manual de instrucciones para la realización de cada una de las pruebas contenidas en la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el DTESTV, asimismo la estimación de los tiempos para la ejecución de los métodos de ensayo, con el fin de establecer claramente los procedimientos que faciliten y proporcionen la orientación precisa, permitiendo un ahorro en tiempos, esfuerzos y costos.

Del análisis del Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV), surge la configuración del banco de pruebas, que permite desarrollar los métodos de prueba que se describen en la normatividad mexicana, en la cual se tienen por aceptados los equipos que se deben instalar pero no se tiene un diseño específico y distribución, por tal motivo se plantea la configuración del sistema hidráulico, identificando los componentes del sistema, que incluye la toma de suministro de agua, tubería, tanque principal, tanque de almacenamiento, bomba y filtro, seleccionando el sistema con circuito abierto como el más indicado debido a que para su instalación solo se deben realizar operaciones de ensamble.

Por otro lado los instrumentos y componentes fueron seleccionados basándose en los requerimientos mínimos que deben cumplir los sensores (tiempo de respuesta, tipo e incertidumbre requerida), detallando las características de cada tipo de instrumento y componente, considerando la facilidad de adquisición, es decir si los instrumentos se encontraban disponibles en el mercado local y su costo.

Para la implementación del laboratorio de pruebas, corresponde al equipo que se emplea para preparar las condiciones de operación del método de prueba y medir el desempeño del calentador solar, se encuentran:

- Sensores de presión
- Sensores de temperatura
- Medidores de flujo
- Equipos de bombeo
- Equipo de calentamiento de agua y transferencia de calor.

Corresponde al equipo meteorológico que mide las condiciones de la localidad se encuentran:

- Dispositivos de medición solar marca Kipp and Zonen
- Dispositivos de medición de viento y precipitación marca Vaisala.

Se analizaron cada uno de los ensayos estipulados en la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el DTESTV, con la finalidad de obtener los requisitos técnicos que el banco debe cumplir para poder evaluar colectores solares, pero estos requisitos no incluyen condiciones como peso, tamaño y

ergonomía, para poder determinar estas especificaciones faltantes y su importancia en el diseño es necesario tomar en cuenta las necesidades del usuario en especificaciones técnicas como son: soportar un peso de 120 kg(Resistencia), Facilidad de inclinación (Graduable), Factibilidad de uso y Transporte (Ergonómico), Soportar condiciones ambientales (Durable), Evaluar colectores de diferentes dimensiones (Adaptable), Económico (Costo) y Multifuncional (Modular).

Para el diseño del banco de pruebas, uno de los requisitos que se manejó con importancia, fue desarrollar un sistema multi-propósito, quiere decir, que un banco de pruebas no se diseñó para una norma en específica, si no que este podrá realizar los métodos de prueba de distintas normas, NMX-ES-001-NORMEX 2005, NMX-ES-004-NORMEX 2010, ISO 9806-2013 y Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV).

Para cumplir con este requerimiento, durante la etapa de revisión de las normas, se realizó una clasificación de los métodos de prueba, identificando las características físicas que definen el método, después, estas condiciones fueron trasladadas a la configuración del banco de tal forma que el banco de pruebas será armado según el método de prueba que se va a desarrollar.

Una vez conocidas las funciones que debe cumplir el banco de pruebas, se realizaron dos opciones, eligiendo la segunda opción, ya que cumple con los requisitos establecidos y resulta más conveniente y lo suficientemente ergonómica para minimizar el número de operarios, con base en la opción dos, se realizó el diseño de los elementos del banco de pruebas dividido en los siguientes: base, cruz, soportes y sistema de inclinación.

Para la implementación del Laboratorio de Pruebas de calentadores solares de agua, se ha gestionado mediante el departamento de obras de la UACM, la construcción de un inmueble orientado al sur con superficie de 325.5m², el cual se distribuyen en dos niveles de acuerdo a la siguiente proporción.

Tabla 1. Distribución del laboratorio de pruebas UACM

	Largo	Ancho	Total
Planta baja	20.00	12.45	249.00 m ²
Planta primer nivel	6.15	12.45	76.57 m ²
			325.57 m ²

Fuente: Coordinación de obras y Conservación UACM

En su interior el inmueble no sólo contará con instalaciones destinadas a pruebas físicas, también será equipado con espacios acondicionados donde se brindara capacitación a estudiantes y público en general.

Por su ubicación dentro de las instalaciones de la Universidad y lo suficientemente alejado de los edificios académicos, este laboratorio contara con las condiciones apropiadas de viento y exposición solar que favorecerán el desarrollo de las pruebas en exterior.

El inmueble proyectado para implementar el laboratorio de pruebas a calentadores solares de la UACM, inicio su construcción en el primer semestre del 2018 y se espera que la obra sea entregada para mediados del 2020. Hasta esta fecha, las pruebas y puesta en operación de los bancos de prueba se realizarán en edificios y otros laboratorios dentro de la universidad.

Consecutivamente se determinó la distribución del banco de pruebas en el diseño del laboratorio de pruebas de la UACM, ya que es imprescindible conocer la geometría y la posición de los elementos. Estos elementos son estáticos, es decir, mantienen la misma posición a lo largo del año, definir también la localización del sol, ya que será distinta para cada estación del año.

Por lo cual se tomó en cuenta, la proyección de sombras, se realizaron los cálculos y mediante un método computacional, en el cual se observa el efecto sombra que producen todos los elementos sobre cualquier sección del edificio, así como la distribución detallada a lo largo ancho en el total de áreas construidas del laboratorio, los cuales fueron proporcionadas por la Coordinación de obras y Conservación, UACM.

Seguidamente para el diseño del módulo para ensayos de lluvia y choques térmicos, el cual es aplicable únicamente a los colectores con cristal, este ensayo se realiza sobre el banco de pruebas, el cual permite montar el colector.

Posteriormente se describe el diseño de un banco de pruebas de impacto y se presentan los elementos de diseño más importantes del mismo, las tecnologías a ser probadas son los colectores planos y de tubos evacuados con el fin de obtener configuraciones y seleccionar materiales que permitan un óptimo desempeño según la normatividad NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el DTESTV, en la que se presentan las consideraciones tomadas en cuenta para el métodos de ensayo.

Este ensayo está destinado a evaluar la capacidad de resistencia del colector a impactos provocados por granizo, para el cual se realizó el diseño del banco de impacto donde se realiza el lanzamiento las bolas de acero, perpendicular al colector, asegurando el colector en la estructura de soporte totalmente horizontal sobre el banco de pruebas.

De igual forma se abordan metodologías de cálculo ajustadas a normas que permitan la valoración integral de la configuración y finalmente se plantea la ingeniería conceptual y de detalle para que en una fase posterior se pueda llegar a su implementación.

Con la realización de este laboratorio de pruebas se fortalecerá la infraestructura para aseguramiento de calidad en equipos de energía renovable y eficiencia energética, ya que existen diversas barreras que han limitado el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua, entre las cuales se encuentra la desconfianza de los posibles usuarios y/o compradores en la tecnología.

Capítulo I. Antecedentes

En la actualidad, el consumo de energía en México ha venido incrementándose de forma constante, tal es así que en el 2016 el uso de energía primaria superó 18.5% a la producción de energía primaria, Este comportamiento se ve reflejado por el doble efecto del aumento de 7.2% del consumo y la caída de 6.6% de la producción respecto al año anterior (SENER, 2016).

Al pasar de 121.01 a 122.27 millones de habitantes. En los últimos diez años este indicador creció 0.6% en promedio cada año (SENER, 2016).

Los motivos para este incremento son varios, dentro de los que destacan los sectores: transporte, siendo el sector más intensivo en uso de energía, representando el 46.8%; el industrial, que consumió 31.7%; el residencial, comercial y público con 18.1%; y el agropecuario, con 3.4%) (SENER, 2016), además de una baja eficiencia energética en sistemas y equipos de consumo lo que deriva en la necesidad de utilizar todas las fuentes disponibles para cumplir la demanda.

En la última década, la participación de los distintos tipos de combustibles para satisfacer la demanda energética de los hogares en México ha permanecido prácticamente constante, con los combustibles fósiles tradicionales y la electricidad como principales fuentes; sin embargo, la energía solar ha registrado el crecimiento más dinámico dentro del sector: se estima que de la capacidad instalada en 2015, aproximadamente 30% se instaló en el marco del Programa Hipoteca Verde del Infonavit (GIZ-IER,2017).

La Figura 2 muestra la evolución del área total instalada hasta el 2015 como resultado de los diferentes programas mencionados (GIZ-IER, 2017).

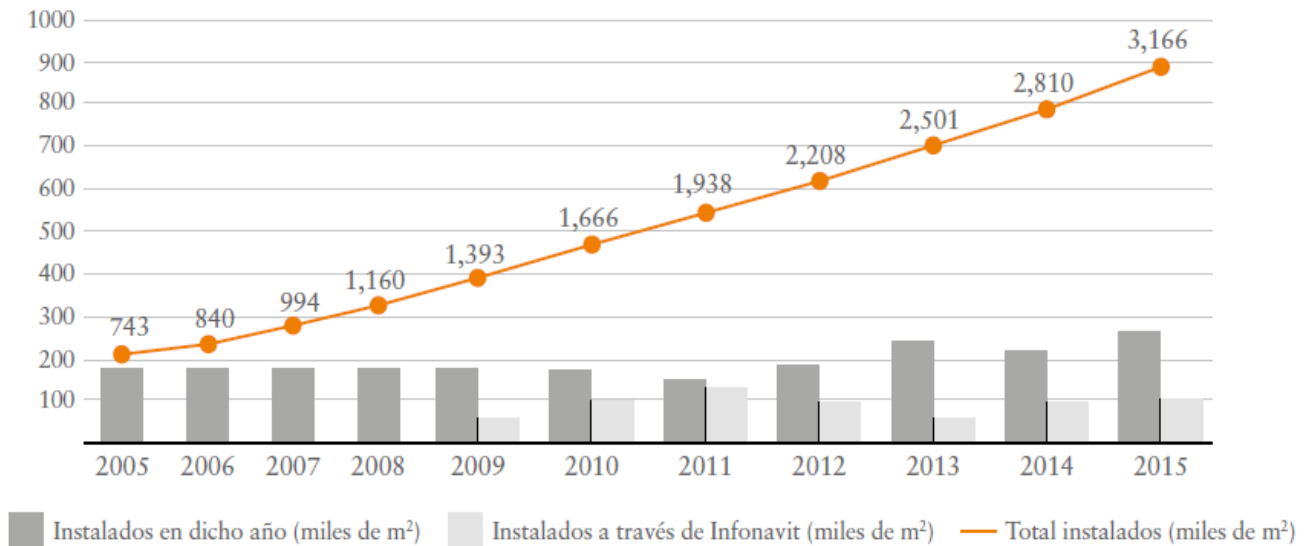


Figura 2. Evolución del área de colectores solares instalados desde 2005 hasta 2015

Fuente: Elaborado por GIZ a partir de información del Balance Nacional de Energía 2015 (SENER) y estadísticas de calentadores solares de agua instalados a través del programa Hipoteca Verde de Infonavit.

En cuanto a políticas públicas en México se ha fomentado el uso de calentadores solares de agua, las más importantes en el programa de promoción a uso de calentadores solares de la Comisión Nacional de Uso Eficiente de Energía (CONUEE), entre las que destacan el programa de hipoteca verde, donde los Calentadores Solares de Agua se integran en la vivienda y se pagan junto con la hipoteca con aumento en el crédito.

1.1. Experiencias internacionales

En Chile, se diseñó un banco de pruebas bajo las normas NCh2919/1 y NCh2919/3, estas normas fueron tomadas como referencia de la norma ISO 9806:2014, el diseño que se tuvo fue modular y se enfoca en el ensayo de rendimiento térmico el cual consistirá en una estructura móvil para el montaje del colector con toda una estructura hidráulica con la finalidad de ubicar al banco en la posición adecuada con respecto al sol para la realización de la prueba (Huidrobo,2008).

En Venezuela concretamente en la Universidad Simón Bolívar, como parte de un proyecto de titulación de posgrado, se realizó un banco de pruebas para la caracterización y optimización exegética de un colector solar de placa plana, la evaluación se realizó bajo la norma ANSI/ASHRAE 93-2003, que no abarca los métodos de evaluación de durabilidad de colectores

solares, donde garantiza únicamente el rendimiento térmico, se tuvo algunos problemas por fuga e incluso la rotura del absorbedor, pero fue un comienzo con la evaluación de colectores solares (González, 2012).

En México la norma (NMX-ES-001-NORMEX-2005) entro en vigencia el 14 de octubre de 2005, llamada Energía solar- rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- métodos de prueba y etiquetado, esta norma se complementa con la NMX-ES-04-NORMEX-2010, ya que la NMX-ES-001-NORMEX-2005, no evalúa el tanque de almacenamiento y resistencia al impacto pero es importante mencionar que la NMX-ES-001-NORMEX-2005 se tomó como referencia para la elaboración de la NMX-ES-04-NORMEX-2010, la cual entró en vigencia el 11 de junio de 2010, principalmente para uso doméstico hasta una capacidad máxima de 500 litros y hasta una temperatura máxima de 90°C como dominio de temperaturas de agua caliente. Aplica a los sistemas solares domésticos para calentamiento de agua.

Por otro lado, se cuenta con el Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV), desarrollado por la Comisión Nacional de Uso Eficiente de Energía (CONUEE), el cual es obligatorio desde julio de 2012 para los calentadores solares que participen dentro del programa Hipoteca Verde del Infonavit y para todos los programas de vivienda que instrumenten las dependencias de la Administración Pública Federal.

Para esto, la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), ha venido desarrollando un proyecto que permita evaluar los SCSA conforme a la normatividad vigente en México, en este contexto se debe priorizar la necesidad de contar con un banco de pruebas que permita evaluar adecuadamente la calidad los colectores solares garantizando las especificaciones que vienen dadas por el fabricante mediante ensayos normalizados.

1.2. La energía solar

El sol es la principal fuente de energía y sustento de todos los procesos que se llevan a cabo en nuestro planeta tierra. Su energía deriva de una serie de reacciones de fusión nuclear que se llevan a cabo en su interior, como se observa en la Figura 3.

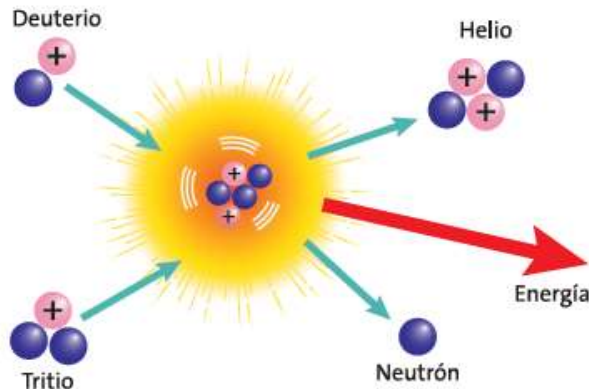


Figura 3. Reacción de Fusión Nuclear en el Sol
Fuente: Aplicaciones Térmicas de la Energía Solar

Se calcula que la cantidad de energía que llega al planeta durante una hora, desde el sol, es tan abundante que podría satisfacer las necesidades energéticas globales por un año, por lo que se le considera como una fuente de energía inagotable, renovable y limpia.

Existen diferentes formas de aprovechar la energía solar, una de ellas es a partir de la energía térmica; que consiste en la transformación de la radiación solar en calor, y que puede ser transmitido a través de diferentes tecnologías a un fluido de trabajo para elevar su temperatura y así, satisfacer los requerimientos de calor en distintos servicios, dando lugar a lo que conocemos como Calentamiento Solar de Agua.

1.2.1. Beneficios por el uso de la Energía Solar

Existe una gran variedad de beneficios derivados del uso de la energía solar:

- a) **Beneficios económicos**
 - Recurso gratuito

- Largo periodo de vida de los colectores (más de 15 años)
- Ahorros económicos significativos
- Tiempo de recuperación de la inversión relativamente corto
- Creación de empleo
- Precios accesibles de los CSA

b) Beneficios energéticos

- Recurso inagotable
- Reemplazo de otras fuentes de energía agotables y contaminantes como combustibles fósiles o nucleares
- Diversificación del portafolio energético del país

c) Beneficios ambientales

- no contamina el medio ambiente
- No genera emisiones de CO₂

d) Otros beneficios

- Fácil de instalar (también masivamente)
- Tecnología madura y confiable
- No hace ruido

1.3. Sistemas de calentamiento solar

La tecnología solar térmica es empleada para convertir la energía radiante del sol en calor; a este proceso se le llama calentamiento solar. El calor es transmitido a un fluido de trabajo (aire, agua, aceite, u otros) para elevar su temperatura y así satisfacer los requerimientos de calor en distintos servicios. Las temperaturas a las que puede llegar el fluido a calentar pueden ser hasta los 500 °C.

Se distingue entre tres niveles de temperatura dentro la tecnología de calentamiento solar, los cuales son:

1.3.1. Sistemas de baja temperatura (hasta aprox. 100 °C)

Los calentadores solares de baja temperatura generalmente son aquellos que están conformados por un colector y un arreglo de tubos. Los tubos pueden ser de plástico, cobre o vidrio. El objetivo de este tipo de calentador es el calentamiento de agua y se instalan principalmente en el sector residencial. Los usos más frecuentes del calentamiento de agua son:

- Uso sanitario (lava manos, regadera)
- Lavado de ropa
- Secado
- Calefacción
- Refrigeración
- Albercas

1.3.2. Sistemas de media temperatura (de los 100 hasta los 300 °C aprox.)

Las plantas térmicas de espejos parabólicos son utilizadas para calentar agua a mayor temperatura (hasta los 130 °C) o aceite térmico (este puede ser calentado más todavía). Están conformados por una superficie cóncava (parabólica) en donde los rayos solares son dirigidos a un tubo concéntrico en el cual se calienta el fluido. Cuando el fluido es agua, ésta es enviada directamente al servicio o proceso, y en el caso de utilizar aceite térmico, éste es enviado para intercambio térmico. Normalmente usan el vapor generado para la generación de electricidad.

1.3.3. Sistemas de alta temperatura (mayores de 300 °C aprox.)

Las plantas térmicas del tipo torre solar, son una tecnología que se basa en la reflexión simultánea desde un campo de espejos orientados hacia una torre, la cual aprovecha la radiación solar para generar vapor en lo alto de la torre. El objetivo de estos sistemas es la generación de energía eléctrica por medio de una turbina que utiliza vapor de agua.

1.4. Calentadores solares

Dentro los sistemas de baja temperatura se encuentran los Calentadores Solares de Agua (CSA), pues proporcionan una temperatura adecuada para cubrir los requerimientos de agua caliente particularmente en el sector residencial, pero también en otros sectores. A continuación, en la Tabla 2, se muestra una breve caracterización de los tipos de colectores solares según su temperatura.

Tabla 2. *Subdivisión de tipos de colectores según temperatura*

Baja Temperatura	Media Temperatura	Alta Temperatura
Colectores solares planos. Colectores solares de plástico. Colectores solares de tubos evacuados (<i>heat pipes</i>).	Calentador Solar Planta térmica solar con espejos parabólicos. Colector tipo Fresnel	Planta térmica de torre solar. Planta térmica solar con espejos parabólicos.

Fuente: CONUEE

Se considera a este tipo de sistemas como una clase especial de intercambiador de calor, que transfiere la energía térmica de radiación solar al fluido que es transportado por el colector. El fluido que es necesario calentar, suele ser aire, agua o aceite. Esta energía térmica obtenida por el proceso antes descrito se utiliza tanto para calentar agua de uso sanitario, como para ser transportada hacia un equipo de acondicionamiento de espacio o hacia un tanque de almacenamiento térmico (Kalogirou, 2004).

Los colectores solares se clasifican en dos grandes grupos, colectores solares concentradores y no concentradores; estos grupos pueden ser subdivididos en otros grupos de interés como en: colectores estacionarios o seguidores solares, por tipo de absorbedor, como también por los rangos de temperatura en los cuales operan dichos tipos de colectores (Kalogirou, 2004). En la Tabla 3 se muestra una breve caracterización de cada subgrupo de los tipos de colectores solares.

Tabla 3. Subdivisión de tipos de colectores según diferentes criterios

Movimiento	Tipo de colector	Tipo de Absorbedor	Razón de Concentración	Rango de Temperatura (°C)
Estacionario	Colector de Placa Plana	Plano	1	30 – 80
	Colector de tubos al vacío	Plano	1	50 – 200
	Colector parabólico compuesto	Tubular	1 – 5	60 – 240
Seguidor solar de un solo eje	Reflector Lineal Fresnel	Tubular	10 – 40	60 – 250
	Colector parabólico profundo	Tubular	15 – 45	60 – 300
	Colector cilíndrico profundo	Tubular	10 – 50	60 – 400
Seguidor solar de dos ejes	Disco parabólico reflector	Puntual	100 – 1000	100 – 500
	Colector Heliostato	Puntual	100 – 1500	150 – 2000

Nota: Razón de concentración se define como el área de apertura dividida para el área del receptor/absorbedor del colector. Fuente: Kalogirou, 2004

1.4.1. Tipos de colectores solares no concentradores

Este tipo de colectores son diseñados para aplicaciones que requieren de temperaturas moderadas, alcanzando temperaturas hasta 100 °C. Son mecánicamente más simples que colectores solares concentradores, por lo que requieren de menos mantenimiento. Las aplicaciones más comunes, en las cuales estos colectores son utilizados, son con fines domésticos, obtención de agua caliente sanitaria o calentamiento de piscinas (Duffie & Beckman, 2006).

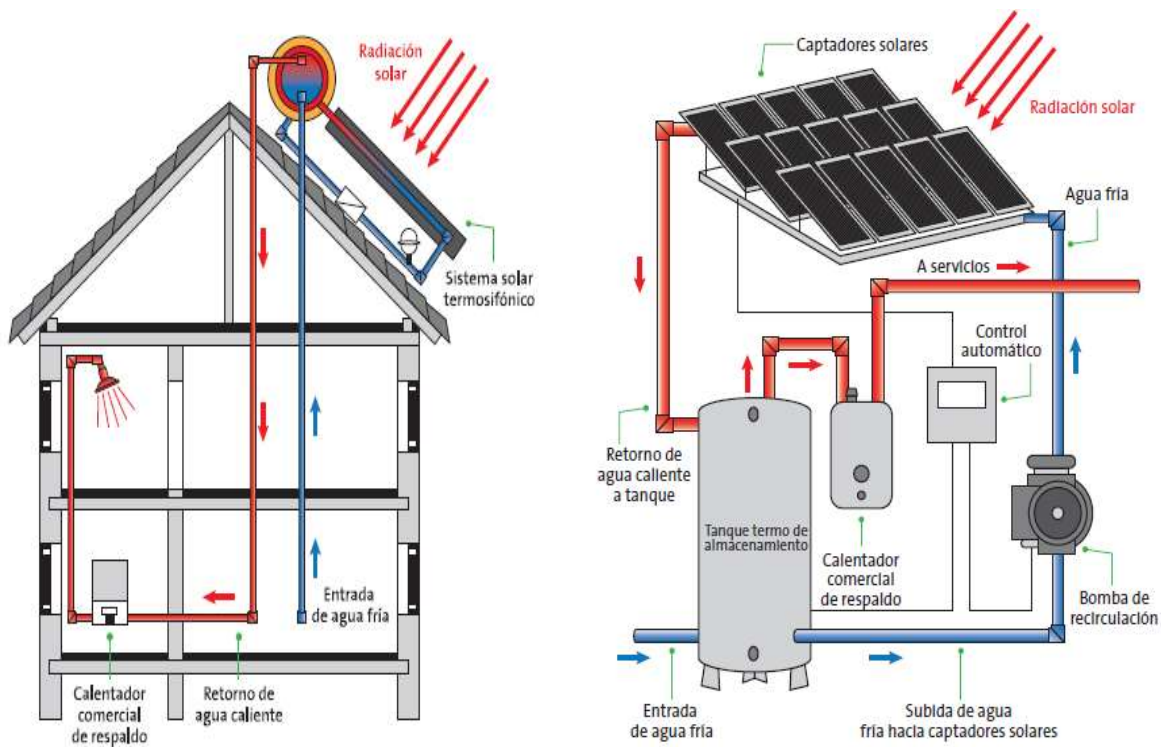


Figura 4. Instalación típica de un sistema solar termosifónico para vivienda e instalación típica de un sistema solar de convección forzada para el sector comercial. Fuente: Aplicaciones Térmicas de la Energía Solar

1.4.2. Colectores solares de tubos de vacío

Este tipo de colectores consisten principalmente en tubos huecos de vidrio, dentro de los cuales se encuentra una tubería que transporta el fluido caloportador. El interior de los tubos de vidrio se encuentra al vacío, de manera que, entre este tubo y la tubería interior, las pérdidas de calor por convección y conducción se minimizan (Kalogirou, 2004). A continuación, en la Figura 5 se muestra un ejemplo de un tubo al vacío de un colector solar.

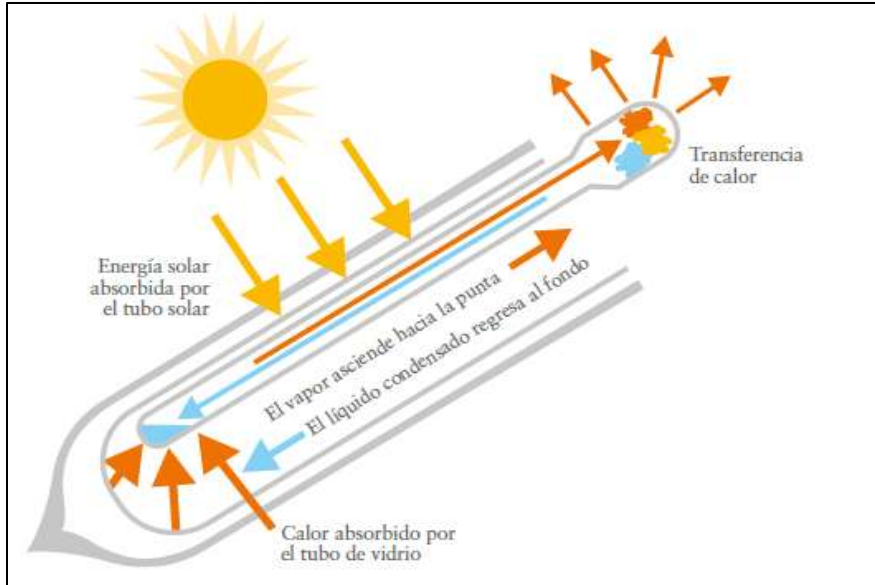


Figura 5. Esquema de un tubo al vacío utilizado en colectores solares. Fuente: International Energy Agency

1.4.3. Colectores solares de placa plana

La principal característica de este tipo de colectores es que poseen una placa plana de absorción que almacena la energía solar térmica y la transfiere a un fluido que tiene la capacidad de captarla. Los fluidos más utilizados para este tipo de colectores solares son agua y aire.

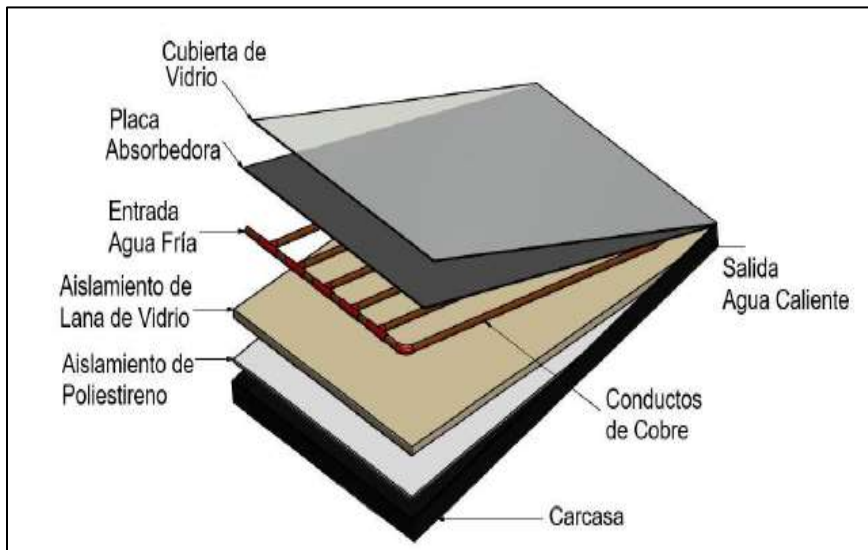


Figura 6. Elementos que componen un colector solar de placa plana. Fuente: ingemecanica.com

1.4.4. Comparativa

La Tabla 4 se muestra una comparativa de Calentadores Solares.

Tabla 4. Comparativa de Calentadores Solares

Calentadores de colector plano	Colectores de tubos de vacío directos
<p>Colector Plano con absorbedor de cobre que proveen agua caliente entre 55 y 70°C dependiendo del modelo.</p> <p>Fabricados en México y otros países, algunas marcas con certificado nacional e internacional.</p> 	<p>Colector con absorbedor de tubos al vacío directo que proveen agua caliente entre 50 y 85°C dependiendo del modelo.</p> 
<p>La tecnología más usada en Europa. Tanque termo con placa de acero de 2.2 mm, porcelanizado y ánodo de sacrificio. Resiste presión hasta de 10 kg/cm², puede conectarse a hidroneumático. Tinaco o presión de red municipal. 10 años de garantía y vida útil de 20 años o más. Resistencia a impactos severos (granizo, vandalismo, balonazos, pedradas, etc.). Puede dejarse al sol sin agua y no sufrir deterioro. Muy sencillo de armar. Sin riesgos de quemaduras o daños a las instalaciones.</p>	<p>Tecnología poco usada por su fragilidad y corta vida. No resiste presión, solo puede conectarse a tinaco. Ningún fabricante de China ofrece más de 5 años de garantía y 5-7 años de vida útil. No resiste impactos ni ofrecen garantía por ruptura de los tubos de vidrio. Alto mantenimiento y refacciones importadas. No puede dejarse expuesto al sol sin agua, causa anulación de la garantía. Muy complicado y riesgoso de armar Alto riesgo de quemaduras serias y daño en instalaciones.</p>

Fuente: Fabricantes Mexicanos en las Energías Renovables A.C.

1.5. Calentadores solares de agua de uso domésticos.

Principalmente existen dos tipos de sistemas para el calentamiento de agua de uso sanitario, los cuales se diferencian en la forma de circulación del agua: Sistema de circulación natural y Sistema de circulación forzada.

El colector de circulación natural, fue seleccionado para realizar una evaluación de las dimensiones promedio en el mercado mexicano, es decir, aquellos en los que la circulación del agua entre colector y tanque, es producida por el principio de termosifón, presentado cuando, una masa de fluido es calentada, a través de la base de un recipiente; es decir, el agua al entrar al colector por la parte inferior es calentada, lo cual disminuye su densidad debido al incremento de la temperatura, entonces, la columna de agua fría en la tubería de retorno al colector y la columna de agua caliente dentro del mismo, se desequilibran haciendo que por gravedad la primera baje y empuje el agua caliente hacia el tanque.

En la Figura 7, se observan los diferentes colectores planos en el mercado, mostrando su marca y largo con los que se puede obtener un promedio y con ello proponer las dimensiones del banco de pruebas. Para lo cual se concluye que, realizando el promedio de 42 colectores planos, arroja que en el mercado tienen una dimensión promedio de 1.80 metros de largo.

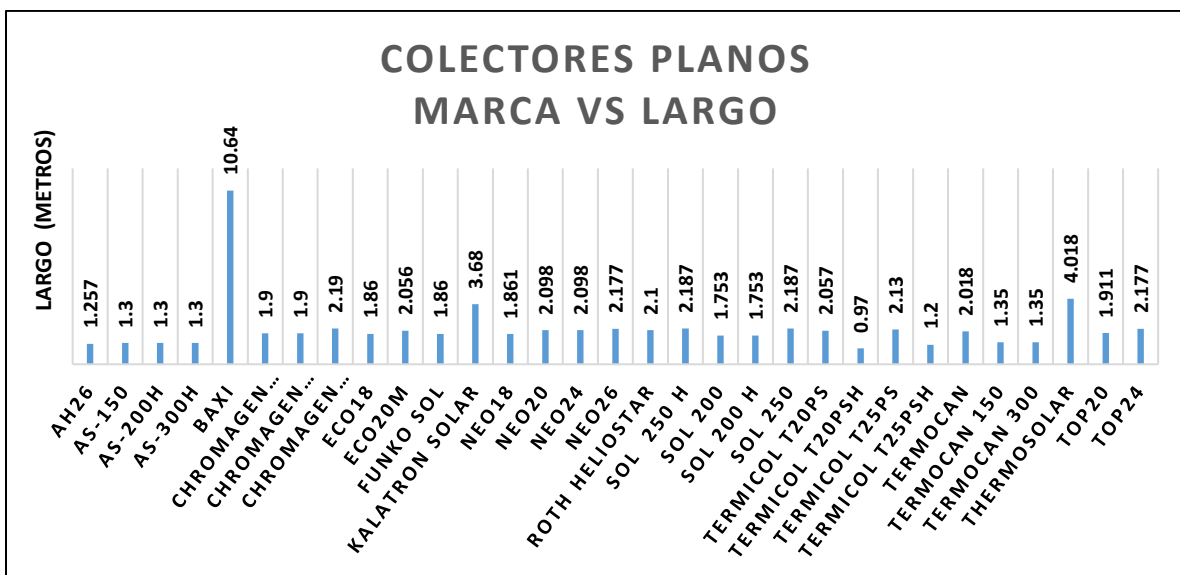


Figura 7. Colectores planos en el mercado, comparados con marca y largo

En la Figura 8, se observan las dimensiones de los diferentes colectores de tubos evacuados en el mercado, considerando marca y largo para obtener un largo promedio para realizar una propuesta del banco de pruebas. Para lo cual se concluye que, realizando el promedio de 45 colectores de tubos evacuados, se tienen una largo promedio de 1.89 metros de largo.

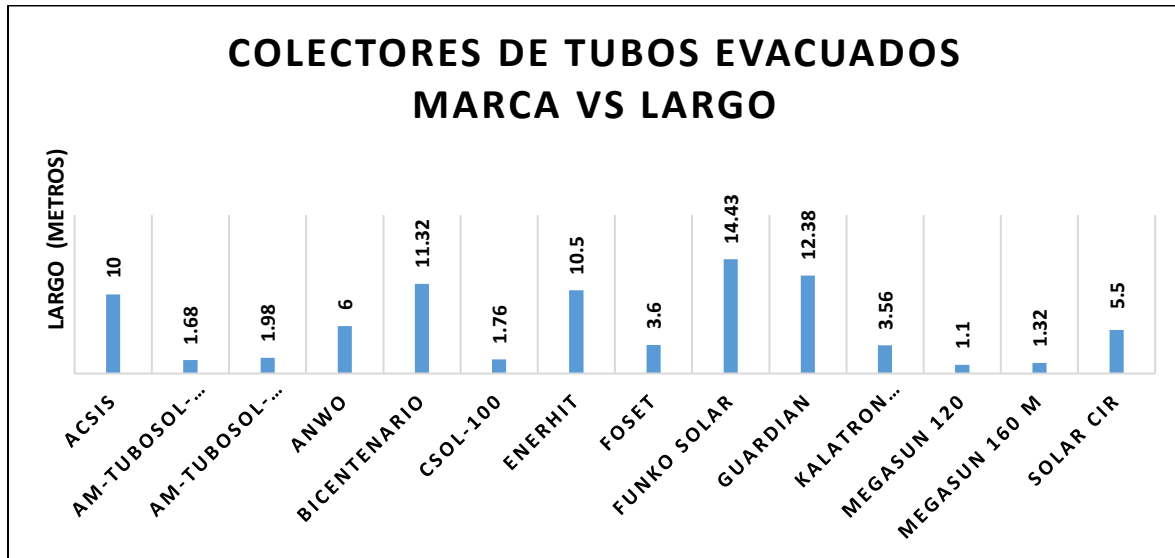


Figura 8. Colectores de tubos evacuados en el mercado, comparados con marca y largo

En la Figura 9 se muestran diferentes colectores planos, Se muestran diferentes marcas y los respectivos anchos para con ello obtener un promedio del ancho de los colectores planos.

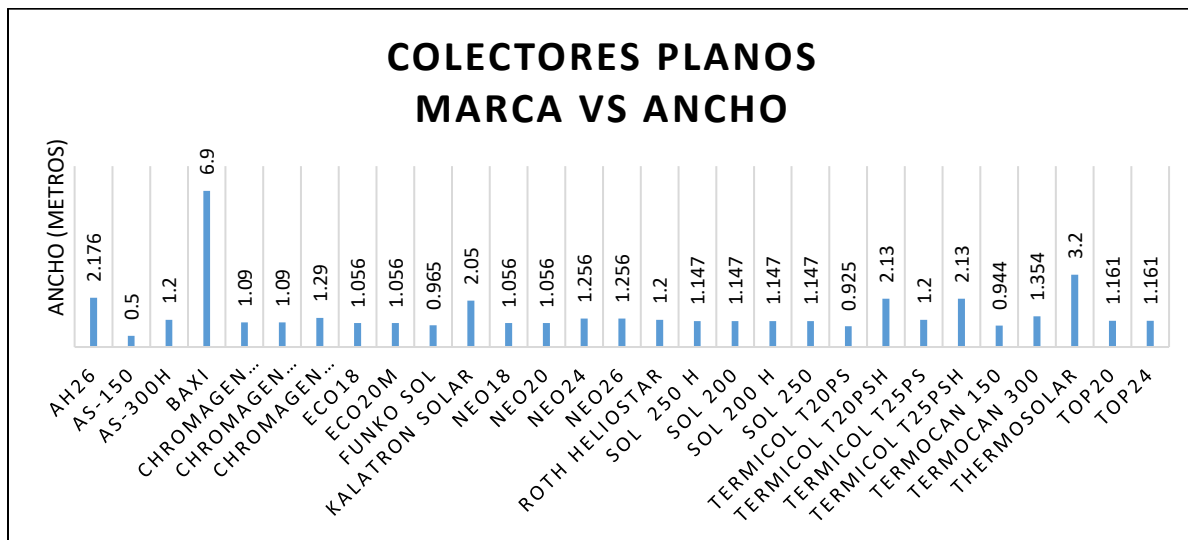


Figura 9. Colectores de tubos evacuados en el mercado, comparados con marca y ancho

De misma forma se concluye realizando el promedio de los anchos de 42 colectores de tubos evacuados, los cuales arrojan una dimensión promedio de 1.22 metros de ancho.

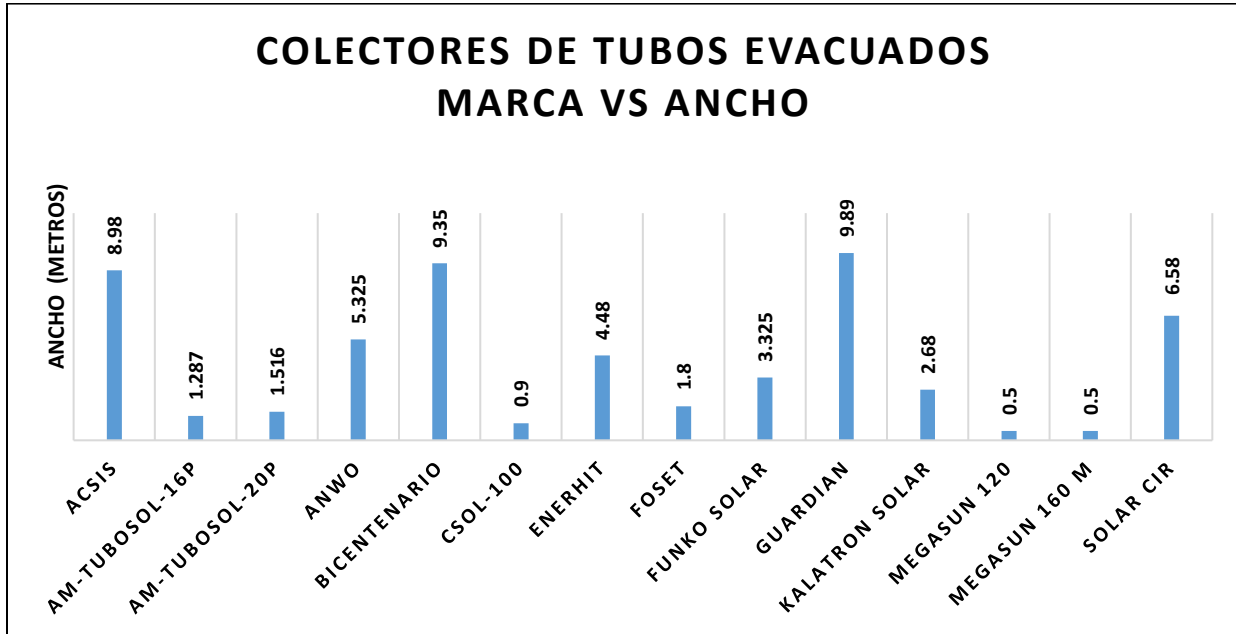


Figura 10. Colectores planos en el mercado, comparados con marca y ancho

Para el caso de los colectores de tubos evacuados el promedio de 45 colectores, arrojan que una dimensión de 1.29 metros de ancho.

1.6. Normas nacionales e internacionales para captadores solares y sistemas solares

De acuerdo a su régimen de aplicación, la ley federal de México sobre metrología y normalización distingue dos tipos de normas (Campos, 2016).

- Normas Oficiales Mexicana (NOM) de aplicación obligatoria.
- Normas Mexicanas (NMX) de aplicación voluntaria.

Dado que establecer la obligatoriedad de una norma requiere un tratamiento complejo, típicamente se adopta una normativa en forma voluntaria (NMX) y luego con la experiencia de ésta se desarrolla la NOM una vez que el mercado está listo.

Las normas NMX son emitidas por la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación (NORMEX). La Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) es la que tiene delegada la facultad de acreditar laboratorios, organismos de certificación de productos y organismos de inspección.

Para la evaluación de la conformidad de los calentadores solares de agua, existen diversas regulaciones, una de ellas es el Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV), emitido por la CONUEE, y las cuatro Normas Mexicanas (NMX) desarrolladas por la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación (NORMEX).

1.6.1. Normas mexicanas de calentamiento solar de agua

NMX-ES-001-NORMEX-2005, para el rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- métodos de prueba y etiquetado. La fecha de inicio de vigencia fue el 14 de octubre de 2005.

NMX-ES-002-NORMEX-2007(vigente a partir del 22 de junio de 2007), contiene las definiciones y terminología del CSA. La fecha de emisión fue el 20 de septiembre de 2006.

NMX-ES-003-NORMEX-2007, establece los requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos, para calentamiento de agua. La fecha de inicio de vigencia fue el 22 de septiembre de 2008.

NMX-ES-004-NORMEX-2010, para la evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua– método de prueba. La fecha de inicio de vigencia fue el 11 de junio de 2010.

Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV), es una especificación aplicable a los sistemas de calentamiento de agua, cuya fuente de energía sea la radiación solar y como respaldo un calentador de agua, cuya fuente de energía sea el gas LP o el gas natural, la energía eléctrica o cualquier otra fuente de energía. Aprobado el 25 de octubre de 2011 y publicado el 23 de noviembre de 2011.

NOM-027-ENER/SCFI-2018, esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer las especificaciones de rendimiento térmico, de los calentadores de agua solares para uso doméstico y comercial, tipo termosifón, que cuenten con un tanque térmico con una capacidad máxima de 500 L; el ahorro de gas de los calentadores de agua solares con respaldo de un calentador de agua que utiliza como combustible gas L.P. o gas natural; así como los requisitos de seguridad, etiquetado y los métodos de prueba.

1.6.2. Normas internacionales para equipos calentamiento solar de agua

A nivel internacional existen varias normativas que permiten evaluar el comportamiento de los colectores solares. Algunas van direccionadas solamente al desempeño térmico, mientras que otras abarcan también la durabilidad de los materiales que los componen. Estas normativas han venido desarrollándose tomando como base los primeros estándares que fueron creados a principios de los años noventa por entidades internacionales como son ISO y ASHRAE (IEA, 2012, p. 8).

UNE-EN 12977-2 “Sistemas solares térmicos y sus componentes, instalaciones a medida Parte 2: Métodos de ensayo para los calentadores de agua solares y las instalaciones solares combinadas”, esta norma europea es de aplicación a sistemas solares de calentamiento con líquido como fluido intercambiador que se usan en edificios residenciales y aplicaciones similares, incluye métodos de ensayo para la caracterización del rendimiento térmico y la predicción del rendimiento mediante el ensayo de componentes y la simulación de sistemas.

ASTM E905-87 “Método de ensayo estándar para determinar el rendimiento térmico de colectores de concentración con seguimiento solar” Esta norma permite evaluar colectores solares que poseen sistemas de seguimiento solar y que se utilizan para calentamiento de fluidos en sistemas térmicos. No es aplicable a colectores con una relación geométrica de concentración menor a siete, así como a colectores con sistemas de arreglo de espejos o captadores centrales, o

colectores para cambio de fase. Solamente se puede utilizar en exteriores y en estado cuasi-estable bajo cielo descubierto. (IEA, 2012, p. 12).

ISO 9806 “Energía solar captadores solares térmicos. Métodos de ensayo” Norma para colectores solares de calentamiento de fluidos, en donde evalúa su rendimiento, durabilidad y fiabilidad bajo condiciones específicas y que permitan su repetitividad. Contiene procedimientos que permiten ensayar los colectores bajo condiciones naturales de irradiación y viento, o también condiciones simuladas en el laboratorio.

1.7. Legislación en México

Existen una serie de leyes que incentivan el uso de calentadores solares o hacen obligatorio su uso para un porcentaje significativo de los requerimientos de agua caliente de una vivienda o negocio.

En el caso de México existen las siguientes normas que benefician el desarrollo de la energía solar térmica:

NADF-008-AMBT-2005. Norma ambiental para el Distrito Federal. Establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en piscinas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, cocina, lavanderías y tintorerías.

Se aplica solamente para empresas con más de 51 empleados, las cuales están obligadas a instalar sistemas de calentamiento de agua, en donde al menos el 30% de la energía que se consume anualmente de agua caliente sea abastecida a través de sistemas solares.

Reglamento de construcciones del municipio de Centro, Estado de Tabasco 2012. Establece los mismos criterios de la norma NADF-008-AMBT-2005.

En el caso de México, las normas actuales que se mencionan en este documento son Normas Mexicanas (NMX), es decir, de carácter voluntario, a diferencia de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que son obligatorias. Por lo anterior, es imperiosa la elaboración de las NOM basadas en las Normas Mexicanas de energía solar ya existentes para obligar a todos los importadores y fabricantes de sistemas solares a que cumplan con un mínimo de especificaciones que garanticen al usuario final una cierta calidad del producto(García y Pilatowsk,2017).

1.8. Estándares de Competencia Laboral

El Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias (CONOCER) es una entidad paraestatal sectorizada en la Secretaria de Educación Pública que impulsa la competitividad de las organizaciones y certifica las competencias de las personas.

Estas competencias son los conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes individuales, es decir aquello que las hace competentes, para desarrollar una actividad en su vida laboral, con este propósito el CONOCER desarrolla una estrategia para que más empresas, sindicatos, instituciones educativas y entidades gubernamentales se sumen al Sistema Nacional de Competencias.

En el marco de las instalaciones solares térmicas cuenta con los siguientes estándares:

- **EC0325.** Instalación de sistema de calentamiento solar de agua termosifónico en vivienda sustentable.
- **EC0473.** Instalación de sistema de calentamiento solar de agua de circulación forzada con termotanque.

En otros países existen también certificaciones de instaladores de sistemas solares térmicos, lo que asegura que el sistema no presentara fallas debidas a una incorrecta instalación.

1.9. Laboratorios de certificación existentes para calentadores solares

Los laboratorios de prueba desarrollan pruebas y procedimientos apegados a la normatividad vigente, para comprobar la eficiencia y resistencia de los equipos de CSA, que permitan comprobar las características de rendimiento y seguridad indicados por los fabricantes.

La certificación del producto ocurre una vez que el equipo ha sido sometido a las distintas pruebas en el laboratorio y su resultado haya sido satisfactorio y con apego a los procedimientos establecidos.

En la actualidad, existen cinco laboratorios en México para probar CSA, los cuales se muestran a continuación.

1.9.1. Instituto de Energía Renovable (IER-UNAM)

Pruebas según:

- Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda.
- NMX-004-Energía solar - evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua – método de prueba.

1.9.2. Grupo Industrial Saltillo

Pruebas según:

- Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda.
- NMX-004-Energía solar - evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua – método de prueba.

1.9.3. CONCYTEG -Universidad de Guanajuato

Pruebas según:

- NMX-001-Energía solar- rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- métodos de prueba y etiquetado.

1.9.4. Laboratorio Mexicano de Pruebas Solares (Mexolab)

Pruebas según:

- Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda.
- NMX-001-Energía solar- rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- métodos de prueba y etiquetado.
- NMX-004-Energía solar - evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua – método de prueba.

1.9.5. Instituto de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables y Eficiencia Energética (IIDEREE)

Pruebas según:

- Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda.
- NMX-004-Energía solar - evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua – método de prueba.

Capítulo II. Norma mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda (DTESTV)

2.1. Norma Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005. Energía Solar-Rendimiento Térmico y Funcionalidad de Colectores Solares para Calentamiento de Agua- Métodos de Prueba y Etiquetado: Métodos de ensayo

Pruebas contenidas en la Norma Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005:

- a) Inspección a la recepción del colector solar.
- b) Presión estática previa a la prueba de radiación solar durante treinta días.
- c) Exposición a la radiación solar durante treinta días.
 - Exposición a la radiación solar.
 - Choque térmico con rocío de agua.
 - Choque térmico con circulación de agua fría.
- d) Presión estática posterior a la exposición de treinta días.
- e) Determinación de la constante de tiempo.
- f) Rendimiento térmico.
- g) Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa.
- h) Desarmado e inspección final.

2.1.1. Manual de instrucciones para la realización de cada una de las pruebas contenidas en la Norma Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005

a) Inspección a la recepción del colector

Paso 1: Se instala el colector solar en el banco de pruebas y se observa el estado inicial para determinar si sufre cambios después de haber sido sometido a las pruebas establecidas,

Paso 2: Se registran los valores solicitados en el Formato A que se encuentra en la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005.



Figura 11. Inspección a la Recepción del Colector

b) Presión estática previa a la prueba de exposición de treinta días

Paso 1: Se verifica la resistencia y capacidad de soportar las presiones a las que el colector solar se verá sometido durante su operación. Estos se deben someter las presiones especificadas en la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 para cada tipo de colector solar.

Paso 2: Esta prueba debe realizarse bajo techo y a temperatura ambiente con una variación de máxima de ± 5 °C.

Paso 3: Instalar el manómetro en el tubo de salida del colector solar.

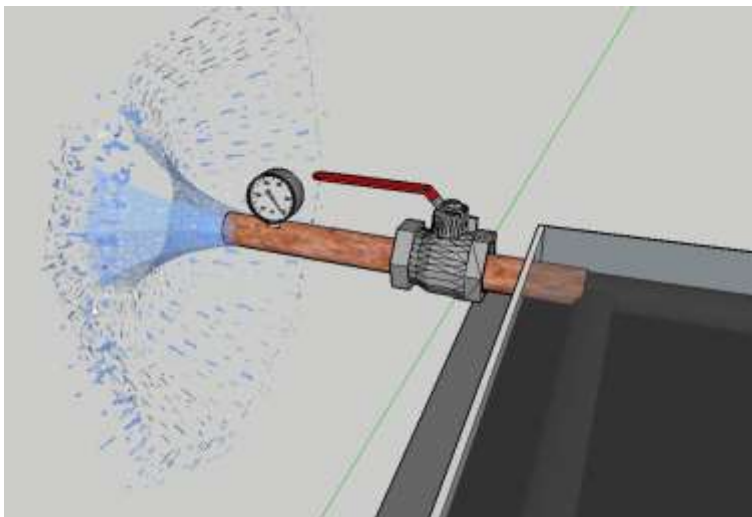


Figura 12. Manómetro en el Tubo de Salida del Colector Solar

Paso 4: Posteriormente se instalan las válvulas, una en el tubo de entrada, y la otra en el tubo de salida, inmediatamente después del manómetro.

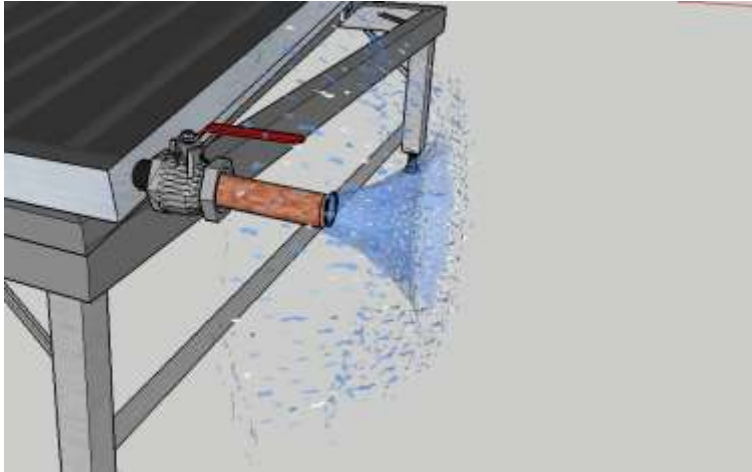


Figura 13. Válvulas de entrada y salida

Paso 5: Se llena completamente el colector solar de agua a temperatura ambiente, hasta que todo el aire del interior haya sido removido.



Figura 14. Llenado del colector solar de agua a temperatura ambiente

Paso 6: La válvula de salida es cerrada y se verifica que el manómetro esté en un valor de 0.00kPa, se aplica presión gradualmente, hasta alcanzar un valor estable en la presión determinada por esta Norma.

Paso 7: Se cierra la válvula de entrada y se mantiene 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.

Paso 8: Por último, se desconectar el equipo de presión para permitir que el colector regrese a la presión atmosférica, verificando que el manómetro indique un valor de 0.00kPa y se registran 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, contenidos en la norma.

c) Exposición de treinta días

- Exposición a la radiación solar

El colector solar, se debe exponer por lo menos durante 30 días a una radiación solar incidente con valores de irradiación mínima por día de 29 MJ/m², medida en el plano de su área de apertura.

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.

Registrar diariamente la irradiación total diaria, 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.

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.

Paso 1: Se debe 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.

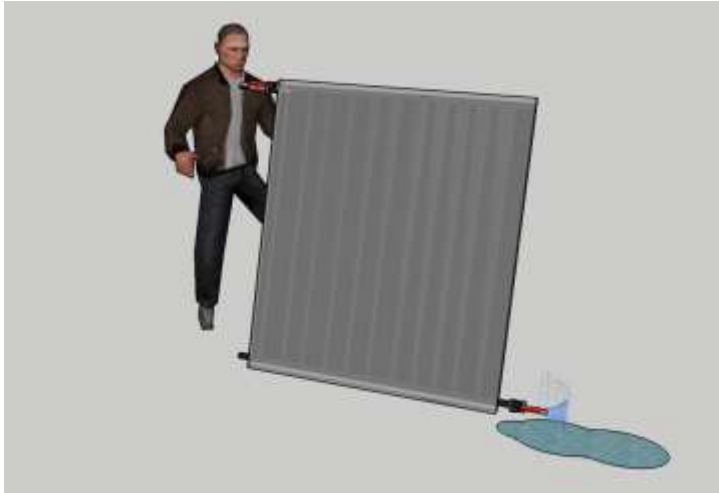


Figura 15. Drenarlo por gravedad durante un periodo de 15 minutos

Paso 2: Se coloca 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 ± 2.5 grados.



Figura 16. Colector solar en el banco de pruebas

Paso 3: 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.

Paso 4: Sellar herméticamente los tubos de entrada y de salida del colector solar.

Paso 5: Exponer el colector solar, sin agua, por lo menos durante cuatro horas diarias en 30 días acumulados, a una irradiancia mínima de 700 W/m^2 medida en el plano de apertura del colector solar. La temperatura ambiente promedio durante la prueba será no menor que 20°C .



Figura 17. Exposición a la radiación

- **Choque térmico con rocío de agua**

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.

Paso 1: 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.

Paso 2: Exponer el colector solar a una irradiancia no menor a 800 W/m^2 , 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.

Paso 3: Rociar 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 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 $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Paso 4: 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.

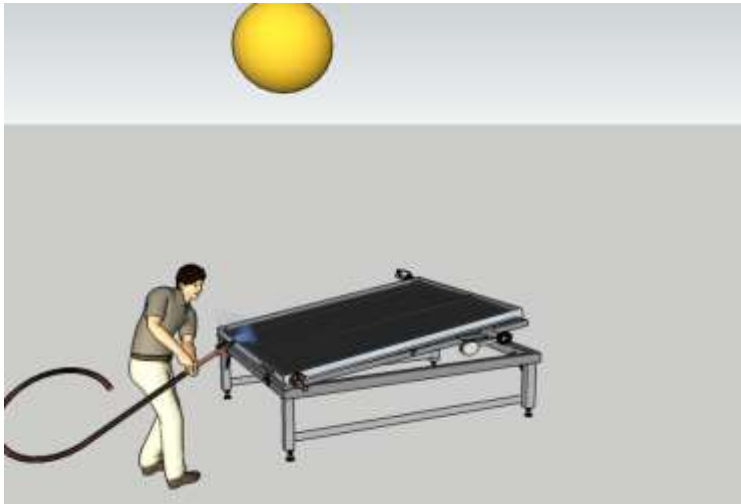


Figura 18. Rociado de agua sobre el colector solar

- **Choque térmico con circulación de agua fría**

El colector debe ser drenado completamente, quedando expuesto a la radiación solar, y llenado con agua a temperatura ambiente, deberá realizarse la prueba de choque térmico con circulación de agua fría.

Paso 1: 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 W/m^2 durante una hora, 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 ml/s por metro cuadrado de colector solar, durante 5 minutos. La temperatura del líquido entrante durante la prueba será de $24^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Paso 2: 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.

Paso 3: 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.



Figura 19. Drenado de agua del colector solar

Paso 4: 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 ± 2.5 grados.



Figura 20. Variación de ± 2.5 grados

Paso 5: Sellar herméticamente los tubos de entrada y de salida del colector solar.

d) 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, en la cual se realizan los mismos pasos descritos en de la prueba de presión estática previa a la prueba de exposición de treinta días y se registran 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. En las cual no debe existir fuga de agua, caída de presión, deterioro o deformación severa.

e) Determinación de la constante de tiempo

Para 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.

Paso 1: Obtener la temperatura de entrada del sistema.

Paso 2: Obtener la temperatura de salida del sistema.

Paso 3: Obtener el volumen del sistema.

Paso 4: Los resultados de las evaluaciones experimentales de temperatura de salida del sistema, son utilizados para realizar la diferencia de temperaturas de salida en función del tiempo, menos la inicial, y esta misma diferencia de temperaturas multiplicada por el volumen del sistema (esta última medición para tratar de obtener una energía almacenada como $Q = \rho c p V_{sistema} \Delta T$).

Se recomienda realizar diez días de pruebas consecutivos con un horario de entre las 7:00 y las 10:00 de la mañana y terminar entre las 6:00 y 7:30 de la tarde.

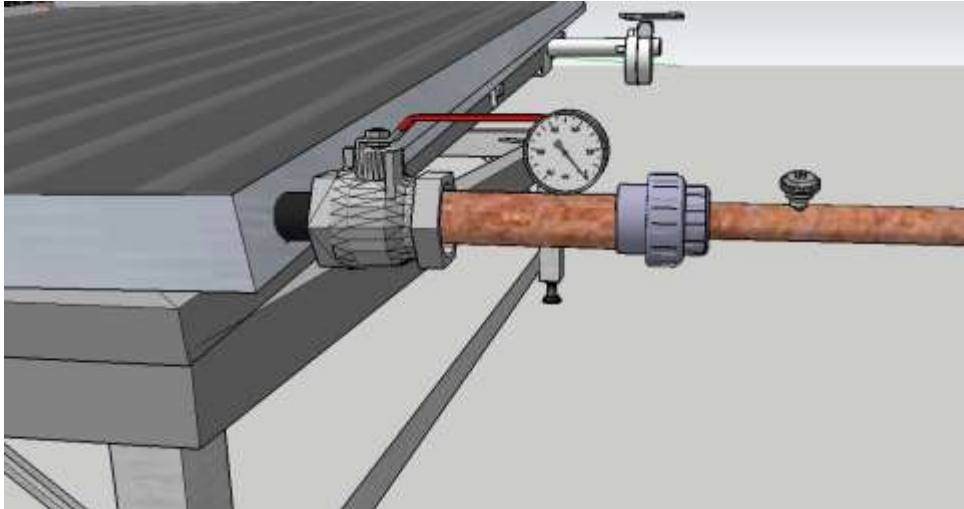


Figura 21. Medición de temperaturas de entrada y salida

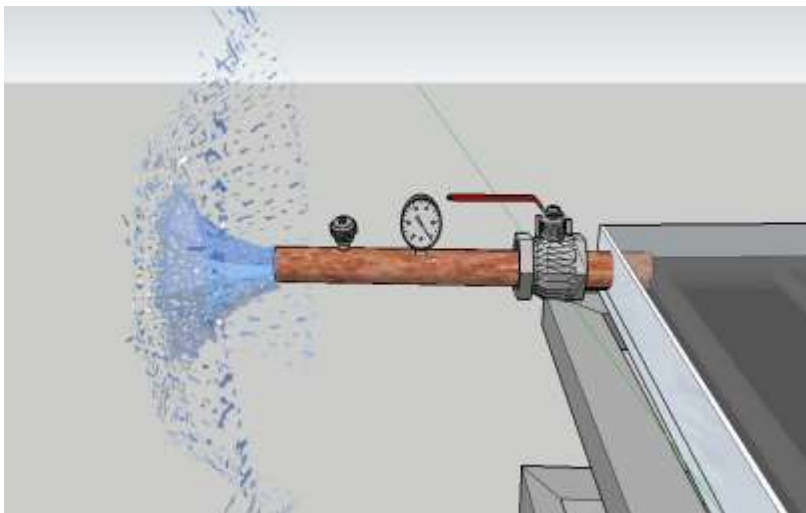


Figura 22. Resultados de las evaluaciones experimentales de temperatura

f) Rendimiento térmico

Determinar la eficiencia instantánea del colector solar y poder caracterizar su comportamiento bajo un amplio rango de temperaturas de operación.

Paso 1: Obtener de valores de eficiencia instantánea de una combinación de valores de radiación incidente, temperatura ambiente, y la temperatura del agua de entrada.

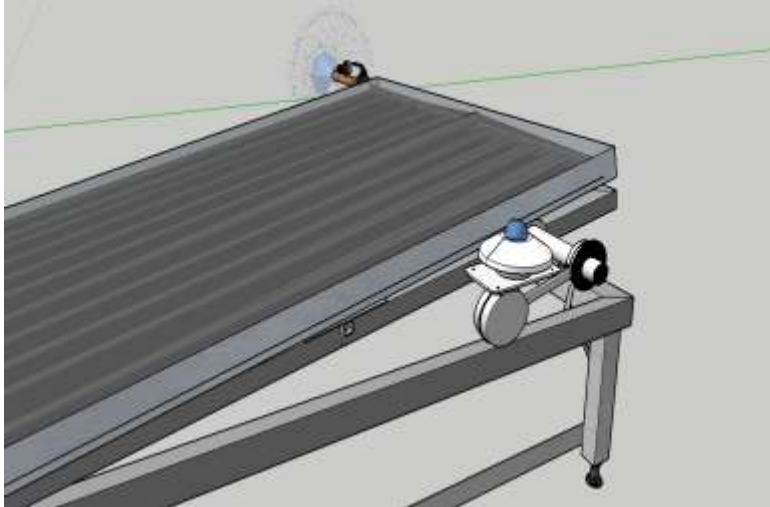


Figura 23. Valores de radiación incidente

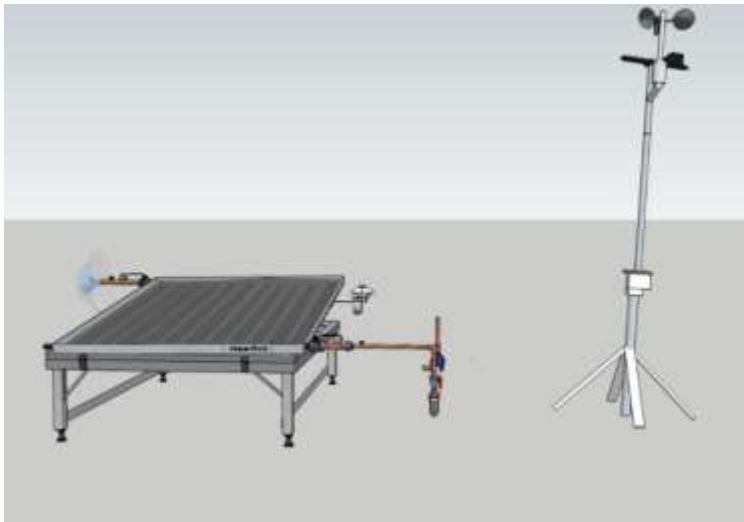


Figura 24. Valores de temperatura ambiente dirección del viento

Paso 2: 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.

Paso 3: Realizar 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.

g) Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa

Paso 1: Establecer el rendimiento del colector solar a diferentes ángulos de incidencia de la radiación solar directa.

Paso 2: Llevar a cabo las pruebas para determinar el factor de nominado modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector solar.



Figura 25. Ajuste de ángulo de incidencia en el colector solar

h) Desarmado e inspección final de los componentes del colector

Paso 1: Al término de las pruebas descritas en los puntos anteriores, 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.

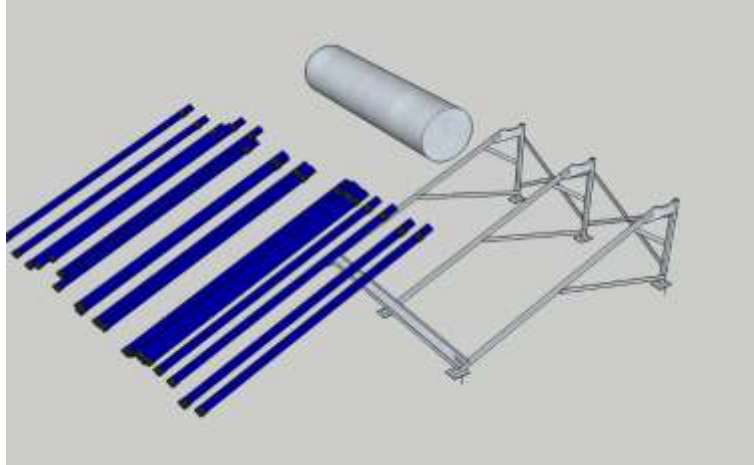


Figura 26. Desarmado para realizar una inspección visual de sus componentes

2.1.2. Tiempos estimados para la realización de los métodos de ensayo de la Norma Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005

La Tabla 5 muestra una estimación en los tiempos para la realización de los métodos de ensayo descritos en la norma NMX-ES-001-NORMEX-2015, los cuales fueron considerados así por las operaciones que se describen en el instructivo para el usuario técnico operador del banco.

Tabla 5. Pruebas de la NMX-ES-001-NORMEX-2005

NMX-ES-001-NORMEX-2005	Días para realización de prueba
1) Inspección a la recepción del colector solar.	1 día
2) Presión estática previa a la prueba de radiación solar durante treinta días.	1 día
3) Exposición a la radiación solar durante treinta días.	30 días
3.1) Exposición a la radiación solar.	
3.2) Choque térmico con rocío de agua.	
3.3) Choque térmico con circulación de agua fría.	
4) Presión estática posterior a la exposición de treinta días.	1 día
5) Determinación de la constante de tiempo.	6 horas
6) Rendimiento térmico.	1 día
7) Factor modificador por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar directa.	1 día
8) Desarmado e inspección final.	1 día

Fuente: Elaborado con información de la NMX-ES-001-NORMEX-2005

2.2. Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV). Métodos de ensayo

- a) Prueba de exposición.
- b) Resistencia a alta temperatura.
- c) Choque térmico externo.
- d) Choque térmico interno
- e) Penetración de lluvia
- f) Resistencia a la presión positiva
- g) Resistencia al sobrecalentamiento
- h) Resistencia a la presión hidrostática
- i) Resistencia a las heladas
- j) Resistencia al impacto
- k) Prueba para determinar el ahorro de gas
- l) Rendimiento térmico del calentador solar de agua
- m) Prueba para determinar la capacidad del termostanque

2.2.1. Manual de instrucciones para la realización de cada una de las pruebas contenidas el Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV)

a) Método de prueba de exposición

Paso 1: El colector solar debe instalarse a la intemperie sin llenarse de agua.

Paso 2: Todas las tuberías deben sellarse, excepto una para evitar el enfriamiento por circulación natural del aire y permitir la expansión libre del aire.

Paso 3: Medir la temperatura del aire con un sensor de temperatura con una incertidumbre de $\pm 1^\circ\text{C}$ y la irradiancia solar global en el plano del colector usando un piranómetro PSP.

Paso 4: Registrar como mínimo cada 5 minutos. Se debe registrar también la lluvia cuando esta se presente. El colector solar debe exponerse hasta alcanzar las condiciones establecidas.

Paso5: Al final de la exposición se debe realizar una inspección visual para detectar daños y reportarlos en el informe de prueba.



Figura 27. Exposición a la radiación

b) Método de prueba de resistencia a alta temperatura

Paso 1: El calentador solar debe instalarse a la intemperie de acuerdo a las instrucciones del fabricante y sin llenarse de agua.

Paso 2: Todas las tuberías deben sellarse, excepto una para evitar el enfriamiento por circulación natural del aire y permitir la expansión libre del aire.



Figura 28. Exposición del calentador a resistencia a alta temperatura

c) Método de prueba de choque térmico externo

Paso 1: Mantener durante 1 h como mínimo a un nivel alto de irradiancia solar global en el plano del colector “G” mínima establecida.

Paso 2: Rociarse durante 15 minutos con agua a la temperatura ambiente, en forma uniforme mediante un aspersor de agua.



Figura 29. Rociado de agua a temperatura ambiente

d) Método de prueba de choque térmico interno

Paso 1: Se deben mantener durante 1 h como mínimo a un nivel alto de irradiancia solar global en el plano del colector “G” mínima establecida y circular en su interior agua en el colector durante 5 minutos a una temperatura menor a 25°C y el caudal de agua de 0.02 kg/s como mínimo.



Figura 30. Choque térmico interno

e) Método de prueba de penetración de lluvia

Paso 1: El colector debe colocarse con el ángulo más bajo respecto a la horizontal recomendado por el fabricante, si el fabricante no especifica el ángulo el colector debe colocarse a 30 grados respecto a la horizontal.

Paso 2: Exponerse a la radiación solar de más de 850 W/m^2 , durante una hora.

Paso 3: Los lados expuestos deben rociarse durante 4 horas, con agua a temperatura menor de 30°C , mediante un aspersor con un caudal mayor de $0.04 \text{ kg/s} \pm 0.01 \text{ kg/s}$ por m^2 del área de apertura 0.05 kg/s por metro cuadrado de área de rociado.

Paso 4: Al final de esta prueba, el colector solar y el termotanque no deben mostrar penetración de agua en su interior ni condensación en más del 10% de la superficie del colector.



Figura 31. Penetración de lluvia

f) Método de prueba de resistencia a la presión positiva

Los colectores de los calentadores solares deben resistir, en su superficie expuesta, una presión positiva de 500 kPa.

- **Para colectores planos**

Paso 1: instalarse a la intemperie de acuerdo a las instrucciones del fabricante y sin llenarse de agua.

Paso 2: Las tuberías de entrada y salida de agua deben estar selladas.

Paso 3: Aplicar sobre la superficie expuesta del colector una carga uniformemente distribuida de 500 kPa, la carga puede ser con sacos de arena, u otro material, con un peso determinado de manera que puedan distribuirse uniformemente en la superficie expuesta.



Figura 32. Carga uniformemente distribuida a colector placa plana

- **Para los colectores de tubos evacuados**

Para los colectores de tubos evacuados el procedimiento es el mismo que para los planos, excepto que se debe colocar una lámina extendida sobre la cubierta del colector, que permita distribuir uniformemente el peso de los sacos de arena.

g) Método de prueba de resistencia al sobrecalentamiento

La superficie del colector debe estar expuesta como mínimo 4 días consecutivos a una radiación solar en el plano del colector, mayor a 18 MJ/m^2 por día y a una temperatura ambiente igual o mayor a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ durante el mediodía solar, durante cuatro días consecutivos, sin tener deformaciones.

Paso 1: Se instalar el calentador solar de agua de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Paso 2: Se conecta el calentador solar de agua a la red de suministro.

Paso 3: Se inicia la operación del calentador solar y se mantiene como mínimo durante 4 días consecutivos sin ninguna extracción de agua aislando completamente el sistema del exterior mediante válvulas instaladas a la entrada y salida del sistema.



Figura 33. Resistencia al sobre calentamiento

h) Método de prueba de resistencia a la presión hidrostática

Los sistemas deben resistir una presión hidrostática de 1.5 veces la presión de trabajo de acuerdo con su uso, como mínimo durante una hora.

Paso 1: Realizarse en ausencia de radiación solar, preferentemente después de las 18:00 horas, o cubrir el colector.

Paso 2: Si tienen válvulas de seguridad por presión, estas deben de ser removidas y en su lugar se deberá poner un tapón antes de iniciar la prueba.

Paso 3: Abrir la válvula de alimentación de agua fría (20°C) para permitir el flujo de agua y llenado del sistema.

Paso 4: Llenar el calentador solar con agua a 20°C.

Paso 5: Cerrar las válvulas de corte para aislarlo del resto del sistema, y se presuriza a la presión de prueba establecida.

Paso 6: Verificar que las conexiones no presenten fugas, de lo contrario, se deben de sellar y ajustar nuevamente y reiniciar la prueba, si continua este problema se cancela la prueba.



Figura 34. Resistencia a la presión hidrostática

Paso 7: El mismo procedimiento se debe realizar con el calentador de gas si este es diferente al calentador de referencia establecido.

Paso 8: El calentador solar, debe mantenerse presurizado mínimo una hora sin que este reciba radiación solar.

Paso 9: Una vez transcurrido el tiempo correspondiente, se observa en el manómetro que la presión no haya disminuido, lo que significa que el sistema no se ha roto ni presentado fugas de agua en ninguna de sus conexiones.

Paso 10: Se libera la presión de prueba y se revisa que no se hayan causado deformaciones permanentes en el calentador solar.

i) Método de prueba de resistencia a las heladas

Determinar hasta qué punto los sistemas de calentamiento de agua son capaces de soportar heladas y ciclos de congelación-deshielo, el sistema de calentamiento de agua debe de resistir una temperatura de $-10^{\circ}\text{C} \pm 1$ sin presentar fugas, fisuras o roturas ni deformaciones.



Figura 35. Resistencia a las heladas

Paso 1: Montar el calentador solar, con su sistema de protección al congelamiento, en el interior de un cuarto frío y colocarse con el ángulo de inclinación mínimo respecto a la horizontal recomendado por el fabricante. Si el fabricante no especifica el ángulo de inclinación se debe colocar a 30 grados respecto a la horizontal.

Paso 2: Llenar el calentador solar con agua y se lleva a la presión de operación.

Paso 3: Se enfría hasta alcanzar una temperatura de $-10 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en la cámara de refrigeración y se mantiene a esta temperatura durante 30 minutos.

Paso 4: Se descongela hasta alcanzar una temperatura de 10°C y se mantiene a esta temperatura durante 30 minutos; se vacía el sistema. El ciclo se repite 3 veces.

j) Método de prueba de resistencia al impacto

Determinar hasta qué punto el calentador solar de agua puede soportar los efectos de impactos causados por granizo.

Los calentadores solares deben resistir los impactos de una bola de acero, con una masa de 150g con una tolerancia de $\pm 10g$, desde una altura mínima de 1m.

Paso 1: Instalar de acuerdo con las instrucciones del fabricante el calentador solar, sin llenarse de agua.

Paso 2: asegurarse de que la estructura soporte del calentador solar debe estar lo suficientemente firme para asegurar que el impacto se concentre únicamente en la superficie a probar.

Paso 3: Se debe dejar caer 10 veces la bola de acero con una masa de $150g \pm 10g$, desde una altura de 1.0 m con respecto a la horizontal del colector (calcular altura real de acuerdo a cálculo trigonométrico) en caso de resistir se puede continuar con la prueba de 20cm en 20 cm hasta alcanzar los 2.0 m.

Paso 4: La prueba se detiene cuando el calentador solar de agua se dañe o cuando haya resistido los 10 impactos desde cada una de las alturas.

k) Método de prueba para determinar el ahorro de gas

El sistema debe proporcionar como mínimo un ahorro de gas L.P. en 30 días.

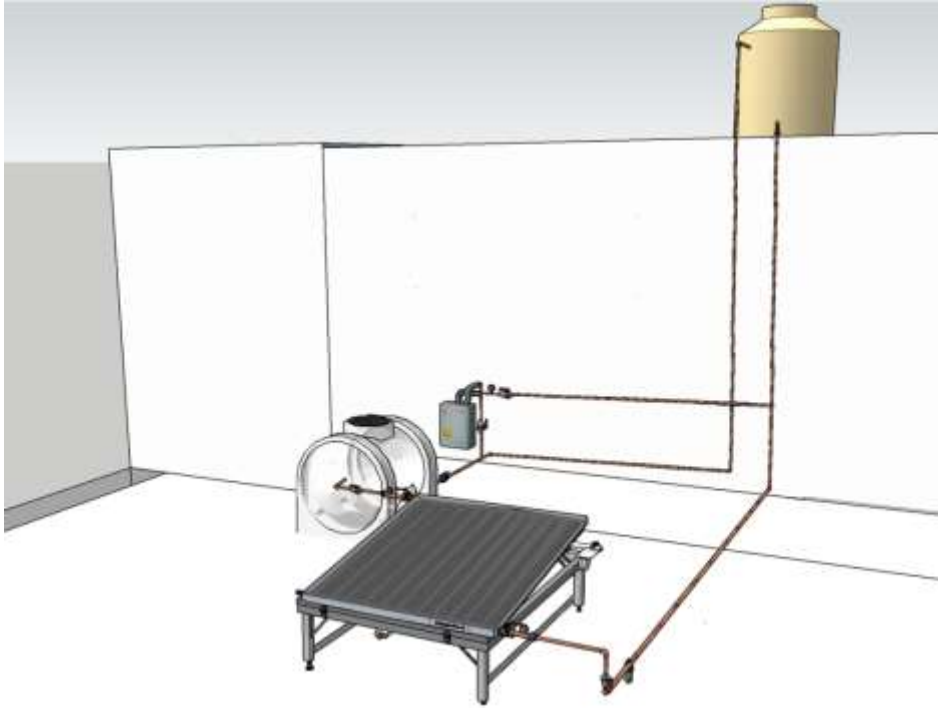


Figura 36. Esquema de instalación para medir consumo de gas de un sistema, con colector y calentador de gas

Paso 1: El calentador solar debe llevar su estructura de apoyo para asegurar su colocación adecuada en el laboratorio y debe colocarse en una zona con incidencia de radiación solar todo el día, con una orientación del colector hacia el sur geográfico y un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar.

Paso 2: El solarímetro o piranómetro se debe instalar junto al colector solar con la misma orientación e inclinación.

Paso 3: El calentador solar debe colocarse a 5.0 m del calentador a gas y la tubería se debe aislar térmicamente con el material proporcionado por el fabricante, importador o comercializador del sistema de acuerdo con sus indicaciones escritas.

Paso 4: En el calentador solar el termotanque debe colocarse como máximo a 3.0 m del colector solar.

Paso 5: Conectar el calentador solar de agua al suministro de agua.

Paso 6: Abrir la válvula de descarga del sistema, se purga y se cierra la válvula de descarga.

Paso 7: El calentador de respaldo se conecta entonces a la red de suministro de gas LP y se verifica que no existan fugas en las conexiones.

Paso 8: Simultáneamente, el calentador de referencia se conecta a las mismas redes de suministro de agua y gas LP, que alimentan el calentador solar de agua con respaldo.

Paso 9: Se abre la válvula de suministro y descarga de agua del calentador de referencia, se purga y se cierra la válvula de descarga.

Paso 10: Se verifica que no existan fugas en las conexiones.

Paso 11: Instalado y purgado el calentador solar de agua con respaldo se cierra la válvula de salida del mismo y se inicia el periodo de estabilización, 24 horas antes de iniciar las mediciones y extracciones de agua durante el periodo de prueba.

Paso 12: Dejar operar el calentador solar del sistema durante 24 horas, sin realizar ninguna extracción de agua, para aprovechar la radiación solar de un día completo.

Paso 13: Al día siguiente realizar el protocolo completo de extracciones antes de iniciar con la prueba de ahorro de gas.

Paso 14: 1 hora antes de iniciar las pruebas, después de las 24 horas, se encienden los pilotos del calentador de respaldo a gas y del calentador de referencia y se toma la lectura de cada medidor de gas, tanto del calentador de respaldo como del calentador de referencia.

Paso 15: Se enciende el calentador a gas de respaldo y el calentador de referencia, colocando el termostato de los primeros en la posición indicada con precisión por el solicitante de las pruebas y el del calentador de referencia en su posición más alta (caliente).

Paso 16: Se inician las extracciones de agua del calentador solar de agua con respaldo y del calentador de referencia como sigue:

Se efectúan 3 extracciones de agua al día, durante el periodo de prueba, ajustando la válvula mezcladora para lograr una temperatura del agua de $38\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, en los volúmenes y horarios siguientes:

- La primera extracción de 135 litros $\pm 1\%$ a las 7:00 h.
- La segunda extracción de 60 litros $\pm 1\%$ a las 13:00 h.
- La tercera extracción de 90 litros $\pm 1\%$ a las 20:00 h.

Paso 17: Las extracciones se deben realizar utilizando la llave mezcladora automática, calibrando el flujo de agua constante entre 8 y 10 l/min y a una temperatura entre 37 y 39 °C. Registrando estos valores cada 30 segundos.

l) Método de prueba para determinar el rendimiento térmico del calentador solar de agua

El calentador solar debe proporcionar como mínimo un calor útil por día o por año en 8 horas o en 24 horas superior al establecido.

Paso 1: Instalación del calentador solar.

Paso 2: Medir el calor útil por día o año.

Paso 3: Elegir el parámetro de calor útil en el que se quiera medir y realizar las mediciones al calentador solar

m) Método de prueba para determinar la capacidad del termotanque

La capacidad mínima del termotanque debe ser de 150 L, con una tolerancia de - 2 L.

Paso único: Pesando del termostanque sin agua y con agua o llenando llenar el termostanque de agua y extrayendo está en un recipiente de peso conocido y pesándolo. Diferencia de pesos.

2.2.2. *Tiempos estimados para la realización de los métodos de ensayo del Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV)*

La Tabla 6 muestra una estimación en los tiempos para la realización de los métodos de ensayo descritos en el DTESTV, los cuales fueron considerados así por las operaciones que se describen en el instructivo para el usuario técnico operador del banco, se debe tener en cuenta que dichos tiempos tendrán variación con respecto a la Tabla 5, ya que en el DTESTV, se realizan un mayor número de métodos de ensayo, aunque con menor tiempo para la realización de pruebas.

Tabla 6. Pruebas de DTESTV

DTESTV	Días para realización de prueba
1) Método de prueba de exposición	15 días
2) Método de prueba de resistencia a alta temperatura	1 h
3) Método de prueba de choque térmico externo	1 h
4) Método de prueba de choque térmico interno	1 h
5) Método de prueba de penetración de lluvia	5 h
6) Método de prueba de resistencia a la presión positiva	1 día
7) Método de prueba de resistencia al sobrecalentamiento	4 días
8) Método de prueba de resistencia a la presión hidrostática	1 día
9) Método de prueba de resistencia a las heladas	3 h
10) Método de prueba de resistencia al impacto	1 día
11) Método de prueba para determinar el ahorro de gas	6días
12) Método de prueba para determinar el rendimiento térmico del calentador solar de agua	1 día
13) Método de prueba para determinar la capacidad del termostanque	1 día

Fuente: Elaborado con información del Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV)

Capítulo III. Configuración del banco de pruebas

3.1. Sistema hidráulico

Con base en el análisis de la norma DTESTV se identificaron los componentes del sistema hidráulico, en el sistema hidráulico se incluye la toma de suministro de agua, de ahí se deriva una tubería que va al tanque principal de almacenamiento, posteriormente sale una tubería que pasa por un purificador para terminar en un tanque de almacenamiento.

Del tanque de almacenamiento secundario sale una tubería en la cual se coloca una bomba, con el objetivo de poder regular la presión requerida en las pruebas, consecutivamente el fluido es enviado a un sistema de recirculación el cual cuenta con un filtro para poder reutilizar el agua. Ver la Figura 37.

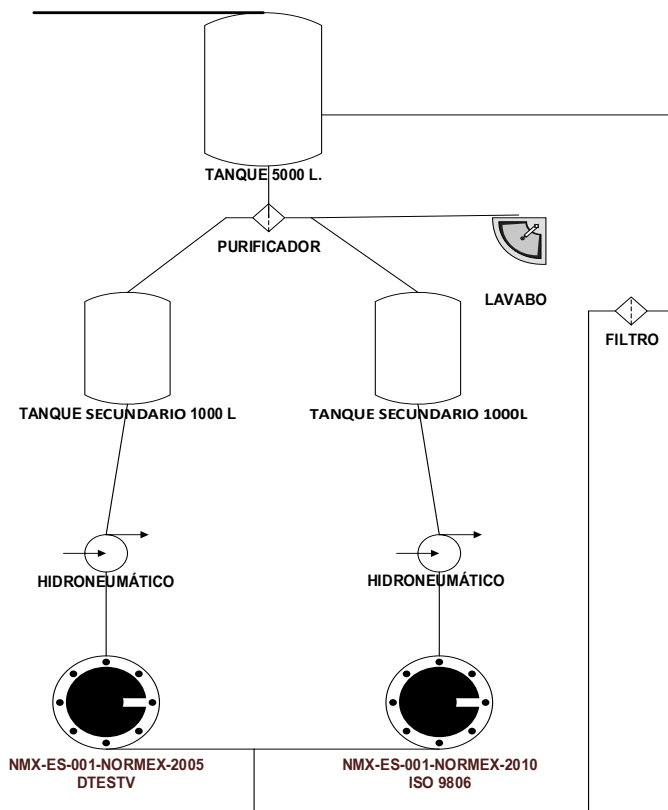


Figura 37. Diseño del sistema Hidráulico de las normas.
Fuente: NMX-ES-001-NORMEX-2005y DTESTV

NMX-ES-001-NORMEX-2005

Una vez que se propuso el diseño del sistema hidráulico, se han considerado las normas anteriormente analizadas y se propusieron los materiales a emplear en el sistema hidráulico, así como, las condiciones de operación del fluido, que en este caso es agua; se plantean diferentes opciones de configuración para el banco de pruebas para colectores solares, con el propósito de una posterior selección de la mejor alternativa

3.2. Alternativas para la configuración del banco de pruebas NMX-ES-001-NORMEX-2005 y DTESTV

Sistema con circuito cerrado

La presión de trabajo del sistema está dada directamente por la presión que ejerce la bomba; el tanque de almacenamiento también se encuentra a presión. Este sistema necesita de una conexión externa de agua para propósitos de compensación de fluido en el caso de que se evapore.

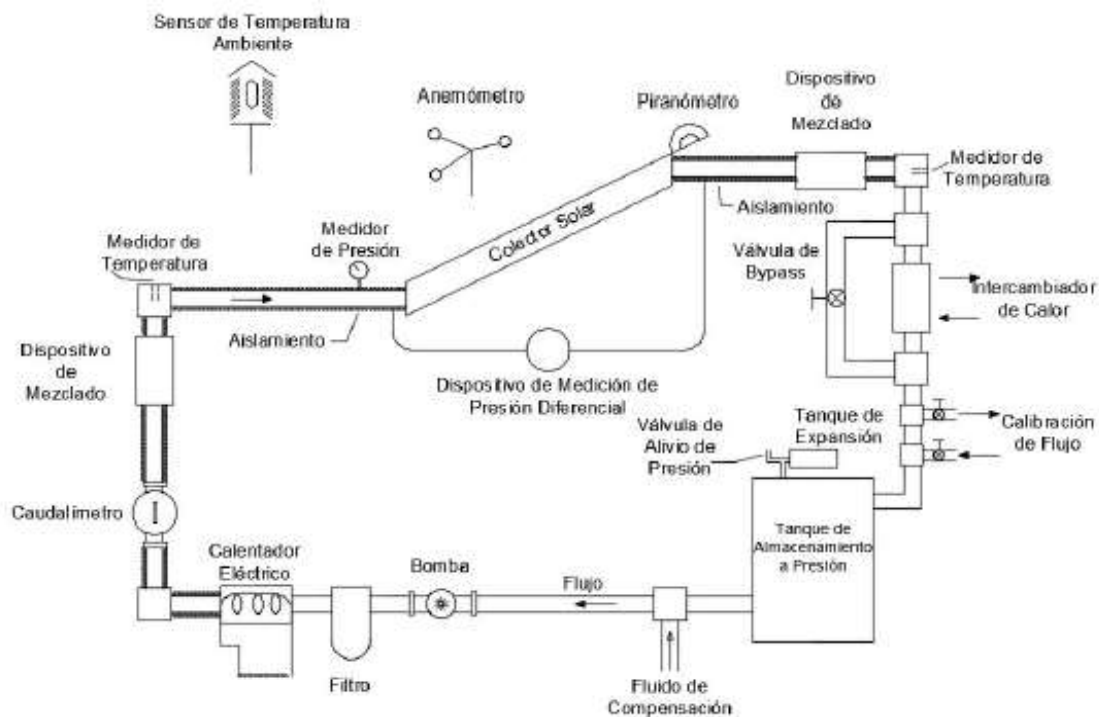


Figura 38. Esquema banco de pruebas. Fuente:NMX-ES-001-NORMEX-2005

Sistema con circuito abierto

La presión de trabajo del sistema está dada por la energía potencial que contiene una masa de agua en un tanque de almacenamiento elevado. En este caso, la bomba solo cumple la función de abastecer de agua al tanque de almacenamiento, debido a que este debe mantener un cabezal constante durante todo el proceso de prueba. Este sistema no necesita de una conexión externa de fluido, por lo que se puede considerar como un banco de prueba autónomo.

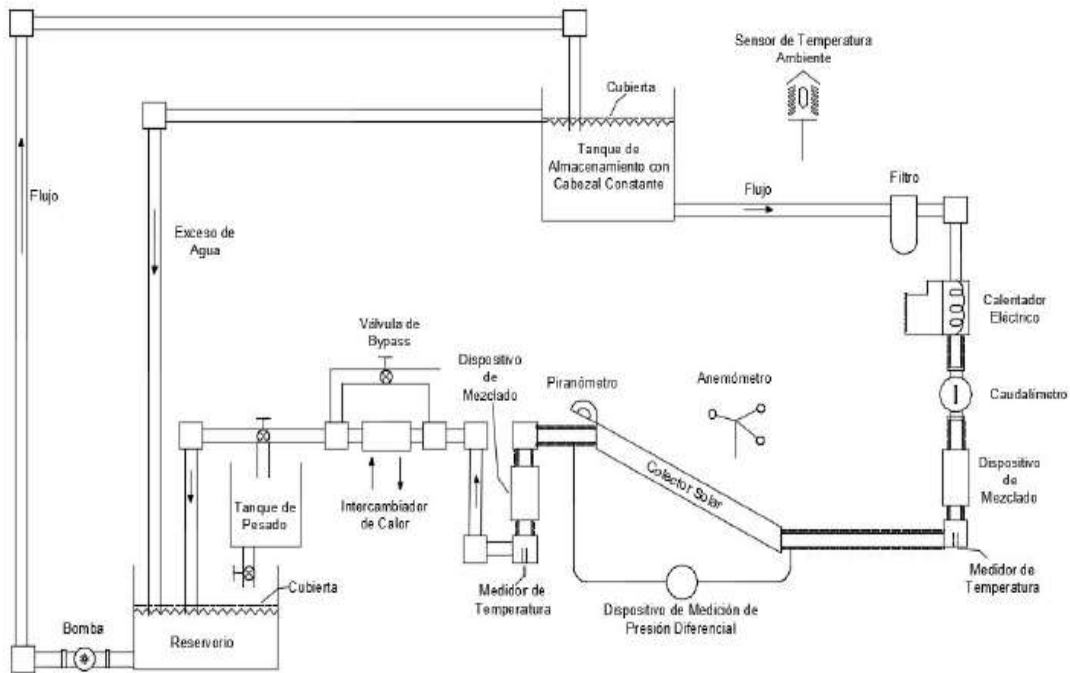


Figura 39. Esquema banco de pruebas. Fuente: ANSI/ASHRAE 93-2010

Criterio de facilidad para la configuración del banco de pruebas

Para el criterio de facilidad de instalación del sistema con circuito abierto sería el más indicado debido a que para su instalación solo se deben realizar operaciones de ensamble de los componentes del banco de pruebas, en su funcionamiento es independiente de circuitos externos de agua y solo debe controlarse la temperatura de entrada al colector y en cuanto a su consumo energético no necesita de equipo adicional para su funcionamiento, ya que el movimiento de agua lo proporciona el tanque elevado, a diferencia del sistema con circuito cerrado, en el que el movimiento del fluido lo proporciona una bomba de agua.

3.3. Selección de Instrumentos y componentes

Los instrumentos y componentes fueron seleccionados basándose en los requerimientos mínimos (tipo y precisión requerida) dados por la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el DTESTV. Además, también se consideró la facilidad de adquisición, es decir si los instrumentos se encontraban disponibles en el mercado local y su costo.

En la Tabla 7 se resumen las características de los sensores exigidos por la norma.

Tabla 7. Instrumentos de medición, materiales y equipos NMX-ES-001-NORMEX-2005

Instrumento/Parámetro	Características
Bacula	Precisión de ± 2.00 %
Manómetro	Exactitud de por lo menos ± 3.5 kPa
Piranómetro.	
Termómetros de resistencia de presión	Separados o conectados en dos brazos de un circuito puente
Medidor de Flujo de agua.	
Termómetros de precisión	
Cronómetro.	
Fuente de presión hidráulica.	
Dos válvulas.	
Bomba para la extracción del fluido del colector solar.	
Sistema hidráulico capaz de suministrar el flujo de agua en forma de rocío.	Con un fluido de agua no menor a 20.00 ml/s por m ²
Equipo de bombeo hidráulico.	
Pirheliometro	
Termopares	Tipo T
Termistores de presión	Separados o conectados en dos brazos de un circuito puente. Exactitud de ± 1 y una constante -1 segundo

Fuente: Elaborado con información de la NMX-ES-001-NORMEX-2005

A continuación, se muestran los instrumentos seleccionados con sus respectivas características técnicas.

Tabla 8. Instrumentos de medición, materiales y equipos DTESTV

Instrumento/Parámetro	Características
Piranómetro PSP.	Sensibilidad dentro $\pm 2\%$ del rango espectral
	de 0.3 a 2.5 micrómetros
Termómetro	con incertidumbre de 1°C
Aspersores de agua	Para un rociado uniforme que alcancen flujos
	de $0.04 \text{ kg/s} \pm 0.01 \text{ kg/s}$ por m^2 del área de
	apertura.
Sacos de arena.	Carga uniformemente distribuida de 500 kPa
Lámina.	Una lámina extendida en el colector solar.
Equipo para medir la temperatura.	Un equipo para medir la temperatura, el
	caudal y el volumen de agua caliente extraída
	que sale del calentador solar de agua.
Banco de prueba exterior	Un banco de prueba exterior para instalar el
	calentador solar de agua caliente con el colector.
Suministro de agua	El suministro de agua controlado a una
	temperatura y presión dentro del rango de 5°C a
	25°C y 200 kPa a 600 kPa o la presión máxima
	de trabajo del fabricante.
Fuente de presión hidráulica	Una fuente de presión hidráulica para regular
	la presión
Indicador de presión	Un indicador de presión adecuado para
	determinar la presión de prueba dentro del 5%.
Una válvula de purga.	
Una válvula de aislamiento	
Manómetros.	
Termopares.	
Bola de acero	con una masa de $150\text{g} + 10\text{g}$
Dispositivo que permita dejar caer la bola.	Electroimán o cualquier otro dispositivo que
	permita dejar caer la bola sin darle un impulso.
Medidores de flujo de gas	con un intervalo mínimo de 0.5 a $0.35 \text{ dm}^3/\text{s}$ e
	incertidumbre de 1% máximo de la lectura
	máxima
Medidores de flujo de agua	con un intervalo mínimo de 0.5 a $0.25 \text{ dm}^3/\text{s}$ e
	incertidumbre de 1% máximo de la lectura
	máxima o recipientes de peso conocido con
	báscula.
Sensores de temperatura, termopares o	con una precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$
RTD	
Manómetros	con amplitud de escala de 0.0 kPa (0.0
	kgf/cm^2) a 500 kPa (5.0 kgf/cm^2) y con una
	división mínima de 10 kPa (0.1 kgf/cm^2).
Calentador de referencia.	

Wattorímetro	para el caso de calentadores solares de circulación forzada
Solarímetro	exactitud de 3% a una radiación de 1000 W/m ² , colocado en el plano del colector.
Anemómetro	Anemómetro o en su caso barreras físicas que impidan la circulación del viento.
Termómetros. Tuberías y conexiones apropiadas. Válvula automática para mezclar el agua caliente y fría. Aislante térmico para las tuberías y adhesivos para colocarlo. Bomba hidráulica de presión.	Hidroneumático a presión máxima de 588.4 kpa(6 kgf/cm ²)
Tanque de almacenamiento de gas LP. Tinaco	Tinaco para el abastecimiento de agua, de capacidad adecuada, certificado bajo la norma NMX-C-374-ONNCCE
Medidor de precipitación pluvial. Bascula. Instrumento de medición lineal Termotanque	Termotanque capacidad mínima de 150 l con tolerancia de -2 l

Fuente: Elaborado con información del Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV)

A continuación, se muestran los instrumentos seleccionados con sus respectivas características técnicas.

Sensor de radiación solar



Figura 40. Piranómetro Kipp & Zonen. Fuente: Kipp & Zonen

Tabla 9. Especificaciones técnicas del piranómetro Kipp & Zonen

Parámetro	Valor
Rango espectral	285 a 2800 nm
Sensibilidad	7 a 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Tiempo de respuesta	< 5 s
Respuesta direccional (hasta 80 ° a 1000 W/m^2)	< 10 W/m^2
Sensibilidad de dependencia a la temperatura (-10 °C a +40 °C)	< 1 %
Rango de temperatura de operación	-40 °C a +80 °C
Radiación máxima	4000 W/m^2
Campo de visión	180 °

Fuente: Kipp & Zonen

Sensor velocidad de viento

En la Figura 41 se puede observar el anemómetro seleccionado, cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 10:



Figura 41. Anemómetro HD2003. Fuente:Deltaohm

Tabla 10. Especificaciones técnicas del anemómetro HD2003

Parámetro	Valor
Tipo de Sensor	Anemómetro ultrasónico con tres ejes
Rango	1 a 96 m/s
Exactitud	$\pm 1\%$ de la lectura
Promedio de salida digital	50 Hz fijo
Velocidad de y transmisión	9600 ÷ 115 200 bit / sec

Fuente: Deltaohm

Sensor de flujo

Se selecciona el sensor Multi Jet considerando que sus características técnicas se ajustan a los requisitos establecidos por la normativa, y adicionalmente es funcional, de fácil de operación, instalación sencilla y económica, mantenimiento mínimo y se puede adaptar a cualquier sistema de adquisición de datos. En la Tabla 11 se muestran las especificaciones técnicas del equipo.



Figura 42. Sensor de flujo de pulso Multi-Jet. Fuente: Seametrics

Tabla 11 Especificaciones técnicas del sensor de flujo Multi-Jet

Parámetro	Valor
Rango de Flujo de Aplicación	0.22 a 22 GPM
Tamaño de la tubería	3/4"-2"
Presión	150 psi
Precisión	±1.5%
Temperatura de Operación	Hasta 90 °C

Fuente: Seametrics

Sensor de Temperatura

Este tipo de sensor es altamente utilizado en la industria, es tipo RTD y la instalación del mismo permite hacer una conexión directa hacia el fluido. El sensor se basa en los elementos estándar Pt100 o Pt1000 que proporcionan datos precisos y fiables, también se logra una respuesta en tiempos reducidos. Se puede ver la imagen de este sensor la Figura 43.



Figura 43. Sensor de temperatura tipo cable MBT 153. Fuente: Danfoss

Se va a seleccionar el sensor tipo cable MBT 153 considerando que cumple todos los requisitos establecidos por la norma, presenta mayores facilidades y menores costos de instalación, además que es compatible con cualquier sistema de extracción de datos en tiempo real.

Tabla 12 Especificaciones técnicas del sensor de temperatura MBT 153

Parámetro	Valor
Marca	MBT 153
Modelo	MBT 153-4001-0300
Tipo	RTD
Longitud	3 m
Rango de Temperatura	-50 a 200 °C
Precisión	$\pm (0.3 + 0.005 \times t)$
Clase	B

Fuente: Danfoss

Sensor de Presión

En la Figura 44 se muestra el sensor de presión seleccionado para ambos bancos de prueba, debido a que cumple con las características exigidas por la norma y sus especificaciones técnicas se encuentran en la Tabla 13 que se muestra a continuación.



Figura 44. Manómetro tipo Bourdon. Fuente: OMEGA Engineering

Tabla 13 Especificaciones técnicas del manómetro PGT – 30L – 15

Parámetro	Valor
Tipo de Sensor	Manómetro
Modelo	PGT – 30L – 15
Rango	0 a 15 psig
Exactitud	0.5
Conexión	1/4"
Diámetro del dial	3"

Fuente: OMEGA Engineering

Sistema de adquisición de datos (Datalogger HD32M.T)

Se seleccionaron dos sistemas de adquisición de datos, uno para cada banco de prueba. En la Tabla 14 se muestran los componentes del Datalogger HD32M.T, siendo utilizados para el banco de prueba de colectores solares que utiliza agua como fluido caloportador, respectivamente.



Figura 45. Datalogger HD32M.T Fuente: Deltaohm

Tabla 14. Componentes del Datalogger HD32M.T

Parámetro	Valor
Rango de adquisición de datos	Programable de 1 a 60 segundos
Entradas analógicas	16 canales; cada canal puede ser usado como una entrada "single-ended" o, en alternativa, 2 canales pueden ser utilizados como una entrada diferencial. Rangos de medición: ± 25 mV, ± 100 mV, ± 1000 mV, ± 2500 mV Resolución: 16 bit, Precisión: 0.01% f.s. Impedancia de entrada: 100 Mohm.
Puertos de entrada/salida (I/O) digitales	8 puertos; cada uno configurable como entrada para la conexión de un sensor o como salida de alarma. Niveles lógicos TTL (0 \Rightarrow Vin3V) Tensión de entrada máx. 5.5 V

Fuente: Deltaohm

Selección de componentes

Bomba de agua

Para la selección de la bomba se consideró la altura a la cual debía elevarse el fluido ya que este es un parámetro fundamental.

Existen dos tipos de bomba que pueden cumplir con los requisitos que se establecen para este instrumento, estas son:

- Bomba centrífuga
- Bomba periférica

La diferencia en el funcionamiento entre las dos bombas es que la centrífuga brinda mayor caudal pero llega a menor altura, mientras que la bomba periférica alcanza una mayor altura con caudales más bajos.

Igualmente hay diferencias en el costo, puesto que una bomba periférica cuesta la mitad de una bomba centrífuga. Analizando lo mencionado, la mejor opción para el sistema es una bomba periférica puesto que no se necesitan caudales altos y el costo es un factor decisivo al no haber mayores impedimentos.

De acuerdo a los cálculos de la bomba seleccionada es una bomba periférica de $\frac{1}{2}$ HP, puesto que es la de menor capacidad que existe en el mercado. Asimismo, la bomba seleccionada tiene la facilidad de regular el caudal de salida, de tal manera que puede cumplir con los requisitos estipulados en la norma, manteniendo un flujo constante en el tiempo, que puede regularse de acuerdo a los requerimientos del colector evaluado.

A continuación, se muestra la bomba seleccionada, la cual es un tipo periférico como se muestra en la Figura 46 y sus principales parámetros en la Tabla 15.



*Figura 46.*Bomba Hidráulica Periferica. Fuente: Pedrollo

Tabla 15 Especificaciones técnicas de la bomba PKm60

Parámetro	Valor
Marca	Pedrollo
Modelo	PKm60
Potencia	0.5 HP
Caudal	5 a 40
Altura	4 a 38 m

Fuente: Pedrollo

Filtro estándar de agua

Se seleccionó un filtro estándar como se muestra en la Figura 47, debido a que el sistema busca eliminar sedimentos, impurezas y basura que se encuentre en el agua para que esta no afecte al proceso de medición del rendimiento del colector solar; además su costo sea bajo y puede ser adquirido con facilidad en el mercado local al igual que el repuesto de su filtro interno. En la Tabla 16 se muestran las características sobre el filtro seleccionado.



Figura 47. Filtro estándar de agua. Fuente: Hidroagua

Tabla 16 Filtro estándar de agua

Parámetro	Valor
Material	Polipropileno
Presión de trabajo	0.5 a 7
Temperatura de trabajo	4 a 60°C

Fuente: Hidroagua

Tanques de almacenamiento de agua

El banco de prueba necesita dos tanques de almacenamiento de agua; uno de ellos también es llamado como reservorio ya que se encuentra al nivel del piso y es posee una mayor capacidad de almacenamiento en comparación al otro tanque que también es llamado tanque elevado.

Luego de una búsqueda de tanques de almacenamiento se determinó que los más idóneos para el banco de prueba son un tanque cilíndrico vertical (tipo botella) de 1,100 litros y otro tanque cilíndrico de 5,000 litros siendo utilizados como tanque elevado y reservorio respectivamente, ambos tanques son Rotoplas.



Figura 48. Tanque de 1100 litros
Fuente: Rotoplas



Figura 49. Tanque de 5000 litros
Fuente: Rotoplas

Calentador eléctrico de agua sin tanque

Para el calentador eléctrico se consideró que el rango de temperaturas de trabajo del colector se encuentra entre 25°C y 55°C.

Adicionalmente el calentador seleccionado posee sensores de temperatura a la entrada y salida del agua, y un control digital que permite escoger la temperatura a la que se desea trabajar, permitiendo obtener un valor constante una vez que se ha establecido el equilibrio térmico. Este valor se refleja en un display instalado en el calentador que permite verificar los datos de trabajo.

El calentador seleccionado es, marca EcoSmart y modelo ECO11. En la Tabla 17 se muestran las especificaciones técnicas del pre calentador eléctrico.



Figura 50. Calentador ECO 11
Fuente: EcoSmart

Tabla 17. Especificaciones del calentador

Parámetro	Valor
Marca	ECOSMART
Modelo	ECO11
Potencia	13.6 KW
Voltaje	240 V
Amperaje	60 A
Caudal de activación	0.25 GPM
Altura	4 a 38 m

Fuente: EcoSmart

Capítulo IV. Diseño de elementos del banco de pruebas y selección de materiales

Una vez analizadas las pruebas de ensayo, se elaboró el diseño del banco de pruebas, que contiene los requisitos técnicos que debe cumplir para la evaluación del colector.

En el diseño se priorizó la resistencia de carga, la cual debe soportar (120kg) con la facultad de que se pueda tener un movimiento en el ángulo de inclinación deseado para la realización del método de prueba del ensayo requerido.

Así, como garantizar la multifuncional para los ensayos de prueba y se puedan ajustar de tal manera que se logren evaluar los distintos colectores tanto de tubos evacuados y placa plana. Con ello, cumplir con la durabilidad y ergonomía los cuales deben ser considerados para la facilitación de los métodos de ensayo sobre el banco de pruebas.

4.1. Módulo para ensayo de impacto

Las funciones que debe cumplir el módulo son:

- Ajustar el punto de impacto.
- Graduar la altura de impacto.
- Liberar proyectiles esféricos de acero en caída libre.

4.1.1. Primera opción

El primer diseño, cuenta con dos soportes en la parte superior e inferior para el ajuste del colector solar las medidas son de 2 m de largo por 1.50m de ancho, el banco tiene un riel el cual ayuda ajustar al ángulo deseado que se necesite para la realización de las pruebas de ensayo de la norma ISO 9806, NMX-ES-001-NORMEX-2005 y DTESTV.



Figura 51. Primer diseño banco de ensayo para realización de pruebas

En la Tabla 18 se presentan las ventajas y desventajas del diseño del banco de pruebas.

Tabla 18. Ventajas y desventajas del primer diseño del banco de pruebas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cumple con las medidas específicas de las normas.	No cumple con la posición del piranómetro.
Los soportes en las cuatro patas hacen que estén firme el banco.	Falta de ajustes para montaje del colector solar.
La estructura para montar el colector soporta hasta 120kg.	Desgaste de la manivela para ajuste del ángulo para la realización de la prueba.
Cuenta con manivela ajustable al ángulo deseado.	No garantiza la prueba de impactos.
	No garantiza la prueba de carga positiva y negativa.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Segunda opción

Para realizar el diseño del banco pruebas en necesario conocer las medidas de los diferentes colectores solares planos disponibles en el mercado, por lo cual se realizó una búsqueda de los colectores ofrecidos el año 2017 y se obtuvieron los valores promedio de largo y ancho.

Derivado de lo anterior se propone un banco de 2 m de alto por 2 m de ancho, esta distancia cumple con lo dispuesto en la norma ISO 9806 que indica que la distancia mínima para la base debe de ser esta, una altura de 1.50 m que también nos indica la norma para la realización del banco de pruebas. Las medidas descritas arriba van acorde a las dimensiones de los colectores en

México, cuenta con soportes en cruz para el ajuste del colector, además de contar con una manivela para regular la inclinación.

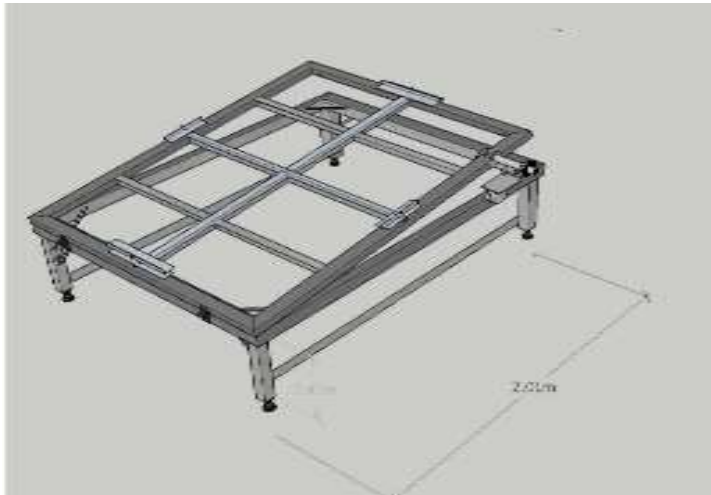


Figura 52. Diseño del banco de pruebas

En la Tabla 19 se presentan las ventajas y desventajas de la segunda opción del diseño del banco de pruebas aplicadas al cumplimiento de las normas.

Tabla 19. Ventajas y desventajas del segundo diseño del banco de pruebas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Cumple con las medidas específicas de la norma.</p> <p>Los soportes en las cuatro patas del banco hacen más estable el banco de pruebas</p> <p>La estructura para montar el colector aguanta hasta un peso de 120kg.</p> <p>Trae una manivela que hace que se pueda ajustar al ángulo deseado.</p> <p>Tiene lugar la colocación del piranómetro.</p>	<p>No contiene otros soportes para la colocación del colector solar.</p>

Fuente: Elaboración propia

4.2. Especificaciones del banco de pruebas

a) Base o Bastidor

Estructura estática, ligera, rectangular, con cuatro patas con variación de la altura la cual se realiza deslizando tornillos ajustables. Con un conjunto de elementos encargados de soportar toda la carga, tanto del colector como del resto de elementos de este módulo. Las solicitaciones mecánicas que debe resistir, exigen un diseño robusto, capaz de mantener estable al colector desde el montaje hasta la finalización de los ensayos.

Material: Un perfil de acero

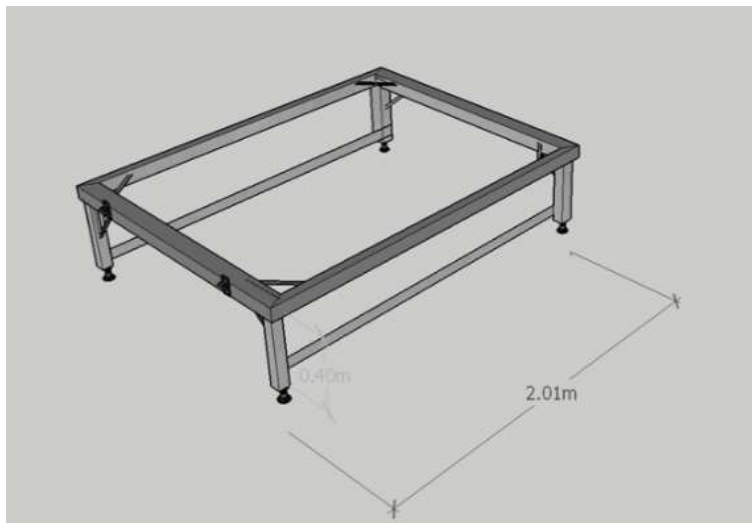


Figura 53. Diseño de la base o bastidor

b) Base Rectangular

Las dimensiones de la base rectangular son 2.21 m x 1.4 m, establecidas de acuerdo a las dimensiones del colector y a la carga que deben soportar. El material de fabricación es acero, seleccionado por su resistencia y facilidades para maquinarse y realizar juntas soldadas o empernadas. El perfil seleccionado para la construcción, es un tubo cuadrado de 0.05m x 0.05m x 0.003 m, para realizar las juntas de la base, se seleccionó soldadura de aceros.

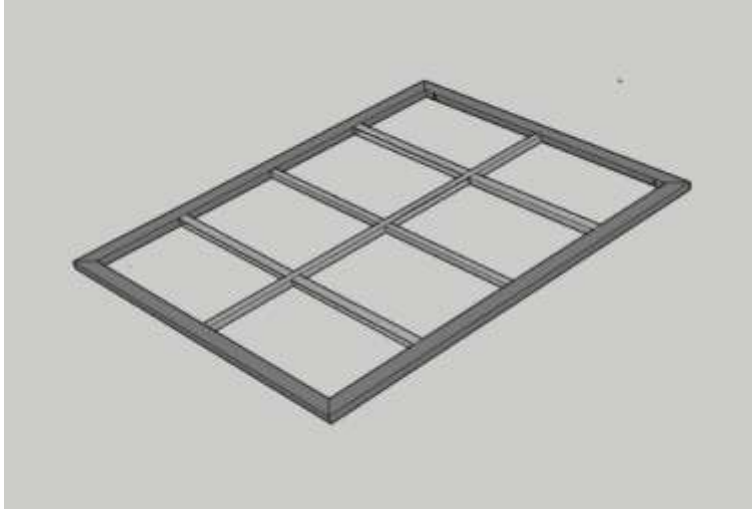


Figura 54. Diseño de la base rectangular

c) Bisagras o Chumaceras

Para sostener de la base rectangular que controla el ángulo de inclinación se diseñaron adquirieron dos (Bisagras o Chumaceras) que permiten el libre giro del eje, para poder asentarlos a la base rectangular, se soldó cada (Bisagras o Chumaceras).

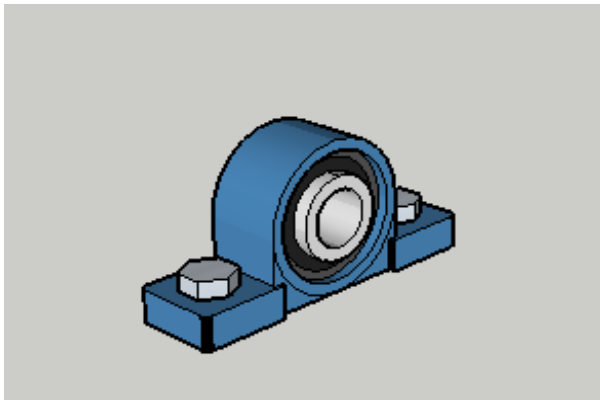


Figura 55. Diseño de la bisagra o chumacera

d) Patas ajustables

Nivelador para superficies disperejas, tiene una superficie antiderrapante uniforme, el acojinamiento de polímero permite absorber impactos.



Figura 56. Diseño de patas ajustable

e) Cruz y Soportes

El conjunto “Cruz y Soportes” consiste en los elementos encargados de sostener directamente al colector y la mesa de instrumentación. Este conjunto debe apoyarse sobre el bastidor, permitiendo un movimiento giratorio controlado que posibilite la variación del ángulo.

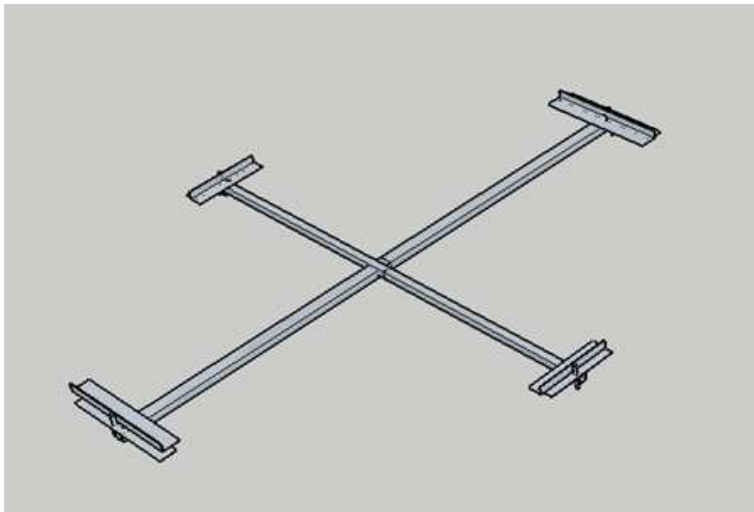


Figura 57. Diseño de cruz y soportes

f) Mesa de instrumentación

La mesa de instrumentación debe apoyarse sobre el bastidor, permitiendo un movimiento giratorio controlado que posibilite la variación del ángulo. Las dimensiones de la placa tablero son de 0.04 m x 0.04 m x 0.004 m, el perfil cuadrado se une al ángulo del soporte mediante soldadura.

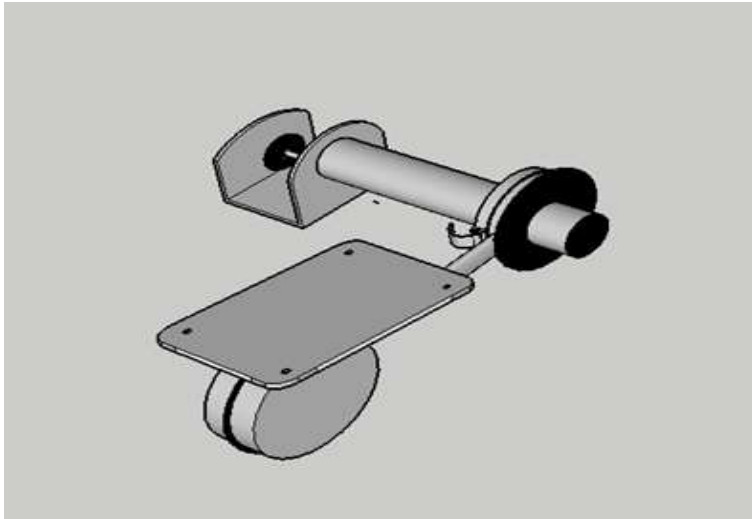


Figura 58. Diseño de mesa de instrumentación

4.2.1. *Distribución del banco de pruebas en el diseño e implementación laboratorio de pruebas y certificación para colectores destinados para el calentamiento de agua (UACM).*

Así como el desarrollo la ubicación de los equipos, planos y sistema hidráulico proyectado en el laboratorio, ya que es imprescindible conocer la geometría y la posición de los elementos que forman el objeto, así como de los elementos que forman el entorno del mismo. Estos elementos son estáticos, es decir, mantienen la misma posición a lo largo del año, pero en la escena hay que definir también la localización del sol, que será distinta para cada instante de año.

Por lo cual se tomó en cuenta en análisis de sombras que puede realizar se con el cálculo de las sombras generadas aplicando principios de geometría analítica (sombras proyectadas, transformación de coordenadas) o mediante métodos de geometría computacional (intersección de polígonos).

En este caso los resultados obtenidos son función del método computacional utilizado, se estudia el efecto sombra que producen todos los elementos de la escena sobre cualquier elemento del edificio.

En la Figura 59, se muestra la distribución del laboratorio que este diseñador para el montaje de 4 bancos de pruebas para la certificación de los colectores, a continuación se muestra el plano de la fachada.



Figura 59. Fachada del laboratorio. Fuentes: Coordinación de obras y Conservación, UACM

En la Figura 60 se muestra el plano superior del laboratorio que será construido en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM).

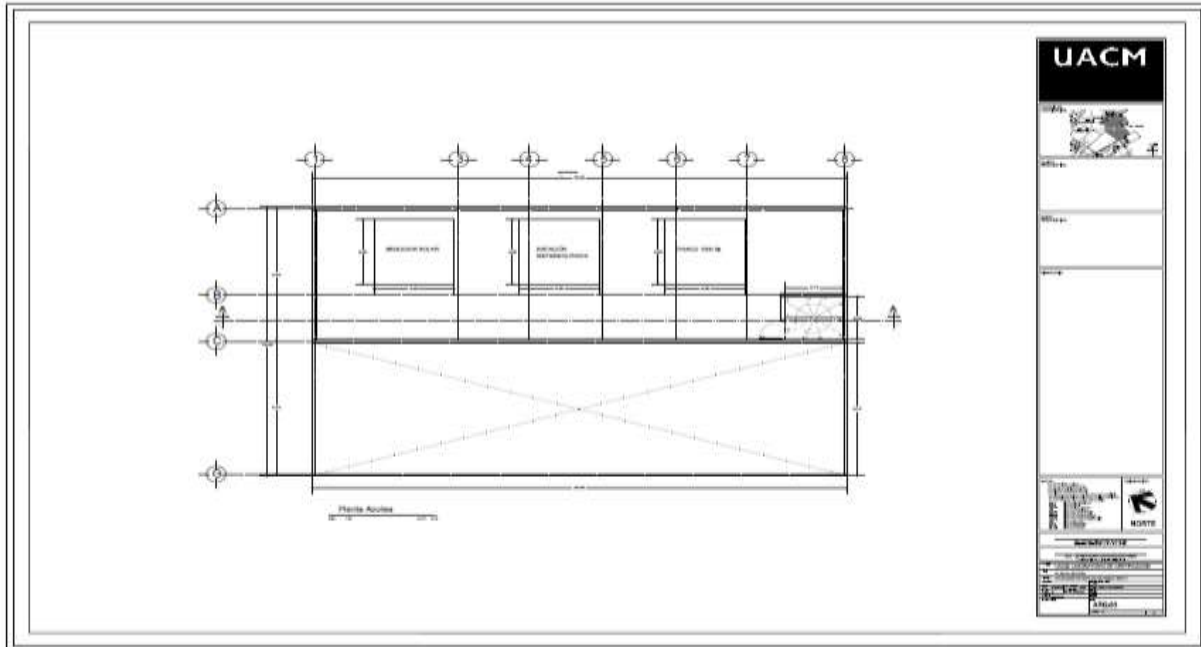


Figura 60. Plano superior del laboratorio. Fuente: Coordinación de obras y Conservación UACM

En la Figura 61, se muestra el plano de la planta inferior del laboratorio el cual va ser construido en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

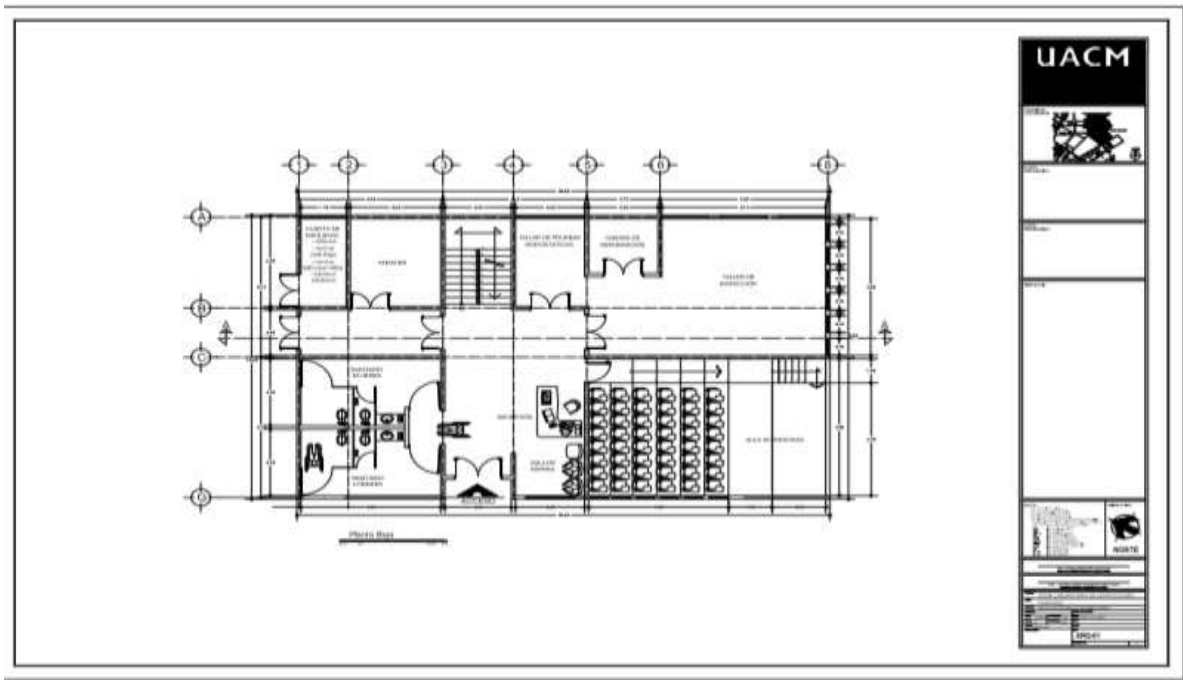


Figura 61. Plano de la planta inferior del laboratorio. Fuente: Coordinación de obras y Conservación UACM

4.2.2. Áreas y distribución del laboratorio

La coordinación de obras y conservación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) atendió la realización del diseño y la elaboración de la bases de licitación para la construcción del laboratorio de pruebas para la certificación de colectores de calentamiento de agua, la construcción del inmueble situado al sur con superficie de 325.5m², el cual se distribuye en dos niveles, dentro de las instalaciones de la Universidad y lo suficientemente alejado de los edificios académicos, este laboratorio contara con las condiciones apropiadas de viento y exposición solar que favorecerán el desarrollo de las pruebas en exterior.

En su interior el inmueble no solo contara con instalaciones destinadas a pruebas físicas, también será equipado con espacios acondicionados donde se brindara capacitación a estudiantes y público en general, lo cual tendrá un impacto positivo en la comunidad estudiantil, reforzando el conocimiento y desarrollando investigación en el área de energía solar térmica. En la Tabla 20 se muestra el detalle de los espacios que se proyectaron para este laboratorio.

Tabla 20. Distribución de áreas del laboratorio de pruebas UACM

Planta baja	Área	Primer Nivel	Área
Acceso	2.30	Director	20.20
Recepción	22.27	Sala de juntas	20.60
Sala de espera	6.91	Módulo de trabajo 1	9.63
Cuarto de máquinas	6.56	Módulo de trabajo 2	13.47
Almacén	13.09	Área de pruebas a intemperie	118.18
Taller de pruebas hidrostáticas	10.00	Lectura de estación metereológica	6.06
Cámara de refrigeración	6.24	Circulaciones	28.63
Taller de inspección	46.38	Acceso azotea	4.31
Aula	53.40		221.08 m²
Sanitarios (hombre y mujer)	31.49		
Escalera	10.00		
Circulaciones	21.29		
	229.93m²		

Fuente: Coordinación de obras y Conservación UACM

4.2.3. Elaboración de sombras para el banco de pruebas

Este análisis se realizó con el objetivo de dar cumplimiento a las normas y en consecuencia la disminución en la temperatura de los colectores solares por sombreado. Las siguientes imágenes describen los meses 21 de junio, 21 de marzo y 21 de diciembre, así como el análisis de mañana y tarde.

- 21 de junio mañana

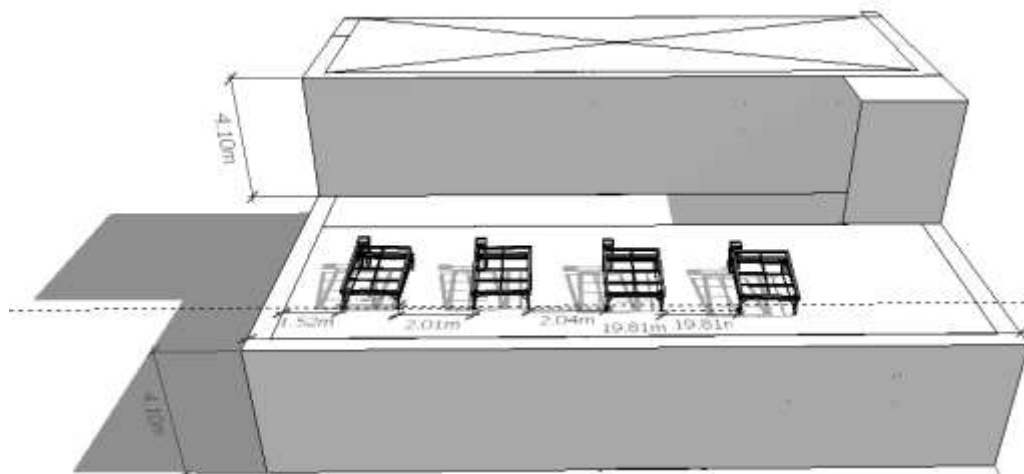


Figura 62. Análisis de sombras 21 de junio mañana

- 21 junio tarde

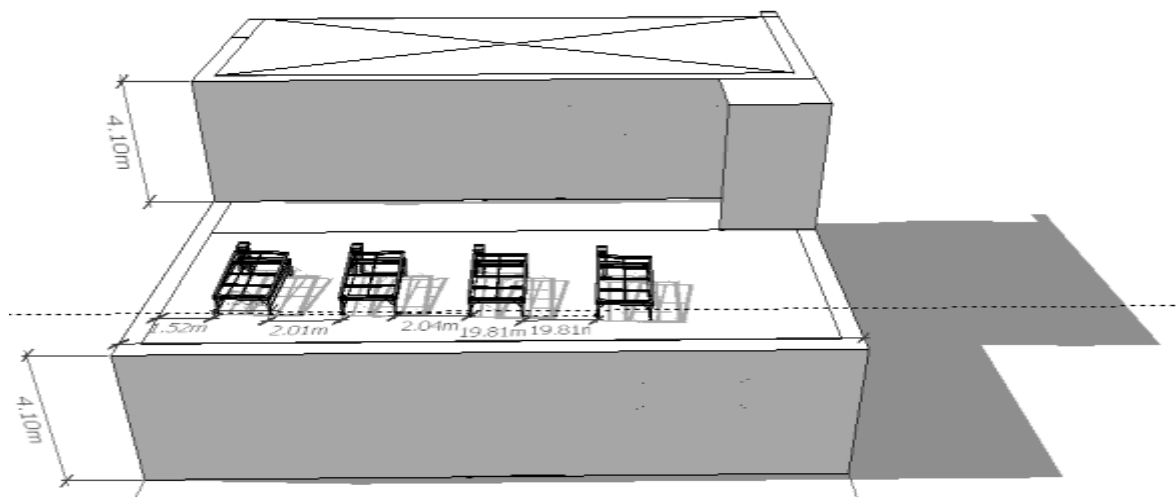


Figura 63. Análisis de sombras 21 de junio tarde

- 21 marzo mañana

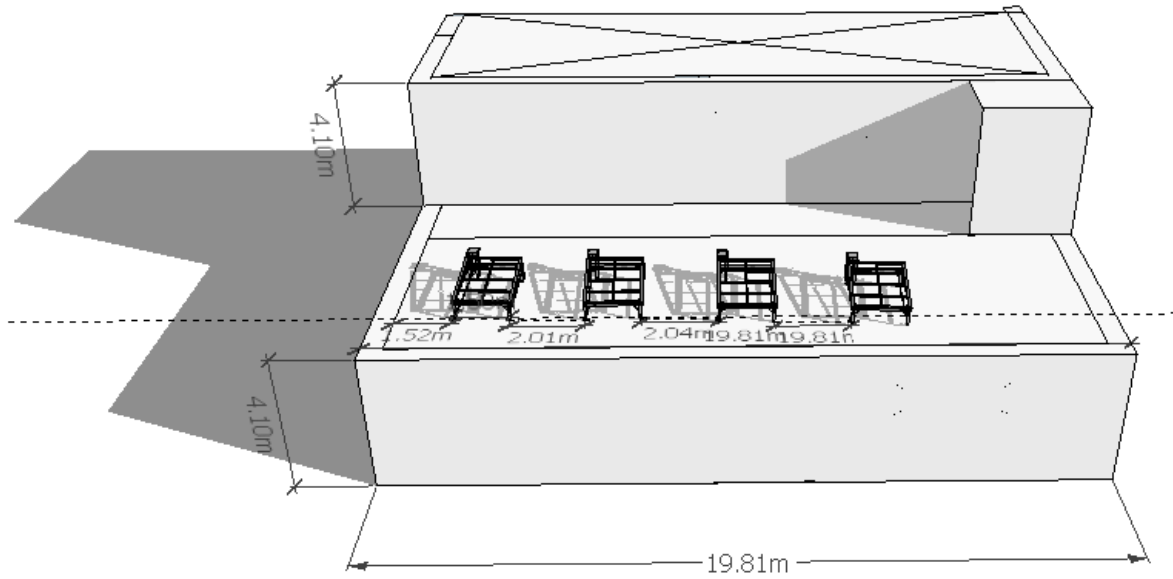


Figura 64. Análisis de sombras 21 de marzo mañana

- 21 marzo tarde

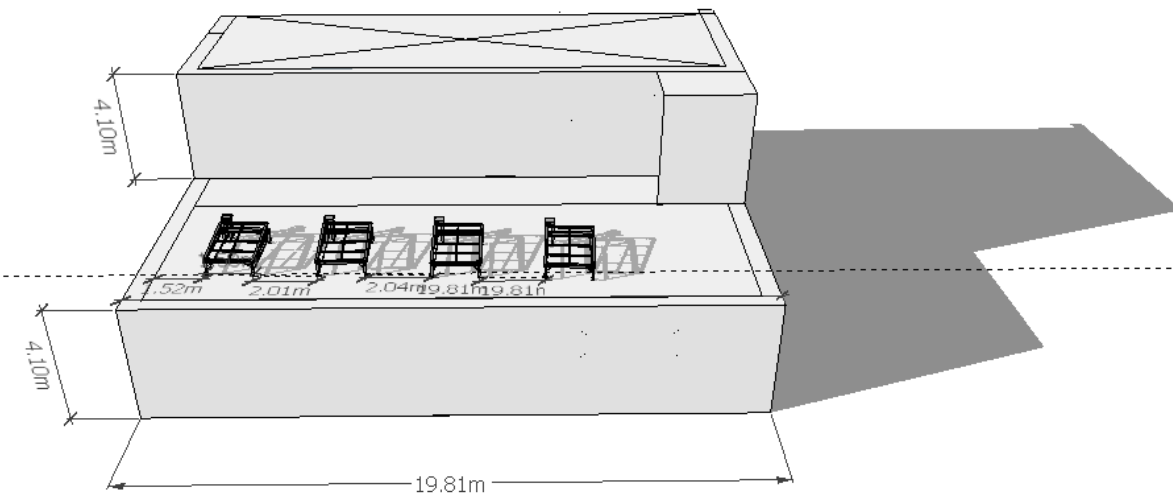


Figura 65. Análisis de sombras 21 de marzo tarde

- 21 de diciembre mañana

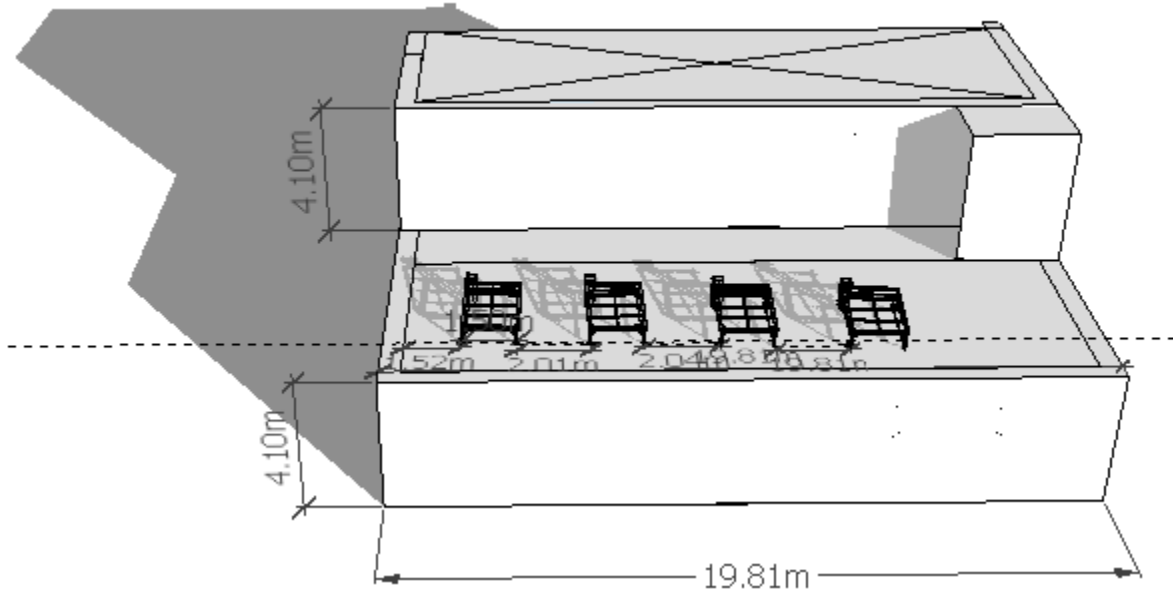


Figura 66. Análisis de sombras 21 de diciembre mañana

- 21 de diciembre tarde

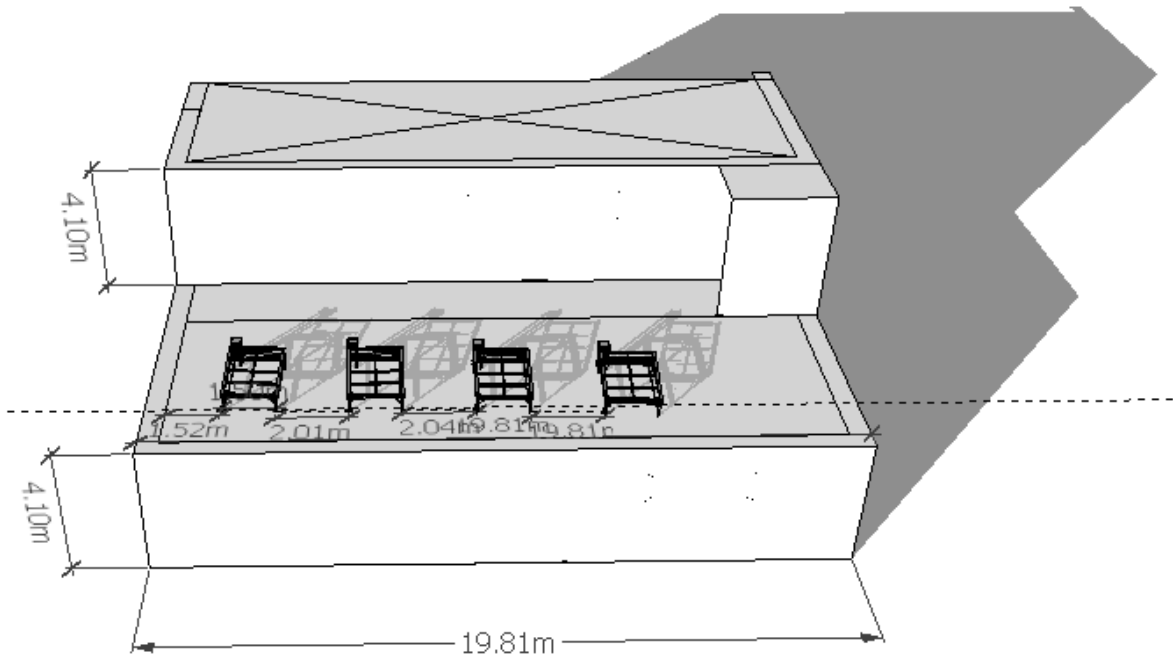


Figura 67. Análisis de sombras 21 de diciembre tarde

4.3. Diseño del módulo para ensayos de lluvia y choques térmicos

Esta prueba es aplicable únicamente a los colectores con cristal y tiene por objeto evaluar hasta qué punto son sustancialmente resistentes a la penetración de la lluvia, en este ensayo se utiliza para valorar la impermeabilidad de los colectores cuando están sometidos a precipitaciones naturales que no deben ingresar al colector por los orificios de ventilación o drenaje, los colectores pueden tener orificios de ventilación y drenaje.

4.3.1. Recomendación para la instalación

Para la instalación se necesitará una estructura que permita montar el colector con un ángulo de inclinación respecto a la horizontal igual a 30°, o solamente que el fabricante de otra especificación.

En la Tabla 21, se muestra el equipo hidráulico y mecánico que se necesitará para la realización de la prueba de penetración, indicada por el DTESTV, la cual nos indicará el tamaño de la gota, cantidad de agua, duración de las pruebas, así como también el medidor de flujo, la bomba mecánica y termómetro.

Tabla 21. Especificaciones de equipo para la realización de las pruebas de penetración.

Especificaciones para la realización de las pruebas	
Filtro de agua	(200 μm) 200 micras
Sistema de Rocío Angulo de Rocío del captador	30° ($\pm 5^\circ$). 5g/m ²
Caudal másico	2kg/min (± 0.5 kg/min)
Tamaño de la gota de rocío	150 μm
Bomba eléctrica o manual	½ hp con caudal 0.02
Medidor de Flujo de agua mínimo	0.5 a 0.25 dm ³ /s
Distancia máxima de rocío	150 cm
Calentador de agua	55°C (± 5 K) o $\pm 0,05$ °C
Cantidad de agua bruta	30 g/m ²
Duración de la prueba min-max	4horas- 48horas
Bascula granataria	2 a 5 kgcon precisión de 0.5g incertidumbre 5g/m ²
Termómetro	-10°C a 50°C

Fuente: DTESTV y Norma ISO9806

4.3.2. Condiciones Generales

El colector se rociará con agua a una temperatura inferior a 30°C. La duración del proceso de rociado será de al menos 4 horas. Durante el proceso de rociado el absorbedor se mantendrá caliente. Esto se hará circulando el fluido a 55 °C (± 5 K) a través del absorbedor.

Después de esto, el colector debe ser almacenado de tal manera que los resultados no sean influenciados hasta que se haya detectado la entrada de agua.

Para la instalación se necesitará una estructura que permita montar el colector con un ángulo de inclinación respecto a la horizontal igual a 30°, o solamente que el fabricante de otra especificación.

El diseño del banco es modular, esto quiere decir que dependiendo de la prueba se añaden los componentes e instrumentos necesarios para realización de las pruebas.

4.3.3. Aspersores para el banco

El aspersor debe cumplir con una serie de requerimientos que indique el DTESTV, como la presión de agua se mantendrá a 300 kPa, para lo cual el material de polipropileno (de color verde), ayudará en la construcción del equipo de penetración de lluvia.

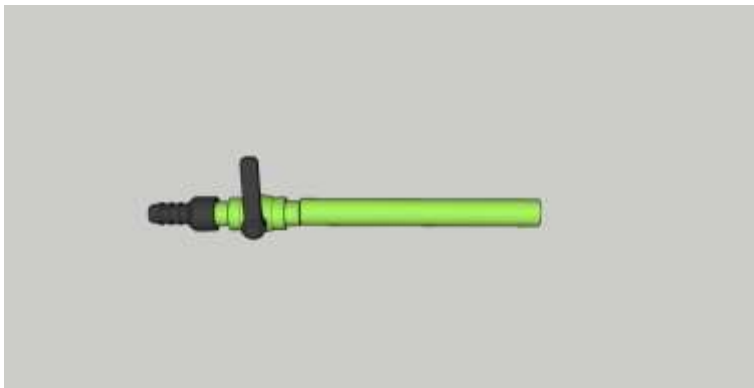


Figura 68. Aspersor para módulo de penetración de lluvia

La boquilla de pulverización debe contener un cono completo el cual pueda garantizar un flujo másico de 2kg/min o ± 0.5 kg/min por boquilla, el ángulo de pulverización debe ser de $60^\circ \pm 5$ como se muestra en la Figura 60.



Figura 69. Boquilla del aspersor

Consiste en 8 rociadores de agua los cuales permiten regular la presión y están debidamente colocados con un ángulo de inclinación para poder desarrollar el ensayo de la prueba. Se ponen conexiones rápidas a 19mm. Con tubería hidráulica plástica para interconectar las mangueras.

Para la alimentación se conectará una bomba con reguladores de flujo y presión, alimentados por un tanque de almacenamiento, como se puede observar en la Figura 61.



Figura 70. Aspersores para pruebas de penetración de lluvia

La detección de la entrada de agua se realizará mediante una inspección final la cual debe realizarse al menos en un periodo de 4 horas y como máximo 48 horas después de la última prueba de rociado.

Si se elige el método de pesaje, el colector deberá ponderarse entre 4 y 5 horas después del proceso de pulverización. Se debe evitar el transporte innecesario del colector.

En caso de prueba de penetración de lluvia al aire libre el colector debe ser sombreado para mantener la temperatura del absorbedor aproximadamente a 55°C. La penetración de agua en el colector se determinará mediante inspección final o pesando el colector. Se diseñó la distribución del sistema de aspersores como se muestra en la Figura 61, para el método de ensayo de penetración de lluvia que nos marca el criterio de la ISO 9806 y el DTESTV.

4.4. Diseño del módulo para ensayo de impacto

Estas contienen los procedimientos que permiten ensayar los colectores bajo condiciones naturales de irradiación, viento, presión, temperatura y humedad, también estará expuesta a condiciones simuladas de laboratorio, lo cual nos permitirá diseñar un banco de pruebas de impacto para poder cumplir con todas las especificaciones del método de ensayo.

4.4.1. Condiciones Generales

El objetivo del ensayo es determinar hasta qué punto el colector puede soportar los efectos de impactos pesados causados por granizo. Para ello en la norma se propone dos métodos (usando bolas de acero o de hielo), los mismos que deberán ser lanzados en una cantidad definida y a distintas alturas, definidos en la norma.

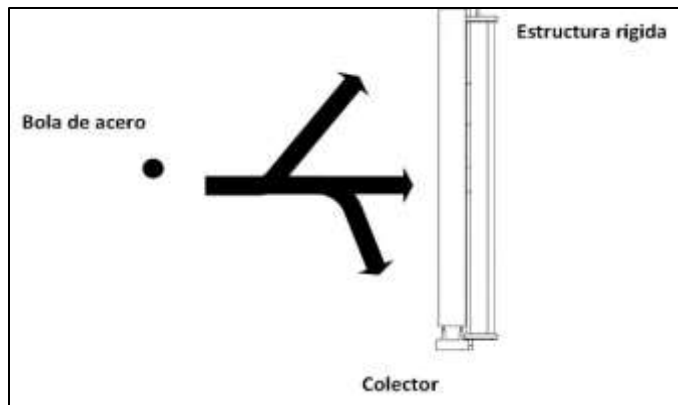


Figura 71. Esquema de posición vertical del colector solar de ensayo de resistencia al impacto usando bolas de acero

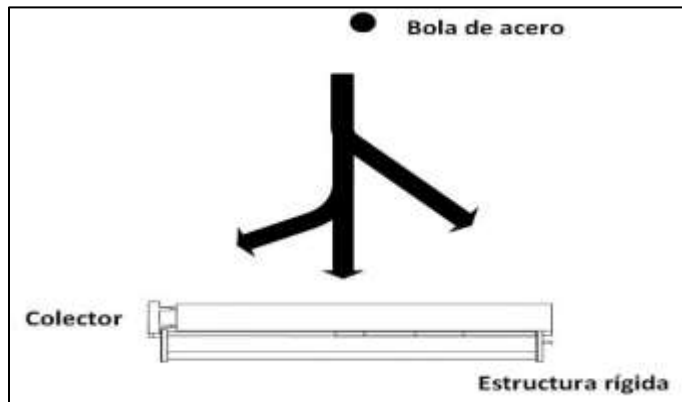


Figura 72. Esquema de posición horizontal del colector solar de ensayo de resistencia al impacto usando bolas de acero

4.4.2. Recomendación para la prueba de resistencia a impacto

Para la prueba de impacto se utilizarán los siguientes instrumentos:

- Bolas de acero
- 1 estructura rígida
- 1 colector solar
- Sistema de medida fotoeléctrico de velocidad
- Fuente de presión neumática
- Manómetro
- Válvula grande solenoide, de apertura rápida

Para el caso del uso de bolas de hielo se requerirá adicionalmente un congelador, un contenedor de acumulación y un lanzador; para el ensayo de resistencia al impacto usando bolas de acero será necesario bolas de acero de 150g.

La bola de acero se dejará caer del reposo, como se muestra en la Figura 3, se determinó la velocidad, posición y tiempo:

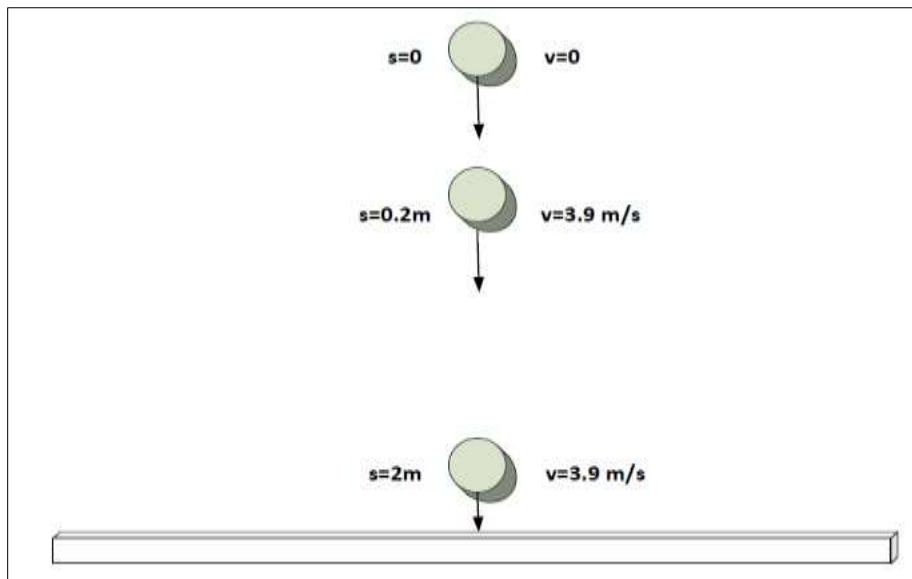


Figura 73. Esquema del colector solar de ensayo a la resistencia al Impacto usando bolas de acero

Puesto que los parámetros se medirán hacia abajo, es más conveniente elegir la dirección descendente como positiva.

Para 0.2 m de altura:

$$S = V_0 t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$0.2\text{ m} = \frac{1}{2}(9.8\text{ m/s}^2)t^2$$

$$t^2 = \frac{0.2 \text{ m}}{4.9 \text{ m/s}^2}$$

$$t^2 = 0.04081 \text{ s}^2$$

$$V_f = V_o + gt$$

$$V_f = (9.8 \text{ m/s}^2)(0.04081)$$

$$V_f = 3.9 \text{ m/s}$$

Para 2 m de altura:

$$2 \text{ m} = \frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)t^2$$

$$t^2 = \frac{2 \text{ m}}{4.9 \text{ m/s}^2}$$

$$t^2 = 0.4081 \text{ s}^2$$

$$V_f = V_o + gt$$

$$V_f = (9.8 \text{ m/s}^2)(0.4081)$$

$$V_f = 3.9 \text{ m/s}$$

4.4.3. Banco de ensayo de impacto

Las funciones que debe cumplir el banco de impacto son:

- Ajustar el punto de impacto.
- Graduar la altura de impacto.
- Liberar proyectiles esféricos de acero en caída libre.

Se trata de una estructura estática, ligera, rectangular, con cuatro patas con variación de la altura la cual se realiza deslizando tornillos ajustables con un juego de perfiles concéntricos que actúan de forma telescópica permitiendo llegar a las diferentes alturas que solicita el ensayo. Este conjunto se asienta sobre uno de los largueros del bastidor. El sistema de lanzamiento consiste en un electroimán colocado en el extremo de un perfil cuadrado que se desliza en una guía colocada

en el perfil superior permitiendo controlar la distancia horizontal. El esquema de esta solución se puede ver en la Figura 65.

El banco está compuesto por dos sistemas:

- Sistema de elevación
- Sistema de sujeción y liberación del proyectil.

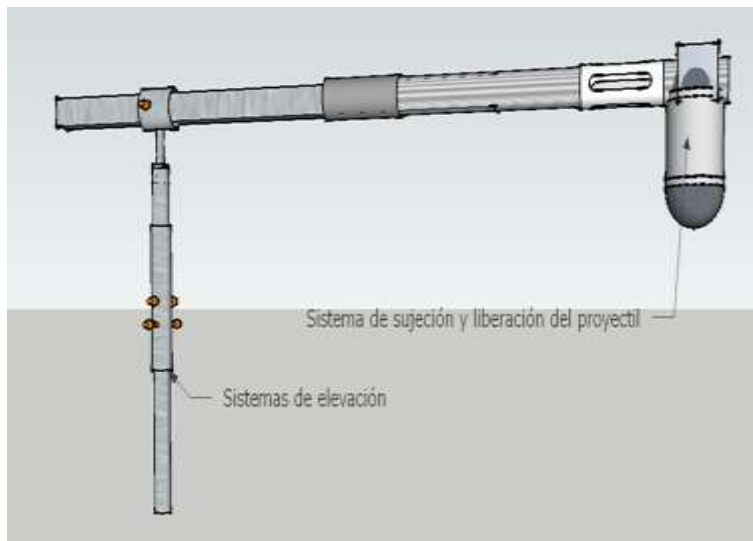


Figura 74. Sistemas del banco de impacto

El sistema de elevación consiste en un conjunto de tubos concéntricos y está diseñado para alcanzar las distancias especificadas en la norma. Está compuesto por tres perfiles cuadrados y un perfil circular seleccionados adecuadamente para que puedan realizar el juego axial del sistema telescópico. Las dimensiones se pueden ver en la Figura 66, donde también se detallan los perfiles y su funcionamiento. El perfil circular se escogió con la finalidad de posibilitar la ubicación del punto de impacto en cualquier parte de la superficie del colector, el control y la fijación de la altura se realizan con ayuda de pernos apretadores.

4.4.4. Sistema de sujeción y liberación del proyectil

El sistema de sujeción y liberación incluye todos los componentes que sirven para ubicar el punto de impacto, sujetar el proyectil y liberarlo.

Estos elementos son:

1. Perfil para ubicación del punto de impacto
2. Guía para el perfil de ubicación del punto de impacto
3. Electroimán de sujeción

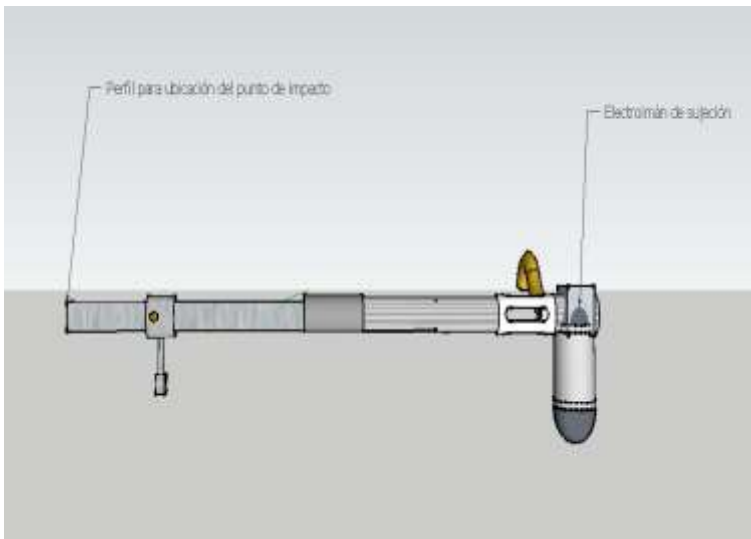


Figura 75. Sujeción y liberación de los balines

La verificación de este punto se la realiza montando el sistema telescópico en el bastidor, regulando el punto de impacto, regulando la altura desde 0.20 m por encima del colector hasta 2 m por encima del colector, y comprobando así la correcta funcionalidad del banco de impacto.

4.4.5. Banco de pruebas de impacto

Como se mencionó anteriormente, es importante considerar que existen dos opciones para realizar las pruebas de impacto. Se eligió hacer la prueba de impactos con bolas de acero de 150g porque las bolas de hielo no garantizan la durabilidad y la uniformidad, además que se generaría un mayor costo en su elaboración. En cambio, las bolas de acero pueden ser nuevamente reutilizadas para la misma prueba, haciendo más barato el método de prueba.



Figura 76. Banco de pruebas de impacto (colector plano)

Utilizando el mismo principio anterior se añade una base para colocar los tubos evacuados los cuales se colocarán dentro del banco de impacto, como se muestra en la Figura 68, contará con una altura de 0.2 m. a 2m. Los residuos serán almacenados siguiendo las normas de seguridad y las recomendaciones del fabricante para tratarlos adecuadamente.

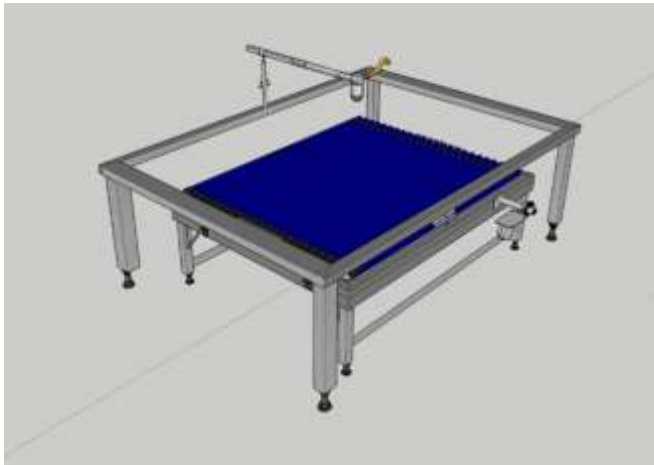


Figura 77. Banco de pruebas de impacto (tubos evacuados)

Capítulo V. Norma ISO/IEC 17025(2017)

5.1. Preparación para la acreditación y elementos de un manual de calidad para laboratorios de calibración y ensayo.

La norma ISO/IEC 17025(2017) ayudará a identificar los requerimientos necesarios para la acreditación de un laboratorio con los cual se elaborará un manual de gestión, los requisitos generales, estructurales, procesos, del sistema de gestión y los relativos a los recursos.

Identificaremos que es la acreditación, el porqué de la importancia de la acreditación y como se otorga, de esta manera se revisaron los trámites necesarios para la acreditación de un laboratorio, así como verificar el tiempo que se tarda en la acreditación, y cuáles serán los alcances de la acreditación de la norma ISO/IEC 17025(2017).

Se analizaron los requerimientos para la acreditación y se ejemplificaron los pasos que se deben seguir para la realización de los procedimientos, de la misma manera se realizaron los formatos de registro, se explicó la importante la imparcialidad y la confidencialidad que nos exige la ISO/IEC 17025(2017), su legalidad y los responsables del cumplimiento, así como el alcance del laboratorio y la elaboración de la estructura organizacional del laboratorio para la correcta operación.

5.2. Proceso y Requisitos para Acreditar un Laboratorio

Una acreditación es el atestiguamiento de tercera parte relacionado a un organismo de evaluación de la conformidad que demuestra competencia para realizar actividades específicas de evaluación de conformidad. Es importante la acreditación ya que nos ayuda asegurar la calidad de los servicios de calibración o pruebas de ensayo, para lo cual estos mecanismos tendrán como objetivo demostrar su competencia, imparcialidad y coherencia.

Entidades de Acreditación:

- ENAC: Entidad Nacional de Acreditación
- EMA: Entidad Mexicana de Acreditación A.C

- Perry Johnson Laboratory Accreditation, INC

Para iniciar los trámites de la acreditación es necesitamos tener un sistema de gestión implantado con la norma ISO/IEC 17025(2017), cumplir con los requisitos definidos por la entidad acreditadora como puede ser la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación), y cumplir con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, entre otras regulaciones, así como el cumplimiento de los requisitos de las normas técnicas utilizadas las cuales son:

Tabla 22. Proceso para obtener la Acreditación ISO/IEC 17025(2017)

Etapas	Proceso
Primera Etapa	Recepción e ingreso de la solicitud de acreditación
Segunda Etapa	Designación del grupo evaluador
Tercera Etapa	Evaluación de documento
Cuarta Etapa	Coordinación de la logística de evaluación en sitio
Quinta Etapa	Evaluación en sitio
Sexta Etapa	Dictaminarían

Fuente: Elaborado por METRyCAL

El tiempo para realizar el proceso de una acreditación puede variar de 3 y 6 meses, posteriormente se evaluará el documento lo cual toma otros 3 meses y si cumple, el documento de emisión de acreditación será de 1 mes más, lo que nos lleva a 10 meses en generar la acreditación por parte de la Entidad de Acreditación.

5.3. Características de la Norma ISO/IEC 17025 (2017)

La norma ISO/IEC 17025(2017) es aquella que contiene los requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración, la cual nos ayudara a operar un sistema de gestión de la calidad eficaz y mejora continua, técnicamente competente imparcial y coherente, el cual sea capaz de producir resultados de ensayo o calibración confiables.

El laboratorio debe contar con una estructura organizacional que dé cumplimiento y legalidad, así como desarrollo de los procesos y los requisitos del sistema de gestión los cuales en la Tabla 23.

Tabla 23. Contenido de la norma ISO/IEC 17025:2017

Contenido de la norma ISO/IEC 17025:2017	
Requisitos de procesos	Requisitos de sistema de gestión
Revisión de solicitudes, ofertas y contratos	Opciones
Selección, verificación y validación de métodos.	Documentación del sistema de gestión.
Muestreo	Control de documentación del sistema de gestión.
Manipulación de los ítem de ensayo de calibración	Control de registro.
Registro técnico	Acciones para abordar riesgos y oportunidades.
Evaluación de la incertidumbre	Mejora.
Aseguramiento de validez de los resultados	Acciones correctivas.
Informe de resultados	Auditorías internas.
Quejas	Revisión por la dirección.
Trabajo no conforme	
Control de datos y gestión de la información	

Fuente: ISO/IEC 17025:2017

5.4. Elaboración del manual de gestión ISO/IEC 17025 (2017)

En este apartado primero se analizó que es un sistema de gestión de calidad, lo cual ahora se puede definir como un sistema de gestión que se encarga de dirigir y controlar una organización con respecto a la calidad, esto puede ser con un seguimiento de sistemas de gestión de calidad precedido por una manual de calidad, realizar su elaboración e implantar este sistema de gestión.

El primer nivel consiste en tener un manual de calidad, posteriormente el segundo nivel, en el cual obtienen los procedimientos de gestión y los procedimientos técnicos, en el tercer nivel se debe tener un registro de gestión y registros técnicos para la generación de un manual de calidad.

Pasos para la generación de un manual de calidad.

1. Disponer de la norma ISO/IEC 17025(2017) la cual utilizaremos como referencial para la implementación de nuestro sistema de gestión.
2. Asegurar su capacitación.

- La acreditación, interpretación de la norma ISO/IEC 17025 (2017)
 - Metrología y estimación de incertidumbre
 - Métodos de muestro.
 - Cartas de control estadístico.
3. Comprender los requisitos de la norma
 4. Diseñar un formato para la elaboración de un manual de calidad de tal forma que este permita tenerlo bajo control.
 5. Planear un índice del manual
 - Objetivo.
 - Definiciones y notaciones.
 - Referencias bibliográficas.
 - Requisitos de gestión.
 - Requisitos técnicos.
 - Anexos.
 6. Alinee nuestro manual de calidad con la numeración de la norma ISO/IEC 17025(2017)
 7. Documentar nuestro manual de calidad.

5.4.1. Requisitos generales

Uno de los requisitos principales para el laboratorio es que debe operar en forma imparcial y estar comprometido, ser responsable con sus actividades. El laboratorio debe identificar y minimizar o eliminar los riesgos a la imparcialidad de forma continua.

También un requisito importante en el laboratorio es tener confidencialidad, es decir que el laboratorio debe ser responsable y mantener la confidencialidad de la información obtenida o creada en sus servicios.

5.4.2. Requisitos estructurales

La legalidad del laboratorio debe estar definida, por una entidad legal, la cual tendrá que generar un organigrama desde donde se debe mostrar quien es la Alta dirección, Responsable del

Sistema de Gestión, Responsable técnico u otros cargos para garantizar la correcta operación y la responsabilidad del servicio.

Así el laboratorio debe definir y documentar el alcance de sus servicios y tener la responsabilidad de cumplimiento con sus clientes y autoridades.

El responsable del sistema de gestión debe definir el sistema de gestión el cual se encargará de documentar el puesto y personal, encargados de las actividades que sean gestionadas.

5.4.3. Requisitos relativos a los recursos

El laboratorio debe tener personal, instalaciones, equipamiento, sistema y servicios de apoyo necesarios para sus actividades, es decir el personal debe ser competente para el desarrollo de las actividades, el personal debe tener los procedimientos para definir los requisitos de las competencias y así, seleccionar, supervisar, autorizar y dará seguimiento a los métodos de ensayo de las pruebas que se van a realizar.

El laboratorio debe documentar los requisitos de instalaciones y condiciones ambientales adecuadas, así como su seguimiento y registro fuera y dentro del laboratorio.

El equipamiento se debe de calibrar cuando su exactitud o incertidumbre afecten los resultados, dan trazabilidad metrológica a los resultados, también el laboratorio debe rotular y aislar el equipo sometido o sobrecarga, uso inadecuado, de resultados cuestionable o que estén defectuosos y generar los registros de equipos, así como establecer la trazabilidad de sus resultados con el sistema internacional de unidades.

5.4.4. Requisitos del proceso

Los requisitos para el proceso se debe considerar la solicitud, ofertas y contratos, los cual se le informa al cliente sobre las actividades que se realizan en el laboratorio, este debe verificar que puede llevar acabo apropiadamente los métodos antes de utilizarlos, así como la validación de estos.

Las técnicas de validación de los métodos consisten en la calibración o evaluación del sesgo y precisión utilizando patrones o materiales de referencia, evaluación sistemática de los factores que influyen en el resultado, así como robustecer el método de ensayo a través de la variación de parámetros controlados.

Se debe tener la comparación de los resultados con otro método de validación que este acreditado.

Se debe considerar tener fecha y hora de nuestros servicios, identificación y descripción de la muestra, equipamiento utilizado, condiciones ambientales y diagramas de ubicación de la muestra, así como las desviaciones, adiciones o exclusiones.

También la norma nos dice que tenemos que tener registros técnicos los cuales deben ser trazables a las versiones anteriores y así conservar los datos y archivos originales y los modificados, con fecha, corrección y así evaluar la incertidumbre de los servicios identificados para asegurar los resultados y detectar tendencias.

5.4.5. Requisitos del sistema de gestión

La dirección del laboratorio debe establecer, documentar y mantener políticas y objetivos para el cumplimiento del propósito de la norma ISO/IEC 17025(2017), el laboratorio debe controlar los documentos internos y externos a su sistema de gestión, asegurase que los documentos que se aprueban antes de su emisión sean revisados por el personal autorizado y el control para la identificación, almacenamiento, protección, copia de seguridad, archivo, recuperación, tiempo de conversación y disposición de sus registros.

Conclusiones y recomendaciones

a) Conclusiones

Se ha realizado con éxito el objetivo de diseñar el banco de pruebas, con su respectivo sistema hidráulico, capaz de determinar el rendimiento térmico de colectores solares de placa plana y tubos evacuados, que utilicen como fluido de trabajo agua; así como los elementos para el desarrollo de los manuales de instrucciones para la realización de cada una de las pruebas contenidas en la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y en el DTESTV.

Fue posible la integración de las pruebas de dos normas en un solo banco, lo que permite la optimización de recursos, con la aprobación de la Norma Oficial para calentadores solares (NOM-027-ENER-2018) y previniendo su entrada en vigor, el banco actual y la elaboración de su manual pueden así acreditar dicha norma.

Se logró un diseño que ha sido enfocado no solamente para la evaluación de la eficiencia térmica, sino también para garantizar la durabilidad y resistencia de los elementos, que soporte condiciones ambientales externas sin comprometer ninguno de sus componentes.

Posteriormente, se realizó una metodología que permitirá la realización de un instructivo para el técnico usuario operador del banco que detalla la forma de operación de cada uno de los módulos que componen el banco de pruebas.

Asimismo, se incluye una descripción detallada de los métodos de prueba para la realización de cada una de las pruebas contenidas en la NMX-ES-001-NORMEX-2005 y en el DTESTV, desarrollando el procedimiento, así como el tiempo estimado de días de ensayos, con ello se podrá estimar el tiempo de finalización del ensayo reduciendo significativamente los tiempos y calendarizando los meses adecuados para garantizar que la prueba se realice satisfactoriamente bajo los niveles de irradiación y condiciones ambientales.

Se deberá seguir investigando sobre nuevos desarrollos tecnológicos para mejorar los sistemas de calentamiento de agua, tener en cuenta que, si bien la homologación de equipos y colectores es importante para garantizar la comercialización de productos que reúnan características mínimas de calidad, es por esta razón que es de gran importancia ejercer un control sobre la calidad de los equipos y un buen control normativo más efectivo, actualmente con la publicación de la NOM-027-ENER-2018, que exige la obligatoriedad para todos los equipos del mercado.

Algo favorable será contar con el laboratorio de pruebas, ya que significo un problema no tener un espacio físico para los equipos de medición, significando una reducción en los posibles daños o averías de los equipos, el laboratorio ya cuenta con un avance significativo en su infraestructura.

b) Recomendaciones

A continuación, se mencionan algunas recomendaciones para la mejorar de los métodos de prueba, diseño del banco y laboratorio de la UACM.

La regulación de la temperatura del fluido a la entrada del colector es de vital importancia, debido a que todo cálculo de rendimiento del mismo, es directamente proporcional a dicha temperatura por lo que debe mantenerse relativamente constante. En caso de no ser posible la regulación efectiva de este factor, se recomienda agregar un segundo pre calentador justo antes de la entrada al colector.

La razón de muestreo para la adquisición de datos en el proyecto, se recomienda una toma de muestra cada 5 segundos. Si se desea una mejor distribución experimental se recomienda cambiar la razón de muestreo, dicho de otra manera, se necesita tomar más datos en un menor intervalo de tiempo.

Se recomienda optimizar el banco de prueba utilizando una estructura de soporte que siga el movimiento del sol (seguidor solar), esto permite que los rayos solares incidan de forma

perpendicular a la superficie del colector en todo instante, reduciendo el tiempo de colección de datos debido a que estos pueden tomarse con mayor frecuencia.

En el caso de no obtener los valores requeridos de velocidad de viento, se recomienda instalar un ventilador que genere flujo de aire paralelo a la superficie del colector y mantenga una velocidad de viento de 3.5 ± 0.5 [m/s], dictaminado por la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el DTESTV.

El banco de prueba construido se considera es apto para ser evaluado de acuerdo a los parámetros de la norma guía; por lo que sería importante evaluar el prototipo construido a través de un ente regulador como puede ser la entidad mexicana de acreditación EMA, con la finalidad de obtener la designación para regular y homologar todos los colectores que ingresan al mercado.

Se recomienda dar continuidad al proyecto, tomando en cuenta los parámetros de la norma obligatoria NOM 027-ENER/SCFI-2018, ya que dichos parámetros y rangos pueden cambiar en relación a la norma NMX-ES-001-NORMEX-2005 y el DTESTV.

Se recomienda reducir el valor de irradiancia (800 W/m^2 - 850 W/m^2), necesarios para poder llevar a cabo pruebas en la Ciudad de México.

No se realizó ninguna evaluación económica, aunque se tiene el registro del costo de los equipos, instrumentos y materiales los cuales podrían considerarse en posterior evaluación.

No se pudo realizar en este periodo de tiempo la construcción del banco lo cual no permitió contar con la experiencia de su construcción y operación por lo que seguramente muchas sugerencias y recomendaciones se presentaran posteriormente.

Para garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados del laboratorio, es necesario continuar con la elaboración del manual de gestión de la norma ISO/IEC 17025(2017).

El laboratorio abrirá una ventana de oportunidades a los estudiantes por lo que es que los estudiantes participen en las diferentes actividades que se desarrollaran para su puesta en marcha y operación.

Es importante seguir investigando sobre nuevos desarrollos tecnológicos para el mejoramiento del laboratorio.

Una vez que el laboratorio entre en operación seguramente existirán muchas mejoras que se podrán hacer y eso se deberá reportar en trabajos posteriores. Será necesaria la constante capacitación de los operadores del laboratorio y la eventual participación de los alumnos en el laboratorio debidamente capacitados.

Referencias bibliográficas

- Campos, M. F. (2016). *Estado de la infraestructura de la calidad para energías renovables y eficiencia energética en México*. 38116 Braunschweig, Alemania: Physikalisch-technische Bundesanstalt.
- CONUEE (2014). *Energía térmica Calentamiento Solar de Agua*. Comisión Nacional de Uso Eficiente de Energía, México. 20 de marzo de 2014. Obtenido de:
<https://www.gob.mx/conuee/acciones-yprogramas/calentamiento-solar-de-agua>
- SEMARNAT (2017). *Calentadores Solares de Agua*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 17 de febrero de 2017. Obtenido de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/294406/informe_bimcon_1t_2017.pdf
- PROCALSOL (2011). *Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV)*. Comité Técnico del Programa para la Promoción de Calentadores Solares en México. 25 de octubre de 2011. Obtenido de:
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/244840/DTESTV.pdf>
- Fagá, M. A. (2004). *Banco de pruebas implementado en la región de arequipa para caracterizar la eficiencia instantánea de colectores solares planos*. Cusco.
- García, O. y Pilatowsky I. (2017) *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial*, Ciudad de México, México, Instituto de Energías Renovables de la UNAM.
- GIZ-IER (2017). *La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México*. Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y el Instituto de Energías Renovables. Obtenido de <http://www.promexico.mx/documentos/biblioteca/industria-solar.pdf>
- González, I. R. (2012). *Caracterización y optimización exergética de un colector solar de placa plana para un desalinizador solar*. Caracas: Universidad Simón Bolívar.
- Huidrobo, S. A. (2008). *Diseño de banco de ensayos para homologación de colectores solares*. Santiago de Chile.
- IEA (2012). *IEA-shc task 43: Solar rating and certification procedures*. Sarriguren - Navarra: Cener.
- Incropera, F. P. & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México. Prentice Hall.
- INEN (2015a). *Rendimiento térmico de colectores solares*. Requisitos. Quito: Instituto ecuatoriano de normalización (INEN).

- INEN (2015b). *Guía práctica calentador de agua por energía solar*. Quito: Instituto ecuatoriano de normalización (INEN).
- ISO 9806:2013. “*Solar Energy — Solar Thermal Collectors — Test Methods*”
- ISO (2014). *Energía solar captadores solares térmicos y métodos de ensayo*. Madrid: AENOR.
- LEAEE (diciembre de 2011). Laboratorio de energías alternativas y eficiencia energética, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Lentz, A. y Rincón, E. (2016). *Calentador solar de agua de auto-construcción*. Energía Racional. 10-14.
- Molero, J. M. (2011). *Manual térmico. Energía solar térmica*. Barcelona: Salvador Escoda S.A.
- NMX-ES-001-NORMEX-2005. *Energía Solar — Rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua — Métodos de prueba y etiquetado*.
- NORMA NMX-ES-004-NORMEX-2010. *Energía Solar — Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua — Método de prueba*.
- Ortega Abril, F. X., & Urquiza Acosta, G. I. (2016). *Diseño de dos bancos de prueba para colectores solares de placa plana*. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Peñaherrera Vaca, F. A., & Sarzosa Terán, H. A. (2012). *Instalación de colectores solares planos para calentamiento de agua en la facultad de ingeniería mecánica y levantamiento del potencial energético para la instalación a gran escala*. (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- SENER (2016). *Balance nacional de energía 2016*. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/balance_nacional_de_energ_a_2016_2_.pdf
- Solano, J.R. (2013). *Energía en América Latina: una aproximación prospectiva*. Pizarrón latinoamericano, 23, 24.
- Yáñez, M. (enero de 2017). *Banco de pruebas para colectores solares de placa plana de la Escuela Politécnica Nacional*. (M. Santamaría, & w. Carrera, entrevistadores)