

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Innovación Sustentable para un Sistema Colector de Energía
Termo Solar Aplicado a un Baño Sauna**

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el GRADO de
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD

Presenta:

Ricardo Ernesto García Castrejón

Director de Tesis:

Dr. Luis Eduardo Contreras Velázquez

Codirector:

Dr. Ricardo Arturo Pérez Enciso

HERMOSILLO, SONORA

SEPTIEMBRE 2019

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Página dejada intencionalmente en blanco

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Universidad de Sonora
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Posgrado en Sustentabilidad
Maestría en Sustentabilidad
Especialidad en Desarrollo Sustentable

Hermsillo, Sonora, a 06 de septiembre del 2019

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras
Coordinador de Programa
Maestría en Sustentabilidad
Presente. -

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el examen de posgrado del alumno Ricardo Ernesto García Castrejón con expediente 217230081, el cual será el día 06 de septiembre del 2019 en el aula "Miguel Alfonso Romo Salazar" a las 11:00 horas.

Relación de Jurados:

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE:	Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras	
SECRETARIO:	Dr. Javier Esquer Peralta	
VOCAL:	Dra. Nora Elba Munguía Vega	
VOCAL:	Dr. Ricardo Arturo Pérez Enciso	

ATENTAMENTE

MIEMBROS DEL JURADO

Página dejada intencionalmente en blanco

RESUMEN

Con el objetivo de aportar a la sustentabilidad y al uso de las energías renovables, se trabajó en el análisis de un calentador solar de aire con la intención de verificar sus capacidades para ser utilizado como fuente primaria de energía térmica en un baño sauna.

En primer lugar, se realizó un análisis del estado del arte de las tecnologías de calentamiento solar, así como de los métodos de innovación tecnológica más utilizados en la actualidad. Después se trabajó en un diseño metodológico cuyo objetivo fue el de recabar datos acerca del calor entregado por un dispositivo calentador solar de aire a un cuarto de pruebas. Más adelante, se realizó un análisis teórico para conocer las dimensiones de un sistema de calor solar de tubos evacuados con la capacidad de satisfacer las necesidades térmicas de un baño sauna. Después, se analizaron los datos obtenidos en la experimentación, como resultado se obtuvo que, a pesar de no alcanzar la temperatura de operación de un baño sauna, se observó un aumento de temperatura que puede ser útil como una fuente de energía térmica limpia.

Finalmente como última sección, se reporta la información obtenida resultado de la participación en NOBI Noroeste 2019 (Nodos Binacionales de Innovación) programa del CONACYT, el cual busca el desarrollo de emprendimientos de base tecnológica, en el programa se realizaron 102 entrevistas con posibles clientes de la industria del deshidratado de alimentos a nivel nacional, el objetivo fue encontrar indicadores que nos sugirieran que la aplicación de la tecnología de calentamiento solar de aire puede tener posibilidades de ser introducida al mercado.

ABSTRACT

With the aim of contributing to sustainability and to the adoption of renewable energies, work was carried out on the analysis of a solar air heater with the intention of verifying its capabilities to be used as a primary source of thermal energy in a sauna bath.

First, an analysis of the state of the art of solar heating technologies was carried out, as well as the most widely used methods of technological innovation being used today. Then a methodological design was done whose objective was to collect data about the heat delivered by the device to a test room. A theoretical analysis was later carried out to understand the dimensions of a thermal solar installation based on evacuated tubes with the capacity to meet the thermal needs of a sauna bath. Afterwards, the data obtained in the experimentation was analyzed, as a result it is reported that, despite not reaching the operating temperature of a sauna bath, a temperature increase was observed that can be useful as a source of clean thermal energy.

Finally, as the last section, a report is made from the data obtained resulting from the participation in NOBI Noroeste 2019 (Nodos Binacionales de Innovación) a CONACYT program, which seeks the development of technological-based ventures. Following the program 102 interviews were conducted with potential customers in the dehydrated food industry, the goal was to find industry features that suggested that the application of solar air heating technology may be marketable.

ÍNDICE

Índice de Contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. OBJETIVO ESTRATÉGICO	11
III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
IV. ANÁLISIS LITERARIO	12
4.1 Cambio climático y generación de energía	12
4.2 Colectores solares sin concentración	13
4.3 Tecnologías de concentración de la energía solar.....	17
4.4 Sistemas de calor solar domiciliarios	21
4.5 Innovación y conocimiento	24
4.6 Propiedad intelectual e innovación abierta.....	27
V. METODOLOGÍA.....	31
5.1 Tipo de estudio.....	31
5.2 Diseño metodológico	31
5.3 Alcance	32
5.4 Preguntas de investigación.....	33
5.5 Herramientas de diseño y manejo de datos.....	33
5.6 Descripción del set experimental.....	34
VI. RESULTADOS	38
6.1 Primera parte: Cálculo de necesidades térmicas del baño sauna.....	38
6.1.1 Rango de temperaturas de operación de un baño sauna convencional.....	38
6.1.2 Dimensiones físicas del baño sauna	38
6.1.3 Definición de un ciclo de uso de un baño sauna.....	38
6.1.4 Materiales empleados en la construcción de la habitación	39
6.1.5 Características físicas de los materiales: espesores y propiedades térmicas	42
6.1.6 Estimación de la energía necesaria para el calentamiento del aire.....	42
6.1.7 Cálculo de pérdidas por transmisión por muros en estado estacionario	45
6.1.8 Cálculo de pérdidas de calor por ventilación	47
6.1.9 Interpretación de los cálculos de energía	48
6.1.10 Dimensionamiento de los cálculos para el cuarto de pruebas.....	49
6.1.11 Comparación datos baño sauna real y cuarto de pruebas.....	51
6.1.12 Dimensionamiento de sistema de calor solar para el baño sauna	52
6.1.13 Dimensionamiento de un sistema de calor solar para cuarto de pruebas	58
6.2 Segunda parte: Fase experimental.....	58
6.3 Tercera parte: Análisis económico.....	68
6.4 Cuarta parte: Resultados de la etapa de entrevistas	72
6.4.1 Formulario de entrevista calentador solar de aire para procesos industriales....	73
6.4.2 Hallazgos de las entrevistas.....	75
VII. DISCUSIÓN	84

VIII. CONCLUSIONES.....	86
IX. RECOMENDACIONES	88
X. REFERENCIAS.....	90

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación entre tecnologías de concentración solar.....	18
Tabla 2. Materiales empleados en el baño sauna y sus espesores.....	42
Tabla 3. Conductividad térmica de los materiales empleados.....	42
Tabla 4. Espesor y conductividad de materiales cuarto de pruebas.....	50
Tabla 5. Comparativa cálculos para baño sauna y cuarto de pruebas	52
Tabla 6. Características físicas tubos evacuados.....	53
Tabla 7. Área requerida de instalación según número de tubos por equipo.....	54
Tabla 8. Dimensionamiento del sistema de calor solar del baño sauna	57
Tabla 9. Dimensionamiento del sistema de calor solar para cuarto de pruebas....	58
Tabla 10. Eficiencia calculada experimentalmente en cuarto de pruebas	65
Tabla 11. Comparación de los cálculos realizados para el cuarto de pruebas	66
Tabla 12. Comparación de consumos eléctricos baño sauna.....	69
Tabla 13. Precio electricidad domiciliaria en Hermosillo junio 2019	70
Tabla 14. Costos de operación anual del baño sauna.....	70
Tabla 15. Costos estimado del sistema de calor solar.....	71
Tabla 16. Periodo de retorno de la inversión	71
Tabla 17. Entrevistas realizadas por rol y medio	74

Índice de Figuras

Figura 1. Colector de cama plana.....	16
Figura 2. Colector solar de tubos evacuados con termo tanque.....	16
Figura 3. Tecnologías de concentración solar	17
Figura 4. Diagrama de una instalación termo solar	21
Figura 5. Esquema de un sistema de calor solar con control electrónico	23
Figura 6. Modelo de triple hélice.....	26
Figura 7. Calentador solar de aire con tubos evacuados.....	35
Figura 8. Flujo interno de aire dentro del calentador solar de aire.....	35
Figura 9. Set experimental.....	36
Figura 10. Plano constructivo de cuarto de pruebas.....	36
Figura 11. Posición de sensores de temperatura dentro del cuarto de pruebas....	37
Figura 12. Planta arquitectónica del baño sauna.....	40
Figura 13. Materiales empleados en las paredes del baño sauna.....	41
Figura 14. Datos de temperatura del día 12 de julio de 2019	59
Figura 15. Datos de irradiancia 12 de julio de 2019.....	60
Figura 16. Irradiancia y calor útil producido 12 de julio de 2019.....	61
Figura 17. Datos de temperatura del día 16 de julio de 2019	62

Figura 18. Datos de irradiancia del 16 de julio de 2019.....	63
Figura 19. Irradiancia y calor útil producido 16 de julio de 2019.....	64
Figura 20. Irradiancia y calor útil producido 12 de julio de 2019.....	67
Figura 21. Modelo canvas de negocios	73
Figura 22. Modelo de negocio final para proyecto calentador solar de aire.....	83

Índice de Anexos

Anexo 1. Tabla completa de entrevistas.....	93
Anexo 2. Bitácora de experimentación	103

I. INTRODUCCIÓN

La sustitución de energías tradicionales por energías renovables es una de las formas que tiene el hombre para combatir los efectos del cambio climático, por lo que la búsqueda de áreas de oportunidad para la aplicación de energías limpias es una parte fundamental de la sustentabilidad. Por estos motivos se realizó el estudio de la aplicación de un calentador solar de aire en un baño sauna, con el objetivo, de disminuir los impactos negativos al ambiente producto del consumo energético de las estufas eléctricas comúnmente empleadas para calentar los baños sauna.

El principal objeto de estudio de este trabajo es la tecnología de calentamiento solar de aire y el comportamiento del calor que esta entrega a un cuarto de pruebas, para poder estudiar el calor entregado al aire interno de un cuarto de pruebas se realizó una campaña de experimentación, para la cual se utilizaron ecuaciones de calor útil y eficiencia energética (Duffie y Beckman, 2013; Goswami, 2015), la experimentación se basó en la metodología indicada en la NMX-ES-001-NORMEX-2005 “ENERGIA SOLAR- RENDIMIENTO TÉRMICO Y FUNCIONALIDAD DE COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA- MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO” (NORMEX, 2005).

Al final de este estudio, se reportan los resultados obtenidos en la participación en un programa del CONACYT dedicado a la búsqueda de un modelo de negocios para la posible futura comercialización de esta tecnología, el mercado seleccionado para la aplicación de esta tecnología fue el deshidratado de alimentos.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Contribuir al desarrollo de las energías renovables a través de la innovación tecnológica en un equipo captador de calor solar para su uso en un baño sauna dentro de un deportivo sustentable ubicado en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un análisis literario del estado del arte de las tecnologías existentes para la generación de calor solar, así como de los modelos de innovación tecnológica más recientes.
2. Realizar un análisis teórico de las dimensiones requeridas de un equipo captador solar para que pueda proveer el calor suficiente para calentar un baño sauna convencional.
3. Realizar un análisis experimental en un cuarto de pruebas que simule un baño sauna para validar la eficacia y la eficiencia térmica del dispositivo calentador solar de aire para satisfacer las demandas de calor.
4. Realizar una comparativa de los datos teóricos contra los datos experimentales obtenidos.
5. Evaluar la adecuación que el equipo calentador solar de aire presenta para su entrada al mercado nacional satisfaciendo demandas de calor solar en la industria actual.

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 Cambio climático y generación de energía

El cambio climático es visto como el mayor desafío al que se enfrenta la civilización; sus efectos están comenzando a aparecer en los sistemas físicos y biológicos del mundo y causan cambios en el entorno natural; estos cambios afectarán cada vez más a la salud humana y los sistemas económicos de manera negativa (Kolk y Pinkse, 2009). Entre los diversos efectos que el cambio climático tiene en el planeta, se encuentran la sequía persistente, los fenómenos meteorológicos extremos, el aumento del nivel del mar, la erosión costera y la acidificación de los océanos, que amenazan la seguridad alimentaria de miles de personas y dificultan la erradicación de la pobreza y la obtención de un desarrollo sostenible (United Nations, 2012). La adaptación al cambio climático debe representar una prioridad global inmediata y urgente para todos los países del mundo (IEA, 2017).

Desde la revolución industrial, la humanidad ha utilizado fuentes de energía no renovables como el carbón, el gas y el petróleo, para satisfacer la necesidad de energía térmica, mecánica y eléctrica, la explotación de estos combustibles fósiles ha causado problemas en la superficie de la tierra como la contaminación atmosférica, la deforestación y la contaminación global; es por esto que se necesitan fuentes alternativas de energía para satisfacer la demanda de manera sostenible (Deng *et al.*, 2017). El uso de fuentes de energía renovables no es algo nuevo, históricamente los seres humanos han utilizado la luz solar para calentar espacios, para iluminación y para la generación de agua caliente, también se ha empleado el viento para mover molinos y bombear el agua cuesta arriba (Jin, 2013). Pero apenas en el siglo pasado cuando se produjeron serios intentos para industrializar la producción con energías renovables; en el centro de este proceso está la energía solar, la cual, se está convirtiendo en la fuente más interesante para obtener energía limpia (Bermel *et al.*, 2016).

El aprovechamiento de la energía solar es la tecnología más prometedora para transferir la dependencia del consumo de energía de los combustibles fósiles a fuentes renovables (Jin, 2013). Recientemente, el costo de producir energía utilizando la radiación solar ha alcanzado un punto competitivo en comparación con la generación de energía por turbinas a gas tradicionales (Askari y Ameri, 2017) es por eso por lo que en un futuro

próximo la utilización de la energía solar solo aumentará en todo el mundo (Philibert, Frankl y Dobrotkova, 2010). La producción de energía solar tiene muchos desafíos de ingeniería que superar, muchos factores están involucrados en ella, como la eficiencia de la tecnología utilizada, la confiabilidad de sus componentes, la radiación solar anual de un lugar determinado, los costos de los materiales y las grandes inversiones iniciales; todos estos son factores que se unen en la implementación de un sistema de producción de energía solar (Bermel *et al.*, 2016).

Para explotar la energía solar para la producción de calor, se pueden utilizar dos tipos diferentes de instrumentos, los colectores solares sin concentración y los colectores solares concentradores, los colectores sin concentración captan la luz solar directamente, mientras que los colectores concentradores utilizan dispositivos ópticos que enfocan la luz en una región determinada para aumentar la densidad de energía (Estrada *et al.*, 2005). Debido a su diseño simple y de bajo costo, los colectores sin concentración se utilizan para calentar piscinas, como calentadores de espacios, en aplicaciones de baja temperatura y para calentar agua de uso domiciliario, en contraste, las tecnologías con concentración se usan en aplicaciones de ingeniería y en la industria como una opción para sustituir los combustibles fósiles (IEA, 2012). A continuación, se hablará acerca de los diferentes tipos de colectores de energía de calor solar empezando con los colectores sin concentración, después se hablará de los colectores con concentración.

4.2 Colectores solares sin concentración

Los colectores solares sin concentración son los equipos más simples para el aprovechamiento de la energía solar ya que no tienen partes móviles y su instalación es fácilmente realizada por personal técnico capacitado, estas características los hacen aparatos sencillos de bajo costo de instalación y mantenimiento (Bolaji y Abiala, 2012) actualmente, estos sistemas se utilizan para calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios en el sector residencial, pero también pueden emplearse como fuente de calor en procesos industriales (Smartenergy Sonora, 2017). Los colectores solares sin concentración se dividen en tres categorías:

- Colectores planos de membrana
- Colectores planos de gabinete
- Colectores de tubos evacuados

A continuación, se hablará acerca de cada uno de ellos.

Acerca de los calentadores planos de membrana: comúnmente son fabricados con materiales plásticos extruidos o inyectados que cuentan con canales por donde se hace fluir agua, estos calentadores se exponen directamente al sol y logran aumentar la temperatura del agua varios grados, de acuerdo a la literatura este tipo de calentadores solares son de uso exclusivo para el calentamiento de agua de piscinas debido a sus limitaciones técnicas (Navntoft y Cristófalo, 2019), la eficiencia de estos calentadores es la más baja de las tres tecnologías ya que al estar expuestos al ambiente sufren de pérdidas térmicas considerables, este colector plano de membrana es la forma más sencilla para transformar la energía solar en calor de baja temperatura (Instituto Mexicano del Petróleo, 2018).

Continuando con el siguiente tipo de colectores sin concentración se encuentran los colectores planos que están formados por una caja o gabinete aislado térmicamente con una cubierta transparente que contiene un sistema de tubos por el cual pasa un fluido que se calienta al exponer el equipo al sol (Navntoft y Cristófalo, 2019) esta tecnología generalmente se emplea para aplicaciones en donde se requieren temperaturas de hasta 80 °C (Ortega, 2018). En la Figura 1 se muestra un colector de cama plana con termo tanque integrado.

Enseguida se hablará acerca de los tubos evacuados, esta tecnología consiste en un tubo de vidrio que posee un tratamiento selectivo el cual se encuentra dentro de otro tubo de vidrio concéntrico ambos sellados al vacío, el objetivo del vacío es la eliminación de las pérdidas de calor al ambiente (García Valladares y Pilatowsky Figueroa, 2017), el uso de estas características da como resultado equipos capaces de trabajar a temperaturas mayores a los 80 °C. La mayor ventaja al emplear tubos evacuados es que existe una muy baja pérdida de calor al exterior debido al aislamiento al vacío y la capa selectiva que evita las pérdidas por radiación al exterior (Psomopoulos, 2013). Las principales aplicaciones de estos captadores son en el campo del calentamiento de agua a nivel doméstico y en menor escala en la industria (García Valladares y Pilatowsky Figueroa, 2017).

Existen varias presentaciones de tubos evacuados, su diferencia radica en la tecnología empleada para el transporte del calor (Duffie y Beckman, 2013), siendo las más conocidas y empleadas las tres siguientes: “All glass” o tubo de vidrio vacío, en este tipo de tubo el fluido de trabajo está en contacto directo con el cristal y llena su cavidad interior totalmente, “U pipe” o tubería en “U”, aquí se utiliza una tubería metálica que entra al fondo del tubo y sale por la misma abertura con el objetivo de recolectar la energía térmica generada en el interior del tubo evacuado, y por último se tiene la tecnología “Heat pipe” o tubo de calor, en donde se emplea una cámara metálica cerrada que contiene un fluido de trabajo el cuál transporta la energía calorífica a una sección expuesta de la recámara en el exterior del tubo evacuado (Navntoft y Cristóbal, 2019). Gracias al aislamiento térmico que tiene la tecnología de tubos evacuados se permite alcanzar temperaturas de fluido mayores con respecto a los colectores de cama plana y pueden proporcionar temperaturas de hasta 170 °C (Santiago *et al.*, 2017).

En la Figura 2 se observa un equipo calentador con tubos evacuados que cuenta con termo tanque, estos artefactos pueden trabajar con flujo forzado o utilizando el principio de termosifón. Una desventaja de los tubos evacuados es que los tubos de cristal pueden romperse por diversas causas por lo cual su mantenimiento tiene que prever el reemplazo de tubos rotos (Kauffman y Lee, 2013).



Figura 1. Colector de cama plana
Fuente: (EnergíaSolar365, 2015)



Figura 2. Colector solar de tubos evacuados con termo tanque
Fuente: (SunCity, 2015)

4.3 Tecnologías de concentración de la energía solar

Existen cuatro tecnologías solares de concentración bien conocidas: la primera es el Colector Lineal Fresnel (CLF), esta tecnología utiliza varios espejos rectangulares para reflejar la luz en un colector fijo, el segundo sistema es la Torre de Energía Solar (TES), esta tecnología emplea espejos que apuntan la luz reflejada hacia un receptor ubicado en la parte superior de una torre central, la tercera tecnología es el Concentrador de Plato Parabólico (CPP). Aquí, un disco parabólico similar a una antena circular recoge la luz y la enfoca en un receptor, y finalmente, el Colector de Túnel Parabólico (CTP) esta tecnología utiliza un espejo parabólico lineal para concentrar la luz solar (Jin, 2013; Deng *et al.*, 2017). La Figura 3 muestra diagramas básicos para estas cuatro tecnologías diferentes.

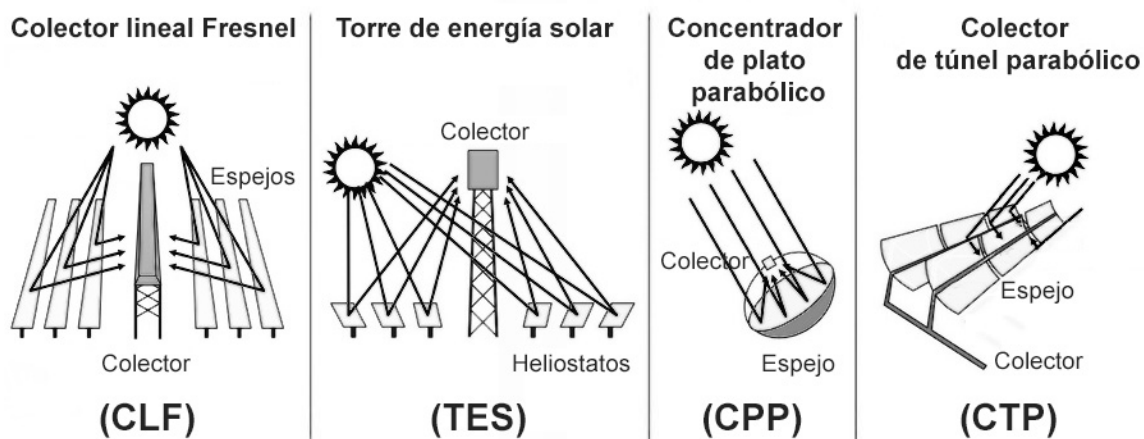


Figura 3. Tecnologías de concentración solar

Fuente: (IEA, 2009a)

Los Colectores Lineales Fresnel (CLF), en comparación con las otras tecnologías de concentración, tienen tres ventajas principales: primero, son livianos y son adecuados para la generación directa de vapor; segundo, el área necesaria para instalar este tipo de colectores es pequeña y tercero, se pueden escalar a las dimensiones del sitio (Askari y Ameri, 2017). Los colectores tipo CLF pueden proporcionar suficiente concentración de energía para producir vapor a 250 °C directamente en el colector sin la necesidad de un intercambiador de calor (Baharoon *et al.*, 2015). Las desventajas de la tecnología CLF son las siguientes: el control electrónico de cada espejo es complejo y su eficiencia óptica es baja en comparación con las otras tecnologías (Zhu *et al.*, 2014).

La Torre de Energía Solar (TES) es la tecnología donde se pueden alcanzar mayores temperaturas y por lo tanto su capacidad de generación de energía es mayor en comparación con los sistemas lineales (IEA, 2009b). Las desventajas de esta tecnología es que necesita grandes cantidades de agua, recurso que muchas veces es escaso en los lugares donde la radiación solar es abundante, además la inversión inicial es significativamente mayor que con otras opciones de concentración de energía solar y en algunos casos las plantas existentes están trabajando sin tener un retorno de la inversión suficiente (Müller-steinhausen, 2013).

El Colector de Plato Parabólico (CPP) todavía está en desarrollo científico, pero se encuentran algunas ventajas en este momento, estos equipos brindan la mejor conversión de energía solar a eléctrica de todas las tecnologías de concentración solar y son particularmente útiles en la generación a pequeña escala para alimentar instalaciones "fuera de la red" (Philibert, Frankl y Dobrotkova, 2010). Una desventaja importante presente en este tipo de tecnología es que los sistemas de seguimiento son costosos y deben ser muy precisos, aunque la tecnología CPP encierra un gran potencial, los estudios han encontrado que estos equipos presentan porcentajes de eficiencia anual entre el 18 % y el 25 % (Estrada *et al.*, 2005). En la Tabla 1 se hace una comparación entre estas tecnologías de concentración de energía solar.

Tabla 1. Comparación entre tecnologías de concentración solar.

Tecnología de concentración solar	Temperatura de operación (°C)	Relación de concentración solar	Posibilidades para integrar almacenamiento térmico	Ventajas	Desventajas
Concentrador lineal Fresnel (CLF)	50-300	10-40	Posible	Costo de instalación relativamente bajo Gran retroalimentación experimental	Eficiencia termodinámica baja debido a temperatura de operación baja
Torre de energía solar (TES)	300-1 000	150-1 500	Altamente posible con bajo costo de almacenamiento	Eficiencia termodinámica buena debido a las altas temperaturas de operación	Gran área requerida Costos de instalación relativamente altos Altas pérdidas térmicas
Colector de plato parabólico (CPP)	120-1 500	100-1 000	Difícil de implementar	Eficiencia termodinámica buena debido a las altas temperaturas de operación Área empleada relativamente pequeña	Costos de instalación relativamente altos Poca retroalimentación experimental
Concentrador de túnel parabólico (CTP)	20-400	15-45	Posible	Costo de instalación relativamente bajo	Gran área requerida Eficiencia termodinámica baja debido a temperatura de operación baja

Fuente: (Pelay *et al.*, 2017)

A la fecha de publicación de este trabajo en el año 2019, el colector de túnel parabólico (CTP) es la tecnología más utilizada para la producción de energía solar en el mundo y la opción con el nivel más alto de desarrollo (Lillo *et al.*, 2017), posee una viabilidad técnica sólida y ha sido ampliamente comprobada comercialmente desde hace ya 28 años (Baharoon *et al.*, 2015). Otro atributo que ha hecho que el CTP sea la tecnología más utilizada es que la superficie reflejante del colector no tiene que ser perfecta ópticamente, esto genera ahorros en el precio de esta tecnología (Estrada *et al.*, 2005).

La literatura establece tres campos diferentes de innovación en las tecnologías de concentración solar, la primera es la hibridación, lo que significa que el mismo sistema pueda producir tanto energía eléctrica como energía térmica (Bermel *et al.*, 2016). El segundo camino para el desarrollo se encuentra mediante el uso de unidades de almacenamiento de energía térmica, esta idea busca acumular el calor producido a partir de las horas pico de radiación solar para utilizarlo durante la noche (González-Roubaud, Pérez-Osorio y Prieto, 2017). La tercera vía de desarrollo se encuentra en el uso de la energía solar en la producción de agua dulce a partir de agua de mar (Deng *et al.*, 2017).

La generación híbrida es un concepto que se está desarrollando en el mundo de la energía solar de concentración, la idea consiste en utilizar la radiación solar para generar electricidad y energía térmica o agua dulce, en la misma unidad, la empresa Cogenera ya está vendiendo equipos fotovoltaicos que también generan calor además de energía eléctrica (Cogenera, 2012). En cuanto a la producción de agua dulce, los investigadores han estudiado la posibilidad económica de utilizar la tecnología CLF para alimentar una planta de desalinización, obteniendo buenos resultados que demuestran los beneficios económicos de usar la radiación solar como el principal suministro de energía en una planta de desalinización (Askari y Ameri, 2017). Otro producto útil que se puede generar a partir de la concentración solar es el hidrógeno que se puede usar como combustible (Coelho, Oliveira y Mendes, 2010).

Las unidades de almacenamiento de energía térmica son cruciales en cualquier planta de generación de energía solar, debido a la desconexión que existe entre la hora pico de radiación solar y las horas pico de consumo de energía, es necesario desarrollar unidades de almacenamiento térmico eficientes con el objetivo de utilizar la energía recolectada al mediodía para ser usada en los momentos en que las demandas energéticas son

mayores (González-Roubaud, Pérez-Osorio y Prieto, 2017). Una buena unidad de almacenamiento térmico debe ser de bajo costo, tener bajas pérdidas térmicas y bajo impacto ambiental (IEA, 2009b; González-Roubaud, Pérez-Osorio y Prieto, 2017). Actualmente se están probando los sistemas de almacenamiento de calor y en algunos casos, estos permiten que las instalaciones de producción de energía estén operativas durante las 24 horas (Baharoon *et al.*, 2015). Sin embargo, se debe realizar investigación y desarrollo para mejorar los impactos ambientales de las unidades de almacenamiento porque el uso de sales fundidas tiene un gran impacto en el ambiente (Py *et al.*, 2016). Para mantener la producción de electricidad durante las horas pico, algunas plantas están equipadas con sistemas de respaldo extra.

Los sistemas de respaldo se utilizan en las plantas de generación de energía solar, se usan para mantener una producción eléctrica constante durante el día y para compensar la demanda en las horas pico; estos sistemas de respaldo utilizan fuentes de energía tradicionales como petróleo, gas o biomasa, siendo el gas natural el combustible de respaldo más utilizado (Pelay *et al.*, 2017). La instalación de sistemas de respaldo es importante porque ayuda a cualquier planta instalada a mantener la capacidad de producción durante los períodos de invierno o días nublados (IEA, 2009a). En las plantas modernas, tener un sistema de respaldo o una unidad de almacenamiento térmico es una necesidad debido a la naturaleza fluctuante de la disponibilidad de la energía solar (Müller-steinhagen, 2013). Esta sección habló acerca de las energías de calor solar que se aplican en gran escala, para su aplicación en escala domiciliaria se requieren otro tipo de sistemas, a continuación, se mostrarán ejemplos de sistemas de aprovechamiento de la energía de calor solar en domicilios.

4.4 Sistemas de calor solar domiciliarios

Esta sección muestra dos esquemas de sistemas de calor solar para el calentamiento de agua para su uso domiciliario, cada uno de estos ejemplos posee elementos constitutivos similares, aunque entre ellos varían en el uso de algunos componentes diferentes, además se enlistan las partes que los forman y se describen sus funciones dentro del sistema. A continuación, se hace una lista de las partes encontradas en la Figura 4:

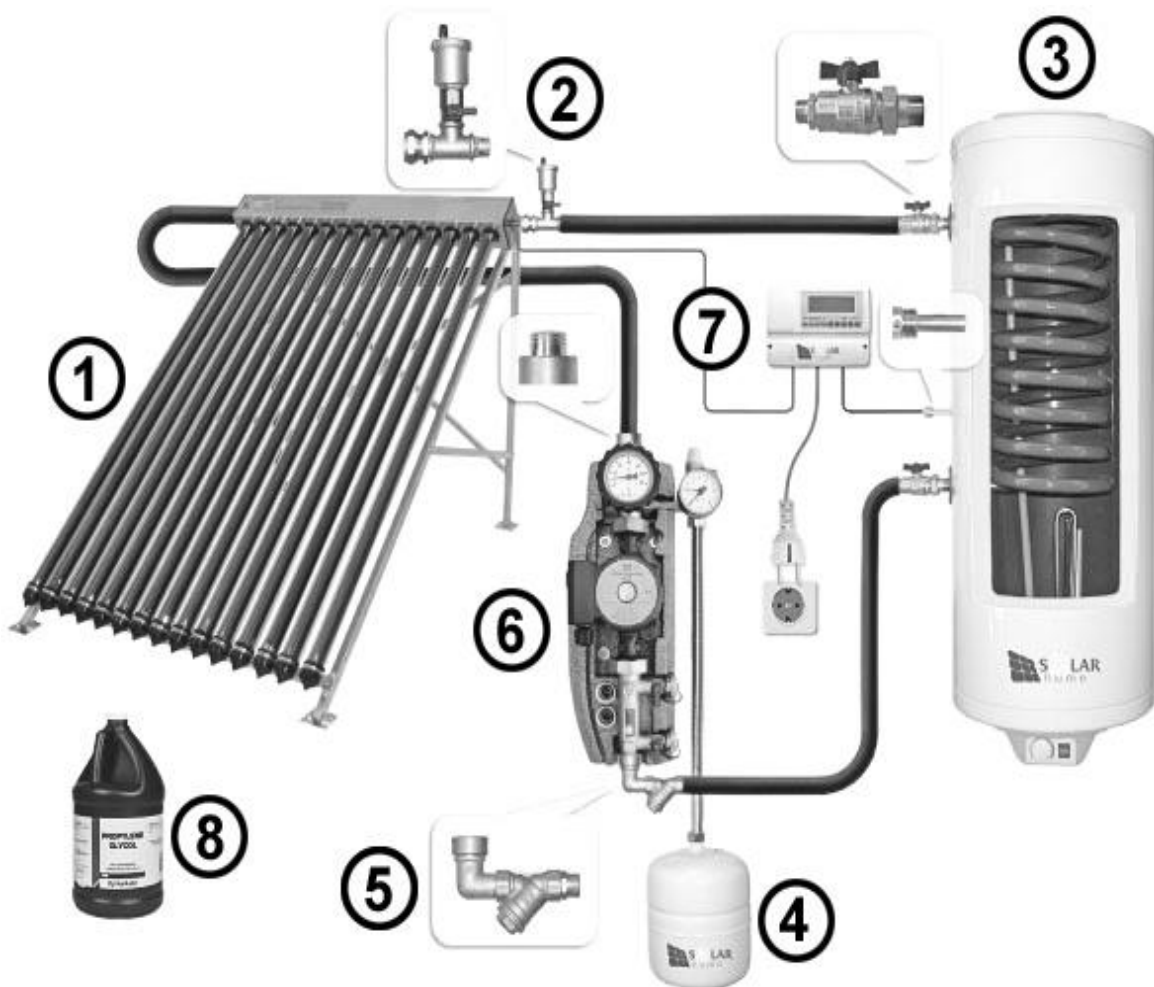


Figura 4. Diagrama de una instalación termo solar

Fuente: (Grant IRL, 2018)

1. Colector de calor solar, en este caso es un colector de tubos evacuados el cuál se utiliza para absorber la energía térmica del sol; es aquí donde el fluido de trabajo obtiene el calor del sol.

2. Válvula de drenado de aire, este tipo de válvulas se utilizan para eliminar el aire que pueda existir en el sistema; generalmente se ocupan en el momento del llenado y antes de la puesta en marcha.
3. Tanque intercambiador de calor, su función es la entrega del calor capturado por el colector, generalmente se utilizan espirales de cobre por su alta capacidad de conducir calor, en este diagrama el intercambiador de calor se dibuja dentro de un tanque.
4. Tanque de expansión, el tanque de expansión es un dispositivo empleado en circuitos en donde existe un aumento del volumen del fluido de trabajo. Su función es mantener una presión constante en el sistema. Si no existiera este tanque el sistema podría sufrir pérdidas de fluido de trabajo por evaporación, por lo cual el uso de este artefacto evita la necesidad de aportar fluido de trabajo al sistema.
5. Válvula antirretorno o válvula “check”, tiene por objeto limitar el regreso del fluido de trabajo; en este caso la válvula se utiliza para evitar el efecto de termosifón, el cual en un día de invierno haría regresar el agua caliente del tanque hacia el colector frío, lo que sería indeseable.
6. Sistema integrado de bombeo, en este componente se juntan la bomba principal con un medidor de caudal que muestra la velocidad del fluido de trabajo y un barómetro que mide la presión del sistema, además cuenta con una válvula de seguridad y el tanque de expansión.
7. Sistema de control digital, este artefacto cuenta con dos termopares de medición, el primero en la salida del colector y el segundo en el tanque intercambiador de calor. Estos sistemas se utilizan para monitorear las temperaturas del fluido de trabajo en las distintas etapas del proceso.
8. Solución anticongelante, este producto químico se utiliza en lugares en donde las temperaturas bajan a niveles por debajo del punto de congelación para evitar que el fluido de trabajo se solidifique y dañe el sistema.

A continuación se muestra la Figura 5 que muestra otro diagrama de un sistema de calor distinto.

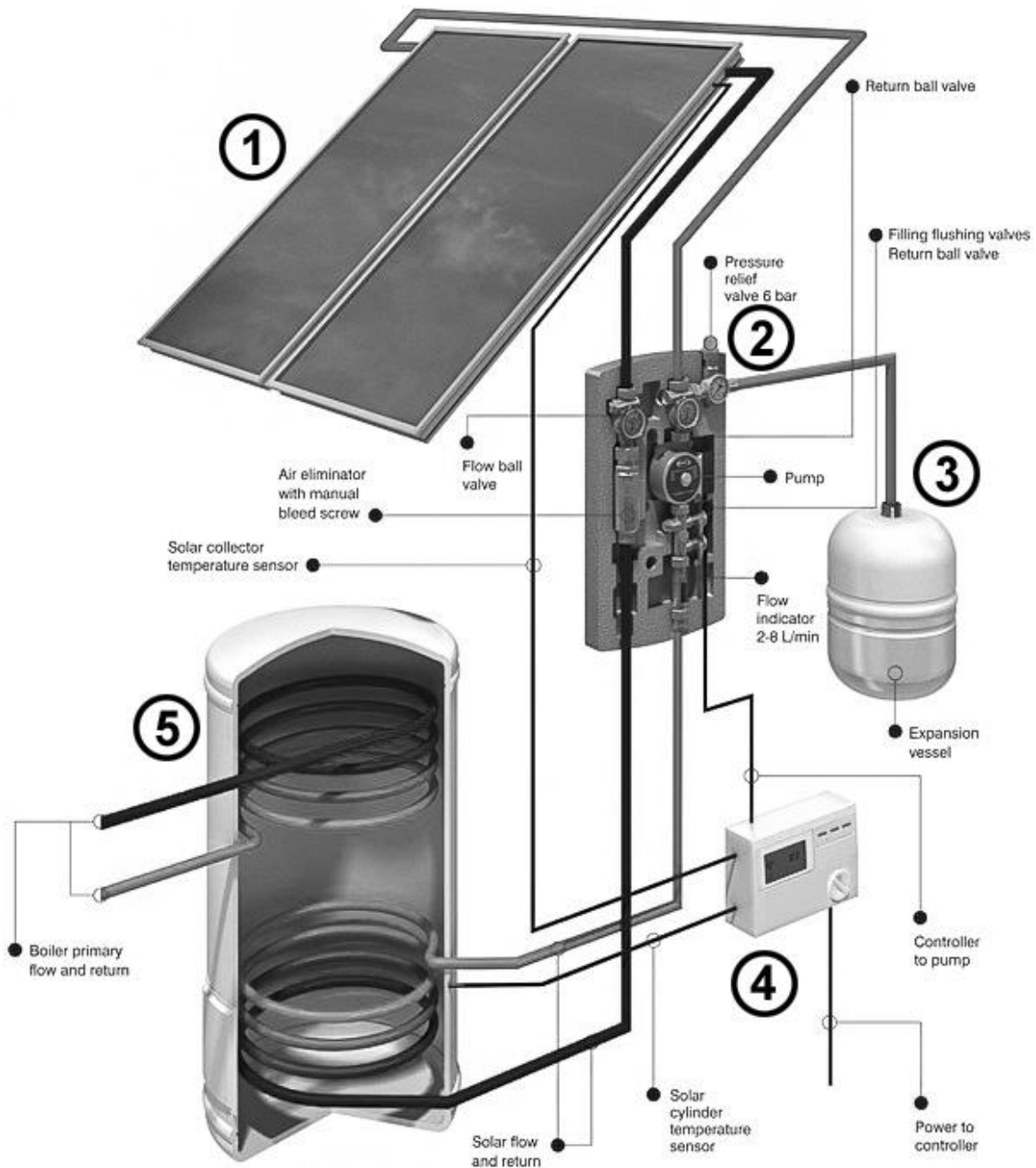


Figura 5. Esquema de un sistema de calor solar con control electrónico

Fuente: (Grant IRL, 2018)

La Figura 5 presenta los siguientes componentes:

1. Colector termo-solar de cama plana.
2. Módulo que integra bomba principal, válvula de seguridad, válvula liberadora de aire, medidor de caudal, barómetro y conexión para tanque de expansión. Este

componente integra en un sólo módulo varias piezas fundamentales para un sistema termo-solar.

3. Tanque de expansión.
4. Control electrónico, este equipo además de medir las temperaturas de salida del colector solar y la del tanque intercambiador también puede controlar la velocidad de la bomba. Es de interés poder controlar la velocidad de la bomba, ya que la temperatura de la habitación y del colector se pueden ajustar modificando el caudal del fluido térmico.
5. Tanque intercambiador de calor.

Los diagramas anteriores muestran los elementos constitutivos de un sistema calentador solar de agua a una escala doméstica; estas tecnologías se pueden calificar de innovadoras y como tal, deben generar un beneficio económico en su implementación, para mejorar las posibilidades de tener éxito en el mercado se deben implementar modelos que promuevan la innovación, esto ayuda a que la nueva tecnología sea aceptada y utilizada por una audiencia más amplia generando un mayor impacto (Arango Londoño, 2012). Los principales incentivos que tienen las empresas para innovar son: menores costos, mayor productividad, mayor participación de mercado y diferenciación de productos (Valero-Gil *et al.*, 2017). La próxima sección tratará sobre los modelos de innovación que ayudan con el desarrollo y la adopción de nuevas tecnologías.

4.5 Innovación y conocimiento

En este mundo en constante evolución, la innovación se ha convertido en una parte crucial de cualquier empresa dispuesta a prosperar, es tan importante que no se puede dejar solo a los diseñadores, por el contrario, la innovación debe integrarse en el modelo empresarial central de cualquier institución (Gardien, Deckers y Christiaansen, 2014). La innovación se ha convertido en una de las fuentes más importantes de crecimiento de la economía nacional y regional en las últimas décadas (Birkner, Máhr y Berkes, 2017). Esta es la razón por la que las empresas en todo el mundo buscan implementar prácticas de innovación que puedan impulsar su éxito, una gran tendencia es la implementación de una cultura de innovación abierta que consiste en compartir conocimientos, fomentar el crecimiento individual y crear ecosistemas de innovación sólidos (Chesbrough, Kim y Agogino, 2014).

Un ecosistema de innovación se define como la conjunción de actores que deben unirse para que se genere y adopte cualquier idea nueva. Este ecosistema ayuda a la innovación a integrarse en la estructura más íntima de las organizaciones, cambiando la forma en que se comportan las personas y las empresas, alterando el flujo de la información y el conocimiento (Adner y Euchner, 2014). Por lo general, un ecosistema de innovación involucra a diferentes partes interesadas, como diseñadores, investigadores, especialistas de negocios, ONGs y grupos que comparten sus ideas y agregan valor no sólo al negocio sino a todo el ecosistema (Gardien, Deckers y Christiaansen, 2014). Para ayudar a desarrollar los Ecosistemas de Innovación, existe una herramienta llamada modelo de triple hélice, que sugiere que las universidades, las industrias y los responsables de la formulación de políticas trabajen más estrechamente en beneficio del ecosistema, lo que da como resultado la comercialización de nuevos conocimientos y el aumento del bienestar social. (Lawton Smith y Leydesdorff, 2014).

El modelo de triple hélice, como se muestra en la Figura 6, funciona al reunir lo mejor de sus tres elementos integradores: universidades, industria y política. Dentro de este modelo, las instituciones académicas agregan el factor de conocimiento, esto porque la creación de nuevos conocimientos es imposible sin la ayuda de las instituciones educativas (Birkner, Máhr y Berkes, 2017). La industria proporciona el impulso creativo para la renovación del mercado y siembra la semilla para la próxima generación de productos (Groth, Esposito y Tse, 2015). El gobierno agrega la ley y la formulación de políticas que allanan el camino de la innovación, ayudan con el financiamiento necesario para desarrollar la innovación (Haberleithner, 2010) y promueven el diseño industrial como una de las fuentes de desarrollo competitivo (Whicher, 2017).

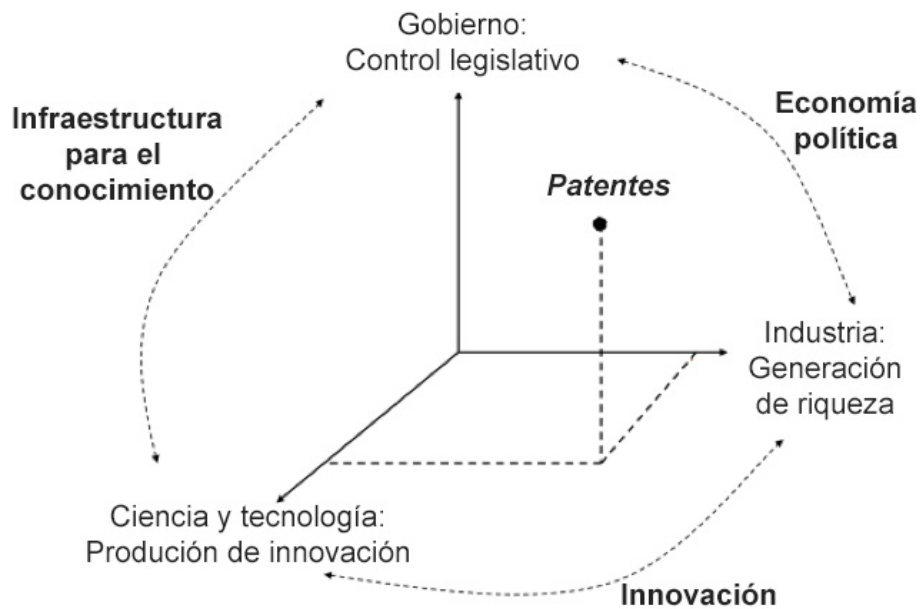


Figura 6. Modelo de triple hélice.

Fuente: (Leydesdorff, 2012)

Desde su creación en 1996, el alcance del modelo de triple hélice ha crecido enormemente por tres razones principales: primero, se ha convertido en el modelo más utilizado para estudiar economías basadas en el conocimiento; en segundo lugar, en muchos países se utiliza como estrategia operativa que impulsa el desarrollo regional, y finalmente, ha ayudado a difundir la idea de la innovación como motor de desarrollo (Leydesdorff, 2012). El modelo de triple hélice se aplicó para superar una crisis estructural regional al transformar una pequeña región gracias a un ecosistema de innovación después de una crisis económica (Oksanen y Hautamäki, 2014). También se está adoptando para gestionar la implementación de un programa de cultura de la innovación en un centro de investigación público (López-Hernández y Serrano-Santoyo, 2016). Este modelo actualmente se aplica para desarrollar los objetivos de desarrollo de una institución educativa nacional (Nakwa y Zawdie, 2016). La pregunta crucial que se resuelve en estos casos de estudio es: ¿cómo un país crea riqueza a partir del conocimiento? (Lawton Smith y Leydesdorff, 2014).

La producción de conocimiento es la actividad principal que las instituciones académicas suministran al modelo de triple hélice, el conocimiento se ha convertido en la fuente más importante y productiva del desarrollo económico (Cihovská y Hvizdová, 2011). El conocimiento es el factor clave en cualquier ecosistema de innovación, porque los ecosistemas de innovación se definen como sistemas dinámicos complejos que requieren flujos de conocimiento para impulsar la colaboración (Gobble, 2014). Al desarrollar nuevas ideas y explotarlas, un país aumenta su competitividad y bienestar general (Kirev, 2014). Otro aspecto importante de una economía basada en el conocimiento es la necesidad de otorgar protección a las ideas creadas.

4.6 Propiedad intelectual e innovación abierta

La protección de la propiedad intelectual desempeña un papel clave en cualquier ecosistema de innovación, es el trabajo de los actores políticos establecer el marco legal que ayuda a las industrias a proteger las ideas que se están desarrollando; por lo tanto, cuando una institución cambia sus métodos de gestión de la innovación hacia la comercialización del conocimiento, es importante considerar la protección de la propiedad intelectual como un proceso clave (López-Hernández y Serrano-Santoyo, 2016). Esta protección se puede lograr utilizando patentes que son las herramientas que ayudan a proteger las ideas de innovación, pero también son los indicadores clave para la producción de ciencia y tecnología dentro de un país, su función principal es brindar protección a la propiedad intelectual (Leydesdorff, 2012). A pesar de lo anterior, debe lograrse un equilibrio entre el secreto y la apertura (Christiansen, Gasparin y Varnes, 2013).

Un modelo de innovación abierta se basa en el uso de tecnologías de comunicación modernas para potenciar el flujo de conocimiento entre las partes interesadas, se define como el uso de entradas y salidas de conocimiento para acelerar la innovación interna y expandir los mercados (Sekliuckiene, Sedziniauskiene y Viburys, 2016). La innovación abierta se considera a menudo como la externalización de conocimiento para potenciar las capacidades de investigación y desarrollo “internas” de una empresa, y también permite a las empresas internalizar ideas externas mediante la integración de proveedores, clientes y fuentes de conocimiento externas para aumentar la generación de

innovación, el intercambio de conocimientos y los vínculos comerciales permiten a las instituciones lograr un mayor rendimiento y eficiencia (Berchicci, 2013).

La innovación abierta se puede aplicar mediante la creación de alianzas estratégicas, que pueden contribuir a un mejor producto a través del intercambio de conocimientos y la integración de la cadena de valor (Haberleithner, 2010). En las empresas pequeñas y medianas que requieren un gran desarrollo del conocimiento interno, la aplicación de la innovación abierta es muy importante para atraer recursos, información y desarrollo basado en el conocimiento (Sekliuckiene, Sedziniauskiene y Viburys, 2016). Algunos factores cruciales deben estar presentes en este tipo de innovación, como la confianza, la cooperación y las relaciones a largo plazo, todo lo anterior tiene un impacto importante en las capacidades de innovación de las empresas, lo que garantiza un aumento de la productividad (Prokop y Stejskal, 2017). Además, el diálogo abierto entre las universidades, la industria y el gobierno actúa como un modelo básico para la cooperación y el acuerdo regional (Oksanen y Hautamäki, 2014).

Está claro que las instituciones educativas desempeñan un papel crucial en el desarrollo de estos nuevos esquemas que pueden ayudar a impulsar el desarrollo; la nueva función económica global del conocimiento es el principal factor que moldea el futuro de la educación (Arocena y Sutz, 2005). Es importante tener en cuenta que la academia debe tener la libertad de decidir por sí misma cómo colaborar con el desarrollo nacional, esta decisión no debe ser impulsada sólo por el interés del mercado sino también por la búsqueda del bienestar público (Arocena y Sutz, 2005). La contribución más importante que la academia tiene para la sociedad es el suministro continuo de capital humano capacitado que ayuda a dar forma a la sociedad (Comunian, Taylor y Smith, 2014).

El papel de las instituciones educativas como centros empresariales es un tema recurrente en la literatura sobre la innovación y las economías basadas en el conocimiento. Las instituciones de educación superior históricamente han estado relacionadas con el panorama cultural de la sociedad, los autores Comunian, Taylor y Smith (2014) creen que las instituciones deben de ser vistas como generadoras de la creatividad, innovación y desarrollo, las instituciones de educación superior deben impulsar el sector de industrias creativas mediante programas de transferencia de conocimiento que beneficien a sus estudiantes y a la industria (Mets *et al.*, 2014). La

innovación se enfrenta a barreras que deben superarse para promover economías basadas en el conocimiento (Valero-Gil *et al.*, 2017).

Los paradigmas son factores clave que frenan la innovación, los paradigmas son ideas preconcebidas y bien establecidas que convergen en el potencial tecnológico, el costo relativo, la aceptación en el mercado, la coherencia funcional y otros factores de un tema específico (Yin, Ansari y Akhtar, 2017). La resistencia al cambio es una razón importante para la negativa en la adopción de ideas novedosas, porque los paradigmas deben ser cuestionados para lograr innovaciones. Un claro ejemplo de esta resistencia para la generación de nuevas ideas se encuentra en el hecho de que es más fácil obtener financiamiento para la investigación acumulativa que para la investigación que introduce nuevos paradigmas o que explora nuevas áreas de conocimiento (Shur-Ofry, 2016).

Existen tres problemas principales que impiden que la innovación se adopte como una herramienta de desarrollo. Primero, hay una falta de confianza entre la academia, la industria y los responsables políticos. En segundo lugar, una importante ausencia de empoderamiento entre los mismos miembros y finalmente, la falta de la legislación adecuada para impulsar la innovación (Nakwa y Zawdie, 2016). También se afirma que la falta de visión empresarial entre los miembros de la triple hélice es lo que principalmente detiene la innovación. Muchas veces es el sector académico el que carece de esta visión (Nakwa y Zawdie, 2016).

La falta de vínculos sólidos entre la industria y el mundo académico es un problema, las pocas conexiones que existen no están bien administradas y muchas veces, cuando se producen buenos lazos, la institución académica no se involucra con el estudiante para desarrollar una solución relevante, muchas veces el estudiante se queda solo para desarrollar ideas que están mucho más allá de su capacidad, generando así una solución lejos de la ideal (Ponce, Idalia y Güemes, 2016). El autor Mets (2014) creen que las instituciones académicas deben adoptar un marco empresarial que desarrolle las capacidades de los estudiantes para obtener mejores empleos y proveer a las industrias con mejores recursos humanos.

Este análisis literario comienza hablando sobre el cambio climático y sus impactos en la sociedad global, luego la discusión continúa acerca de las fuentes de energía renovables y la importancia de encontrar nuevas formas de generación de energía que no dañen el

medio ambiente, después, se explica cuáles son los principales métodos utilizados para obtener energía térmica de la radiación solar, posteriormente, se discute sobre los principales modelos de innovación que se pueden utilizar para desarrollar y adoptar nuevas tecnologías. Finalmente, este texto habla sobre diferentes métodos de innovación que ayudan a impulsar el desarrollo y la transmisión de conocimiento entre la industria, el mundo académico y la política.

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El estudio realizado será de tipo cuantitativo experimental y se dividirá en cuatro partes, en la primera parte, se realizará un análisis teórico para determinar la cantidad de calor necesario para satisfacer los requerimientos térmicos de un baño sauna, en la segunda parte, se realizará una campaña de experimentación, con la finalidad de medir el calor entregado a un cuarto de pruebas que simula un baño sauna, después, se analizarán los datos obtenidos por la fase experimental y se compararán con los datos de la parte teórica, en la tercera fase, se realizará un análisis económico acerca de la factibilidad de una instalación solar de las características necesarias para satisfacer las demandas de calor del baño sauna. Por último, se obtendrá información acerca de la industria de deshidratado de alimentos para evaluar si sus requerimientos de calor pueden ser satisfechos con la tecnología estudiada.

5.2 Diseño metodológico

En la primera parte de este proyecto se realizarán cálculos teóricos acerca de las dimensiones requeridas por una superficie de captación solar para satisfacer las demandas de calor de un baño sauna convencional y un cuarto de pruebas, para esto se requieren conocer la siguiente información:

- Características físicas del baño sauna
- Características físicas de los materiales empleados en su construcción
- Cantidad de calor necesario para calentar el aire interior del baño sauna
- Temperaturas promedio de Hermosillo Sonora
- Irradiación promedio anual en Hermosillo Sonora

La segunda parte de este estudio será de tipo experimental en donde se tendrá por objetivo la medición de la temperatura del aire dentro de un cuarto de pruebas. En esta sección se realizarán diferentes actividades:

- Diseño de cuarto de pruebas
- Fabricación de cuarto de pruebas

- Adaptación de calentador solar de aire
- Instrumentación del cuarto de pruebas
- Toma de datos
- Análisis de datos
- Cálculo de eficiencia del calentador solar de aire
- Adecuación de los datos teóricos con los experimentales

En la tercera parte de este estudio se realizará un análisis económico para conocer las estimaciones de costos y del periodo de retorno de la inversión de un sistema de calor solar capaz de servir como la fuente principal de calor para un baño sauna. Por último, en la cuarta parte de este estudio se realizará un análisis de las características termodinámicas del equipo calentador solar de aire y su adecuación para resolver necesidades de calor en la industria, cabe señalar que esta fase del proyecto se realizará en el marco del programa NOBI, Nodos Binacionales de Innovación 2019, el cual sigue la metodología I-CORPS (Cuerpos de innovación). Dicho programa consiste en la realización de entrevistas con personas de la industria que puedan ser posibles clientes de esta tecnología. Para esta sección se realizaron las siguientes actividades:

- Diseño de instrumento de entrevista
- Contacto con la industria con necesidades de calor
- Realización de entrevistas con posibles clientes
- Recopilación de la información cualitativa y cuantitativa
- Análisis de la información obtenida

5.3 Alcance

El alcance de la investigación será el dimensionamiento teórico y pruebas experimentales de un captador solar que suministre energía térmica a un cuarto de pruebas ubicado en la ciudad de Hermosillo Sonora. El proyecto tiene su ubicación temporal desde agosto del 2018 hasta julio de 2019.

Como parte de la investigación, se estudiará la adecuación que presenta esta tecnología para satisfacer necesidades de calor en la industria nacional, por lo cual se hablará y

entrevistará a posibles clientes de la tecnología. Se plantea realizar 100 entrevistas entre el 15 de enero del 2019 y 20 de marzo del 2019. Las entrevistas se realizarán de forma presencial, telefónica o vía videoconferencia.

5.4 Preguntas de investigación

Pregunta 1 ¿Cuál es el calor requerido para elevar la temperatura del aire hasta el nivel necesario de operación de un baño sauna? Para conocer la respuesta se deben hacer cálculos térmicos que permitan estimar la energía necesaria para alcanzar el calentamiento deseado.

Pregunta 2 ¿Cuáles son las dimensiones requeridas por una instalación solar para entregar la energía térmica requerida por un baño sauna? Esta pregunta será respondida al realizar un análisis de la irradiación anual promedio de la ciudad de Hermosillo, así como de la eficiencia de las diferentes tecnologías de captación solar.

Pregunta 3 ¿El equipo de pruebas entrega la energía requerida a un cuarto de pruebas a escala? Esta pregunta podrá ser resuelta al medir la temperatura promedio del aire de un cuarto de pruebas y realizando análisis de flujos másicos y energéticos del sistema.

Pregunta 4 ¿Existe una oportunidad para utilizar esta tecnología para satisfacer demandas de calor de proceso? Al conocer las características termodinámicas del equipo y las necesidades de calor de la industria se podrá saber realmente si existe una posibilidad de introducir la tecnología al mercado.

5.5 Herramientas de diseño y manejo de datos

Las herramientas utilizadas para llevar a cabo este proyecto fueron las siguientes:

- Software CAD (Diseño Asistido por Computadora) Fusion 360 de Autodesk.
- Software para manejo de datos Excel de la suite Microsoft Office.
- Hardware y Software basado en Arduino para la toma de datos.

- Se emplearon sensores DS18B20 de la empresa Dallas Semiconductor para la medición de temperatura dentro del cuarto de pruebas.
- Pirheliómetros de la marca Campbell Scientific de tipo CMP11.
- Equipo anemómetro Extech 45170 para medición de la velocidad del aire.

5.6 Descripción del set experimental

Para esta parte del proyecto se va a emplear un set experimental que consta de 4 partes principales, la primera un calentador solar de aire, la segunda un cuarto de pruebas que simula un baño sauna, la tercera parte es un sistema de monitoreo de temperatura y por último un sistema de ductos para la transportación del aire.

En la Figura 7 se muestra el sistema calentador solar de aire que utiliza tubos evacuados, esta será la fuente de calor para este experimento, este equipo está basado en la tesis de licenciatura llamada “Evaluación de la eficiencia térmica de un colector solar de tubos evacuados para aire de secado” (Flores Montijo, 2018). Este equipo emplea tubos evacuados como sistema de recolección del calor solar, en el interior se encuentran tubos metálicos que transportan el aire hasta el fondo de los tubos evacuados. El sistema cuenta con un ventilador que obliga al aire a desplazarse dentro de los tubos evacuados con la finalidad de generar una convección forzada para calentar el aire. Para transportar el aire en la parte externa del equipo calentador se emplea ducto de ventilación común. En la Figura 8 se muestra el flujo del aire dentro del calentador solar de aire.

Para probar el desempeño del calentador solar de aire se va a construir un cuarto de pruebas a escala que permita la simulación de un baño sauna, un diagrama de este cuarto de pruebas se muestra en la Figura 9, este cuarto de pruebas se construirá de madera laminada, bastones de madera y aislante térmico siguiendo el esquema mostrado en la Figura 10. A este cuarto se le añadirán catorce sensores de temperatura de acuerdo a la Figura 11, los sensores estarán dispuestos en cuatro grupos de la siguiente manera: el grupo uno será el sensor de temperatura ambiente, el grupo dos son los sensores de entrada y salida del aire al calentador solar, el grupo tres es la entrada y salida de aire del cuarto de pruebas y finalmente el grupo 4 son nueve sensores que medirán la

temperatura dentro del cuarto de pruebas. El objetivo de esta toma de datos será obtener información que permita calcular la energía útil generada por el sistema.

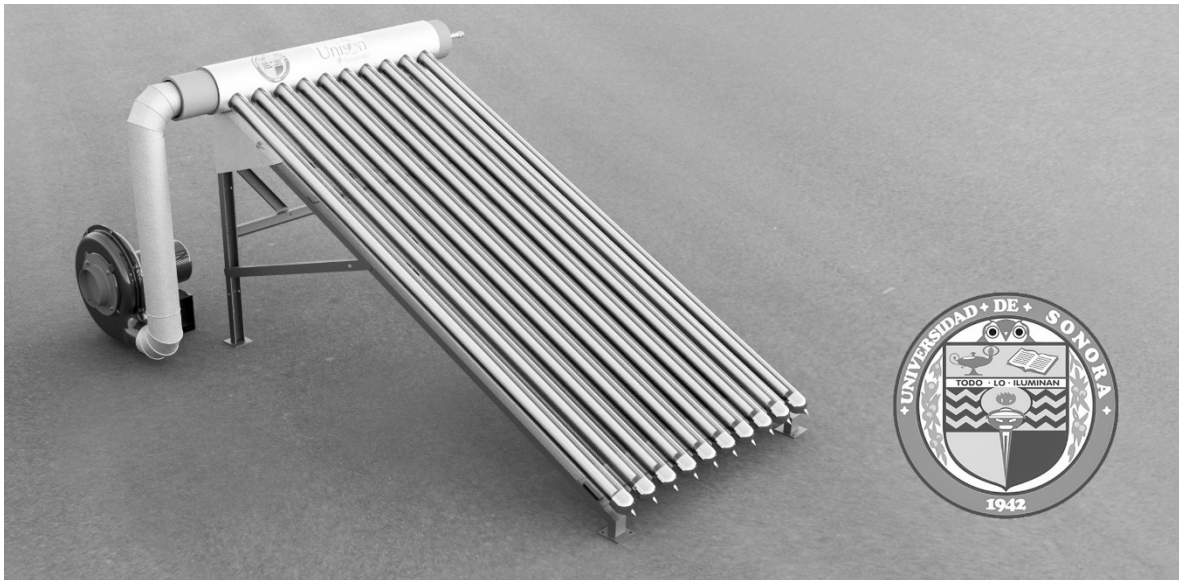


Figura 7. Calentador solar de aire con tubos evacuados

Fuente: Elaboración propia

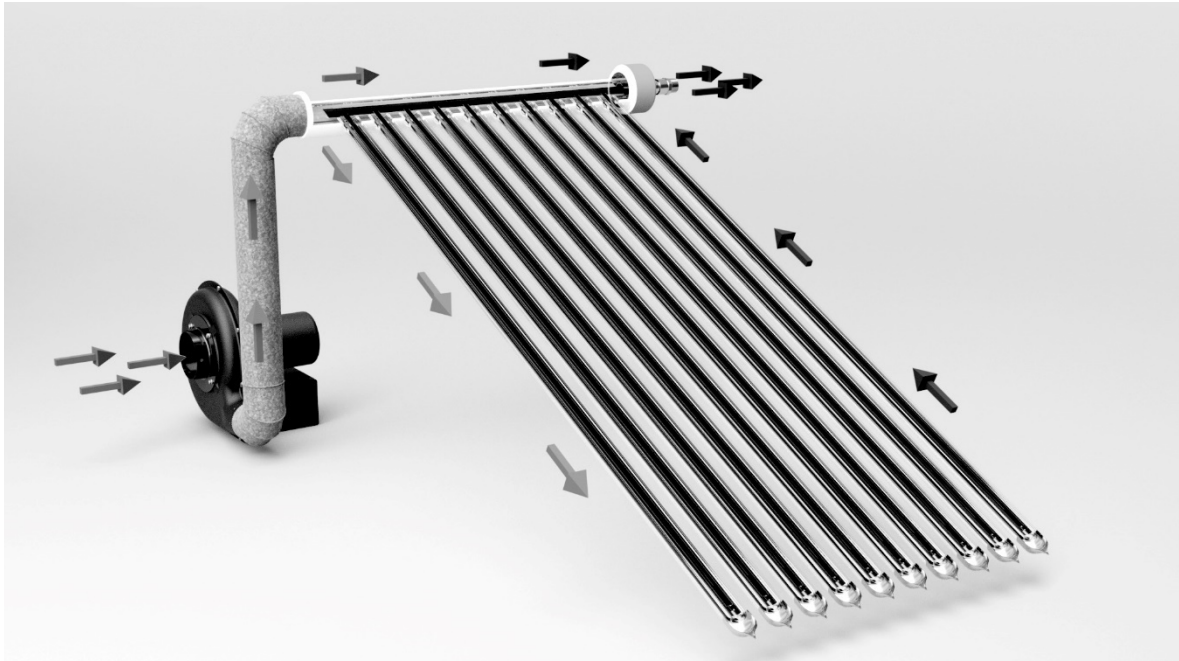


Figura 8. Flujo interno de aire dentro del calentador solar de aire

Fuente: Elaboración propia

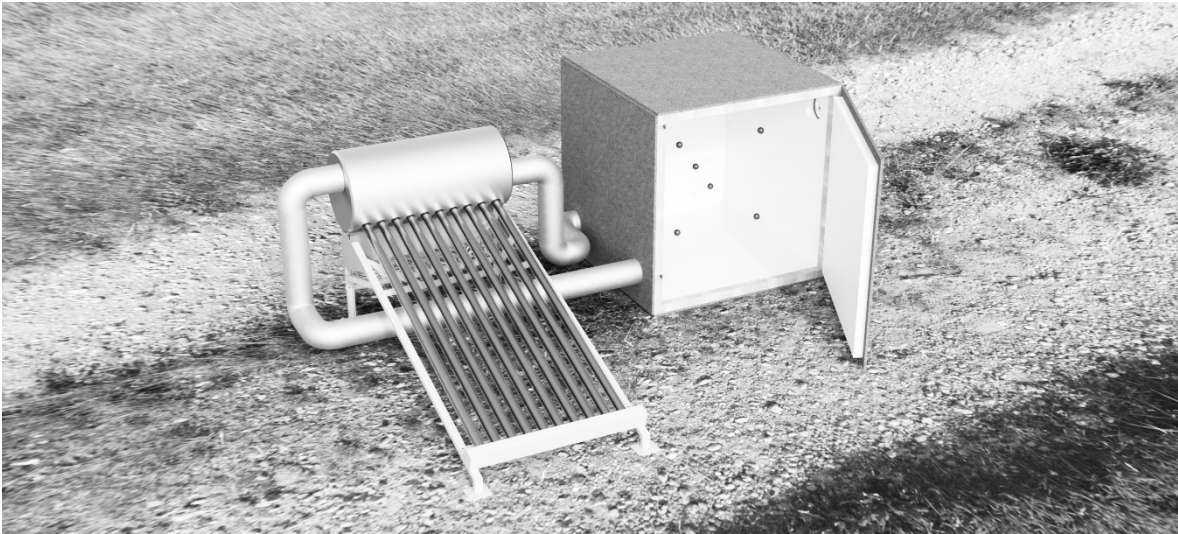


Figura 9. Set experimental

Fuente: Elaboración propia

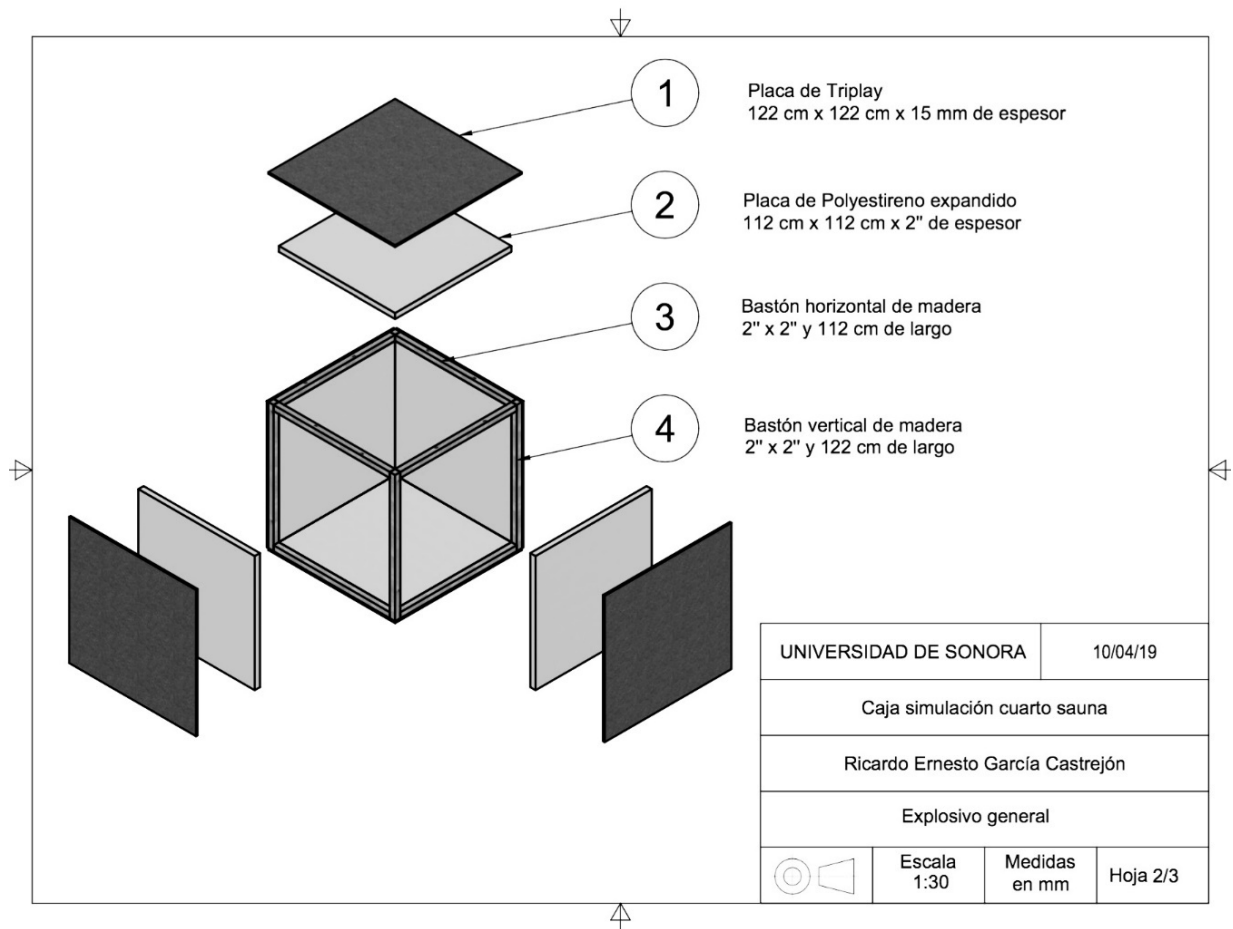


Figura 10. Plano constructivo de cuarto de pruebas

Fuente: Elaboración propia

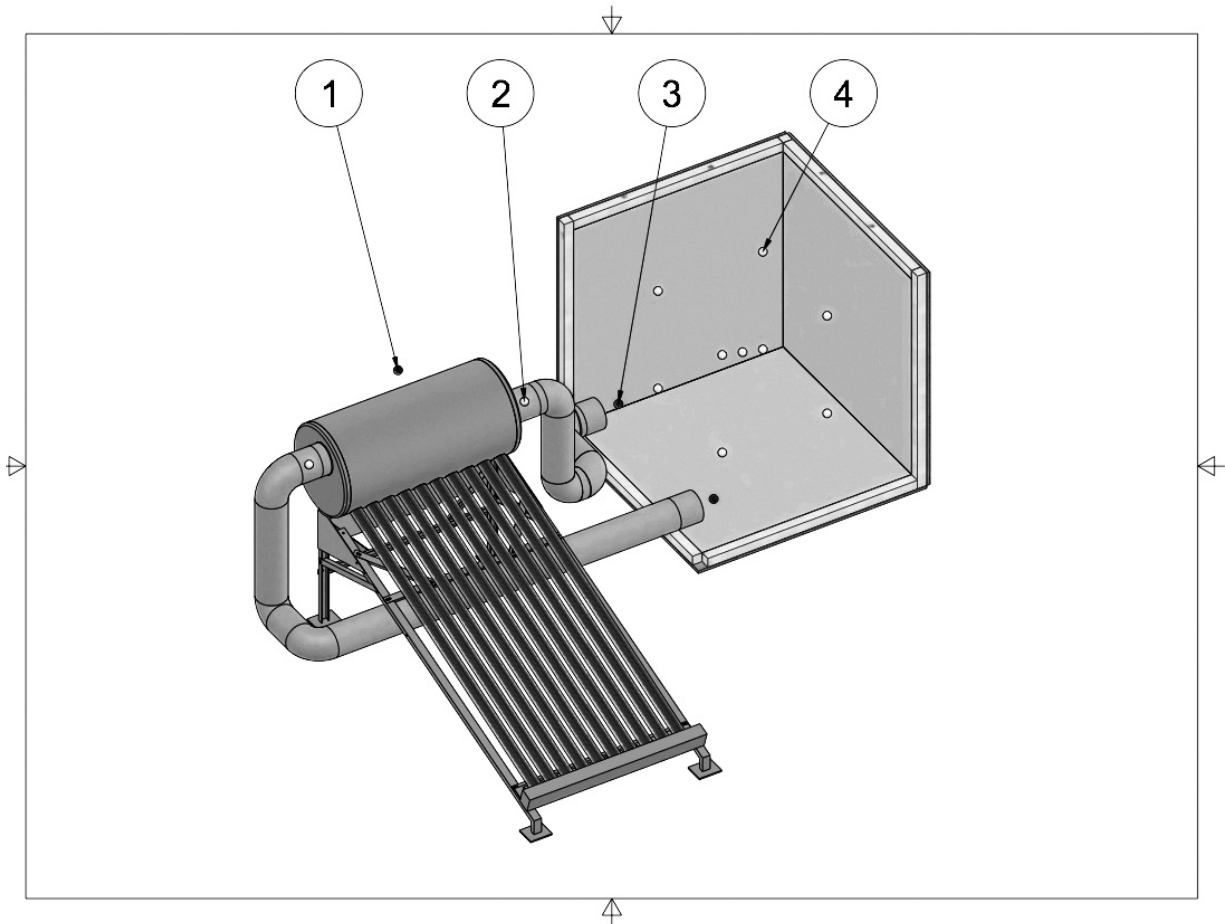


Figura 11. Posición de sensores de temperatura dentro del cuarto de pruebas

Fuente: Elaboración propia

VI. RESULTADOS

6.1 Primera parte: Cálculo de necesidades térmicas del baño sauna

A continuación, se calcularán las necesidades térmicas del baño sauna. Se empieza mostrando características físicas relevantes para este cálculo, enseguida se realizan los cálculos energéticos de las necesidades térmicas del baño sauna, por último, se trabajará en los ajustes de estos cálculos para dimensionarlos a las necesidades de un cuarto de pruebas a escala. Con estos cálculos se empezará a trabajar en la resolución de la primera pregunta de investigación: **Pregunta 1 ¿Cuál es el calor requerido para elevar la temperatura del aire hasta el nivel necesario de operación de un baño sauna?**

6.1.1 Rango de temperaturas de operación de un baño sauna convencional

La temperatura de operación de un baño sauna es de 70 °C a 105 °C (Global Wellnes Insitute, 2018).

6.1.2 Dimensiones físicas del baño sauna

Las dimensiones de la habitación destinada para contener el baño sauna son de 2.93 m de largo, 2.46 m de ancho y 2.74 m de alto (Marín Landeros, 2014). En la Figura 12 se muestra un plano arquitectónico de la habitación.

6.1.3 Definición de un ciclo de uso de un baño sauna

El ciclo de uso de un baño sauna se define a continuación de acuerdo con la literatura (Global Wellnes Insitute, 2018).

¿Cómo usar un baño sauna?:

1. Retiro de ropa, accesorios y joyería
2. Tomar un baño completo para eliminar del cuerpo contaminantes que eviten la correcta sudoración
3. Secarse totalmente

4. Una vez dentro del baño sauna lo ideal es recostarse para mantener el cuerpo en el mismo rango de temperatura, si se requiere sentarse subir los pies en la misma banca donde se esté sentado
5. Primera sesión de baño caliente dentro del baño sauna de 8 a 12 minutos
6. Sesión de enfriamiento al aire de 12 a 20 minutos finalizada con una ducha fría para remover el sudor
7. Si se quiere se puede tomar una segunda y hasta una tercera sesión caliente
8. Segunda sesión caliente de 8 a 12 minutos
9. Sesión de enfriamiento al aire de 12 a 20 minutos finalizada con una ducha fría
10. Tercera sesión caliente de 8 a 12 minutos
11. Sesión de enfriamiento total en reposo
12. Tomar un baño completo a temperatura normal

La literatura recomienda empezar con una sola sesión al principio y avanzar hasta tres sesiones cuando ya se haya acostumbrado a la sensación y al calor, considerando esta recomendación se llega a la conclusión que un ciclo completo de uso de un baño sauna puede durar desde 40 minutos mínimo hasta 90 minutos máximo, por lo cual este es el rango de tiempo en que un baño sauna trabaja por cada sesión por persona. Se consideran 20 minutos de precalentamiento de la habitación para alcanzar la temperatura de uso del baño sauna.

6.1.4 Materiales empleados en la construcción de la habitación

De acuerdo con datos de Marín (2014), Figura 13, el muro de la habitación está compuesto por los siguientes materiales enlistados del exterior hacia el interior:

- Muro de ladrillo
- Aislamiento térmico
- Capa de papel aluminio (como barrera para la humedad)
- Espacio de aire entre aislante y madera
- Recubrimiento de madera

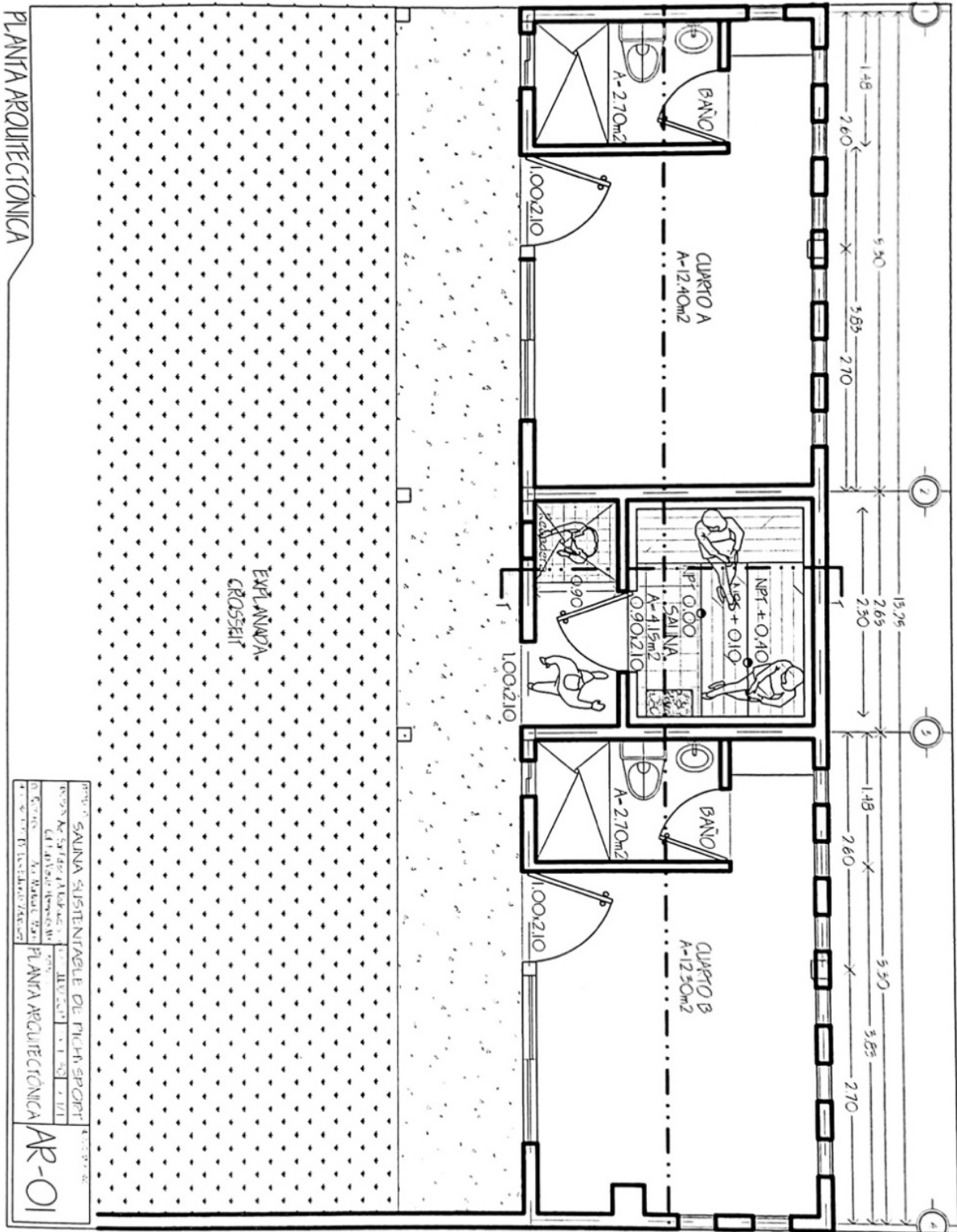


Figura 12. Planta arquitectónica del baño sauna

Fuente: (Marín Landeros, 2014)

DETALLE DE MURO

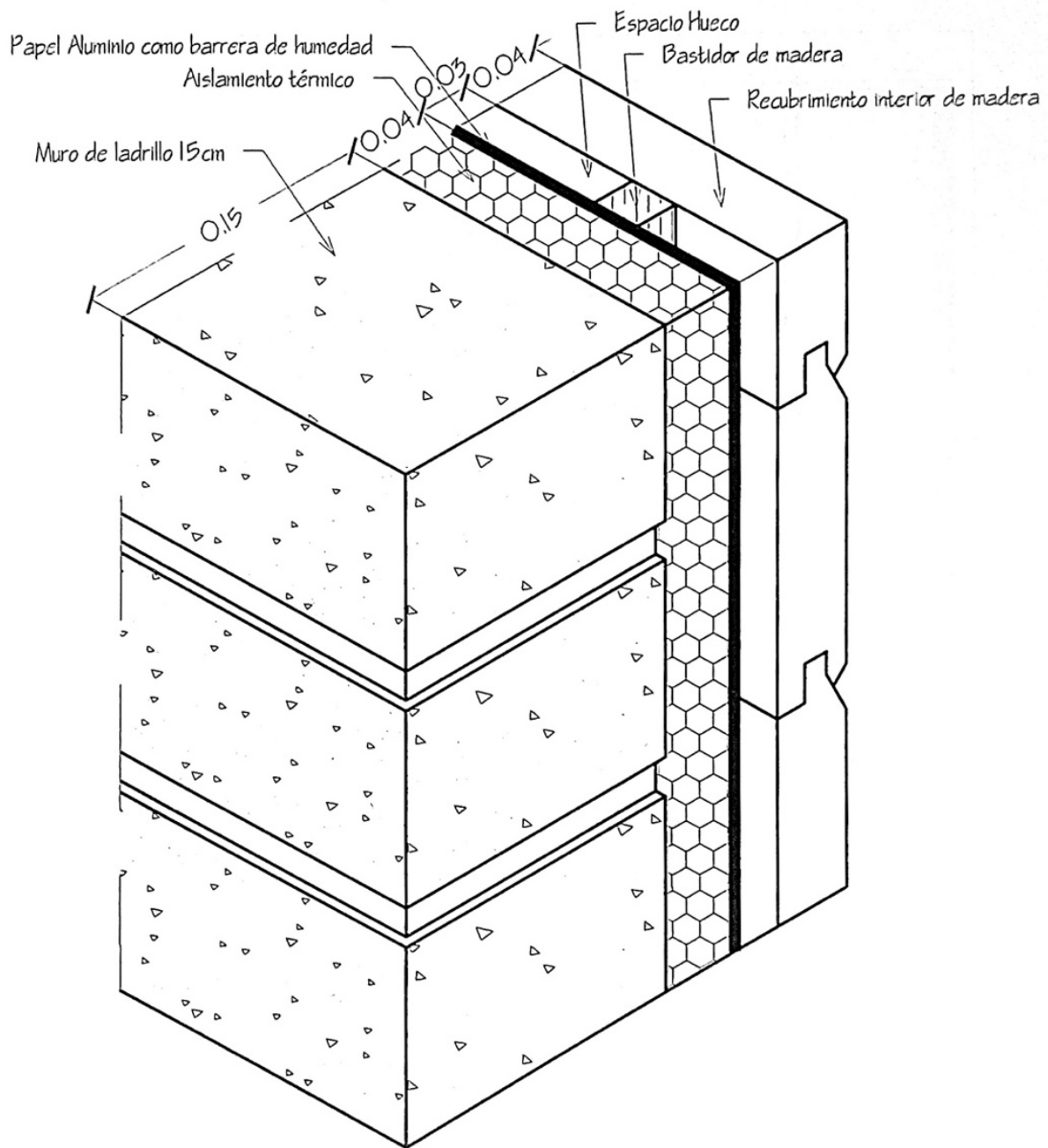


Figura 13. Materiales empleados en las paredes del baño sauna

Fuente: (Marín Landeros, 2014)

6.1.5 Características físicas de los materiales: espesores y propiedades térmicas

Los materiales empleados en la construcción de la habitación y sus espesores se enlistan en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales empleados en el baño sauna y sus espesores

Materiales empleados	Espesor (cm)	Espesor (m)
Ladrillo	15	0.15
Aislamiento térmico laminado (poliestireno expandido)	4	0.04
Lámina de aluminio	0.3	0.003
Capa de aire	3	0.03
Madera	4	0.04

Fuente: (Marín Landeros, 2014; Rincón García, 2016)

La conductividad térmica es una propiedad de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor, en otras palabras, es la capacidad de un material de transferir energía calorífica a través de sus moléculas. Por un lado, para los materiales aislantes es deseable que su conducción de calor sea mínima, por otro lado, los materiales que absorben o disipan calor, necesitan tener una conductividad térmica mayor. A continuación, en la Tabla 3, se muestran los datos de la conductividad térmica de los materiales constructivos del baño sauna.

Tabla 3. Conductividad térmica de los materiales empleados

Materiales	Conductividad térmica $\left(\frac{W}{m K}\right)$
Ladrillo	0.6 a 1.0
Aislamiento térmico laminado	0.039
Lámina aluminio	205
Capa de aire	0.0262
Madera	0.12 a 0.23

Fuente: (Engineering Toolbox, 2003)

6.1.6 Estimación de la energía necesaria para el calentamiento del aire

Para conocer la energía requerida por el aire para incrementar su temperatura, se tiene que conocer primeramente el volumen del aire a calentar dentro de la habitación, este espacio está determinado por las dimensiones de la habitación:

$$Largo = 2.93 \text{ m} \quad Ancho = 2.46 \text{ m} \quad Alto = 2.74 \text{ m}$$

$$Volumen = largo \times ancho \times alto = 19.75 \text{ m}^3$$

El incremento en la temperatura se basa en los siguientes datos. La temperatura de operación normal de un baño sauna es de 70 °C a 105 °C (Global Wellnes Insitute, 2018) se tomara 85 °C como temperatura promedio para los cálculos. La temperatura anual promedio en Hermosillo es de 25 °C, por lo tanto:

$$\Delta T = T_{final} - T_{inicial}$$

$$T_{final} = 85 \text{ °C}$$

$$T_{inicial} = 25 \text{ °C}$$

$$\Delta T = 85 \text{ °C} - 25 \text{ °C}$$

$$\Delta T = 60 \text{ °C}$$

La masa del aire está dada por la siguiente ecuación:

$$m = v \times \rho$$

Donde:

- m = masa en kg
- v = volumen en m^3
- ρ = densidad en $\frac{kg}{m^3}$

Utilizando los datos del volumen de la habitación calculados anteriormente y la densidad del aire a 55 °C a 1 atm que se muestran a continuación:

$$v_{aire} = 19.75 \text{ m}^3$$

$$\rho_{aire \text{ a } 55 \text{ °C}} = 1.076 \frac{kg}{m^3}$$

Se tiene que:

$$m_{aire} = 19.75 \text{ m}^3 \times 1.076 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{aire} = 21.25 \text{ kg}$$

Finalmente, para calcular la energía necesaria para calentar el volumen de aire en la habitación se requiere emplear la Ecuación 1:

$$q = m \times C \times \Delta T \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- q = calor absorbido o liberado en J
- m = masa de la sustancia a calentar en kg

- C = calor específico de la sustancia a calentar en $\frac{J}{kg K}$
- ΔT = cambio de temperatura en $^{\circ}C$ o K

Utilizando los datos obtenidos anteriormente:

$$m_{aire} = 21.25 \text{ kg}$$

$$C_{aire} = 1006 \frac{J}{kg K}$$

$$\Delta T = 60 ^{\circ}C$$

Notar que al ser equivalentes el aumento de $1 ^{\circ}C$ al aumento de $1 K$ se puede cambiar las unidades indiferentemente. Usando la ecuación 1, se tiene que la energía necesaria para calentar el aire a $85 ^{\circ}C$:

$$q = 21.25 \text{ kg} \times 1006 \frac{J}{kg K} \times 60 K$$

$$q = 1282669.57 J$$

Convirtiendo estas unidades de Joule a Watt-hora:

$$q = 1282669.57 J \times \frac{1 Wh}{3600 J}$$

$$q = 356.29 Wh$$

Al establecer un tiempo de precalentamiento de la habitación para alcanzar la temperatura de uso de 20 minutos, se calcula la potencia requerida para calentar el aire de la habitación en ese tiempo:

$$P = \frac{E}{t}$$

Donde:

- P = potencia en W
- E = energía en Wh
- t = tiempo en h

Asumiendo el calentamiento de la habitación en 20 minutos se tiene que:

$$t = 0.33 h$$

De esta manera la potencia necesaria equivale a:

$$P = \frac{356.29 Wh}{0.33 \text{ hora}}$$

$$P = 1068.89 W$$

Este dato se puede interpretar como la potencia en Watts requerida para llevar un volumen de 19.75 m³ de aire de una temperatura de 25 °C a 85 °C en un lapso de 20 minutos, este cálculo es útil solamente para dimensionar cuanta energía demanda el aire para ser calentado, debido a que el sistema no es estacionario y requiere de ventilación para la buena oxigenación de los usuarios, se deben de hacer cálculos que consideren las pérdidas térmicas por ventilación del baño sauna, además del cálculo de las pérdidas térmicas por transmisión de los muros al exterior. Para la respuesta de la pregunta de investigación número uno se debe continuar con los cálculos.

6.1.7 Cálculo de pérdidas por transmisión por muros en estado estacionario

Para calcular la pérdida de calor por transmisión a través de un muro fabricado con varios materiales se utiliza la siguiente ecuación derivada de la Ley de Fourier para la conducción térmica, Ecuación 2:

$$H_t = U A (t_2 - t_1) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- H_t = flujo de calor en W , $\frac{J}{s}$ o $\frac{Btu}{hr}$
- U = coeficiente de transferencia de calor general en $\frac{W}{m^2K}$ o $\frac{Btu}{hr ft^2 ^\circ F}$
- A = área perpendicular a la transferencia de calor en m^2 o ft^2
- (t_2-t_1) = diferencia de temperatura en K o $^\circ F$

El área perpendicular a la transferencia de calor es el área de las paredes del baño sauna, para calcular esta área se utilizan las dimensiones siguientes.

$$Largo = 2.93 m \quad Ancho = 2.46 m \quad Alto = 2.74 m$$

$$\text{Área de las paredes de un prisma rectangular} = 2(\text{largo}(\text{alto} + \text{ancho}) + \text{alto} \times \text{ancho})$$

$$A = 43.95 m^2$$

La diferencia de temperatura es la diferencia entre la temperatura interior del baño sauna y la temperatura del ambiente.

$$\text{Temperatura ambiente promedio Hermosillo} = 25^\circ C \rightarrow 298.15K$$

$$\text{Temperatura de trabajo sauna} = 85^\circ C \rightarrow 358.15K$$

$$(t_2 - t_1) = 60^\circ C \rightarrow 60K$$

Para calcular el valor del coeficiente de transferencia de calor general para un muro con múltiples materiales se requiere emplear la fórmula:

$$U = \frac{1}{\Sigma R}$$

Donde:

- R = resistencia al flujo de calor de cada material distinto

El valor de la resistencia al flujo de calor se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{1}{C} = \frac{s}{k}$$

Donde:

- C = Conductancia de la capa en $\frac{W}{m^2K}$ o $\frac{Btu}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}$
- s = Espesor del material en *m* o *ft*
- k = Conductividad térmica del material en $\frac{W}{m K}$ o $\frac{W}{m \text{ } ^\circ C}$

Reemplazando las dos fórmulas anteriores en la Ecuación 2 se obtiene la Ecuación 3:

$$H_t = \frac{1}{\Sigma(\frac{s}{k})} A (t_2 - t_1) \quad \text{Ecuación 3}$$

Usando los datos del espesor y la conductividad de cada material mostrados en la Tabla 2 y 3, el área y el valor de la diferencia de temperaturas calculados anteriormente se tiene que:

$$H_t = \frac{1}{\left(\frac{0.15}{0.8}\right)_{ladrillo} + \left(\frac{0.04}{0.039}\right)_{aislamiento} + \left(\frac{0.003}{205}\right)_{aluminio} + \left(\frac{0.03}{0.0262}\right)_{aire} + \left(\frac{0.04}{0.175}\right)_{madera}} \times 43.95 \times 60$$

$$H_t = 1\,019.48\, W$$

Este dato indica las pérdidas térmicas por transmisión de los muros en toda el área del baño sauna hacia el ambiente, se tiene que considerar que este dato indica las pérdidas que se darán cuando se llegue a un estado estacionario en donde la temperatura del interior y el exterior sean 85 °C y 25 °C respectivamente. Para la resolución de la pregunta de investigación número uno se debe continuar con el análisis.

6.1.8 Cálculo de pérdidas de calor por ventilación

Para calcular las pérdidas por ventilación del baño sauna se utilizará la Ecuación 4:

$$H_v = c_p \rho q_v (t_i - t_e) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- H_v = pérdidas de calor por ventilación en W o $\frac{J}{s}$
- c_p = calor específico del aire en $\frac{J}{kg K}$
- ρ = densidad del aire en $\frac{kg}{m^3}$
- q_v = flujo de aire volumétrico en $\frac{m^3}{s}$
- t_i = temperatura del aire interior en $^{\circ}C$ o K
- t_e = temperatura del aire exterior en $^{\circ}C$ o K

Según el Global Wellnes Institute (2018) el aire del interior de un baño sauna debe de cambiarse entre 7 a 10 veces cada hora para asegurar una correcta oxigenación, si se sabe que el volumen de aire en el interior del baño sauna es de 19.75 m^3 entonces el aire que ingresa al interior cada hora será:

$$q_v = 19.75 \text{ m}^3 \times 8.5 \text{ cada hora} = 167.87 \frac{\text{m}^3}{h}$$

Transformando unidades se obtiene:

$$q_v = 167.87 \frac{\text{m}^3}{h} \times \frac{1 h}{3600 s} = 0.046 \frac{\text{m}^3}{s}$$

El calor específico del aire es $1006 \frac{J}{kg K}$, la densidad del aire a $55 \text{ }^{\circ}C$ y 1 atm de presión es $1.1076 \frac{kg}{m^3}$, la temperatura del aire interior es de $85 \text{ }^{\circ}C$, mientras que la temperatura promedio del aire en Hermosillo es de $25 \text{ }^{\circ}C$ sustituyendo estos datos en la Ecuación 4 se obtiene:

$$H_v = c_p \rho q_v (t_i - t_e)$$
$$H_v = 1006 \frac{J}{kg K} \times 1.076 \frac{kg}{m^3} \times 0.046 \frac{\text{m}^3}{s} \times (85 \text{ }^{\circ}C - 25 \text{ }^{\circ}C)$$

$$H_v = 3028.62 W$$

Este dato se considera como la pérdida de calor generada por el aire frio que entra al baño sauna para obtener una adecuada oxigenación, según las recomendaciones encontradas en la literatura especializada en baños sauna. Este dato nos acerca más a la respuesta buscada para la pregunta de investigación número 1.

6.1.9 Interpretación de los cálculos de energía

Los datos que se han obtenido hasta ahora son los siguientes.

1. La potencia necesaria para calentar el volumen de aire interno del baño sauna de 25 °C a 85 °C en un tiempo de 20 minutos es de 1 068 W.
2. Al alcanzar una temperatura constante de 85 °C en el interior se perderán por transmisión de las paredes al exterior 1 019 W mientras la temperatura exterior se mantenga en 25 °C.
3. El calor que se pierde al ingresar aire a temperatura ambiente de 25 °C al baño sauna a 85 °C se calculó en 3 028 W.

El primer resultado indica la potencia necesaria para elevar la temperatura del aire interno del baño sauna desde la temperatura ambiente a la temperatura de trabajo, en un estado cerrado, donde el baño sauna no tuviera entradas ni salidas de aire ni pérdidas de calor, este dato cobraría mucha importancia ya que ésta sería la potencia necesaria del sistema térmico, en otras palabras bastaría un sistema capaz de satisfacer esa potencia térmica para elevar la temperatura del aire a la temperatura deseada, como conclusión se puede decir, que si se cerraran todas las salidas de aire del baño sauna y se suministrara la potencia térmica del resultado número uno al aire se alcanzaría la temperatura de trabajo en 20 minutos, este resultado sirve como una referencia para saber cuánta potencia se requiere en un estado aislado, sin entradas ni salidas de aire, debido a la naturaleza del baño sauna como un sistema abierto que recibe y cede materia y energía se debe de realizar un cálculo que considere la entrada de aire frío.

En caso del segundo resultado este indica cuales son las pérdidas térmicas por transmisión que fluyen por las paredes del baño sauna hacia el ambiente que lo rodea, se puede decir que este segundo valor refleja las pérdidas estimadas existentes cuando se ha llegado a un estado de equilibrio, es decir cuando la temperatura del interior y el exterior se mantienen constantes por un periodo prolongado de tiempo, estos estados de equilibrio son ideales y ayudan al análisis de sistemas térmicos pero en muchas ocasiones los sistemas que se analizan nunca los alcanzan, existen otras fuentes externas de variaciones que podrían afectar las ganancias o pérdidas del sistema como la temperatura del aire en el exterior, la radiación solar incidente sobre los techos y muros del sauna entre otros. Se considera que estos cálculos sirven para estimar los tamaños

necesarios de las pérdidas y poder compensarlos en el diseño de los equipos que suministran calor al sistema.

El tercero de los resultados es la potencia necesaria para contrarrestar la pérdida energética debida a la ventilación correcta del baño sauna, como se observa este dato es el mayor de los tres ya que el volumen del aire que se ingresa al sistema debe de ser 8.5 veces más que el aire a calentar en un estado estacionario, en otras palabras, al ingresar aire frío a un espacio caliente este roba energía del aire caliente del interior del baño sauna, esto produce un enfriamiento que debe de ser compensado por el sistema térmico, como conclusión se dirá que el aire del ambiente se encuentra a una temperatura menor y al ingresarlo al sistema se le tiene que agregar energía para elevar su temperatura a la temperatura deseada, es por eso que el valor de la potencia térmica necesaria para contrarrestar la entrada de aire frío es mayor que los demás valores calculados. La ventilación del sistema es una característica que debe de ser incluida en el baño sauna para asegurar el bienestar de los usuarios, es por esto por lo que este tercer valor se tomará como el valor mínimo requerido por un sistema térmico que satisfaga las necesidades de calor del baño sauna.

Es aquí en donde se puede dar por resuelta la pregunta de investigación número uno: **Pregunta uno ¿Cuál es el calor requerido para elevar la temperatura del aire hasta el nivel necesario de operación de un baño sauna?** La respuesta es que mínimo se requieren 3028 W de potencia instalada para alcanzar a calentar el aire frío tomado del ambiente para la correcta oxigenación del baño sauna, a continuación, se trabajará con la adaptación de estos cálculos para el cuarto de pruebas.

6.1.10 Dimensionamiento de los cálculos para el cuarto de pruebas

A continuación, se realizarán los cálculos referentes a la fuente de energía para el cuarto de pruebas, el objetivo es estimar la potencia necesaria para calentar el volumen del aire interno a la temperatura de trabajo requerida.

1. Energía necesaria para calentar el aire interior de cuarto de pruebas: el cuarto de pruebas se construyó siguiendo el plano constructivo presentado en la Figura 10 de la

sección 5.6. Para obtener la energía necesaria para calentar el aire del cuarto de pruebas se usó la Ecuación 1 de la sección 6.1.6:

$$q = m \times C_p \times (t_2 - t_1) \quad \text{Ecuación 1}$$

Utilizando los datos del cuarto de pruebas siguientes:

$$m = \text{Masa del aire} = 1.5117 \text{ kg}$$

$$C_p = \text{Calor específico del aire a } 55 \text{ }^\circ\text{C} = 1006 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$(t_2 - t_1) = \text{Aumento de temperatura} = 60 \text{ K}$$

Se obtiene:

$$q = 91246.36 \text{ J} = 25.34 \text{ W}$$

Al realizar el cálculo de la potencia para calentar el aire en 20 minutos se obtiene:

$$\text{Potencia} = 76.0386 \text{ W}$$

Este dato se entiende como la potencia térmica requerida para calentar 60 °C el aire del interior del cuarto de pruebas.

2. Pérdidas térmicas a través de los materiales: el cuarto de pruebas utiliza materiales distintos al baño sauna real, para el cálculo de las pérdidas térmicas es necesario obtener sus espesores y sus conductividades térmicas estos datos se muestran a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Espesor y conductividad de materiales cuarto de pruebas

Materiales	Espesor de materiales (s) m	Conductividad térmica (k) $\frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Madera	0.015	0.1750
Poliestireno expandido	0.050	0.0288

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la Ecuación 3 de la sección 6.1.7 que indica las pérdidas térmicas por la transmisión por las paredes de un sistema en estado estable:

$$H_t = \frac{1}{\sum\left(\frac{s}{k}\right)} A (t_2 - t_1) \quad \text{Ecuación 3}$$

Utilizando los datos de la Tabla 4 y los siguientes datos:

$$(t_2 - t_1) = \text{Diferencia de temperaturas} = 60 \text{ K}$$

$$A = \text{Area perpendicular a la transferencia} = 7.52 \text{ m}^2$$

Se obtiene que:

$$HT = \text{Flujo de calor} = 247.87 \text{ W}$$

Esta es la pérdida de calor ocurrida en el cuarto de pruebas en un estado estacionario cuando existe una diferencia de temperaturas de 60 °C entre el interior y el exterior.

3. Cálculo de la energía por ventilación del cuarto de pruebas: Utilizando la Ecuación 4 mostrada en la sección 6.1.8 se obtuvieron las estimaciones de las pérdidas térmicas por ventilación:

$$H_v = c_p \rho q_v (t_i - t_e) \quad \text{Ecuación 5}$$

Utilizando los siguientes datos:

$$C_p = \text{Calor específico del aire a } 55 \text{ }^\circ\text{C} = 1006 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$\rho = \text{Densidad del aire a } 55 \text{ }^\circ\text{C} = 1.08 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q_v = \text{Flujo volumétrico del motor empleado} = 0.0098 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$(t_i - t_e) = \text{Diferencia de temperaturas} = 60 \text{ K}$$

Se obtuvo como resultado

$$H_v = \text{Perdidas por ventilación} = H_i = 641.93 \text{ W}$$

Se entiende este dato como la potencia requerida para calentar aire frío e ingresarlo dentro del cuarto de pruebas con un aumento de temperatura de 60 °C. En la siguiente sección se compararán los resultados obtenidos para el baño sauna y los cálculos obtenidos para el cuarto de pruebas, con el objetivo de obtener una visión más clara del escalamiento realizado en este análisis.

6.1.11 Comparación datos baño sauna real y cuarto de pruebas

En la siguiente Tabla 5 se muestra la comparación de los diferentes cálculos térmicos realizados, esta comparativa nos da una idea de las características térmicas del baño sauna contra el cuarto de pruebas, se puede observar que a pesar que el volumen del aire del cuarto de prueba es un 7 % del aire del baño sauna, las pérdidas térmicas del cuarto de prueba no corresponden a esta misma relación, por lo cual se espera que el cuarto de pruebas pierda energía de una forma más rápida, esto se debe a que la relación que existe entre el volumen de un prisma y el área de sus paredes no tienen una relación lineal cuando se escalan sus dimensiones.

Tabla 5. Comparativa cálculos para baño sauna y cuarto de pruebas

Cálculo	Baño sauna	Cuarto de pruebas	Porcentaje (%)
Volumen de aire interno	19.75 m ³	1.40 m ³	7
Área de las paredes	43.95 m ²	7.53 m ²	17
Potencia para calentar aire	1 068.89 W	76.03 W	7
Pérdidas por transmisión	1 019.48 W	247.87 W	24
Pérdidas por ventilación	3 028.62 W	641.93 W	21
Potencia total	5 116.99 W	965.83 W	18

Fuente: Elaboración propia

En la sección de pérdidas por transmisión se observa que el porcentaje de pérdida de calor no se equipara al 17 % del área de las paredes del cuarto de pruebas, esto se debe a que los materiales constructivos empleados para la fabricación del baño sauna y el cuarto de pruebas son diferentes y presentan propiedades térmicas distintas, esta característica nos indica que el cuarto de prueba perderá energía térmica por transmisión de las paredes a un ritmo mayor en proporción que el cuarto sauna.

Para las pérdidas por ventilación en esta fase se tomaran en cuenta valores diferentes del flujo másico del aire a cada habitación, en la parte del baño sauna se utilizó el dato de ventilación recomendado para obtener una oxigenación adecuada de la habitación (Global Wellnes Insitute, 2018), sin embargo para el cuarto de pruebas se utilizó el flujo másico calculado para el motor que se empleó en la experimentación, esto aumentó en gran manera las pérdidas estimadas por ventilación para el cuarto de pruebas, el flujo másico calculado empleado aquí nos da un mayor ingreso de aire al cuarto por lo cual se pierde más energía. Por otra parte, para haber realizado una experimentación perfectamente a escala todos los valores de la Tabla 5 de la columna porcentaje deberían haber resultado 7 %.

6.1.12 Dimensionamiento de sistema de calor solar para el baño sauna

Para estimar el número de tubos evacuados que se requieren para satisfacer las demandas de calor el baño sauna, es necesario conocer las características de la tecnología que se va a emplear. En la Tabla 6 mostrada a continuación, se mostrarán las características de los tubos evacuados que son la tecnología que se quiere utilizar para recolectar el calor del sol en sus dos variantes más comunes comercialmente.

Tabla 6. Características físicas tubos evacuados

Tipo de tubo evacuado	Largo (m)	Largo efectivo (m)	Diámetro exterior (m)	Diámetro capa captadora (m)	Área de captación (m ²)
Tubo largo	1.80	1.68	0.06	0.047	0.079
Tubo corto	1.50	1.42	0.05	0.037	0.053

Fuente: Elaboración propia

Para conocer cuántos tubos evacuados son necesarios para entregar el calor calculado, se requiere saber cuál es el aporte de energía útil por cada tubo, para esto se calculará el área de recolección de energía de los tubos en sus dos variantes, cortos y largos, usando los datos encontrados en la Tabla 6 y los datos de irradiancia promedio local (Smartenergy Sonora, 2017) y la eficiencia de los tubos evacuados (Flores Montijo, 2018) se puede estimar la energía útil que los tubos evacuados pueden otorgar.

$$\text{Eficiencia tubos evacuados} = 56 \%$$

$$\text{Irradiancia local Sonora} = 1\,000 \frac{W}{m^2}$$

$$\text{Área efectiva de captación tubos cortos} = 0.053 \text{ m}^2$$

$$\text{Área efectiva de captación tubos largos} = 0.079 \text{ m}^2$$

Con los datos anteriores, se obtiene la energía útil que cada tubo puede entregar al sistema:

$$\text{Potencia útil entregada por tubo corto} = 29.17 \text{ W}$$

$$\text{Potencia útil entregada por tubo largo} = 44.24 \text{ W}$$

Dividiendo este dato con la energía requerida para calentar el sistema reportada en la Tabla 5, se obtienen el número de tubos evacuados necesarios para satisfacer las demandas térmicas del sistema.

$$\text{Potencia total requerida por baño sauna} = 5\,117 \text{ W}$$

Al realizar una división se obtiene:

$$\text{Número de tubos corto para baño sauna} \sim 176 \text{ tubos}$$

$$\text{Número de tubos largos para baño sauna} \sim 117 \text{ tubos}$$

Estos datos muestran la cantidad de tubos requeridos por la instalación solar para suministrar el calor requerido al baño sauna. Ahora que se conoce el número de tubos evacuados requeridos por el sistema, se debe conocer el área de instalación requerida por esa cantidad de tubos. Según datos de ERA (2015) los equipos calentadores solares de agua ocupan un área de acuerdo con la Tabla 7:

Tabla 7. Área requerida de instalación según número de tubos por equipo.

Modelo de equipo	Número de tubos evacuados	Área requerida para instalación (m ²)
CHP-10-150	10 tubos	2.46
CHP-12-150	12 tubos	2.46
CHP-20-240	20 tubos	3.37
CHP-26-300	26 tubos	4.9

Fuente: (ERA, 2015)

A pesar de que los valores mostrados en la Tabla 7 cambian dependiendo del modelo y del fabricante de los equipos, sirven de ayuda para tener una idea del área requerida por la instalación solar. Ahora se calculará el área requerida con base en la cantidad de tubos evacuados calculada anteriormente. Para el siguiente cálculo se empleará el área de superficie ocupada por el calentador solar de 20 tubos ya que es el equipo que presenta la menor área ocupada por tubo evacuado, a continuación, se presentan los cálculos realizados:

Número de tubos cortos para baño sauna = 176 tubos

Número de tubos largos para baño sauna = 117 tubos

Número de equipos de 20 tubos cortos necesarios para baño sauna ~ 9 equipos

Número de equipos de 20 tubos largos necesarios para baño sauna ~ 6 equipos

Área ocupada por instalación solar de tubos cortos para baño sauna ~ 30.33 m²

Área ocupada por instalación solar de tubos largos para baño sauna ~ 20.22 m²

Con este último cálculo se tienen datos suficientes para dar respuesta a la pregunta de investigación número 3, acerca del dimensionamiento de la instalación de calentamiento solar, sin embargo, se va a presentar otro acercamiento al dimensionamiento del sistema colector solar, que se basa en la energía requerida por una estufa eléctrica específicamente dimensionada para suministrar calor a un baño sauna.

Para los siguientes cálculos se utilizó como dato principal la energía que entrega una estufa eléctrica convencional dimensionada para el tamaño de la habitación del baño sauna, para encontrar este dato se contactó con empresas dedicadas a la comercialización de unidades de calentamiento para baños sauna, las que otorgaron una recomendación de las estufas eléctricas adecuadas para el volumen de la habitación de

19.75 m², la estufa eléctrica adecuada para este volumen de habitación es de 12 kW a 15 kW (Helo, 2017).

Continuando con el análisis se realizó una estimación de las horas que se va a emplear el baño sauna en un año de la manera siguiente:

$$\text{Horas uso baño sauna en un día} = 8 \text{ horas}$$

$$\text{Días de uso en una semana} = 7 \text{ días}$$

$$\text{Horas de uso en una semana} = 56 \frac{\text{horas}}{\text{semana}}$$

$$\text{Horas uso en un año} = 2\,912 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Después se calculó la energía requerida por el sistema suponiendo que la estufa se encuentra prendida el 90 % del tiempo, además se emplea el dato de potencia eléctrica de 15 kW, con lo que se considera la estufa eléctrica más grande recomendada, enseguida se muestran estos cálculos:

$$\text{Potencia del equipo} = 15 \text{ kW}$$

$$\text{Porcentaje de tiempo estufa encendida} = 90 \%$$

$$\text{Horas anuales estufa encendida} = 2\,620 \frac{\text{hora}}{\text{año}}$$

$$\text{Consumo anual de la estufa eléctrica} = 3\,9312 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Con este valor de energía anual consumida por la estufa eléctrica se puede realizar un dimensionamiento de una instalación de calor solar que satisfaga un porcentaje fijo de este monto, se considera que para poder ser llamado “sauna sustentable” el consumo energético del sistema debe de provenir mayormente de fuentes renovables, por lo cual el porcentaje de energía solar se estimó en un 60 %, los cálculos realizados se presentan a continuación:

$$\text{Consumo anual de la estufa eléctrica} = 39\,312 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{Potencia solar anual a generar} = 60 \% \text{ del consumo energetico anual} = 22\,276.8 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Esta es la potencia total requerida por la instalación solar al año, ahora se calcula la energía otorgada por cada tubo evacuado usando el dato de la irradiancia diaria promedio:

$$\text{Área efectiva de captación tubos cortos} = 0.053 \text{ m}^2$$

$$\text{Área efectiva de captación tubos largos} = 0.079 \text{ m}^2$$

$$\text{Irradiación diaria promedio estatal} = 7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Eficiencia estimada tubos evacuados} = 58 \%$$

$$\text{Energía diaria por tubo corto} = 0.21 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía diaria por tubo largo} = 0.32 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía anual por tubo corto} = 76.65 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía anual por tubo largo} = 116.8 \text{ kWh}$$

El dato de Irradiación promedio para el estado de Sonora se obtuvo de las siguientes fuentes (Mre Sonora, 2017) (Conuee, 2018), con el dato de la energía térmica anual producida por tubo y la cantidad de energía requerida anual, se puede calcular el número de tubos evacuados que se requieren.

$$\text{Número de tubos evacuados} = \frac{\text{Energía solar anual a generar}}{\text{Energía otorgada anual por tubo}}$$

$$\text{Energía solar anual a generar} = 60 \% \text{ del consumo energético anual} = 22276.8 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{Número de tubos cortos} = \frac{22\,276.8}{76.65} = 290 \text{ tubos cortos}$$

$$\text{Número de tubos largos} = \frac{22\,276.8}{116.8} = 190 \text{ tubos largos}$$

Este cálculo indica la cantidad de tubos evacuados necesarios para otorgar el 60 % de la energía anual a un baño sauna que utiliza una fuente de 15 kW de potencia. Al igual que se realizó anteriormente se calculará el área estimada que ocuparan estos los equipos de 20 tubos evacuados cada uno.

$$\text{Área empleada por equipo de 20 tubos} = 3.37 \text{ m}^2$$

$$\text{Número de tubos cortos para baño sauna} = 290 \text{ tubos}$$

$$\text{Número de tubos largos para baño sauna} = 190 \text{ tubos}$$

$$\text{Número de equipos de 20 tubos cortos necesarios para baño sauna} \sim 15 \text{ equipos}$$

$$\text{Número de equipos de 20 tubos largos necesarios para baño sauna} \sim 10 \text{ equipos}$$

$$\text{Área ocupada por instalación solar de tubos cortos para baño sauna} \sim 50.55 \text{ m}^2$$

$$\text{Área ocupada por instalación solar de tubos largos para baño sauna} \sim 33.70 \text{ m}^2$$

De esta manera se concluyen los cálculos del dimensionamiento para un sistema de calor solar que entrega el 60 % de la energía térmica anual necesaria a un baño sauna. La interpretación de este cálculo es la siguiente, una instalación de 2900 tubos evacuados cortos divididos en 15 equipos de 20 tubos cada uno, requieren un área de instalación de 50.5 m².

Con los anteriores cálculos se puede contestar la segunda pregunta de investigación: **Pregunta 2 ¿Cuáles son las dimensiones requeridas por una instalación solar para entregar la energía térmica requerida por un baño sauna?** A continuación, en la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos en esta sección del estudio.

Tabla 8. Dimensionamiento del sistema de calor solar del baño sauna

Tipo de cálculo	Tipo de tubos	Cantidad de tubos evacuados	Área de captación (m ²)	Número de equipos de 20 tubos necesarios	Área necesaria para instalación (m ²)
A. Basado en cálculos	Cortos (1.50 m)	176	9.25	9	30.33
A. Basado en cálculos	Largos (1.80 m)	117	9.24	6	20.22
B. Basado en la energía anual provista por estufa	Cortos (1.50 m)	290	15.24	15	50.55
B. Basado en la energía anual provista por estufa	Largos (1.80 m)	190	15	10	33.70

Fuente: Elaboración propia

La comparación que ofrece la Tabla 8, indica una diferencia entre los dos escenarios propuestos, por un lado, el escenario A, se queda corto en las estimaciones térmicas ya que no se están calculando las pérdidas que ocurren por las tuberías en donde pasa el fluido térmico, estas pérdidas térmicas no se pueden calcular sin conocer las características físicas de los ductos empleados para el transporte del aire. Por otra parte, el escenario B sobrestima las necesidades térmicas del sistema ya que emplea una potencia eléctrica que está muy sobrada, esto se refiere a que las estufas comerciales empleadas en los baños sauna están sobredimensionadas para asegurar el calentamiento del aire sin importar las condiciones de la habitación, las estimaciones para la potencia eléctrica podrían hacerse más pequeñas al mejorar el aislamiento térmico de la habitación del baño sauna, además el baño sauna tiene una altura demasiado grande, 2.74 m, generalmente los baños sauna comerciales tienen un altura de 2.20 m lo que ayuda a disminuir el volumen del aire a calentar, esto reduce la necesidad de emplear una estufa

con una potencia eléctrica demasiado grande, por todo esto se pueden considerar los valores expresados en la Tabla 8 como el límite inferior y superior del tamaño de una sistema de calor solar para un baño sauna.

Como se podría esperar el resultado del cálculo de la cantidad de tubos largos, 1.80 m, requeridos por la instalación, refleja una menor cantidad comparada con el cálculo de los tubos cortos, 1.50 m, esto se explica ya que al emplear tubos más largos y gruesos el área de captación solar aumenta considerablemente y por consiguiente aumenta también la energía que se puede obtener por cada tubo evacuado.

6.1.13 Dimensionamiento de un sistema de calor solar para cuarto de pruebas

En esta sección se muestran los resultados de los cálculos obtenidos para el dimensionamiento del sistema de calor solar para el calentamiento del aire interno del cuarto de pruebas. Los cálculos se realizaron de la misma manera que en las secciones anteriores por lo cual, solamente se mostrarán los resultados en la Tabla 9 siguiente.

Tabla 9. Dimensionamiento del sistema de calor solar para cuarto de pruebas

Tipo de cálculo	Cantidad de tubos evacuados	Área de captación total (m ²)	Potencia estimada (W)
Calculo teórico para tubos cortos (1.50 m)	34	1.79	966
Calculo teórico para tubos largos (1.80 m)	23	1.82	966

Fuente: Elaboración propia

6.2 Segunda parte: Fase experimental

A continuación, se reportan los resultados obtenidos en la fase de experimentación de este proyecto. La toma de datos se realizó durante las fechas 25 de junio a 20 de julio del año 2019. Para estas pruebas se emplearon sensores dentro del cuarto de pruebas y se midieron las temperaturas, se empleó un ventilador de álabes curvos que se mantuvo encendido en todo momento generando una velocidad en el aire medida con el equipo anemómetro Extech 45170 de $15.3 \frac{m}{s}$. En esta etapa de experimentación se emplearon solamente 5 tubos evacuados cortos, a pesar de que el cálculo de los tubos necesarios

para elevar la temperatura del cuarto de pruebas a la temperatura deseada es de 34 tubos cortos o 23 tubos largos, Tabla 9. A continuación, se muestran las gráficas obtenidas con los datos tomados en la etapa de experimentación.

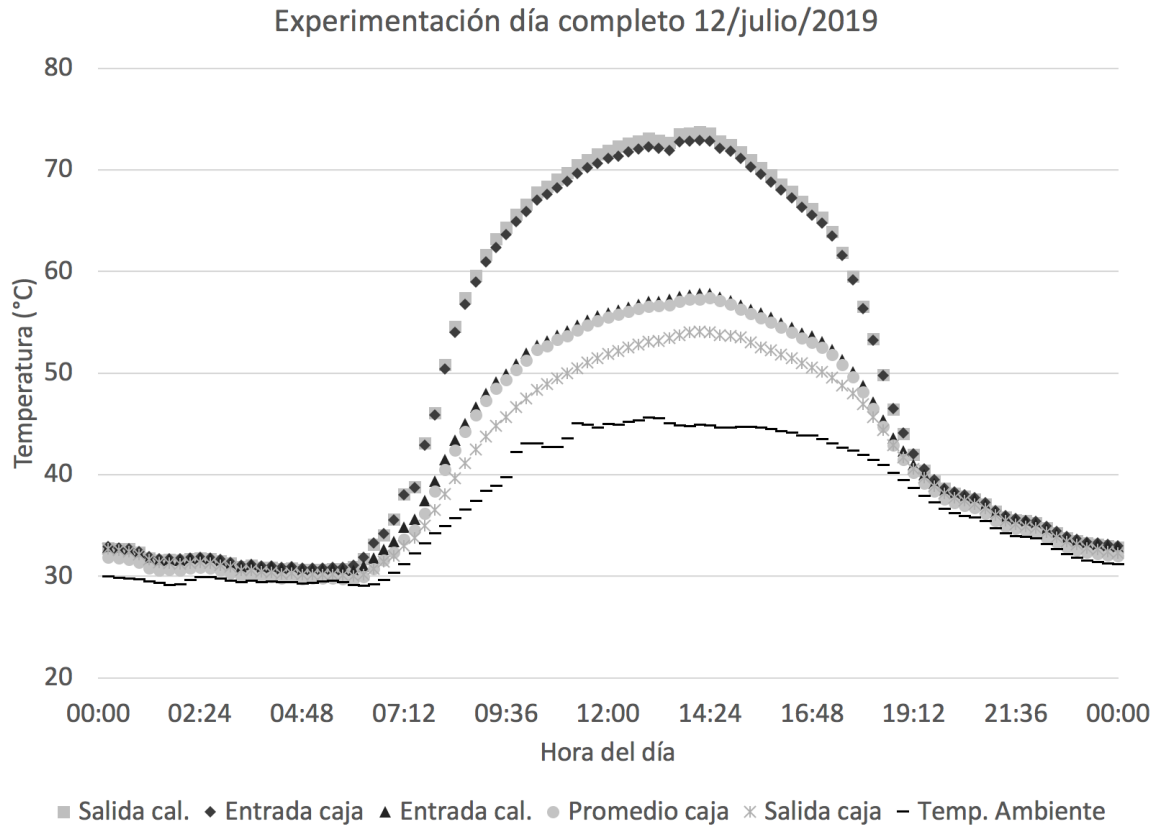


Figura 14. Datos de temperatura del día 12 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

En la anterior Figura 14 se observan los datos obtenidos en 24 horas de experimentación que corresponden al 12 de julio de 2019, la esta grafica mostrada anteriormente se puede simplificar como 4 líneas que siguen casi la misma tendencia, de forma descendente estas líneas son: la primera, representa la zona caliente del sistema de pruebas, esta zona corresponde a la salida del calentador solar y la entrada a la caja de pruebas, la segunda línea está conformada por la temperatura de entrada al calentador solar y la temperatura promedio del cuarto de pruebas, la tercera línea de arriba hacia abajo es la línea de la temperatura del aire en la salida de la caja de pruebas, este sensor se posicionó en la boquilla de succión del ventilador y presenta una temperatura más baja, esto es debido al fenómeno de convección forzada que obliga al aire a pasar por la superficie del sensor lo que lo enfría, por último, la cuarta línea es la temperatura del aire,

esta línea presenta un comportamiento errático en la primera parte del día y después presenta un comportamiento más lineal, esto se debe a que en un principio se posicionó el sensor de forma expuesta al ambiente lo que causó que el aire caliente incidiera directamente en él, en la segunda parte del día se le adecuó una cobertura al sensor lo cual provocó mediciones más estables.

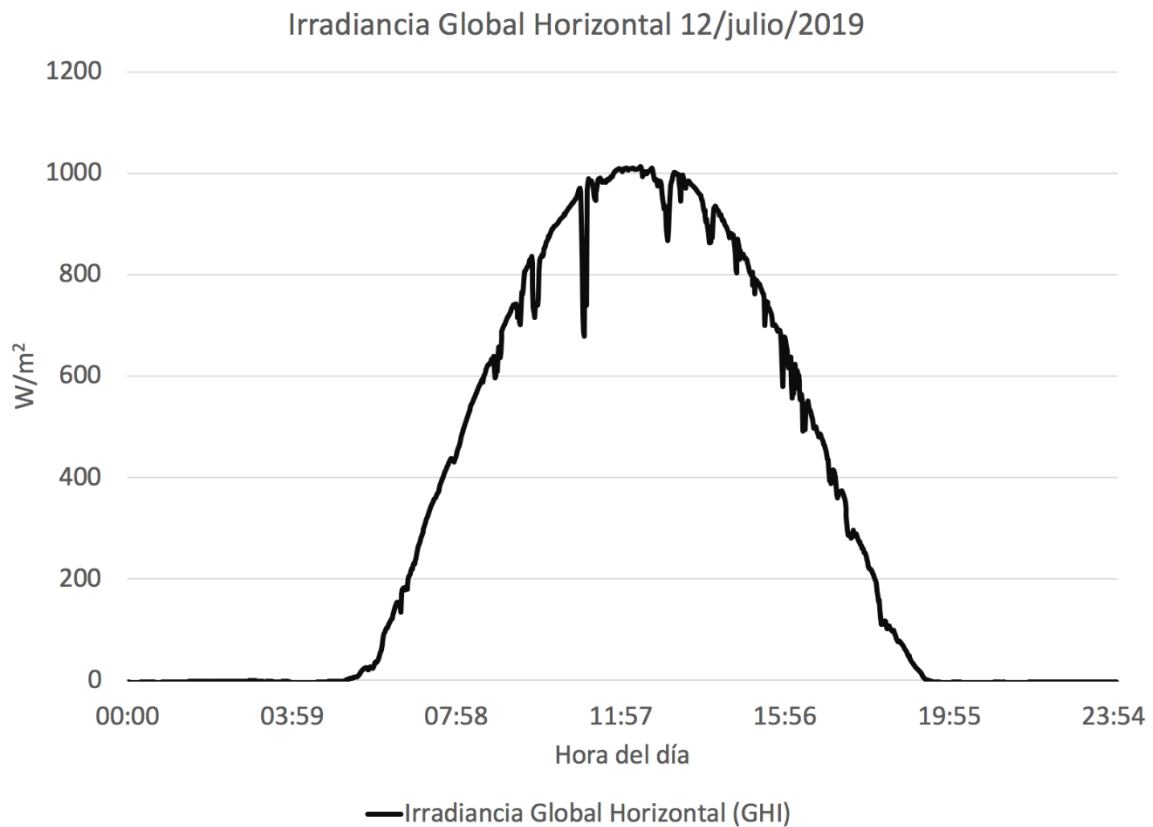


Figura 15. Datos de irradiancia 12 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

En la anterior Figura 15 se muestran los datos de irradiación obtenidos para el día 12 de julio de 2019, estos datos se obtuvieron de la estación de monitoreo solar instalada en la Plataforma Solar de Hermosillo que emplea sensores pirheliómetros de la marca Campbell Scientific modelo CMP11. En la Figura 15 se muestra la distribución de irradiación que tuvo el día, en la gráfica se aprecian algunas perturbaciones generadas por nubosidades, en general el día de experimentación fue un día muy soleado con algunas nubes, cabe señalar que existen muchas formas de medición de la irradiancia incidente en una superficie, debido a que el calentador solar de aire se posicionó de forma

horizontal es que se emplea la irradiación horizontal global como dato para los cálculos posteriores.

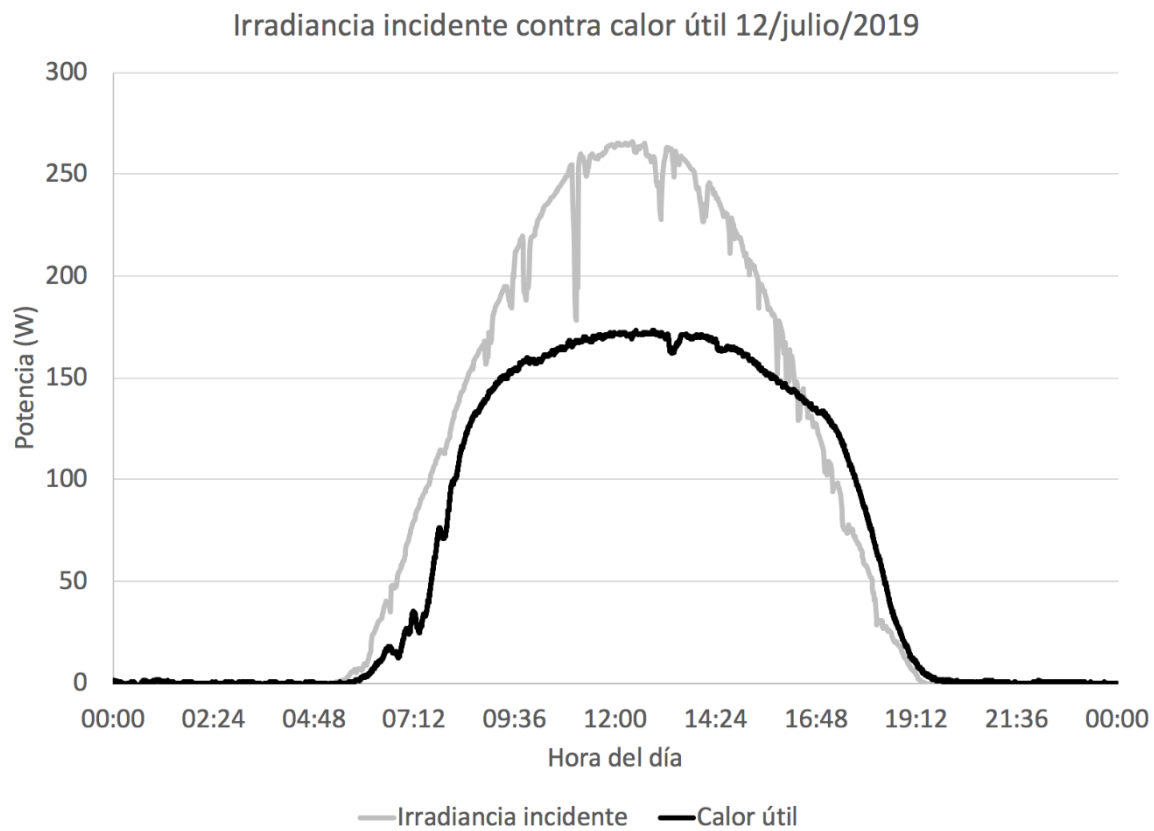


Figura 16. Irradiancia y calor útil producido 12 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16 se observan los datos de irradiancia incidente y la gráfica de calor útil para el día 12 de julio de 2019, esta gráfica muestra la diferencia entre la energía que es recibida teóricamente en el área de captación del colector y lo relaciona de manera directa con el calor útil calculado con los datos experimentales. Esta figura proporciona una idea gráfica de la eficiencia del equipo calentador solar de aire, ya que la eficiencia es definida como la relación del calor útil y la irradiación incidente en el área de captación solar, se puede decir que el espacio debajo de la curva de calor útil representa la eficiencia del sistema mientras que el área entre las dos curvas hace referencia a la energía que no pudo aprovecharse para ser transformada en calor.

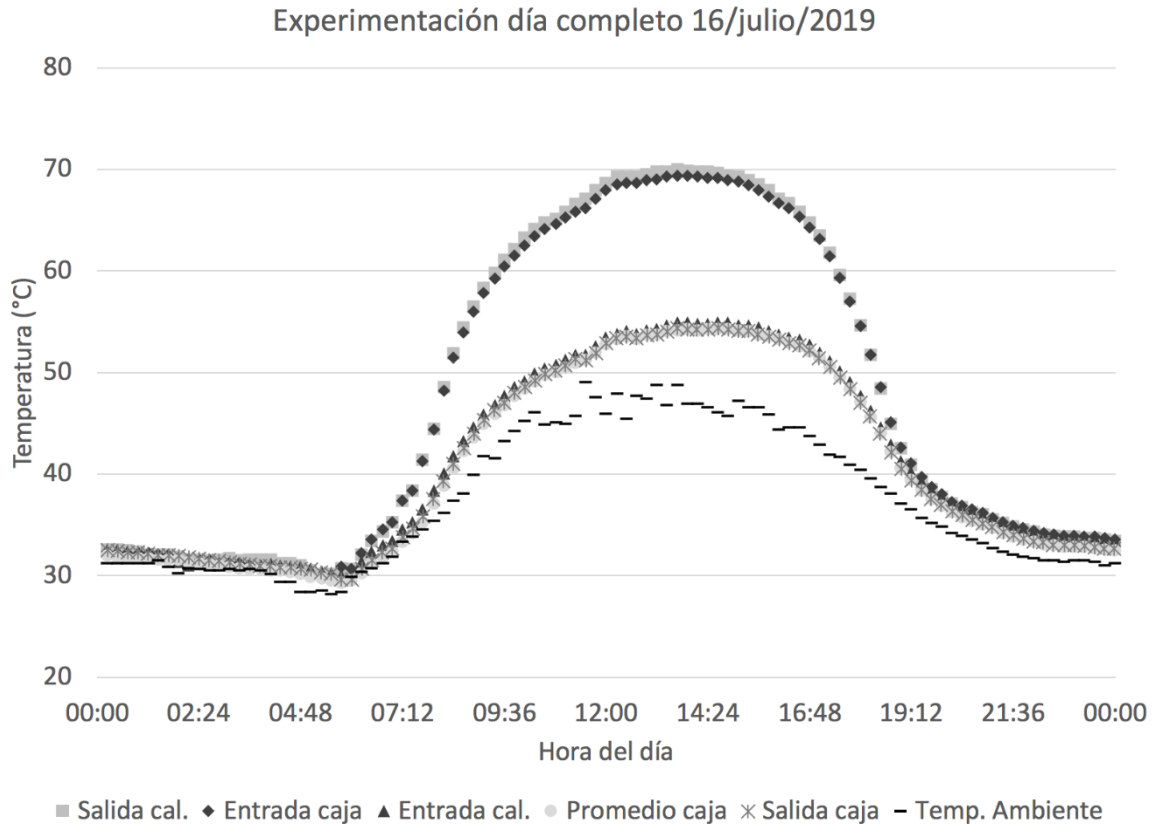


Figura 17. Datos de temperatura del día 16 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 17 se muestra la gráfica de otra sesión de experimentación de 24 horas, correspondientes al 16 de julio de 2019, en estos datos se observan tres líneas en la gráfica, estas tres líneas corresponden de manera descendente a lo siguiente, la primera a la zona caliente del sistema, la segunda a la temperatura a la entrada de la caja, la temperatura promedio interna de la caja y la temperatura de salida de la caja, la tercera línea representa la temperatura del aire ambiente. Es necesario señalar que la toma de datos se realizó en la temporada de verano, en el mes de julio, por lo cual el valor de la temperatura del aire ambiente presenta valores por encima de los 40 °C.

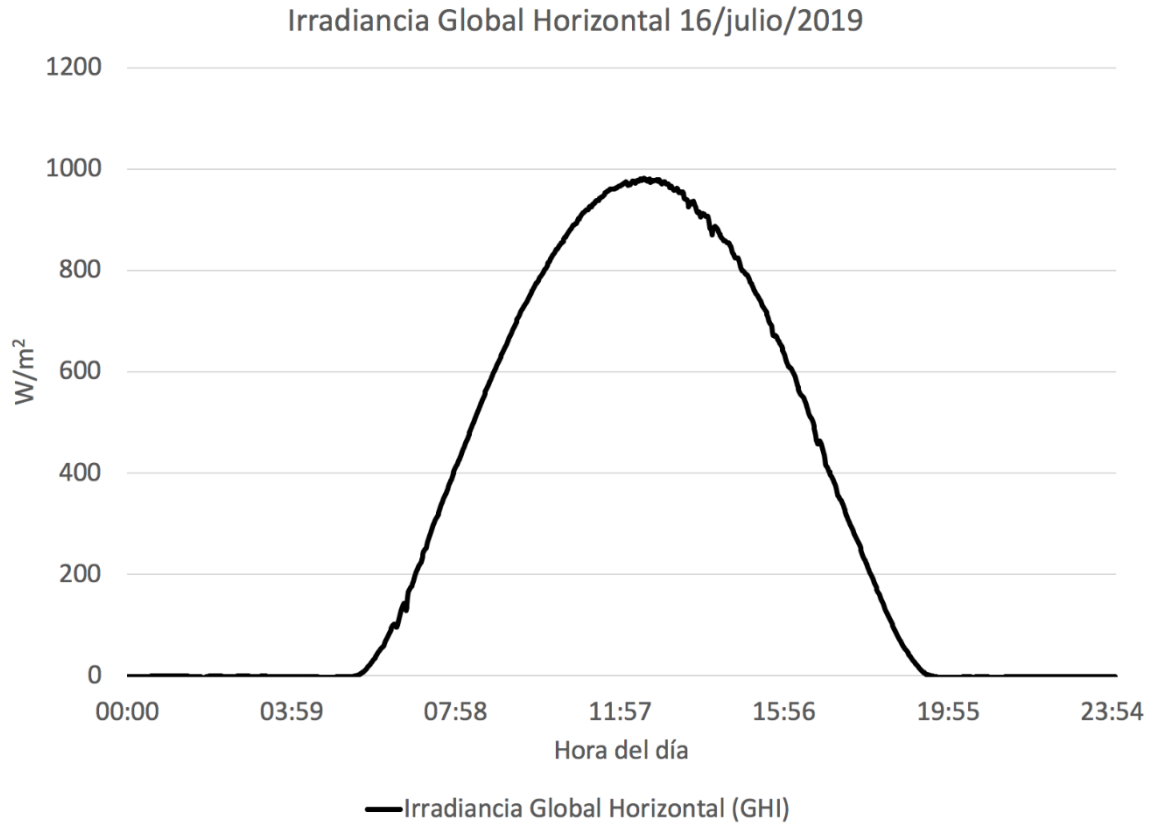


Figura 18. Datos de irradiancia del 16 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

En la anterior Figura 18 se presentan la gráfica obtenida de los datos de la irradiancia para el día 16 de Julio de 2019, a comparación de los datos del día 12 de julio, Figura 15, en esta gráfica se observa una curva sin perturbaciones, este comportamiento se obtuvo ya que ese día las condiciones atmosféricas fueron muy despejadas y no se presentaron nubes que ocasionaran perturbaciones en la irradiación solar.

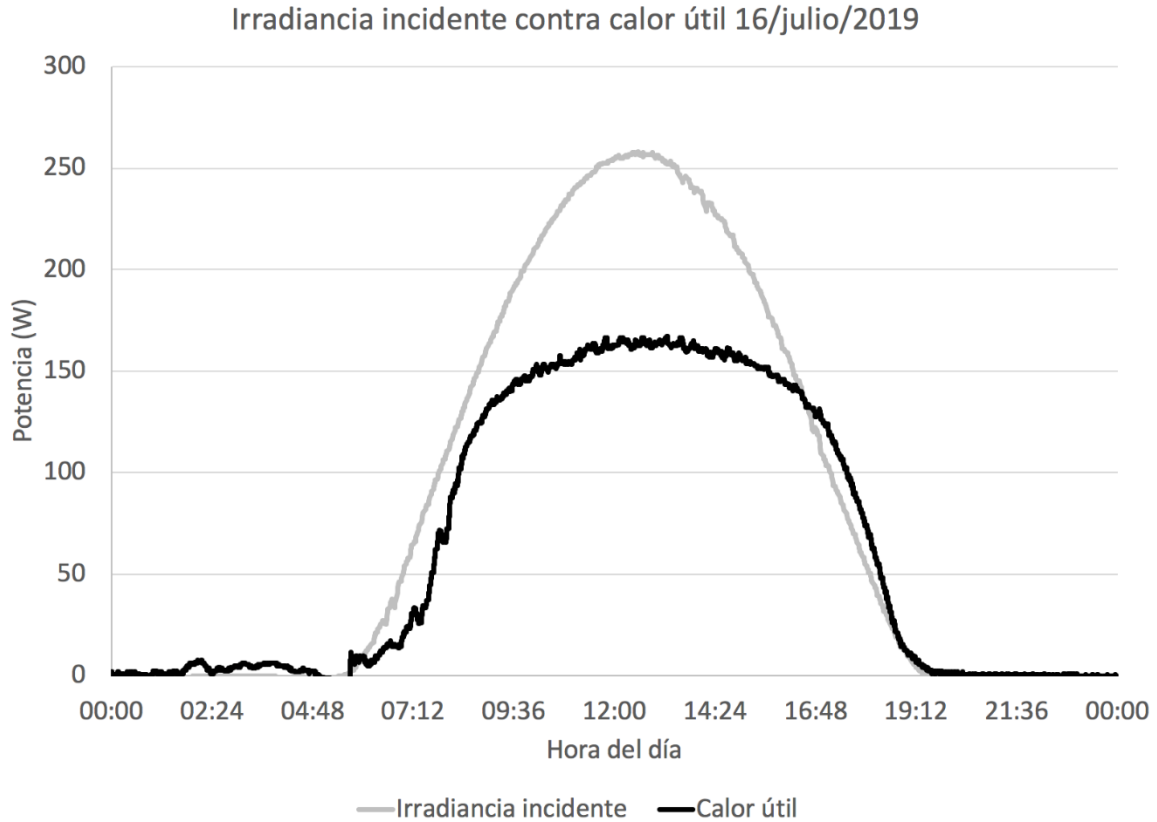


Figura 19. Irradiancia y calor útil producido 16 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

Para finalizar se muestra la Figura 19 en donde se exhiben los valores de irradiación comparados con el calor útil calculado para el día de prueba 16 de julio de 2019, el valor del calor útil fue calculado usando los datos de temperatura obtenidos en la experimentación, esta gráfica muestra un desfase de las dos curvas mostradas, la curva que representa el calor útil obtenido, la de menor tamaño, se encuentra desfasada a la derecha, este desfase se puede explicar por la inercia térmica del sistema, esto significa que el cuarto de pruebas tarda en calentarse y una vez caliente tarda en enfriarse.

Con todos estos datos obtenidos de manera experimental se calculó la eficiencia térmica del sistema calentador solar de aire empleando la siguiente ecuación de eficiencia:

$$\eta_g = \frac{\int_{T_1}^{T_2} \dot{m} C_p (t_e - t_i) dT}{A_g \int_{T_1}^{T_2} G dT} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- η_g = eficiencia del colector solar en porcentaje
- T_1 = tiempo al iniciar el periodo de prueba en segundos
- T_2 = tiempo al finalizar el periodo de prueba en segundos
- \dot{m} = flujo másico en kg/s
- C_p = calor específico del fluido de transferencia de calor en J/kg °C
- t_e = temperatura del fluido de transferencia a la salida en °C
- t_i = temperatura del fluido de transferencia en la entrada en °C
- dT = derivada con respecto al tiempo
- A_g = área bruta del colector en m²
- G = irradiancia solar global en W/m²

Los datos que se emplearon para el cálculo de esta ecuación fueron los siguientes, el flujo másico se estimó en 0.01063kg/s utilizando la medición de velocidad de aire del anemómetro Extech 4170, el calor específico del aire se obtuvo de referencias bibliográficas como: $1006.3 \frac{J}{kgK}$, el área de captación solar del sistema se calculó con la medición de los tubos evacuados y se empleó el dato siguiente 0.2627 m², para un colector de 5 tubos evacuados, los valores de temperatura e irradiación son los presentados en las gráficas expuestas anteriormente.

Los resultados obtenidos al emplear esta ecuación para el cálculo de la eficiencia del calentador solar de aire se muestran en la Tabla 10 a continuación:

Tabla 10. Eficiencia calculada experimentalmente en cuarto de pruebas

Día de prueba	Eficiencia del calentador	Eficiencia del sistema completo
12 de julio de 2019	76 %	59 %
16 de julio de 2019	75 %	41 %

Fuente: Elaboración propia

La columna de la Tabla 10 llamada “eficiencia del calentador” se calculó utilizando la temperatura de entrada y salida del calentador solar de aire como T1 y T2 de la ecuación 5 respectivamente. En cambio, la columna llamada “eficiencia del sistema completo” se obtuvo considerando los valores de temperatura ambiente y la temperatura promedio del interior de la caja de pruebas como T1 y T2 respectivamente. Cabe señalar, que estos

datos fueron calculados para un sistema cerrado, lo que quiere decir que el sistema de pruebas recirculaba el mismo aire, se considera que por esta característica el valor de eficiencia resultó un valor elevado comparado con otras mediciones realizadas en un sistema abierto para esta misma tecnología (Flores Montijo, 2018).

Para conocer la veracidad de los resultados teóricos realizados anteriormente, estos deben de ser comparados con los datos experimentales obtenidos, por lo cual a continuación se trabajará en esta comparativa; para empezar, se comparará el cálculo de potencia estimada que se espera recibir teóricamente por el uso de cinco tubos evacuados contra la potencia obtenida de manera experimental, en la siguiente Tabla 5 se muestran los valores de la potencia estimada calculada para el cuarto de pruebas.

Tabla 11. Comparación de los cálculos realizados para el cuarto de pruebas

Base de cálculo	Cantidad de tubos evacuados	Área de captación total (m ²)	Potencia estimada del sistema (W)
Calculo teórico tubos cortos (1.50 m)	34	1.79	966
Calculo teórico tubos largos (1.80 m)	23	1.82	966
Tubos usados en la experimentación (5 tubos cortos)	5	0.26	146

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los cálculos para el calentamiento del cuarto de pruebas se requieren 34 tubos cortos, aunque en realidad solamente se emplearon 5 tubos cortos. En la tercera fila de la Tabla 5 se muestran los datos teóricos de la potencia esperada por estos 5 tubos cortos, para facilitar la comparación con los datos obtenidos por la experimentación a continuación se muestra la Figura 20, que es la gráfica de calor útil contra irradiación incidente para el día 16 de julio del 2019.

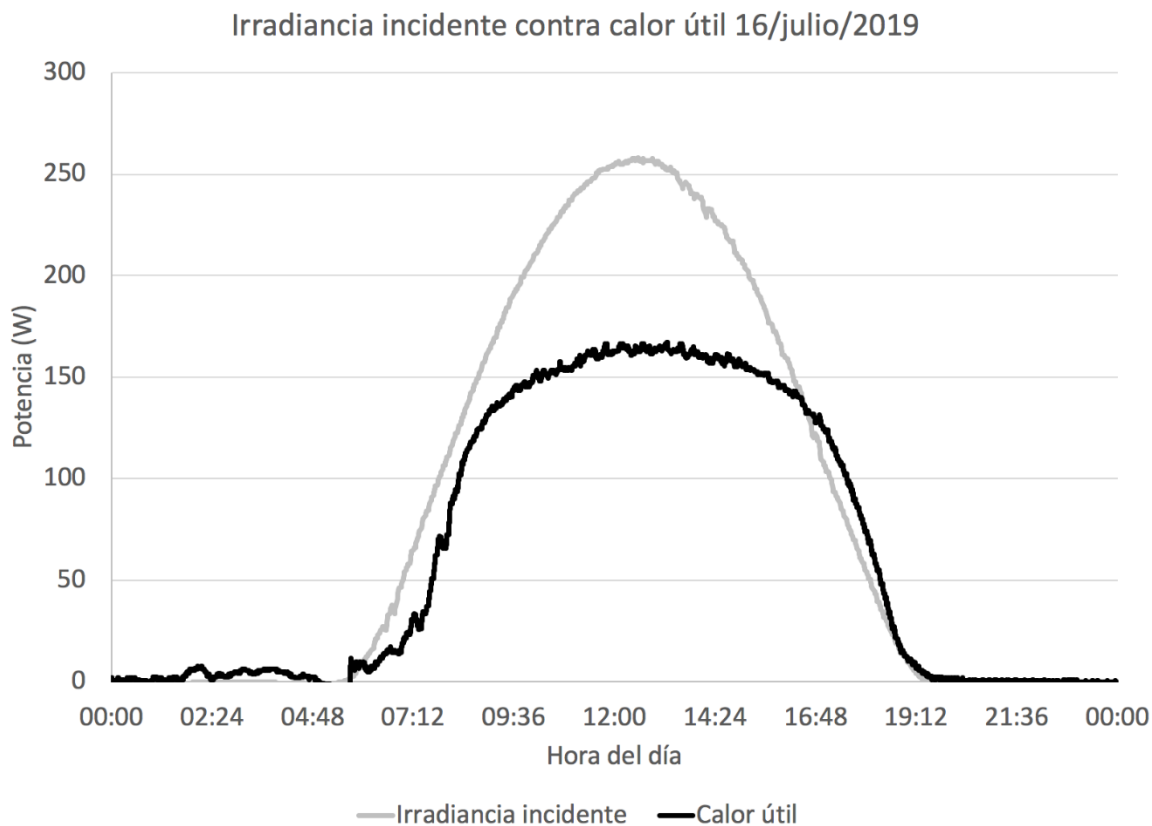


Figura 20. Irradiancia y calor útil producido 12 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los datos obtenidos teóricamente el valor de la potencia del sistema usado en la experimentación compuesto por 5 tubos cortos es de 146 W, Tabla 11, al analizar la Figura 20 se aprecia que la curva de calor útil calculada con los datos experimentales, se mantiene en un valor cercano a los 150 W, la mayor parte del día solar, llegando incluso a sobrepasar los 165 W justo en el medio día solar, esta correlación observada entre los datos calculados con los datos experimentales nos permite pensar que las estimaciones energéticas realizadas teóricamente pueden ser acertadas, hay que señalar que el dato presentado en la Tabla 11 acerca de la potencia esperada por el sistema de 5 tubos, se calculó tomando en cuenta la eficiencia de los tubos evacuados de 58 %.

Con este análisis realizado y el cálculo de la eficiencia del sistema se puede encontrar respuesta a la tercera pregunta de investigación: **Pregunta 3 ¿El equipo de pruebas entrega la energía requerida a un cuarto de pruebas a escala?**

Gracias a los datos obtenidos en las pruebas experimentales se puede concluir que el sistema de pruebas no alcanzó la temperatura de trabajo necesaria de 65 °C a 85 °C, sin embargo, esto se puede atribuir a que según los cálculos se requerían 34 tubos evacuados cortos o 23 tubos largos y solamente se emplearon 5 tubos cortos, a pesar de esto se encontró que el equipo calentador solar de aire entrega aire caliente utilizando la energía del sol lo que puede tener resultados positivos para la reducción de los impactos ambientales en sistemas que busquen generar calor usando fuentes limpias de energía térmica. Gracias a esta etapa de experimentación se obtuvo evidencia experimental que confirma que el calentamiento de aire utilizando la tecnología de tubos evacuados es posible y puede presentar características apropiadas para su uso como fuente de calor para un cuarto sauna con una instalación de las dimensiones adecuadas.

Otra característica que afectó la temperatura alcanzada por el aire interno del equipo fue el flujo másico que se utilizó durante toda la prueba esto significa, que la velocidad del motor se mantuvo estable durante todo el tiempo de la prueba haciendo funcionar el motor del ventilador con su voltaje de trabajo de diseño que es de 12 V, el flujo másico es una de las variables que intervienen más fuertemente en el comportamiento del sistema, el flujo másico afecta a las variables del sistema, como la cantidad de aire que circula por el calentador solar de aire y por los tubos evacuados y también la cantidad de aire caliente que escapa del sistema por fugas imperceptibles y por lo tanto la reposición de ese aire caliente con aire frío del ambiente. Por todas estas características, se considera que el haber alcanzado un aumento de temperatura de aproximadamente 10°C, contra la temperatura del aire ambiente, con el uso de solamente 5 tubos evacuados, indica que la tecnología de calentamiento de aire solar funciona de manera satisfactoria y tiene posibilidades de tener aplicaciones como una fuente limpia de energía térmica.

6.3 Tercera parte: Análisis económico

Para conocer la factibilidad económica del sistema de calor solar propuesto en este estudio, se realizó un análisis económico con el objetivo de conocer su costo total estimado y el periodo de retorno de la inversión esperado, para comenzar con estos cálculos se debe de conocer el tamaño del sistema de calor solar propuesto, el tamaño del sistema se estableció en la sección 6.1.12 en la Tabla 8, se utilizarán los valores

indicados en esa tabla para los cálculos siguientes. Como recordatorio los datos de la Tabla 8 se realizaron para 2 escenarios diferentes, el primero, se basó en los cálculos térmicos realizados en la sección 6.1, mientras que el segundo escenario se basó el suministro del 60 % de la energía anual entregada al aire por una estufa eléctrica convencional, para los siguientes cálculos se tomará como base el segundo escenario, esto se realiza debido a que estos datos involucran el mayor número de tubos evacuados y por tanto el mayor costo de instalación del sistema de calor solar, de esta forma los datos obtenidos aquí servirán como un límite superior de los costos estimados.

A continuación, en la Tabla 12, se comparan los valores de la aportación energética en dos supuestos diferentes, en el primero, se cuantifica la energía eléctrica consumida por una estufa eléctrica para calentar un baño sauna durante todo un año y se compara contra el segundo supuesto en donde, se espera que el 60 % de esa energía sea entregada al baño sauna mediante un sistema de calor solar.

Tabla 12. Comparación de consumos eléctricos baño sauna

Escenario	Consumo eléctrico (kWh/año)	Energía suministrada por fuente solar (kWh/año)	Energía total suministrada al año (kWh/año)
A) Estufa eléctrica solamente	39 312	0	39 312
Porcentaje de aportación energética	100 %	0 %	100 %
B) Estufa eléctrica con apoyo solar	15 724	23 588	39 312
Porcentaje de aportación energética	40 %	60 %	100 %

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12 presentada anteriormente, los cálculos se basan en un periodo de uso del baño sauna de ocho horas diarias por siete días a la semana por un año, este periodo de uso es el indicado para un baño sauna de uso comercial. Continuando con el análisis, para hacer estimaciones económicas se deben de conocer los precios de la energía local por lo cual en la siguiente Tabla 13, se exhiben los precios de la energía eléctrica a escala domiciliaria para el periodo de junio del año 2019 en Hermosillo Sonora.

Tabla 13. Precio electricidad domiciliaria en Hermosillo junio 2019

Tarifa eléctrica	Precio por kWh (pesos)
Tarifa básica	\$ 0.60
Tarifa intermedia 1	\$ 0.75
Tarifa intermedia 2	\$ 1.82
Promedio	\$ 1.05

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior la energía tiene una base de cobro expresada en kWh, ya que se tienen los precios de los energéticos se puede estimar cual será el precio de operación anual del baño sauna utilizando los valores calculados del consumo eléctrico anual expresados en la Tabla 12 y el dato del precio promedio de la energía expresado en la Tabla 13, los resultados de estos cálculos se presentan en la Tabla 14 mostrada a continuación.

Tabla 14. Costos de operación anual del baño sauna

Escenario	Consumo eléctrico anual (kWh/año)	Costo de la electricidad anual (pesos)
A) Estufa eléctrica solamente	39 312	\$ 41,421
B) Estufa eléctrica con apoyo solar	15 724	\$ 16,568
Diferencia anual	26 587	\$ 24,853

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14 mostrada anteriormente, se muestran los costos de operación anuales que se tienen para los dos escenarios presentados, el primero considera a la estufa eléctrica solamente mientras que el segundo, es el escenario con aportación energética solar del 60 %, en una tercera fila se realiza el cálculo de la diferencia existente entre los dos escenarios y sus costos anuales, se observa que el costo de operar el sauna en un año es de \$ 41 500 pesos aproximadamente, mientras que con la instalación de un sistema de calor solar que suministre el 60 % de la energía anual, se tendría un costo de \$ 16 500 pesos, estos datos muestran que la diferencia entre los dos escenarios indica que se dejarían de gastar anualmente \$ 25 000 pesos aproximadamente por la operación del sauna, una vez instalado el sistema de calor solar. Continuando con el análisis se va a hacer un cálculo estimado del costo de un sistema de calor solar capaz de entregar el 60

% de energía al baño sauna, los valores calculados se encuentran en la Tabla 15 siguiente.

Tabla 15. Costos estimado del sistema de calor solar

Rubro	Costo de sistema de calor solar de tubos cortos	Costo de sistema de calor solar de tubos largos
Número de tubos evacuados	303	202
Número de equipos necesarios	16	11
Costo equipos	\$ 128,000	\$ 88,000
Ductos	\$ 20,000	\$ 20,000
Ventiladores	\$ 5,000	\$ 5,000
Mano de obra	\$ 20,000	\$ 20,000
Sobreprecio 20 %	\$ 34,600	\$ 26,600
TOTAL	\$ 207,600	\$ 159,600

Fuente: Elaboración propia

Después de estimar los valores del costo del sistema de calor solar, se trabajó en un indicador comúnmente empleado en la ingeniería de proyectos llamado periodo de retorno de la inversión, el cual, indica cuanto tiempo tardará en regresar el dinero gastado en un proyecto debido a los ingresos generados por la misma inversión, en otras palabras, en cuanto tiempo la ganancia generada por invertir paga la propia inversión, los datos calculados para estos valores se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Periodo de retorno de la inversión

Tipo de instalación	Número de tubos	Número de equipos de 20 tubos	Costo de instalación estimado (pesos)	Ahorros esperados por año (pesos)	Periodo de retorno de la inversión (años)
Tubos cortos	303	16	\$ 207,600	\$ 24,853	8.35
Tubos largos	202	11	\$ 159,600	\$ 24,853	6.42

Fuente: Elaboración propia

Para realizar esta tabla se calculó el periodo de retorno de la inversión para una instalación de tubos cortos y para una instalación de tubos largos, estos cálculos indican que los tubos largos son la mejor opción de inversión ya que el precio de la instalación es menor, esto se debe a que se ocupan menos equipos y tubos, además en el caso de los tubos largos el periodo de retorno de la inversión se realizará en seis años y medio

aproximadamente, a comparación de los ocho años cuatro meses aproximados de la opción de los tubos cortos.

Gracias a estos datos se puede decir que el invertir en un sistema de calor solar sería una forma adecuada de reducir el consumo energético de un baño sauna, cabe señalar que el realizar una inversión en este tipo de sistemas es una forma de reducir la dependencia a los combustibles y fuentes de energía tradicionales, además de que los valores de los energéticos siempre tienden a aumentar con el tiempo, lo que hace que el periodo de retorno de la inversión se vuelve más corto aun, como conclusión de este análisis, se cree que es momento de realizar inversiones en tecnologías renovables tanto por los ahorros económicos que puedan presentarse en el mediano plazo, como para evitar emisiones dañinas al ambiente.

6.4 Cuarta parte: Resultados de la etapa de entrevistas

Esta etapa de investigación se realizó en el marco de la Cohorte 2019 de NOBI noroeste programa del CONACYT para impulsar la creación de empresas con base tecnológica. El proceso de aprendizaje de la metodología se basó en el uso del Modelo Canvas de Negocios (Osterwalder y Pigneur, 2010) y el descubrimiento de clientes (Blank y Dorf, 2013). El modelo Canvas de negocios es una herramienta que realiza una segmentación de una empresa en 9 aspectos clave, en la Figura 21 se aprecia el diagrama del modelo Canvas. Esta herramienta se empleó durante todas las sesiones y se fue actualizando semana con semana con los hallazgos encontrados, el objetivo de esta herramienta es el de obtener un modelo de negocios factible y basado en la realidad de la industria nacional.

Al comenzar con el programa NOBI se pidió que se seleccionara un posible mercado para la tecnología, dentro de las aplicaciones industriales que puede tener el calentador solar de aire se eligió trabajar con el deshidratado de alimentos. En esta etapa del proyecto se realizaron entrevistas con posibles clientes de la tecnología de calentamiento de aire solar con la finalidad de obtener información acerca de la industria del deshidratado de alimentos en México. En el transcurso de las 7 semanas de duración del programa se realizaron 102 entrevistas con posibles clientes en varios ramos afines al deshidratado de alimentos. La información de todas las entrevistas se encuentra en el Anexo 1. Las

entrevistas se realizaron con varios objetivos, en primer lugar, se hacen para entender la realidad del mercado, en segundo lugar, sirven para encontrar a los posibles primeros clientes de la tecnología y por último se realizan para encontrar hallazgos que permitan construir un modelo de negocios basado en la realidad.

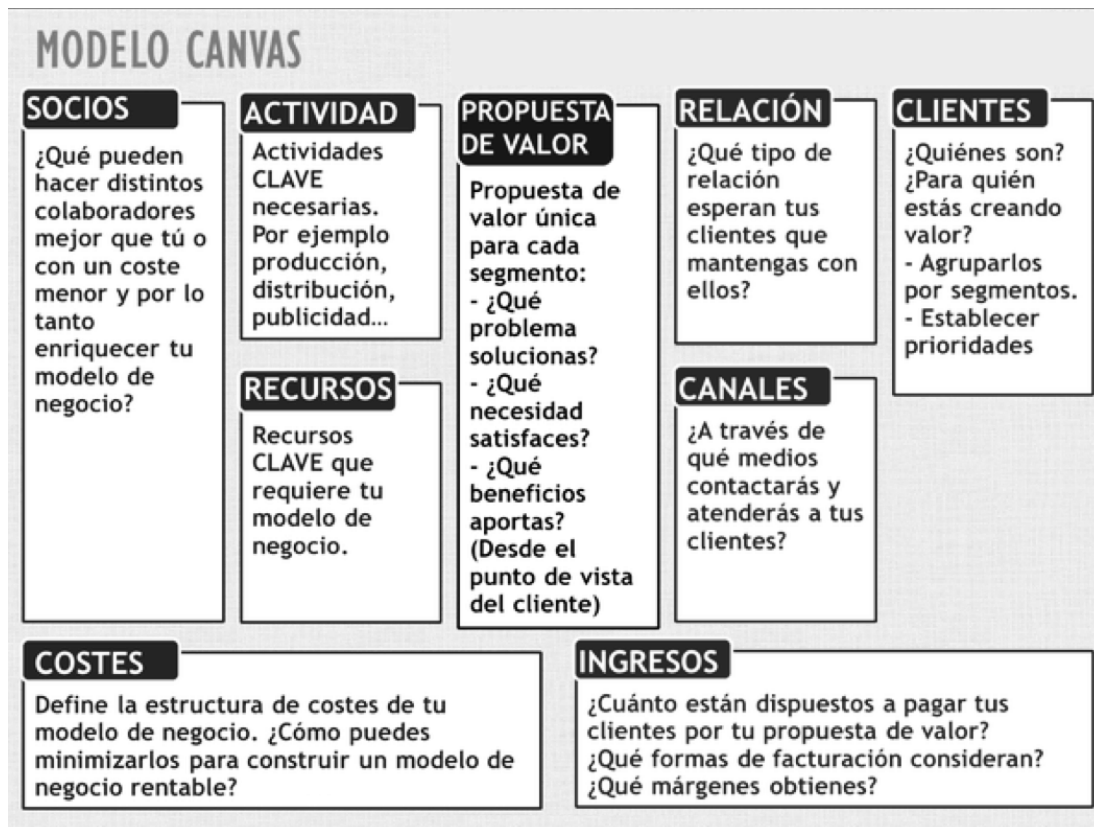


Figura 21. Modelo canvas de negocios

Fuente: (Blank y Dorf, 2013)

Para la realización de las entrevistas se diseñó un formulario de preguntas como guía, este formulario se utilizó como una base sobre la cual se fue trabajando el progreso de las entrevistas. A continuación, se muestra dicho formulario con una pequeña introducción recomendada en el libro Talking to humans (Giff Constable, 2014) material del curso NOBI 2019.

6.4.1 Formulario de entrevista calentador solar de aire para procesos industriales

Introducción

Un contacto en común me dijo que eres de las personas que más saben en la industria del deshidratado de alimentos y que tienes buenos consejos para ofrecer. Nos gustaría saber si la tecnología que estamos desarrollando tiene potencial para ayudarte a hacer un mejor trabajo, ¿me podrías ayudar contestando las siguientes preguntas?

Preguntas:

1. ¿Cuánto tiempo llevas dedicándote al deshidratado de alimentos?
2. ¿Me podrías contar como es tu proceso?
3. ¿Cuáles son tus mayores gastos?
4. ¿Qué tipo de equipo utilizas?
5. ¿Aproximadamente cuánto ha sido la inversión en tu maquinaria?
6. ¿Aproximadamente cuanto gastas en energía?
7. ¿Conoces las energías renovables?
8. ¿Cuál dirías que es tu mayor problema con el deshidratado?
9. ¿Qué has hecho para solucionarlo?
10. ¿Cuánto dinero has usado para solucionarlo?
11. ¿Cómo consigues nuevos equipos?
12. ¿Cómo te mantienes actualizado en tu sector?
13. ¿A qué convenciones asistes?
14. ¿Qué revistas lees del sector para informarte de nuevas tecnologías?
15. ¿Puede contactarme con algún conocido en el sector?

A continuación, se muestra la Tabla 17 que muestra los diferentes usuarios de las entrevistas realizadas, categorizados por su tipo de cliente de acuerdo con la metodología.

Tabla 17. Entrevistas realizadas por rol y medio

Rol del entrevistado	Presencial	Teléfono	Videollamada
Tomador de decisión	16	6	3
Usuario	11	8	4
Beneficiario	3	11	/
Recomendador	32	5	2

TOTAL	62	31	9
-------	----	----	---

Fuente: Elaboración propia

6.4.2 Hallazgos de las entrevistas

Al principio se comenzó hablando con empresas dedicadas a la venta de tecnologías limpias, ya que la tecnología estudiada se dedica al aprovechamiento de un recurso renovable, además se tuvo comunicación con empresarios dedicados a la producción de alimentos deshidratados típicos de la región de Hermosillo, como el chile chiltepín, carne seca, machaca y frutas secas. A continuación, se continúa con el análisis de los datos obtenidos en las entrevistas.

- Entrevista # 13 Productor de Carne seca y machaca de Hermosillo. Deshidrata carne seca para realizar machaca, utiliza un túnel que se calienta directamente con el sol, el cual tiene abanicos que obligan al aire fresco a entrar al interior, la implementación de la tecnología requeriría de una inversión para hacer algo que actualmente realiza de forma gratuita.
- Entrevista # 19 Vendedor de carne seca y machaca a pequeña escala de Culiacán, Sinaloa. Utiliza procesos artesanales para la producción de su machaca, procesos que no requieren gas o energía eléctrica, seca sus productos al sol de manera directa, no cuenta con fondos para invertir en tecnología para mejorar sus procesos.
- Entrevista # 20 Productor de machaca en pequeña escala en Sinaloa. Utiliza carbón para realizar el proceso de secado de su carne, emplea muy poco combustible para procesar su producción, produce en lotes pequeños hasta de 50 kilos por lo que el uso de combustible tiene un impacto pequeño en el precio final de su producto.
- Entrevista # 24 Investigador del CIAD en Culiacán. Comenta que en la actualidad los pequeños productores no se preocupan por la inocuidad alimentaria ya que no existen normativas para los alimentos deshidratados, la principal preocupación del

productor a pequeña escala es evitar mermas en sus productos alimenticios y aumentar la vida útil de sus productos, para lo cual utilizan el deshidratado como medio de conservación de sus alimentos.

- Entrevista # 31 Productor de chiltepín de Sonora. El deshidratado de chiltepín tradicionalmente se realiza de manera directa al sol, en donde puede tener problemas de contaminación por factores externos.
- Entrevista # 44 Investigador en procesos alimenticios del CIAD en Hermosillo. Comenta que la tecnificación de los procesos para los pequeños productores es imposible por el costo de los equipos, los pequeños productores emplean deshidratación directa al sol la cual es virtualmente gratuita.

Esta primera selección de entrevistas se realizaron con pequeños productores de alimentos deshidratados que utilizan el sol como principal fuente de calor e investigadores con experiencia en procesos de deshidratado de pequeña escala, se comprendió que sería complicado acercarse a este mercado ya que su producción es muy artesanal y emplean procesos muy tradicionales como el secado directo al sol, o la quema de carbón como fuente de calor para sus procesos, además, no cuentan con la capacidad económica para invertir en tecnología o no tienen el interés de utilizar tecnología para hacer lo que actualmente hacen gratis o a un costo muy bajo. Prosiguiendo con el análisis se observó que estos pequeños productores venden sus productos de manera local, a causa de esto, no requieren estándares de producción controlados y la inocuidad de sus alimentos no es percibida como un problema para ellos. Ahora se mostrará una sección de entrevistas que muestran hallazgos diferentes.

- Entrevista # 5 Dueño empresa refrigeración en Hermosillo. “La tecnología que tienen podría servir para el deshidratado de harinas de pescado y el secado de chiles”.
- Entrevista # 9 Dueño empresa energías renovables en Hermosillo. El retorno de la inversión es un indicador muy importante para este tipo de tecnologías, recomiendo que visiten agronegocios ya que ellos cuentan con espacio suficiente

para una instalación de tecnología de calor solar, además emplean el calor a baja temperatura para climatizar cultivos en épocas de heladas.

- Entrevista # 15 Consultor de negocios con experiencia en deshidratado de alimentos. Conoce que los alimentos deshidratados son un gran mercado, ha trabajado con clientes potenciales, menciona que los productores de nuez también requieren secado para sus procesos.

Estas entrevistas arrojan recomendaciones de posibles aplicaciones industriales para la tecnología de deshidratado que no se tenían contempladas como el deshidratado de pescado, camarones y nueces, además de la climatización de cultivos en agronegocios, estas entrevistas se realizaron con consultores de negocios que ofrecen una visión diferente acerca de la posible utilidad de la tecnología de calentamiento de aire solar. Continuando con el análisis de las entrevistas.

- Entrevista # 9 Dueño empresa energías renovables. Comenta acerca de un caso de tortillerías locales de Hermosillo en donde no hubo aceptación de tecnologías limpias para reducir el consumo de gas, cree que puede existir una resistencia del mercado a este tipo de tecnologías por desconocimiento o ignorancia de los beneficios o falta de visión a largo plazo.
- Entrevista # 27 Gerente en empresa deshidratadora de frutas. Tiene a un conocido que construyó una planta de deshidratado de alimentos basada en energía solar pero no funcionó, esto fue debido a la intermitencia de las energías solares y tuvo pérdidas considerables de producción, al punto de cerrar la planta, ve una gran demanda de productos deshidratados en el mundo y quiere desarrollar su propio negocio de deshidratado de alimentos.
- Entrevista # 32 Ingeniero en procesos de deshidratado con gran experiencia. Ve posible la aplicación de la tecnología para generar calor de proceso, menciona que en sus experiencias la hibridación de tecnologías es lo mejor ya que evita la dependencia del recurso solar que es intermitente, sobre todo en los procesos alimenticios que no se pueden detener.

- Entrevista # 40 Ingeniero en el diseño de maquinaria para deshidratado. Comenta que tiene conocimiento de casos de fracaso en el uso de la energía solar en plantas de deshidratado de alimentos por la intermitencia del recurso solar, cree que sería buena su aplicación, pero comenta que la hibridación es necesaria.

En estas entrevistas se encontraron personas que ya habían tenido contacto con el deshidratado solar de alimentos, pero en estos casos no habían tenido buenos resultados, se considera que para atraer a este tipo de cliente se requerirá demostrar la eficacia de los equipos con pruebas técnicas que verifiquen el buen funcionamiento de la tecnología. De acuerdo con los comentarios se llega a pensar que las soluciones tecnológicas para la industria alimenticia se deben contemplar como soluciones híbridas en todos los casos, ya que los procesos alimenticios deben mantener una temperatura estable durante todo el tiempo de deshidratado, con la finalidad de inhibir el crecimiento microbiano que generaría la pérdida de la producción. Prosiguiendo con el análisis de las entrevistas se encontraron otros hallazgos.

- Entrevista # 16 Gerente de planta deshidratadora de mango en Sinaloa. En esta empresa de deshidratado de mango gastan \$110,000 semanales de gas en la temporada de mango, por lo cual están en búsqueda de tecnologías que les ayuden a disminuir este consumo.
- Entrevista # 26 Gerente planta deshidratadora de mango para exportación. El proceso de deshidratado que emplean está muy controlado para alcanzar calidad de exportación, su principal problema es el tiempo de pelado y las grandes mermas que tienen, menciona que sus gastos de mayor a menor son materia prima, mano de obra y energéticos, las temperaturas de operación de sus túneles son de 60 °C a 72 °C procesan 1 200 kg a 1 500 kg diarios de mango.
- Entrevista # 40 Ingeniero en el diseño de maquinaria para deshidratado. Cuenta con 10 años de experiencia en la fabricación de maquinaria para el deshidratado de alimentos, sus hornos consumen un 1/4 del gas que los hornos convencionales para deshidratado utilizan la recirculación del aire y limitan el proceso de quema de gas, considera que el aislamiento y la mejora en la eficiencia es lo más importante de un sistema deshidratador.

- Entrevista # 50 Gerente de planta deshidratadora de alimentos en Hermosillo. Tienen identificado que el insumo más grande de sus procesos es el gas, considera el uso eficiente de las energías como relevante para su industria, está buscando ideas que solucionen su problemática de consumo muy elevado de combustibles, sus procesos alcanzan hasta 80 °C de temperatura.
- Entrevista # 51 Director de operaciones en planta deshidratadora de nopal. Saben que el gasto más grande de su empresa es el gas, comenta que: “en temporada de lluvias gastamos más gas debido a la humedad del aire”, tienen un horno que tiene más de 10 años en operación con una capacidad de 4 toneladas, comenta que: "No se puede secar tanto alimento con el sol" y añade “si encuentran una solución claro que me interesa ya que no quiero gastar tanto en gas”.
- Entrevista # 62 Socio de empresa Productores Organizados. Utilizan maquina industrial de secado para producir 300 kg de producto seco diario, emplea resistencias eléctricas solamente, estima que el consumo energético impacta en el producto en 7 %. Quieren conseguir ecotecnologías, pero no las han instalado debido a que el local en donde trabajan es rentado y el dueño no lo permite.
- Entrevista # 88 Productores de carne seca y machaca Nutricazuela. Es una empresa familiar donde realizan procesos de secado de carne machaca y carne seca, para esto tienen hornos de deshidratado que funcionan con quemadores, alimentados por gas LP, los hornos secan 120 kg de carne en un tiempo de entre 8 y 10 horas, los principales problemas son que no tienen ajustes de temperatura y desconocen el tiempo exacto para llevar a cabo el secado, el consumo de gas es el costo más importante de la operación.

Como se observa en los comentarios de las entrevistas de esta sección varios de los entrevistados tienen identificado el consumo de gas y energéticos como uno de los principales problemas que tienen en su empresa, por lo cual están buscando activamente soluciones para hacer sus procesos más eficientes y sobre todo recortar costos de los insumos energéticos. Estas entrevistas fueron realizadas en empresas de un tamaño medio a grande, son organizaciones que cuentan con una infraestructura establecida y

tienen capital para invertir en la mejora de sus procesos, en varios de los casos se encontraron empresas que no tienen sus procesos de deshidratado tecnificado por lo cual existe un área de oportunidad para mejorar y optimizar estos procesos, por todo lo anterior se considera que en este tamaño y tipo de empresa es en la que se deben de enfocar los esfuerzos futuros. Ahora se analizarán los siguientes hallazgos.

- Entrevista # Investigador en procesos alimenticios del CIAD en Hermosillo. Considera que localmente existe una gran oportunidad para procesar alimentos utilizando la energía solar gracias a la gran irradiación solar que tiene el estado, considera que el desperdicio de los alimentos es un gran problema social y debe atacarse, tiene experiencia con agro productores que desperdician sus cosechas ya que no tienen forma de conservarlas, ve en el deshidratado una posibilidad de conservar de manera eficiente y económica estos alimentos.
- Entrevista # 53 Director de operaciones en Nopalitos azteca. Utilizan el deshidratado esporádicamente cuando no tienen a quién vender su producto, el proceso de deshidratado que utilizan lo realizan a baja temperatura y largo tiempo para conservar las características de los alimentos, hace el comentario siguiente: "Existe una tendencia de los productos secos y deshidratados en el mundo y el nopal es un súper alimento y está en auge su consumo".
- Entrevista # 70 Ingeniero productor de alimentos deshidratados usando calor solar. Desarrolló su propia tecnología para el deshidratado de alimentos solar, emplea estos mecanismos para secar alimentos y tener producciones pequeñas que apoyan a las comunidades vulnerables, tiene la visión de desarrollar sus capacidades en el área del impacto social, ha fundado ya más de 50 pequeñas cooperativas de apoyo a pequeños productores.
- Entrevista # 73 Jefe de operaciones en el deshidratado de soya. Comenta que los procesos de deshidratado son de tipo continuos y utilizan calor de baja temperatura por tiempos de residencia muy cortos, las tecnologías de calor solar podrían adecuarse bien a sus temperaturas y tiempos de residencia dentro del túnel de secado.

- Entrevista # 82 Investigador especializado en uso de energías renovables. Comenta que el deshidratado de alimentos solar puede ser una gran apuesta para alimentos de gran valor agregado, pero para alimentos que se consumen a granel es muy difícil o casi imposible aplicar tecnología solar, esto se debe a que los deshidratadores de grandes volúmenes de alimento venden sus productos a un costo bajo lo que hace incosteable la inversión económica. Comenta que el principal problema que él ve en la industria es la falta de una normativa para los productos deshidratados. Dice que la calidad del secado de alimentos con el sol es muy buena. Ha tenido buenas experiencias al deshidratar productos con fines farmacéuticos como la harina de nopal y que se venden con un valor agregado considerable.
- Entrevista # 89 Ingeniero en R y R térmica en Argentina. Diseñan equipos para el deshidratado de alimentos a escala industrial con tecnología argentina, comenta que el deshidratado de alimentos está muy bien posicionado en Sudamérica y en México apenas están entrando estos procesos, sus máquinas están muy bien controladas electrónicamente lo que hace eficiente el proceso de deshidratado, utilizan resistencias eléctricas para alcanzar el deshidratado.
- Entrevista # 101 Productor Nopal Tenochtitlan. Deshidratan empleando calor solar, se ha vinculado con empresas que instalan tecnologías de calor solar para el deshidratado de alimentos, reportan que han reducido su consumo de gas en un 40 %, esta inversión se realizó gracias a apoyos de la SAGARPA.

En este set de entrevistas se encuentran personas que tiene procesos de deshidratado convencional con características técnicas que se empatan con la tecnología de calentamiento solar de aire, esto sugiere la posibilidad de emplear ésta tecnología para entregar el calor necesario a estos procesos alimenticios, así mismo comentan acerca del deshidratado de alimentos con fines farmacéuticos que es una forma de uso de esta tecnología que puede ser muy prometedora debido al alto valor agregado que tienen este tipo de productos. Con estas entrevistas se observó que el deshidratado solar puede tener una dimensión social al mejorar la seguridad alimentaria de una región ya que se puede emplear este proceso como una forma de conservar alimentos que de otra forma se desperdiciarían.

Se encontraron entrevistados que ya emplean plantas de deshidratado solar de alimentos y reportaron que han tenido beneficios económicos importantes generados por el ahorro de energéticos, se cree que vale la pena continuar explorando esta área de aplicación del calor solar debido a los beneficios económicos y ambientales que puede tener.

Como resultado del análisis de la información obtenida en las entrevistas se generó un modelo de negocio empleando la herramienta de modelo canvas de negocios, el último modelo obtenido derivado de las entrevistas se presenta a continuación en la Figura 22, en él se muestra la información condensada obtenida por las entrevistas, en la parte central llamada “propuesta de valor” es en donde se anotan los principales beneficios que se obtiene por el uso de la tecnología que se relacionan con las necesidades del cliente. En la parte más a la derecha del diagrama en la sección nombrada “segmentos de cliente” se apuntan los diferentes clientes posibles para la tecnología. Estas dos secciones son las de mayor importancia ya que sirven de base para todo lo demás dentro del modelo.

Como resultado de esta sección se dice que, gracias a la realización de estas 102 entrevistas a personas con diferentes perfiles, se logró obtener información de la realidad de la industria del deshidratado de alimentos y la utilización actual del calor solar en esta industria. Seguir esta metodología llamada descubrimiento de clientes ayudó a entender la realidad de la industria y generar una red de contactos dedicados al deshidratado de alimentos que pueden estar interesados en el uso del calentador solar de aire para mejorar sus procesos industriales.

La creación de un modelo de negocios basado en conocimiento obtenido mediante entrevistas mejora las posibilidades de éxito si en un futuro se quisiera introducir la tecnología como un producto al mercado, gracias a este programa se conoció la situación de la industria, además se consiguió obtener retroalimentación acerca de la tecnología y generar vínculos. Por todo lo anterior se piensa que el haber participado en este programa servirá de mucho en un futuro para aplicar los conocimientos para resolver problemas reales de la industria y de la sociedad mexicana.



Figura 22. Modelo de negocio final para proyecto calentador solar de aire

Fuente: Elaboración propia

VII. DISCUSIÓN

La búsqueda de nuevas formas de aprovechar la energía limpia es una actividad primordial para combatir los efectos del cambio climático y una ayuda crucial para mitigar el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero en el clima (IEA, 2012; Tyagi *et al.*, 2018). El calentador solar de aire utilizado en este trabajo es una tecnología que se encuentra en un estado de desarrollo, en contraste con la extensa información existente sobre el uso de tubos evacuados para calentar el agua (Asif y Muneer, 2006; Cao *et al.*, 2014; Kocer, Atmaca y Ertekin, 2015; Porrás-Prieto *et al.*, 2016), el calentamiento del aire utilizando la tecnología de tubos evacuados es una función de los tubos evacuados con un nivel bajo de desarrollo tecnológico aunque, puede tener beneficios tanto económicos como técnicos (Paradis *et al.*, 2015; Mehla y Yadav, 2017). Las publicaciones sobre el uso de energía limpia parecen ignorar el uso alternativo de los tubos evacuados para calentar el aire, por lo tanto, se considera una aplicación innovadora. El desarrollo de aparatos de calentamiento de aire tiene un gran potencial de mercado, hoy en día estos dispositivos representan menos del 1 % de la cuota de mercado de las tecnologías solares (García Valladares y Pilatowsky Figueroa, 2017).

La eficiencia general del colector en las pruebas realizadas que se reportan en la Tabla 10, representan la relación entre la irradiación incidente total y el calor útil obtenido, estos datos son clave para la caracterización de un calentador solar de cualquier tipo (Duffie y Beckman, 2013). La eficiencia calculada coincide con los datos observados en la literatura donde se informa que las eficiencias de los tubos evacuados se encuentran alrededor del 75 % al 60 % (Bolaji y Abiala, 2012; IEA, 2012; Goswami, 2015; Kocer, Atmaca y Ertekin, 2015). Aunque estas pruebas se refieren al uso del agua como fluido de trabajo, se consideró que este rango también es relevante para el calentamiento del aire.

Es importante tener en cuenta que las energías solares dependen de la disponibilidad del recurso, lo que hace que los calentadores solares en general, no produzcan energía si las condiciones climáticas no son las adecuadas, lo que requiere de la implementación de sistemas híbridos que puedan utilizar los recursos renovables cuando estén disponibles, y trabajar con equipos tradicionales cuando las energías renovables no son accesibles (Tyagi *et al.*, 2018). Por lo tanto, la instalación de equipos híbridos para satisfacer las necesidades energéticas se considera la opción más flexible. El objetivo de la hibridación

es que los sistemas convencionales sólo funcionen complementando la energía que el sistema de calor solar no pudo generar, aprovechando así el recurso solar cuando está disponible y permitiendo el uso del sistema a plena capacidad todo el tiempo (IEA, 2009b).

Debido a la naturaleza modular de los equipos solares, el tamaño de los sistemas puede adaptarse a la demanda de energía deseada, siendo la principal limitación de estos sistemas el mayor costo inicial de la inversión en comparación con las energías térmicas tradicionales (IEA, 2012), por lo que una evaluación económica de este tipo de proyectos se vuelve una necesidad para obtener una mejor idea de cuánto costará el equipo, cuanto se espera de ahorro por su instalación y en cuanto tiempo se repondrá esa inversión.

La participación en el programa NOBI Noroeste 2019 del CONACYT permitió tener un acercamiento a un modelo de innovación basado en la triple hélice (Leydesdorff, 2012) este modelo, como se vio en el análisis literario de la sección 4.6, integra a tres actores importantes de la sociedad: academia, gobierno y empresa, en este caso se participó como el sector académico, en un programa apoyado por el gobierno que buscó generar contactos y relaciones efectivas con la industria. Gracias a este tipo de programas se fortalecen los vínculos entre el gobierno, las empresas y la academia.

VIII. CONCLUSIONES

Si bien no se alcanzó la temperatura requerida dentro del cuarto de pruebas, que de acuerdo a la literatura es de 65 °C a 105 °C para la operación de un baño sauna (Global Wellnes Insitute, 2018), se obtuvieron datos que demuestran que el calor producido por el calentador solar de aire ayuda a aumentar la temperatura del aire del interior del cuarto de pruebas, con lo anterior se concluye que la energía calorífica entregada podría ayudar a disminuir el consumo energético de las estufas eléctricas convencionales, usadas para el calentamiento de un baño sauna, esta disminución en el consumo eléctrico será directamente proporcional a la cantidad de energía suministrada por el sistema de calor solar.

En este trabajo se calculó la eficiencia del colector en 76 %, mientras que la eficiencia total de la caja de pruebas fue del 50 %, estos valores están apegados a las fuentes bibliográficas que muestran los datos de eficiencia para las tecnologías de tubos evacuados, (IEA, 2012; Duffie y Beckman, 2013; García Valladares y Pilatowsky Figueroa, 2017), los datos calculados en este trabajo sugieren que la implementación de estos calentadores solares de aire basados en la tecnología de tubos evacuados pueden tener un buen desempeño térmico en su operación y dar un aporte de energía térmica considerable al aire.

Esta tecnología podría tener usos en diversos procesos industriales para satisfacer necesidades térmicas de una forma más limpia que los generadores de calor basados en la quema de combustibles o las resistencias eléctricas. En este trabajo se analizó uno de estos procesos industriales, el deshidratado de alimentos, el cual presentó características idóneas para la aplicación de la tecnología que es el objeto de este estudio, aunque, gracias a las entrevistas realizadas con industriales se puede confirmar que su aplicación debe de realizarse en proyectos de una escala media, ya que los productores muy pequeños no cuentan con los recursos para su aplicación y los procesos muy grandes tienen demandas de calor en una escala tan mayúscula, que vuelven la aplicación de la energía térmica solar incosteable. El deshidratado de alimentos es uno de los muchos procesos industriales que pueden beneficiarse con la aplicación de esta tecnología, entre los que destaca el secado de maderas, el precalentamiento de hornos y el acondicionamiento de espacios.

Como se vio en algunas de las entrevistas realizadas, la tecnología de calentamiento solar de aire puede generar un impacto positivo en la esfera de la sociedad, por ejemplo: cuando se utiliza el deshidratado solar para la conservación de alimentos que de otra forma se desecharían, se podría mejorar la seguridad alimenticia de una región al evitar pérdidas de alimentos, sí se empleara esta tecnología en comunidades rurales para el deshidratado en pequeña escala de sus productos agrícolas, se podría aportar una fuente de ingreso económico para la población local.

IX. RECOMENDACIONES

Para verificar la eficacia del calentador solar de aire para reducir el consumo energético de una estufa eléctrica se recomienda realizar un experimento en donde se caliente el aire dentro del cuarto de pruebas de dos formas distintas, primero, con una resistencia eléctrica controlada por un termostato y después, utilizando la resistencia eléctrica pero con el apoyo del calentador solar de aire, midiendo en todo momento el consumo energético de la resistencia eléctrica, por último, se compararán los resultados de estas dos pruebas y se medirá la disminución en el consumo energético total de la resistencia eléctrica.

Se recomienda realizar pruebas con un número mayor de tubos evacuados, utilizándolos para el calentamiento del mismo volumen de aire interior del cuarto de pruebas, esto con la finalidad de verificar los resultados de los cálculos teóricos, los cuales indican, que el cuarto de pruebas debe de calentarse al menos a 65 °C si se utilizan 32 tubos evacuados con un flujo másico de aire frío constante para su adecuada oxigenación.

En la metodología para la caracterización de equipos calentadores solares (NORMEX, 2005) se establece que la temperatura promedio del ambiente al cual debe estar expuesto el calentador solar en el momento de hacer las pruebas, no debe superar los 30 °C. Ya que las pruebas reportadas en este trabajo se realizaron en Hermosillo Sonora en la temporada de verano, resultó imposible cumplir con esta especificación, por lo cual, se sugiere realizar otra etapa de experimentación en otra temporada del año para verificar los resultados obtenidos.

Al utilizar aire como fluido de trabajo, las fugas que presenta el sistema no pueden percibirse tan fácilmente como con un fluido líquido, estas fugas pudieron tener un impacto importante en el comportamiento del cuarto de pruebas por lo que se recomienda evitarlas en pruebas futuras, asegurándose que todas las uniones del sistema experimental estén selladas correctamente y los acoples se realicen con piezas adecuadas para la tarea, por otra parte se sugiere tener especial cuidado con el aislamiento térmico de los ductos empleados, ya que se obtuvo evidencia de que las pérdidas de calor al ambiente por los ductos son muy considerables, estos hallazgos son reportados en el Anexo 2.

Es importante recordar que las energías renovables tienen una naturaleza modular intrínseca, esto permite que sean fácilmente escalables para adaptarse a las demandas de calor específicas, es por esto, que en este tipo de sistemas se deben de realizar estudios de factibilidad económica para conocer los indicadores financieros del proyecto como parte crucial de la planeación del proyecto.

El deshidratado de alimento con fines farmacéuticos fue reportado en varias entrevistas como un área de especial interés para la realización de emprendimientos, ya que puede tener un valor agregado considerablemente mayor a la venta de alimentos deshidratados para fines alimenticios, se recomienda investigar acerca de esta área de oportunidad de negocio.

X. REFERENCIAS

- Adner, R. y Euchner, J. (2014) "Innovation Ecosystems an interview with Ron Adner", *Research-Technology Management*. Oxford University Press, pp. 204–228. doi: 10.1093/oxfordhb/9780199694945.013.012.
- Arango Londoño, J. F. (2012) "Innovation management as the management of a heterogeneous and structured ecosystem", *Cuadernos de Gestión*, pp. 125–137. doi: 10.5295/cdg.110305ja.
- Arocena, R. y Sutz, J. (2005) "Latin American Universities: From an original revolution to an uncertain transition", *Higher Education*, 50(4), pp. 573–592. doi: 10.1007/s10734-004-6367-8.
- Asif, M. y Muneer, T. (2006) "Life cycle assessment of built-in-storage solar water heaters in Pakistan", *Building Services Engineering Research & Technology*, 27(1), pp. 63–69.
- Askari, I. B. y Ameri, M. (2017) "The application of Linear Fresnel and Parabolic Trough solar fields as thermal source to produce electricity and fresh water", *Desalination*. Elsevier, 415(April), pp. 90–103. doi: 10.1016/j.desal.2017.04.005.
- Baharoon, D. A. *et al.* (2015) "Historical development of concentrating solar power technologies to generate clean electricity efficiently – A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 41, pp. 996–1027. doi: 10.1016/j.rser.2014.09.008.
- Berchicci, L. (2013) "Towards an open R&D system: Internal R&D investment, external knowledge acquisition and innovative performance", *Research Policy*. Elsevier B.V., 42(1), pp. 117–127. doi: 10.1016/j.respol.2012.04.017.
- Bermel, P. *et al.* (2016) "Hybrid strategies and technologies for full spectrum solar conversion", *Energy Environ. Sci.*, 9(9), pp. 2776–2788. doi: 10.1039/C6EE01386D.
- Birkner, Z., Máhr, T. y Berkes, N. R. (2017) "Changes in Responsibilities and Tasks of Universities in Regional Innovation Ecosystems", *Nase gospodarstvo / Our economy*, 63(2), pp. 15–21. doi: 10.1515/ngoe-2017-0008.
- Blank, S. y Dorf, B. (2013) *El manual del emprendedor*. Primera ed. Editado por J. A. De Miguel y J. García Álvarez. Barcelona: Centro Libros PAPP, S.L.U.
- Bolaji, B. O. y Abiala, I. (2012) "Theoretical and experimental analyses of heat transfer in a flat-plate solar collector", *Walailak Journal of Science and Technology*, 9(3), pp. 239–248.
- Cao, F. *et al.* (2014) "Redesign of a water heating system using evacuated tube solar collectors: Trnsys simulation and techno-economic evaluation", *Heat Transfer Engineering*, 35(6–8), pp. 556–566. doi: 10.1080/01457632.2013.837369.
- Chesbrough, H., Kim, S. y Agogino, A. (2014) "Chez Panisse: Building an Open Innovation Ecosystem", *California Management Review*, 56(4), pp. 144–171. doi: 10.1525/cmr.2014.56.4.144.
- Christiansen, J. K., Gasparin, M. y Varnes, C. J. (2013) "Improving Design with Open Innovation: A Flexible Management Technology", *Research-Technology Management*, 56(2), pp. 36–44. doi: 10.5437/08956308X5602006.
- Cihovská, V. y Hvizdová, E. (2011) "Knowledge management formulates a new system of wealth creation", *Economics and management*, 16, pp. 704–710.
- Coelho, B., Oliveira, A. C. y Mendes, A. (2010) "Concentrated solar power for renewable electricity and hydrogen production from water — a review †", pp. 1398–1405. doi: 10.1039/b922607a.
- Cogenera (2012) "Sunpack Datasheet". California, pp. 1–2.
- Comunian, R., Taylor, C. y Smith, D. N. (2014) "The Role of Universities in the Regional Creative Economies of the UK: Hidden Protagonists and the Challenge of Knowledge Transfer", *European Planning Studies*, 22(12), pp. 2456–2476. doi: 10.1080/09654313.2013.790589.
- Deng, Z. *et al.* (2017) "The emergence of solar thermal utilization: solar-driven steam generation", *J. Mater. Chem. A*. Royal Society of Chemistry, 5(17), pp. 7691–7709. doi: 10.1039/C7TA01361B.
- Duffie, J. y Beckman, W. (2013) *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- EnergíaSolar365 (2015) *Insene energía*. Disponible en: <https://www.energiasolar365.com/empresas/insene-energia> (Consultado: el 25 de agosto de 2019).
- Engineering Toolbox (2003) *Thermal Conductivity of common Materials and Gases*. Disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html (Consultado: el 24 de agosto de 2019).
- ERA (2015) "Instructivo de instalación". Morelia: Energía Renovable de América, p. 14.
- Estrada, C. *et al.* (2005) *Introducción a la Concentración Solar*. Hermosillo: Editorial UniSon.
- Flores Montijo, N. A. (2018) *Evaluación de la eficiencia térmica de un colector solar de tubos evacuados para aire de secado*. Universidad de Sonora.
- García Valladares, O. y Pilatowsky Figueroa, I. (2017) *Aplicaciones térmicas de la energía solar: en los sectores residencial, servicios e industrial*. Editado por J. Tonda Mazón. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gardien, P., Deckers, E. y Christiaansen, G. (2014) "Innovating Innovation: Enabling Meaningful Experience in Ecosystems", *Design Management Journal*, 9(1), pp. 36–46. doi: 10.1111/dmj.12008.
- Global Wellnes Insitute (2018) *Guide to hydrothermal spa & wellness*. Third Edit. Editado por C. Cassandra. Miami: Global Wellness Institute.
- Gobble, M. M. (2014) "Charting the Innovation Ecosystem", *Research-Technology Management*, 57(4), pp.

55–57. doi: 10.5437/08956308X5704005.

González-Roubaud, E., Pérez-Osorio, D. y Prieto, C. (2017) "Review of commercial thermal energy storage in concentrated solar power plants: Steam vs. molten salts", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 80(March 2016), pp. 133–148. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.084.

Goswami, Y. D. (2015) *Principles of Solar Engineering*. Boca Ratón: Taylor & Francis Group, LLC.

Grant IRL (2018) *GRANT Solar Thermal Solar water heating system*. Disponible en: http://grantengineering.ie/high-efficiency-heating_products/solar-water-heater/ (Consultado: el 25 de agosto de 2019).

Groth, O. J., Esposito, M. y Tse, T. (2015) "What Europe Needs Is an Innovation-Driven Entrepreneurship Ecosystem: Introducing EDIE", *Thunderbird International Business Review*, 57(4), pp. 263–269. doi: 10.1002/tie.21709.

Haberleithner, J. (2010) "Triple Helix and European Union (Eu) Funding: The case of Latin America, especially Mexico and the Seventh European Framework Program", *Portes, Revista mexicana de estudios sobre la cuenca del pacífico*, 4(7), pp. 131–147.

Helo (2017) "Installation and operating instructions", p. 23.

IEA (2009a) *Renewable Energy Essentials: Concentrating Solar Thermal Power, Outlook*. Paris.

IEA (2009b) *Renewable Energy Essentials: Solar Heating and Cooling*. Paris.

IEA (2012) *Technology Roadmap: Solar Heating and Cooling*. Paris: International Energy Agency.

IEA (2017) *Energy Policies Beyond IEA Countries Mexico*. Paris.

Instituto Mexicano del Petróleo (2018) *Reporte de Inteligencia Tecnológica Energía Termosolar*. Ciudad de México.

Jin, Z. (2013) *Concentrated Solar Power Generation*. Arizona State University.

Kauffman, J. y Lee, K.-M. (2013) *Handbook of Sustainable Engineering, Handbook of Sustainable Engineering*. Editado por J. Kauffman y LeeKun-Mo. Dordrecht: Springer Science+Business Media. doi: 10.1007/978-1-4020-8939-8_48.

Kirev, L. (2014) "Knowledge as an economic resource and a source of wealth", *Narodnostopanski arhiv*, 1, pp. 3–21.

Kocer, A., Atmaca, I. y Ertekin, C. (2015) "A Comparison of Flat Plate and Evacuated Tube Solar Collectors with F-Chart Method", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 35(1), pp. 77–86.

Kolk, A. y Pinkse, J. (2009) "Business and Climate Change : Key Challenges in the Face of Policy Uncertainty and Economic Recession", (May), pp. 1–9.

Lawton Smith, H. y Leydesdorff, L. (2014) "The Triple Helix in the context of global change: dynamics and challenges", *Prometheus*, 32(4), pp. 321–336. doi: 10.1080/08109028.2014.972135.

Leydesdorff, L. (2012) "The Triple Helix of university-industry-government relations", *Scientometrics*, (14), pp. 14–19. doi: 10.1007/978-1-4614-3858-8_452.

Lillo, I. et al. (2017) "Process heat generation potential from solar concentration technologies in Latin America: The case of Argentina", *Energies*, 10(3). doi: 10.3390/en10030383.

López-Hernández, C. G. y Serrano-Santoyo, A. (2016) "Hacia el surgimiento de una cultura de la innovación en un centro público de investigación en México : Hallazgos y aprendizajes", *Revista Electrónica Nova Scientia*, 9(18), pp. 313–341.

Marín Landeros, M. C. (2014) *Contabilidad ambiental en energía para sistemas de calefacción en una sauna*. Universidad de Sonora.

Mehla, N. y Yadav, A. (2017) "Experimental investigation of a desiccant dehumidifier based on evacuated tube solar collector with a PCM storage unit", *Drying Technology*, 35(4), pp. 417–432. doi: 10.1080/07373937.2016.1180300.

Mets, T. et al. (2014) "Towards the Entrepreneurial College Model: Estonian and German Examples of Creative Industries.", *Antrepreneriškos Aukštosis Mokyklos Link: Estijos Ir Vokietijos Kūrybinių Industrijų Atvejų Analizė.*, 1142(69), pp. 89–105. doi: 10.7720/MOSR.1392-1142.2014.69.6.

Müller-steinhausen, H. (2013) "Concentrating solar thermal power", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, (July).

Nakwa, K. y Zawdie, G. (2016) "The 'third mission' and 'triple helix mission' of universities as evolutionary processes in the development of the network of knowledge production: Reflections on SME experiences in Thailand", *Science and Public Policy*, 43(5), pp. 622–629. doi: 10.1093/scipol/scw030.

Navntoft, C. y Cristóbal, M. P. (2019) *Introducción a la Energía Solar Térmica*. Primera. Editado por L. C. Navntoft y M. P. Cristóbal. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaría de Gobierno de Energía.

NORMEX (2005) *NMX-ES-001-NORMEX-2005*. Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C.

Oksanen, K. y Hautamäki, A. (2014) "Transforming regions into innovation ecosystems: A model for renewing local industrial structures", *Innovation Journal*, 19(2), pp. 2–17.

Ortega, H. (2018) *Energía solar térmica para procesos industriales en México: estudio base de mercado*. Ciudad de México.

Osterwalder, A. y Pigneur, Y. (2010) *Generación de modelo de negocio*. Primera ed. Barcelona: Centro Librps PAPF, S.L.U.

- Paradis, P. L. *et al.* (2015) "Thermal modeling of evacuated tube solar air collectors", *Solar Energy*, 115, pp. 708–721. doi: 10.1016/j.solener.2015.03.040.
- Pelay, U. *et al.* (2017) "Thermal energy storage systems for concentrated solar power plants", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 79(January), pp. 82–100. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.139.
- Philibert, C., Frankl, P. y Dobrotkova, Z. (2010) "Technology Roadmap Concentrating Solar Power", *Current*, 5, pp. 1–52. doi: 10.1787/9789264088139-en.
- Ponce, J., Idalia, E. y Güemes, C. (2016) "Identification of key factors of academia in the process of linking in the triple helix of innovation model in Mexico , a state of the art matrix", *Revista Electrónica Nova Scientia*, 8, pp. 246–227.
- Porrás-Prieto, C. J. *et al.* (2016) "Profitability variations of a solar system with an evacuated tube collector according to schedules and frequency of hot water demand", *Energies*, 9(12). doi: 10.3390/en9121053.
- Prokop, V. y Stejskal, J. (2017) "Different approaches to managing innovation activities: An analysis of strong, moderate, and modest innovators", *Engineering Economics*, 28(1), pp. 47–55. doi: 10.5755/j01.ee.28.1.16111.
- Psomopoulos, S. C. (2013) "Solar Energy: Harvesting the Sun's Energy for Sustainable Future", en Kauffman, J. y Kun-Mo, L. (eds.) *Handbook of Sustainable Engineering*. Dordrecht: Springer Science+Business Media, pp. 1065–1107. doi: 10.1007/978-1-4020-8939-8_117,.
- Py, X. *et al.* (2016) "Thermal Energy Storage for Concentrating Solar Power Plants", *Web of Conferences - Lecture Notes - Joint EPS-SIF International School on Energy*, 00014, pp. 1–25. doi: 10.3727/194982412X13462021397570.
- Rincón García, D. A. (2016) *Innovación Sustentable en Absorción y Transporte de Calor por Concentración Solar Fresnel*. Universidad de Sonora.
- Santiago, R. S. (PROMÉXICO) *et al.* (2017) *La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México, PROMÉXICO*. doi: 978-607-97294-8-6.
- Sekliuckiene, J., Sedziniauskienė, R. y Viburyš, V. (2016) "Adoption of open innovation in the internationalization of knowledge intensive firms", *Engineering Economics*, 27(5), pp. 607–617. doi: 10.5755/j01.ee.27.5.15371.
- Shur-Ofry, M. (2016) "Non-Linear Innovation", *McGill Law Journal*, 61(3), pp. 563–610.
- Smartenergy Sonora (2017) *Mapa de Ruta de Energía de Sonora*. Hermosillo.
- SunCity (2015) *Solar Thermal System*. Disponible en: <http://www.suncityeg.com/solarthermal.html> (Consultado: el 25 de agosto de 2019).
- Tyagi, H. *et al.* (2018) *Applications of Solar Energy, Environment, and Sustainability*. Singapore: Springer Nature.
- United Nations (2012) "Report of the United Nations Conference on Sustainable Development", en, pp. 1–126. doi: A/CONF.216/16.
- Valero-Gil, J. *et al.* (2017) "Environment and innovation in Spanish business: Bridging the gap between academics and practitioners ", *Universia Business Review*, 2017(54), pp. 90–109. doi: 10.3232/UBR.2017.V14.N2.03.
- Whicher, A. (2017) "Design ecosystems and innovation policy in Europe", *Strategic Design Research Journal*, 10(2), pp. 117–125. doi: 10.4013/sdrj.2017.102.04.
- Yin, E., Ansari, S. y Akhtar, N. (2017) "Radical Innovation, Paradigm Shift and Incumbent's Dilemma The Case of the Auto Industry", *Future Journal*, (April), pp. 138–148. doi: 10.7444/future.v9i1.301.
- Zhu, G. *et al.* (2014) "History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors", *Solar Energy*, 103(February), pp. 639–652. doi: 10.1016/j.solener.2013.05.021.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Tabla completa de entrevistas

Tabla A 1. listado de entrevistas realizadas

#	Empresa	Giro	Comentarios
1	TecSu	Instalador de equipos de energías renovables	Considera que la tecnología que se tiene se podría emplear para la climatización de departamentos
2	Next Confort	Refrigeración y climatización	Cree que la tecnología se puede comercializar, recomienda revisar bien los cálculos económicos, además de revisar convenios con el FIDE y la CONAVI en un futuro
3	Tenerife	Vendedores de madera para arquitectura	En la tienda donde se preguntó solamente se realiza la venta de los materiales. Recomiendan hablar a la sucursal central en Guadalajara ya que ahí hacen el proceso de secado de las maderas
4	Tonca	Refrigeración y climatización	Venden solamente equipos que producen frío, comenta que quizás la tecnología se puede aplicar en otra zona del país con un clima distinto donde se requiera calor para los hogares
5	Silent y Saber	Ingeniería de proyectos de ductos y refrigeración	Refiere que, en algunos procesos alimenticios como la producción de harina de pescado, el deshidratado de chile jalapeño y chile pasilla podría funcionar, comenta que según su experiencia la tecnología no funcionara para el calentado de un baño sauna
6	Empresa refrigeración	Proyectos de refrigeración industrial y domiciliaria	Recomienda visitar T y P refrigeración con el ingeniero Mario Romo y revisar CEDIS tienda especializada en aire acondicionado y refrigeración
7	El Pitayo carne seca	Secadora de carne y procesos alimenticios	Se dedican al deshidratado de carne de forma industrial, recomienda comunicarse para hablar directamente con los dueños y jefes, a la persona que me atendió le parecía buena idea la reducción del consumo de gas
8	Solar Son	Instaladores de proyectos industriales	Realizan proyectos de instalación de energías sustentables
9	Poder Solar	Instalados de proyectos fotovoltaicos y de energías renovables	Revisar el retorno de la inversión de la tecnología ya que cree que este dato es muy relevante para los compradores de tipo domiciliario, recomienda agro negocios ya que conoce que ellos requieren calor de baja temperatura para cultivos, recomienda visitar Rayón donde hacen mucha machaca, conto un caso de tortillerías locales en donde no hubo aceptación de eco tecnologías, recomienda revisar la fragilidad de los tubos evacuados ya que sabe que se pueden romper, cree que a los hoteleros de las zonas frías del país podría interesarles la idea
10	Erus	Venta de equipos eficientes y verdes	Se dedican a cambiar fondos de crédito verde al ahorro, conocen bien las especificaciones para certificar tecnologías como ecológicas
11	Air Cool	Refrigeración y climatización	Propone utilizar equipo para retirar humedad del aire, cree que en uso residencial será difícil aplicar, sugiere visitar hoteles para proponerles el secado de blancos y tiene conocimiento de equipos híbridos con panel solar para el

			movimiento del aire
12	Macaco	Tostadores de café	Tienen maquinas que tuestan el café con gas y aire caliente, se cree que se puede añadir la tecnología para precalentar maquinarias y reducir costos del tostado, el proceso es muy artesanal y requiere mucha experiencia
13	Machaca Sotomayor	Productores de carne seca y machaca	Utiliza un túnel de aire con abanicos para el deshidratado de sus alimentos, siguiere visitar CIAD para ver hornos deshidratadores que ellos utilizan, su proceso es al sol y al aire libre, los calentadores solares de aire podrían aumentar producción y controlar parámetros de calidad y tiempo
14	Propia	Mentor de negocios experto en productos deshidratados	Comenta que el objetivo de los procesos de secado es retirar una cierta cantidad de agua, pero no en exceso ya que estos productos se venden por peso por lo cual existe un punto medio para la humedad de estos productos, comenta que los procesos de deshidratados son complejos y se deben de estudiar desde el punto de vista de los balances de materia y energía
15	EMCOM	Mentor de negocios con experiencia en secado de alimentos	Conoce que los alimentos deshidratados son un gran mercado, conoce a clientes potenciales para alimentos deshidratados en cantidades industriales, menciona que los productores de nuez también requieren secado, comenta que el secado de blancos podría ser un mercado interesante
16	Deshidratador de mango de tamaño industrial	Gerente de planta deshidratadora de mangos	Comenta que ha tenido problemas con los abanicos que utilizan en su túnel de secado, problemáticas mecánicas, gastan \$ 110,000 pesos semanales de gas cuando es la temporada de mango por lo cual reducir el consumo de gas es un objetivo que ellos ya tienen reconocido
17	Deshidratadora de mango empresa familiar	Deshidratadora de mango ubicada en Sinaloa	Realiza el secado de mango en Culiacán Sinaloa, con procesos tradicionales de deshidratado al sol
18	La cuarta	Vendedores de alimentos	Venden muchos productos alimenticios entre ellos machaca y carne seca
19	Marena	Venden carne seca y machaca a pequeña escala	Utilizan procesos artesanales para la producción de su machaca, procesos que no requieren gas o energía, secan al sol sus productos
20	Carnicería	Productores de machaca a mediana escala	Utiliza carbón para realizar el proceso de secado de su carne, emplea muy poco combustible para procesar hasta 50 kilos por lo que el uso de combustible no le impacta económicamente en la realización de sus productos
21	Productos secos	Venta de frutos secos y chiles	Comenta que la producción de chile en Sinaloa es estacional y que se tiene que llevar chile de otras regiones para poder vender todo el año por lo cual se cree que existe gran demanda de estos productos durante todo el año
22	El rodeo frutas y legumbres	Deshidratadores de mango para exportación	Comenta que se utilizan túneles para secado de alimentos de mampostería de 15 metros de largo, utilizan los túneles de deshidratado 3 meses en la temporada de mango en Sinaloa, se procesan 2 000 kilos en cada jornada, menciona que la temperatura del aire en el horno es de 70 a 80 °C
23	Dr. Qi empacadora de frutas	Empaquetadora y comercializadora de hierbas secas	Comentan que ellos solamente realizan el empaque de sus alimentos y todos ya los compran deshidratados de diversos pequeños productores
24	CIAD	Centro de investigación en	Comenta que en la actualidad los pequeños productores no se preocupan por la inocuidad alimentaria ya que no existen

		alimentos y desarrollo	normativas para los alimentos deshidratados, la principal preocupación del productor es evitar mermas en sus productos alimenticios, en Sinaloa se deshidrata mango, ciruela mexicana, tomate entre otros
25	Empresa deshidratadora	Empresa deshidratadora de frutas propia	Se dedica al secado de alimentos de manera pequeña, pero con excelente calidad en sus procesos la inocuidad de sus alimentos ha sido muy importante para su éxito, utiliza proceso de deshidratado por resistencia y control de microorganismos por rayos gamma
26	Gran empresa deshidratadora	Empresa deshidratadora de mango de exportación	El proceso de deshidratado está muy controlado para alcanzar calidad de exportación, su principal problema es el tiempo de pelado y las grandes mermas que tienen, menciona que sus gastos de mayor a menor son materia prima, mano de obra y energéticos las temperaturas de operación son de 60 a 72 °C procesan 1200 kg a 1500 kg diarios de mango, comenta que sus hornos tienen un gradiente interno de temperatura muy grande
27	Empresa deshidratadora	Empresa deshidratadora de alimentos	Tiene a un conocido que ha desarrollado soluciones solares para el deshidratado de alimentos que no le ha funcionado por la intermitencia de las energías solares, conoce a otra persona que fabrica sus propios aparatos en Guadalajara Jalisco, ve una gran demanda de productos deshidratados en el mundo y quiere desarrollar su propio negocio de esto la temperatura de su proceso es 73 °C
28	Empresa deshidratadora Sinaloa	Empresa deshidratadora de alimentos	Utiliza la quema de combustibles fósiles para el deshidratado de sus productos, deshidrata mango y lo vende de forma local
29	Salsas Castillo	Fabricantes de salsas ubicados en Hermosillo	Mencionan que los procesos alimenticios que ellos emplean son en frío, sin embargo, emplean calor para sellar sus empaques con etiquetas térmicas, utilizan mucha electricidad para calentar el agua que requieren estos procesos, el precalentamiento de esta agua de forma solar podría ser una buena forma de ahorrar en combustibles
30	Salsas Castillo	Fabricantes de salsas	Se mostró entusiasmado acerca de las posibilidades de evitar el consumo energético tan alto en sus equipos
31	Empresa productora chile seco	Productores chile chiltepín	El deshidratado de chiltepín tradicionalmente se realiza de manera directa al sol, con los problemas de inocuidad que esto representa, menciona todo el proceso productivo del chiltepín seco
32	Consultoría propia	Ingeniero en procesos de secado con amplia experiencia	Ve posible la aplicación de la tecnología para generar calor de proceso, menciona que en su experiencia la hibridación de tecnologías es lo mejor ya que evita la dependencia de en el recurso solar que es intermitente
33	Eco pasión juvenil	Maestra de sustentabilidad y agricultura orgánica	Se dedica a la generación de cultivos orgánicos para sembradíos, utilizan calentadores de aserrín para calentar sus invernaderos, han empleado máquinas de secado híbridas, sol y combustible para el secado de productos regionales con un impacto social, su objetivo es el desarrollo de comunidades indígenas de manera sustentable
34	Energías renovables de noroeste	Vendedor de ecotecnologías para el enfriamiento de espacios	Maneja una línea de aires acondicionados solares con tecnología alemana Icesolair, no tuvo mucho impacto en Hermosillo por su alto precio, habló que el precio de las ecotecnologías es muy importante para su buena inserción al mercado
35	Rancho Santa Rosa	Empresa productora local de carne seca y	Emplea el método de secado por rejas expuestas al sol para elaborar sus productos, no ve la inocuidad como problema,

		machaca	menciona el clima nublado y la lluvia como principal problema para la producción de sus productos ya que puede generar pérdidas de la producción
36	Ecozana	Empresa de deshidratado de manzana en varias presentaciones	Ingeniero en fruticultura, su negocio estaba creciendo, pero cerro por cuestiones familiares, fabricaron su propio horno solar eso les daba un diferenciador de los otros productos, invirtieron 1 millón de pesos aproximadamente, tuvieron problemas con el horno debido a la intermitencia, tenían la sustentabilidad como objetivo
37	Congeladora de camarón	Empresa congeladora y procesadora de camarón	Tiene 20 años de experiencia en la industria camaronera, esta industria tiene un gran desperdicio ya que la cabeza es el 35 % del peso del camarón y no se utiliza, hacen harina de pescado junto con trigo, menciona el costo del transporte como un costo clave en sus procesos, menciona al Comité de Sanidad Acuícola y la revista Panorama Acuícola como los principales medios del sector, recomienda visitar Nayarit ya que ahí existe una gran industria camaronera, principal interés tecnificar y automatizar sus procesos industriales.
38	Camarón seco	Productor de camarón seco en pequeño	Sus procesos son artesanales, tienen el problema de la inocuidad, pero no lo perciben, trabajan día a día por necesidad
39	Pescador Guaymas	Pequeño productor de pescado fresco	Los principales problemas que presenta son por las vedas y las temporadas, tiene que vender su producto de manera inmediata a un tercero ya que no tiene sistema para conservarlo
40	Industria propia	Diseñador de máquinas para secado	10 años de experiencia en la fabricación de maquinaria para el deshidratado de alimentos, sus hornos consumen un 1/4 de gas que los hornos convencionales, utilizando la recirculación del aire y limitando el proceso de quema de gas, considera que el aislamiento y la mejora en la eficiencia es lo más importante de un sistema, considera que los equipos deben de ser híbridos para permitir un uso constante, comenta que sabe de casos de fracaso en el uso de energías solar en plantas de deshidratado de alimentos por la intermitencia del recurso solar
41	CIAD	Investigadora en el área de alimentos marítimos	Experiencia en el área de comercio y estadísticas comerciales de importación, la producción de alimentos marítimos puede asociarse con la industria del deshidratado
42	CIAD	Investigador en el área de mercadotecnia de alimentos	Experiencia en el mercadeo de productos deshidratados, indica que conoce de una empresa de secado de tomate usando sol, considera que una gran ventaja del deshidratado solar de alimentos es la mercadotecnia que se puede generar por ser un producto diferenciado, considera que el deshidratado resuelve un problema real que es la vida de anaquel de los productos agrícolas
43	CIAD	Investigador en el área de productos cárnicos	Su experiencia ha sido en el área de procesamiento de alimentos cárnicos, recomienda el uso de la energía solar para el procesamiento de alimentos
44	CIAD	Investigador en el área de procesamiento de alimentos animales	Comenta que la tecnificación para los pequeños productores es imposible por el costo, Indica que los hornos que utilizan tienen eficiencias del 6 %, considera que existe mucha oportunidad para procesar alimentos en Sonora gracias a la gran irradiación solar que el estado tiene, Considera que el desperdicio de los alimentos es un gran problema y debe atacarse y ve una posibilidad en el deshidratado.
45	CENIDET	Investigador en	Comenta que ya hay proyectos con tecnología de

		proyectos de calor de proceso	aprovechamiento de energía solar para el deshidratado de alimentos, es una planta que se ubica en Zacatecas y menciona que ya se han hecho pruebas con diversos alimentos, que los productores llevan sus productos para hacer el proceso, la tecnología que utilizan calienta agua y el agua caliente posteriormente el aire, esta planta tiene almacenamiento térmico, para ampliar las horas de servicio. Comentó que el calentar aire directamente puede tener la ventaja de que se evitan daños por congelamiento de tuberías en temporada de frío.
46	Pasamex	Administración en Pasamex	La industria de la uva pasa utiliza un procedimiento de secado que se realiza en el mismo tiempo que la uva es transportada del campo a las empacadoras, se emplea un material especial en donde se ponen las uvas frescas que absorbe la humedad, al llegar a la empacadora se les deja secar un poco más al sol y después se embolsan
47	Alimentos Tuleyda	Lic. en alimentos empresa deshidratadora	Secado de huevo y leche para farmacéuticas grandes, menciona como problemática más grande la temporalidad de los alimentos, en ocasiones no tienen el suministro necesario para satisfacer la demanda. Marca como tercer lugar el consumo de gas como sus principales gastos, "Los paneles solares no se pueden usar" "Sería bueno tener un túnel solar para el deshidratado" indica que en internet se consiguen todos los aparatos industriales que requieren
48	La vaquita machaca	Vendedor de empresa que produce machaca	El proceso para la machaca es básico, "no se tienen problemas en el proceso", comentan que el uso del gas está "dentro de los parámetros normales de la industria" y no tienen necesidad de cambiar el tipo de maquinaria que tienen, la mano de obra es principal costo de producción
49	Galdisa	Gerente operaciones de empresa deshidratadora de cacahuete	Al preguntar si le han ofrecido energías renovables comenta que "no justifican la inversión para implementar la tecnología" tienen un departamento específico de ingeniería para la implementación de nuevos equipos a través de ellos es que pasan todas las nuevas mejoras a los procesos, la última palabra la tiene dirección, la temporalidad de los alimentos, los hace más caros, comenta que el principal problema es la subida de precios de los alimentos
50	Chiles Andrade	Tomador de decisiones en empresa de deshidratado de chile seco	Tienen identificado que el insumo más grande de sus procesos es el gas, tiene un gran ánimo para hacer las cosas de manera diferente, considera el uso eficiente de las energías como algo relevante para su industria, está buscando ideas que solucionen su problemática de consumo muy elevado de combustibles sus procesos alcanzan hasta 80 °C de temperatura
51	Nopalzin	Dir. de Operaciones en planta secadora de nopal para hacer harina	Saben que el gasto más grande de su empresa es el gas, en temporada de lluvias gastamos más gas debido a la humedad del aire, tienen un horno de tecnología vieja ya más de 10 años operándolo con una capacidad de 4 toneladas "No se puede secar tanto con el sol" si encuentran una solución, claro que me interesa ya que no quiero gastar tanto en gas
52	Naturama	Ing. Químico en empresa de deshidratado	Utilizan el sol para secar sus productos a gran escala, usan lonas para bloquear el paso de agentes contaminantes, tienen certificados orgánicos, comenta que en la zona donde ellos trabajan hay muchos deshidratadores de gas, los grandes problemas del secado a gas es la desnaturalización del producto y el costo por el combustible
53	Nopalitos	Operaciones planta	Utilizan el deshidratado esporádicamente para deshidratar

	Azteca	de secado de nopal	cuando no tienen a quién vender producto, el proceso de deshidratado que utilizan lo realizan a baja temperatura y largo tiempo para conservar las características de los alimentos, "Existe una tendencia de los productos secos y deshidratados en el mundo y el nopal es un súper alimento y está en auge su consumo"
54	Terra Natural	Operaciones planta deshidratado de frutas	Utilizan el proceso de liofilización para el deshidratado de sus frutas, este proceso utiliza frío para retirar el agua de los alimentos, tienen más de 10 años en la industria
55	Campesinas Oaxaqueñas	Operaciones de productora comunitaria de productos deshidratados	Utilizan aire caliente por medio de gas, el mayor problema es la estacionalidad de los productos ya que no pueden satisfacer demandas constantes durante todo el año y tienen que rotar, al preguntarle por ecotecnologías comentan que "si se conocen, pero son muy pequeños" comenta que se requiere un deshidratado Híbrido para evitar la estacionalidad, menciona los distribuidores por internet para la compra de sus equipos, menciona a Perú como referente mundial del deshidratado de alimentos
56	Chiles Andrade	Hornero experto en el secado de chiles	Tiene gran conocimiento técnico para el secado de chiles, menciona que cambios muy pequeños en las dimensiones de los flujos de aire pueden tener efectos muy grandes, cree que las tecnologías nuevas pueden no funcionar en esta industria
57	Chiles Andrade	Encargado de planta deshidratadora de chiles	Conocedor del proceso del secado de chiles desde la llegada del chile fresco hasta la salida del chile seco para exportación, tiene mucha experiencia en los procesos de deshidratado.
58	Empresa de deshidratado por aspersión	Encargado técnico empresa deshidratadora por aspersión	Comenta que los alimentos deshidratados son "el alimento del futuro" ha trabajado de 15 a 17 años en empresa deshidratadora, "la población necesita alimentos", Comenta que sus principales clientes se encuentran en la industria farmacéutica, principal problema mano de obra y ausentismo laboral, para sus procesos de deshidratado emplean equipos nacionales.
59	Empresa familiar	Gerente empresa diseño equipos secado	Diseñan sus propios equipos para el deshidratado de alimentos por aspersión, Han realizado pruebas con energías renovables con buenos resultados, Comenta que existe una NOM para el secado de alimentos, Los cálculos que él tiene indican que el costo de los energéticos impacta en 7 % el costo de los productos deshidratados.
60	Compean	Ing. de producción en empresa grande de deshidratado	"Si fuera más barato el combustible sería mejor para nosotros" al preguntarle acerca de las tecnologías renovables dice "no alcanzan la temperatura necesaria para el proceso" asisten a ferias para promocionar sus alimentos, El proceso de compra pasa por operaciones, mantenimiento y director general, al preguntarle por referencias comenta que "No conozco a nadie más en México que haga este proceso"
61	Complementos Alimenticios	Ing. calidad en empresa deshidratado por aspersión	56 años en la industria de la deshidratación, Utilizan el secado por aspersión, usando temperaturas mayores a 150°C
62	Productores Organizados	Socio empresa de deshidratado de alimentos	Trabaja con pequeños productores y les da visibilidad para dar a sus productos un mercado más amplio, utilizan maquina industrial de secado para producir 300 kg de producto seco diario, emplea resistencia eléctricas solamente, estima que el consumo energético impacta en el producto en 7 %, Quieren conseguir eco tecnologías pero no las han instalado debido a que el local en donde trabajan es rentado y el dueño no lo permite, se las han ofrecido en un plan de renta bajo

			sobreproducción, visitan bazares, expos y redes sociales para darse a conocer, menciona que en esta industria el empaque ha sido esencial para el éxito de su producto
63	Módulo de riego	Ing. empresa de riego en Obregón	Trabajo en módulo de riego en la ciudad Obregón, recomienda acercarse a las Uniones de Crédito del valle del Yaqui para contactar con agro productores que estén interesados en los procesos de deshidratado de alimentos
64	Fruled	Ing. Calidad en empresa de deshidratado por aspersion	Deshidratado por aspersion, encuentran problemas en la homogenización del producto la pasta en ocasiones no seca no sabe por qué, para realizar la compra de sus equipos se pasa por un proceso bien estructurado, mantenimiento y producción se hace cita presencial, y la última palabra la tiene dirección, menciona como principales problemas los paros por fallos y que los materiales se sacan muy lento lo que ocasiona incremento de costo por energéticos
65	Empresa productora de uva pasa	Producción de uva pasa	Se dedican a la producción de uva de mesa, el proceso de secado para la uva es muy simple y artesanal, simplemente se deja secar en una lona negra expuesta al sol y se le da vuelta cada cierto tiempo, la mayoría de los viñedos realizan este proceso con la uva sobrante, comenta que la industria del nogal y la almendra requiere de inyección de calor para el secado de sus productos y que podrían ser una posible opción para la instalación de la tecnología
66	Clayton soluciones integrales de vapor	Sistemas de generación de vapor	Comenta que existe una rama en su empresa dedicada a la innovación y que se podrían aplicar tecnologías renovables para bajar los consumos de gas en los sistemas de generación de vapor precalentando el agua
67	Soy nutrición	Producción y venta de soya deshidratada	Se dedican al proceso de deshidratado de la soya el empaque y la venta final, utilizan energía eléctrica para secar sus productos en bandas de proceso continuo de alimentos
68	Alianza Meridien SA de CV	Distribuidor y productor de harina de soya	Dedicados al secado de productos como la soya para finalidades de mejoramiento de la carne, comenta que el secado se realiza por procesos eléctricos en bandas continuas, estos procesos son grandes consumidores energéticos, no utilizan energías renovables por el momento, pero quieren realizar un proyecto para emplearlas
69	Wego	Distribuidor de proteína de soya	Comercialización de soya de importación para mejoramiento de cárnicos y alimentos industriales, sus productos son producidos en Asia y distribuidos en México
70	Platillos con sabor a México	Productores de alimentos deshidratados con calor solar con impacto social	Desarrolló su propia tecnología para el deshidratado de alimentos solar, emplea estos mecanismos para secar alimentos y tener producciones pequeñas de productos que apoyan a las comunidades vulnerables, tiene la visión de desarrollar sus capacidades en el área del impacto social, ha fundado ya más de 50 pequeñas cooperativas de apoyo a pequeños productores
71	Platillos con sabor a México	Productores de alimentos deshidratados con calor solar con impacto social	Encargada del desarrollo de proyectos sociales con impacto basados en la producción de alimentos deshidratados
72	Avante Forte	Productores de soya deshidratada	Se encargan de deshidratar soya en proceso continuo, lo venden a productos alimenticios para el mejoramiento de carne, considera que el uso de energías es posible en su proceso

73	Avante Forte	Productores de soya deshidratada	Jefe de operaciones para deshidratada de soya comenta que los procesos de deshidratado son de tipo continuos y utilizan calor de baja temperatura por tiempos de residencia muy rápidos, las tecnologías de calor solar podrían adecuarse bien a sus temperaturas y tiempos de residencia cortos dentro del túnel de secado
74	Avante Forte	Productores de soya deshidratada	Dirección de empresa familiar, toman las decisiones de compra para los equipos de deshidratado de sus procesos, han crecido gracias a apoyos del gobierno y buscar la eficiencia de sus procesos industriales
75	Bassa Tech	Empresa de refrigeración para la industria alimenticia	Comentan que en su empresa no están trabajando con energías renovables por falta de conocimiento, es un área muy pequeña pero que debe ampliarse
76	Service Tech	Empresa de proyectos industriales	Se dedican a atender a la industria en los distintos proyectos, han conocido acerca de las energías renovables, pero no han aplicado nada comenta que "Sería bueno desarrollar ese campo porque es el futuro"
77	Ice Square	Empresa mexicana de refrigeración para la industria alimenticia	Encargado en el área de diseño de maquinaria para la industria alimenticia, desconoce acerca de las tecnologías de refrigeración solar, están abiertos a innovar para emplear nuevas tecnologías en el mercado
78	IRICAM	Empresa de instalación de equipos innovadores para la industria alimenticia	Dedicado al desarrollo de equipos innovadores, saben de la tecnología de recolección de calor solar pero no conocían acerca de sus aplicaciones.
79	Sigma	Empresa de gestiones medioambientales	Aplican tecnología que requiere calor, comenta que el calor solar puede aplicar faciliten en sus procesos, tienen planes para desarrollar esta línea de trabajo pronto.
80	Empresa Familiar	Empresa de carne seca	A la carne le aplican secado mediante el sol, su principal problema es el tiempo de secado y la contaminación de los alimentos ya que al dejar la carne al sol las moscas la contaminan.
81	Vansertec	Empresario especializado en los proyectos de energías sustentables y energías solares	Existe un gran campo de aplicación para tecnologías limpias, recomienda acercarse a instituciones multinacionales para obtener fondos para la puesta en marcha de plantas de energía limpia, conocedor acerca de temas de sustentabilidad y presenta una convicción personal en el campo de la sustentabilidad.
82	IER	Investigador especializado en deshidratado de alimentos	Comenta que el deshidratado de alimentos solar puede ser una gran apuesta para alimentos de gran valor agregado, pero para alimentos que se consumen a granel es muy difícil o casi imposible aplicar tecnología solar, comenta que el principal problema que él ve es la falta de una normativa para los productos deshidratados. Tiene mucha experiencia y dice que la calidad del secado de alimentos con el sol es muy buena. Ha tenido buenas experiencias al deshidratar productos con fines farmacéuticos como la harina de nopal y que se venden con un sobre precio importante.
83	Grupo Mar	Empresa Alimentos del Mar	La planta de Atún mantiene un alto consumo de combustóleo para funcionar, este junto con la energía eléctrica son sus mayores costos de operación, tienen una amplia posibilidad de reemplazar consumos de combustibles fósiles con energías limpias
84	IER	Investigadora especializada en el	Ha tenido mucha experiencia en el deshidratado de alimentos de forma tradicional exponiéndolos directamente al sol,

		deshidratado de alimentos	comenta que los alimentos deshidratados tienen un mayor valor agregado cuando las farmacéuticas los adquieren para encapsularlos y venderlos como suplementos alimenticios, sabe que el mayor problema de el secado de alimentos es la inocuidad alimenticia, recomienda investigar problemáticas de la región y contactando a agro productores que están tirando su alimentos por no tener procesos para conservarlos, en su experiencia el mayor problema es cambiar la mentalidad de los productores para invertir en innovación
85	IER	Investigador en calor solar de proceso	Comenta que las empresas mexicanas de calor solar están empezando a buscar calentadores solares de aire para ampliar su gama de productos, para el deshidratado menciona que es clave decidir qué características se quieren conservar del producto y sean los valores nutrimentales, los cualidades visuales o nutrientes.
86	Grupo Mar	Empresa de enlatado de atún	La operación de enlatado requiere calor de procesos, aquí la energía eléctrica es un problema en costos que ya está clasificado e identificado por la empresa.
87	Nutricazuela	Empresa productora local de carne seca y machaca	El principal costo de la empresa desde el punto de vista administrativo es el consumo de gas LP, en donde se invierten 3 mil pesos semanales la empresa lo ve como un problema ya que el costo del gas se ha incrementado en los últimos años, están buscando la forma de mejorar estos procesos
88	Nutricazuela	Empresa Productora local de carne seca y machaca	Es una empresa familiar donde realizar procesos de secado de carne machaca y carne seca, para esto tienen hornos de deshidratado que funcionan con quemadores, alimentados por gas LP, los hornos secan 120 kg de carne en un tiempo entre 8 y 10 horas, los principales problemas es que no tienen ajustes de temperatura y desconocen el tiempo exacto para llevar a cabo el secado el consumo de gas es el costo más importante de la operación
89	R y R térmicas	Diseñan equipo industrial	Diseñan equipos para el deshidratado de alimentos a escala industrial con tecnología argentina, comenta que el deshidratado de alimentos está muy bien posicionado en Sudamérica y en México apenas están entrando estos procesos, Sus máquinas están muy bien controladas electrónicamente lo que hace eficiente el proceso de deshidratado, utilizan resistencias eléctricas para alcanzar el deshidratado
90	Amazon Andes Exporta	Deshidratan Maca como producto alimenticio	Producen alimentos con alto valor nutritivo empleando el deshidratado, usan bandas transportadoras que utilizan gas para el calentado de sus productos, indican que los gastos energéticos son altos y buscan cambiar sus fuentes de energía por fuentes limpias
91	La libertad	Productores de aguacate y productos deshidratados	Comentan que los alimentos deshidratados son el futuro de la alimentación, están por invertir en equipos que deshidratan alimentos, hablan de un estudio de mercado en el que se dice que los alimentos deshidratados son tendencia mundial
92	Tía Lencha	Productores de machaca y carne seca de exportación	Han tenido mala experiencia con las tecnologías renovables, instalaron paneles solares, pero no han servido de la manera que deberían o esperaban, comentan que los principales beneficios de instalar paneles solares es la imagen que la empresa obtiene de ser socialmente responsable y limpia
93	Carne seca Chihuahua country	Productores de machaca industrial	Utilizan hornos de gas para el secado de carne, tuvieron que cambiar sus procesos del secado al sol a usar maquinaria a gas para el secado para asegurar la calidad de los productos ya que el secado al sol de manera directa genera

			problemáticas con la inocuidad de los alimentos
94	Wiesse Farm Foods	Productores de tizanas con procesos muy especiales	Utilizan secado por osmosis, comentan que han intentado fabricar sus propios equipos, hace el comentario que la industria requiere un servicio de deshidratado profesional en pequeño para el desarrollo de nuevos productos y procesos, deshidratan en pequeños lotes, pero muy bien controlados para conservar cualidades del producto ya que las empresas necesitan realizar nuevos productos
95	Maquilas especializadas	Fabrican productos deshidratados	Deshidratan alimentos para varias aplicaciones, tienen detectado el consumo de energéticos como principal problema o área de oportunidad para mejorar sus procesos y hacerlos más eficientes
96	SMATTCOM	Aplicación que ayuda a contactar a productores, distribuidores y compradores de productos frescos y procesados del campo	Tienen una aplicación que te permite conocer el comportamiento del mercado, contactar productores, distribuidores y compradores de productos frescos y procesados del campo. comento que es una herramienta que podría ayudar a tomar decisiones a partir de información de mercado, la información que tiene arroja que le producción y demanda de alimentos deshidratados ha aumentado en México, Como mayores problemas del sector comenta que encontrar los canales de distribución y venta correctos y el desconocimiento de las certificaciones necesarias para poder vender sus productos
97	Empresa tostadora chile seco	Empresa deshidratadora de chiles	Tostador de chiles secos a base de gas, compran chile seco en varios países y los juntan para hacer mezclas únicas, utilizan horno a gas para el proceso de tostado, cuando secan al sol tiene otro sabor
98	Delicioso Nutri Snack	Empresa productora de churritos de nopal con aceite de aguacate	Han crecido paso a paso siguiendo la demanda y haciendo alianzas con el gobierno para desarrollar su empresa y comprar productos, utilizan gas para sus procesos de calor
99	Alegra Chocolate artesanal	Empresa de productos basados en el cacao	Utilizan el calor para tostar sus productos, ha tenido vinculación con el gobierno tomando apoyos ara los emprendedores y crecer su negocio
100	Maza Real	Empresa de producción de harinas	Utilizan calor de proceso en sus empresas ya que deshidratan por aspersion las harinas, han encontrado que las tecnologías renovables les han dado buenos ahorros energéticos
101	Nopal Tenochtitlan	Empresa de nopal deshidratado	Deshidratan de forma solar sus productos, han tenido relación con empresas que utilizan el sol para deshidratar los productos, han reducido su consumo de gas en un 40 %, Han desarrollado relaciones y negocios con el apoyo de SAGARPA, Al tener contacto con la academia se han encontrado con que inflan los precios de los proyectos por los costos administrativos lo que en su caso los hace incosteables
102	Nopal Tenochtitlan	Empresa de nopal deshidratado	Comenta que los beneficios de instalar plantas deshidratadoras solares son muy grandes y buenos ya que el consumo de energéticos baja mucho

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Bitácora de experimentación

1. Prueba 25 de junio de 2019

Esta primera prueba presentó un pico muy alto de temperatura en el inicio, estos picos corresponden a que se activó el sistema de circulación del aire aproximadamente a las 10:50 am por lo cual el sistema tenía algunas horas de recibir la irradiación solar, la energía acumulada por esta irradiación previa del sistema se reflejó en este aumento súbito de la temperatura que se muestra en la Figura A 1. Este aumento de la temperatura no se mantiene por mucho tiempo ya que el calor estancado se disipa de manera rápida en todo el sistema. En esta gráfica el punto más alto se encuentra en los 110 °C, pero tan sólo en 40 minutos la temperatura se nivela y el sistema entra en un estado de equilibrio, también se observa que la temperatura más alta es la temperatura en la salida del calentador solar de aire, esta característica se replica en todas las demás pruebas realizadas.

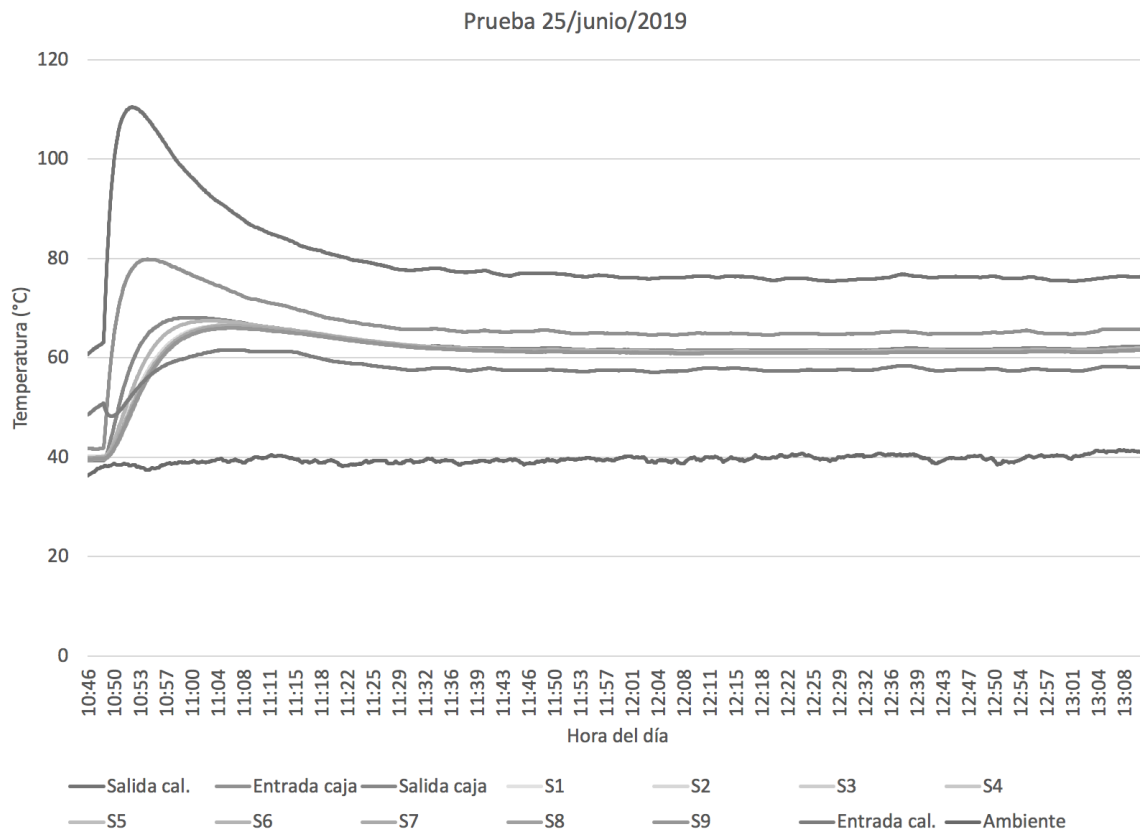


Figura A 1. Prueba 25 de junio de 2019

Fuente: Elaboración propia

2. Prueba 26 de junio de 2019

En este día de pruebas se inició el ensayo a las 11:20 del día aproximadamente, por lo cual al igual que la prueba del 25 de julio, se tuvo una acumulación de la energía provocada por la irradiación solar recibida en el colector solar durante varias horas antes del inicio de la prueba, esto formó nuevamente un pico en el principio de la grabación de los datos, para evitar esta situación se decide abrir las puertas del cuarto de pruebas y permitir que la temperatura del sistema baje a una temperatura cercana a la ambiente, esto provoca que el calor estancado sea disipado. Después, se cierra la puerta del cuarto de pruebas a las 12:00 aproximadamente para permitir el calentamiento del sistema únicamente con el aporte de la irradiancia solar. Al cerrar las puertas la temperatura interna del cuarto de pruebas comienza a aumentar de una forma continua en el interior del cuarto de pruebas. En el caso de los sensores ubicados en la salida del calentador solar de aire estos muestran un aumento de temperatura más rápido ya que se encuentran en la zona más caliente del sistema. A continuación, se muestran los datos obtenidos en la Figura A 2.

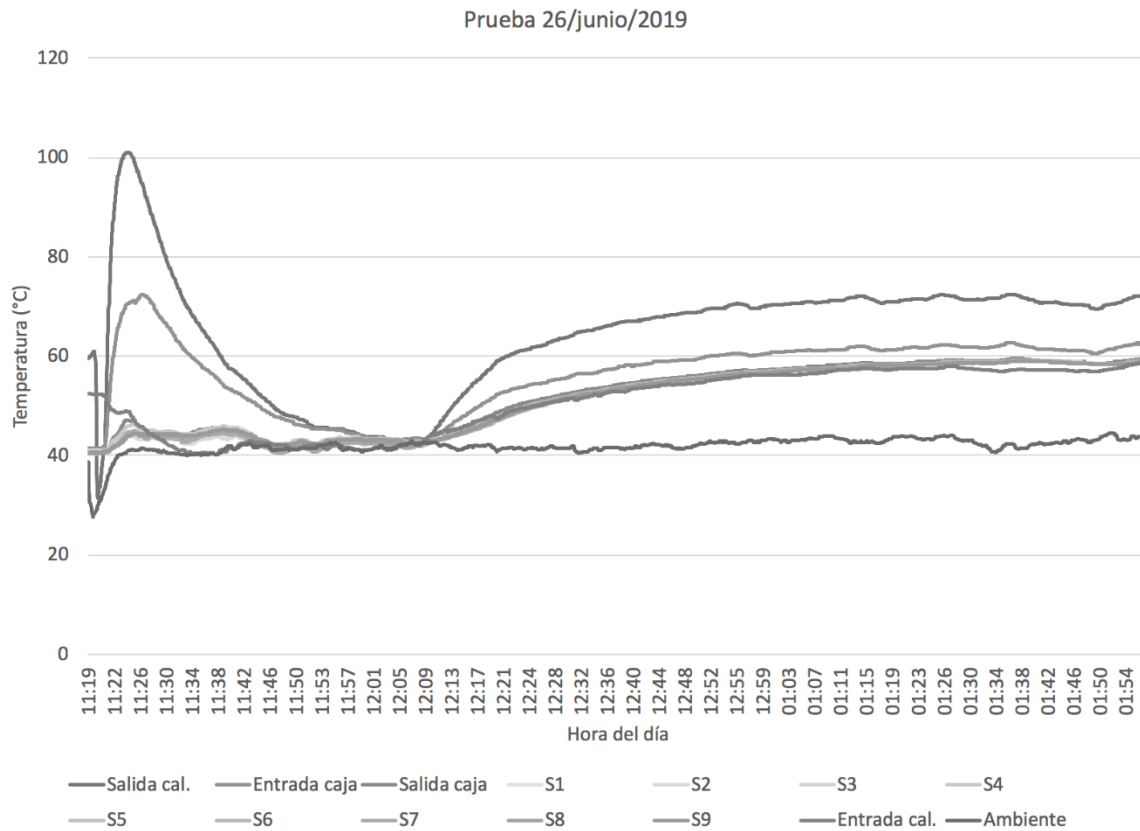


Figura A 2. Prueba 26 de junio

Fuente: Elaboración propia

3. Prueba 27 de junio de 2019

En esta tercera prueba, presentada en la Figura A 3, se vuelve a presentar el mismo pico de temperatura al inicio de la prueba por la energía recolectada por el colector antes de la puesta en marcha del motor, igualmente que en la prueba del 26 de junio se abre la puerta de la caja de pruebas y se deja enfriar el equipo hasta una temperatura cercana al ambiente, el objetivo es el obtener una gráfica de calentamiento que solamente considere la energía recibida instantáneamente por la irradiancia solar.

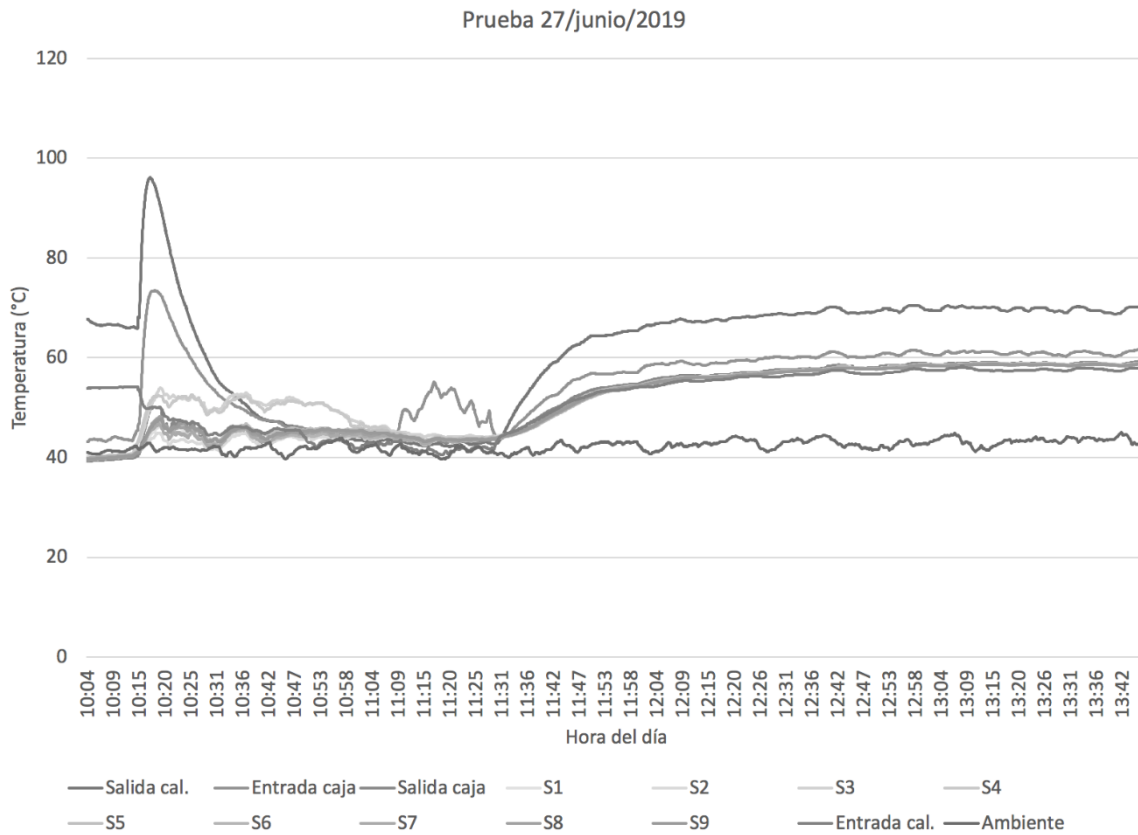


Figura A 3. Prueba 27 de junio de 2019

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en las 3 figuras anteriores las dos líneas de mayor temperatura corresponden a la salida del calentador solar de aire y la entrada a la caja de pruebas, una problemática encontrada es que la temperatura en estas dos zonas presenta una separación muy grande, lo que indica que en este ducto que va de la salida del calentador solar de aire a la entrada del cuarto de pruebas se está perdiendo energía, es por este motivo que se decidió modificar el set experimental y recortar las distancias de los ductos de alimentación, esto con el principal objetivo de disminuir las pérdidas térmicas al ambiente.

4. Prueba del 11 al 13 de julio del 2019

Conociendo los datos obtenidos en las pruebas anteriores se decidió hacer un muestreo de mayor tiempo en el cual se tomaron datos por cerca de 44 horas, las tres crestas que se aprecian en la Figura A 4 corresponden al medio día solar, la primera corresponde al día 11, la segunda al 12 y la tercera al 13 de julio de 2019. Es importante observar como las dos líneas superiores se encuentran muy cercanas una de la otra, esto se debe a las modificaciones realizadas en las cuales se acortaron las distancias de los ductos evitando las pérdidas térmicas que se presentaron en las fases de experimentación mostradas anteriormente.

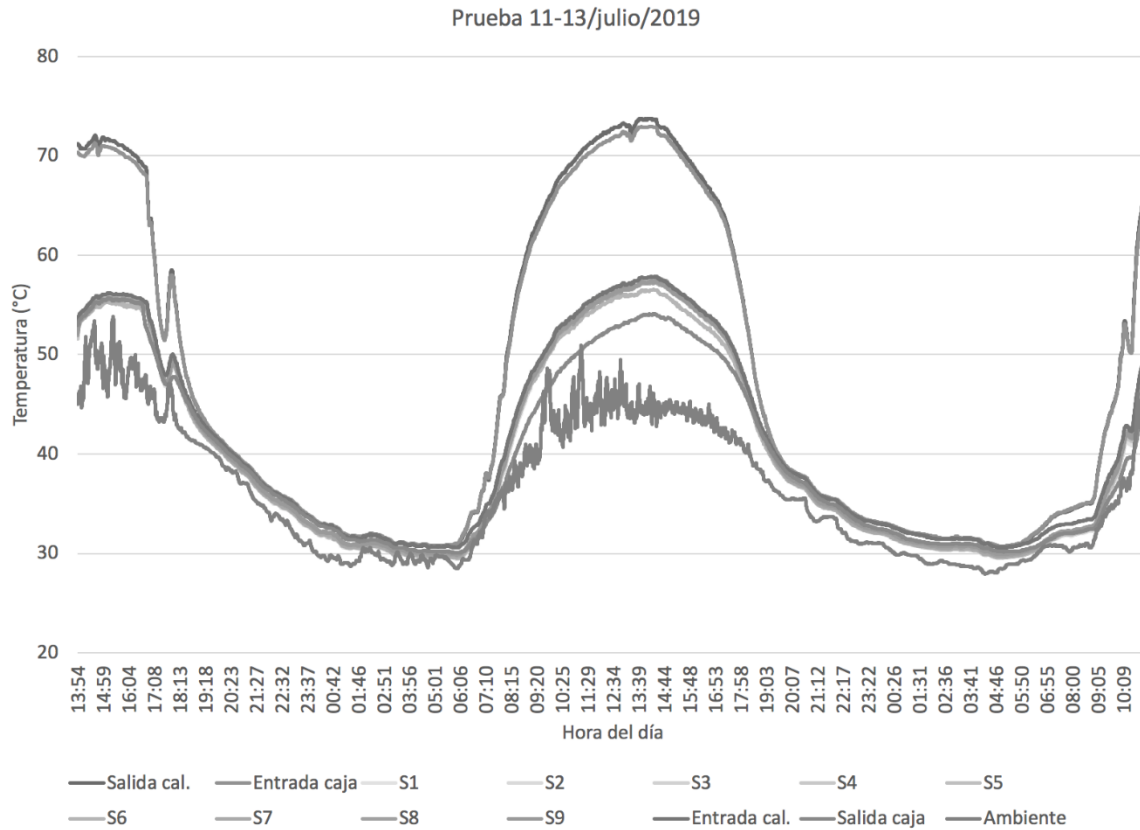


Figura A 4. Prueba del 11 al 13 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

5. Primera prueba de enfriamiento 15 de julio de 2019

En la Figura A 5 se muestran los datos de temperatura correspondientes a una prueba de enfriamiento, la finalidad de esta prueba fue el poder conocer la velocidad con la que el sistema se enfría, esto se realiza para poder ubicar en que parte del sistema se encuentran las mayores pérdidas térmicas y poder corregirlas, para esta prueba se dejó prendido el ventilador para mantener el flujo del aire, aproximadamente a la 1:45 se taparon los tubos evacuados con la finalidad de bloquear la radiación solar incidente en ellos, esto ocasionó una caída casi inmediata de la temperatura en el sistema. Por otra parte, se observó que en esta prueba la temperatura ambiente muestra un comportamiento muy errático, esto se debe a que el sensor de temperatura se posicionó directamente en contacto con el aire, lo que genera variaciones de temperaturas muy extremas, para evitar esto se sugiere proteger el sensor con una carcasa, lo que evita el contacto directo con el aire y genera una lectura más estable.

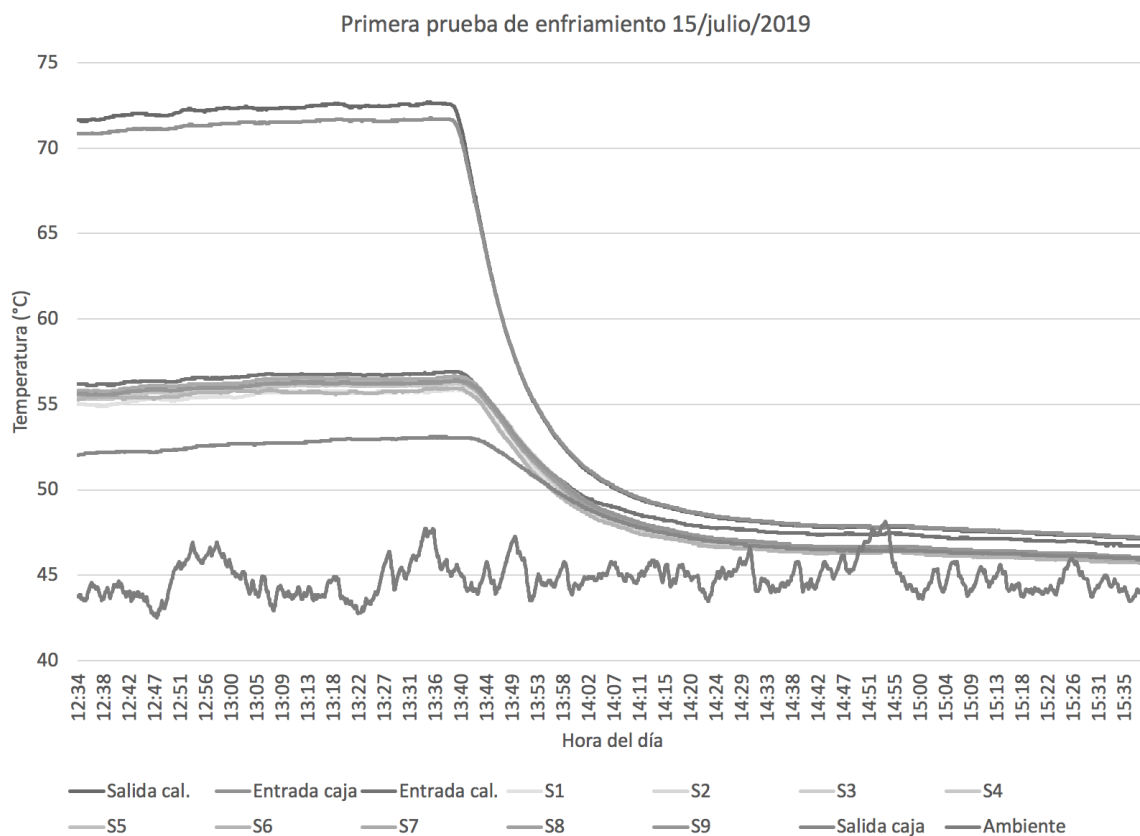


Figura A 5. Primera prueba enfriamiento 15 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

6. Segunda prueba de enfriamiento 15 de julio de 2019

En la siguiente imagen se observa una segunda prueba de enfriamiento, esta prueba fue realizada el mismo día que la anterior y se realizó una vez que el sistema alcanzó una cierta temperatura, en esta prueba se mantuvieron las puertas cerradas y a diferencia de la prueba anterior, se apagó el motor que hace circular el aire por el sistema, esto con el objetivo de poder observar la curva de enfriamiento en un estado estable y sin movimiento del aire, el objetivo fue obtener la curva de enfriamiento del cuarto de pruebas. En comparación con la prueba anterior el enfriamiento se realiza desde una temperatura más baja ya que la irradiancia a la hora de la prueba ya estaba disminuyendo, a pesar de esto, se puede apreciar que la pendiente de la temperatura en el interior del cuarto es menor que en la prueba anterior, con esto se confirma que el sistema pierde energía más rápidamente cuando existe un flujo de aire que lo recorre en comparación con un estado sin movimiento de aire. En la Figura A 6 se observan las temperaturas de esta prueba.

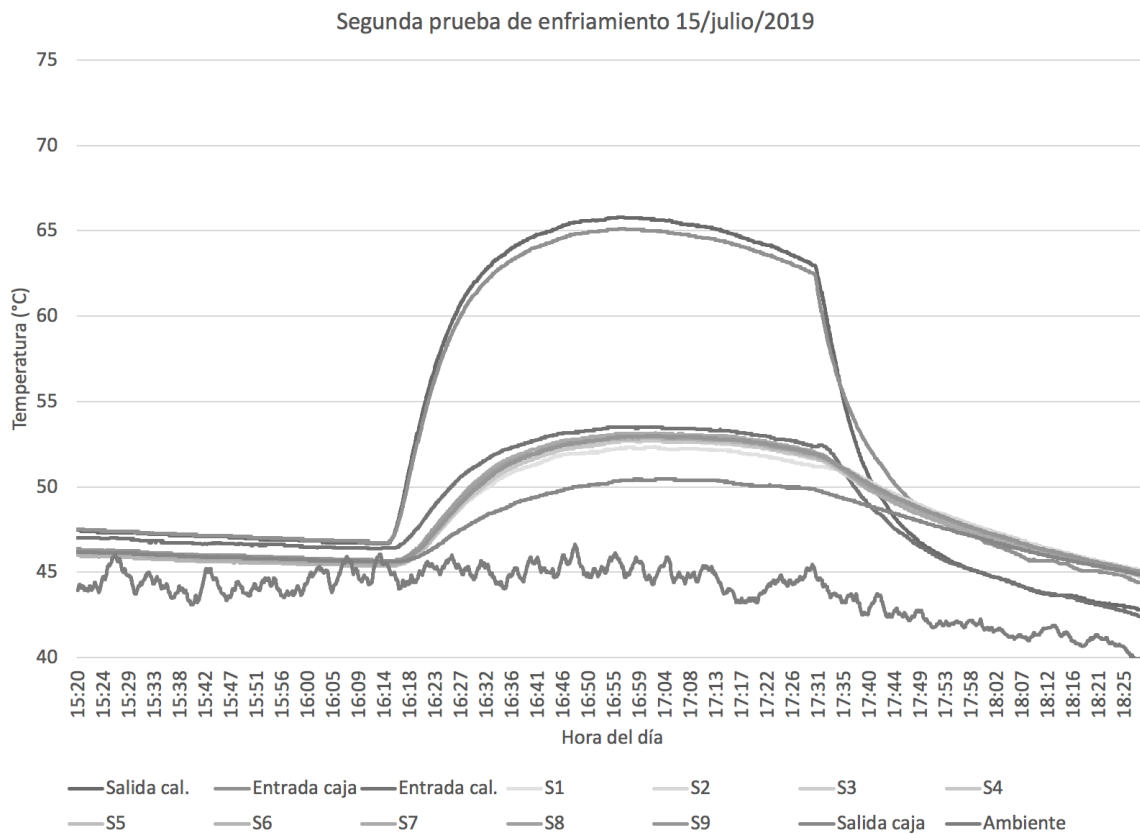


Figura A 6. Segunda prueba de enfriamiento 15 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

7. Prueba 15 a 17 de julio de 2019

En la siguiente Figura A 7 se muestran datos tomados en una prueba que tuvo una duración de 48 horas, en el principio de esta toma de datos se observan las 2 pruebas de enfriamiento ya comentadas anteriormente. En el centro de la gráfica se muestra una cresta que corresponde al día 16 de julio del 2019, esta cresta resultó de la toma de datos en un día muy soleado en el cual se tuvo una gran radiación solar. En la parte derecha se aprecia una brusca disminución de la temperatura de todos los sensores esto se debe a que a esa hora se generó una lluvia moderada en la zona. Las barras verticales de los datos se generaron por la desconexión temporal de los sensores debido a la lluvia.

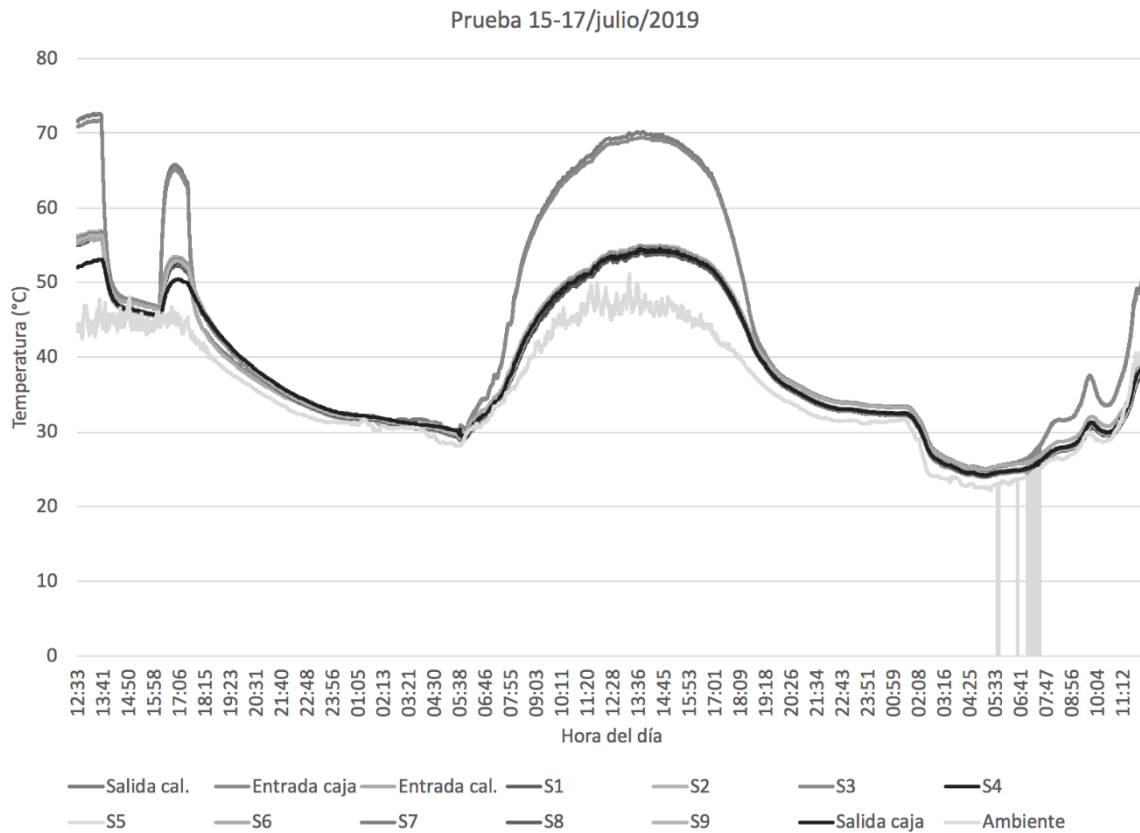


Figura A 7. Prueba 15 a 17 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia