



UACAM
Universidad Autónoma de Campeche



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Centro de Investigación en
Materiales Avanzados, S.C.



**UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA**

Simulación de sistema de calentamiento de aire

Reporte Técnico

GRUPO DE TRABAJO DEL PROYECTO: “Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termosolar para su integración en comunidades rurales”, número de aprobación CONAHCYT 319524



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	6
2	ANTECEDENTES	7
2.1	PROBLEMÁTICA DETECTADA.....	7
2.2	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	7
2.3	JUSTIFICACIÓN.....	7
2.4	OBJETIVO GENERAL.....	7
3	METODOLOGÍA	8
3.1	CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO.....	8
3.1.1	<i>Requerimiento de secado</i>	8
3.1.2	<i>Localización geográfica</i>	8
3.2	DISEÑO CONCEPTUAL.....	9
3.2.1	<i>Sistema de calentamiento de aire solar y calentador auxiliar a gas LP</i>	10
3.2.2	<i>Sistema de calentamiento de aire a gas LP</i>	10
4	CONSTRUCCIÓN DE LA SIMULACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA	11
4.1	GENERALIDADES DE LOS COMPONENTES EMPLEADOS EN EL SISTEMA.....	12
4.2	ANÁLISIS PARAMÉTRICO DEL SISTEMA SOLAR CON CALENTADORES DE AIRE.....	15
4.2.1	<i>Variación paramétrica</i>	15
4.3	OPTIMIZACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA.....	16
	RESULTADOS	18
4.4	RESULTADOS DE VARIACIÓN PARAMÉTRICA.....	18



4.5	PROYECTO ÓPTIMO.....	20
4.5.1	<i>Costo total del proyecto y ahorro.....</i>	22
5	CONCLUSIONES	24
6	ANEXOS.....	26
7	REFERENCIA.....	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estado de Campeche	9
Figura 2 Sistema solar con calentadores de aire y calentador auxiliar de gas LP (hibrido).	10
Figura 3 Sistema de calentamiento de aire con calentador de gas LP.....	11
Figura 4 Construcción de la simulación dinámica del sistema.....	12
Figura 5 Costo total del proyecto híbrido contra el costo del proyecto a gas LP a 20 años de operación para 2 colectores conectados en serie.	19
Figura 6 Costo total del proyecto híbrido contra el costo del proyecto a gas LP a 20 años de operación para 3 colectores conectados en serie.	20
Figura 7 Costo total del proyecto híbrido y fracción solar a 20 años de operación para 2 y 3 colectores conectados en serie.	21
Figura 8 Costo total del proyecto híbrido a 20 años de operación para 2 y 3 colectores conectados en serie.	22
Figura 9 Comparación de costos entre el proyecto híbrido y el proyecto a gas LP.	23
Figura 10 Acomodo de 15 colectores con 3 colectores en serie y 5 filas en paralelo y flujo máscico.	25
Figura 11 Curva numérica de ángulo modificador para el calentador de aire operado a 0.087 m3/s. [7].....	29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros necesarios para el análisis.	8
Tabla 2 Principales componentes del sistema.	12
Tabla 3 Tabla paramétrica para arreglo de 2 colectores en serie.	15
Tabla 4 Tabla paramétrica para arreglo de 3 colectores en serie.	15
Tabla 5 Principales parámetros en el análisis económico.	17
Tabla 6 Resultados generales de la optimización del proyecto.	25
Tabla 7 Características físicas de los tipos de pescado.	26
Tabla 8 Dimensiones y materiales del calentador solar de aire. [7]	27
Tabla 9 Coeficiente de las curvas lineales y cuadráticas de eficiencia térmica instantánea referenciados a la temperatura media del fluido y al área de apertura (2.52 m ²). [7].....	28

1 INTRODUCCIÓN

La Universidad Autónoma de Campeche (UACAM) trabaja en el diseño y construcción de un prototipo de secado para deshidratar pescado y otros productos del mar. En sus reportes [1][2] expone a detalle el gran potencial que tiene México para desarrollar la pesca. El Estado de Campeche tiene una extensión litoral de 425 km, lo que representa el 3.8 % del total, cuenta con 12,135 embarcaciones de pesa en alta mar y 3,401 embarcaciones ribereñas, con 26 plantas pesqueras, ocupando el 7° lugar nacional en producción pesquera con 72,266 ton de pesca de captura, con 38,855 ton en esteros, lagunas y bahías y 33,512 en mar abierto y 158,014 de cultivo. Siendo un total de 230,280 ton. Dentro de las especies de captura de pescado están: la sardina, atún, mojarra tiburón, Lisa, Mero cazón, sierra, barrilete, guachinango, bandera, robalo, corvina, Jue y Pargo y de agua dulce, carpa, charal, bagre, pescado blancotilapia y trucha.

En México se pierde gran cantidad de pescado y marisco, ya sea por distribución inadecuada, carencias en la cadena de suministros, transporte inapropiado, malas prácticas en el comercio, manejo inadecuado de producto.

2 ANTECEDENTES

El secado de alimentos es una de las practicas más antiguas de la humanidad para conservar alimentos empleando la energía solar. Uno de los métodos populares para secar alimentos es el secado empleando aire caliente para retirar la humedad de los productos. La práctica común es mediante aire calentado por un quemador de gas o por una resistencia eléctrica y es impulsado por la acción de un abanico o bomba de aire. No obstante, esta práctica resulta costosa a largo plazo ya que se consumen grandes cantidades de energía.

2.1 Problemática detectada

El proceso de secado tiene altos costos de producción debido a la cantidad de energía necesaria para realizarlo. En la mayoría de los procesos de secado, se emplean combustibles fósiles, los cuales aumenta de precio con el tiempo, deterioran el medio ambiente y en ocasiones impactan de manera negativa la calidad del producto a secar.

2.2 Propuesta de solución

Diseñar y optimizar un sistema termo solar para proveer de aire caliente al proceso de secado de pescado, empleando tecnología de captación solar con respaldo de gas.

2.3 Justificación

Adaptar los procesos para lograr una producción amigable con el medio ambiente, reduciendo los costos de producción es posible en México gracias a la abundancia del recurso solar, haciendo posible el uso y aplicación de tecnología solar.

2.4 Objetivo general

Dimensionar por medio de simulación dinámica un sistema que cubra la demanda energética de aire caliente necesaria para un proceso de secado.

3 METODOLOGÍA

3.1 CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO

3.1.1 *Requerimiento de secado*

El producto por secar es pescado Bosh, Armado y Chac-Chi. Se analizaron las características de contenido de humedad inicial, humedad final, densidad y tiempos de secado de los 3 tipos de pescado a secar y fueron comparados con otros tipos de pescado disponibles como referencia (Ver Tabla 7 en los Anexos).

Se desea conocer la factibilidad de secar 400 kg de pescado con tecnología de calentamiento de aire solar. La tecnología que se prefiere para el proceso son calentadores solares de aire para abastecer de aire caliente a una temperatura de 60 °C para ser ingresada a un secador tipo invernadero de policarbonato. Dicho invernadero contiene carritos de acero inoxidable que cargan charolas grado alimenticio de acero inoxidable. El perfil de operaciones del proceso es indicado como anual con un horario de 6:00-18:00, 6 días a la semana.

3.1.2 *Localización geográfica*

El proceso de secado se proyecta en el estado de Campeche, México (Figura 1), donde se cuenta con disposición de espacio sin restricción. El clima de la región es cálido y subhúmedo con una temperatura media anual de 26-27 °C, promedios mensuales de temperatura máxima y mínima: 30-18 °C y humedad relativa máxima y mínima: 88.4-48.6 %.

Tabla 1 Parámetros necesarios para el análisis.

Parámetros	Detalle
Ubicación Geográfica	Campeche, Campeche, Mex. 19.810541, -90.592341
Clima	Cálido y subhúmedo [3]
Temperatura operativa	60 °C
Masa a secar	400 kg de pescado

Parámetros

Detalle

Características del pescado Contenido de humedad inicial de 75 %
Contenido de humedad final de 10 %
Densidad 1180 m³/kg
Espesor de rebanada de 5 mm

Costo de energía de respaldo 0.4 \$/MJ de Gas LP [4]

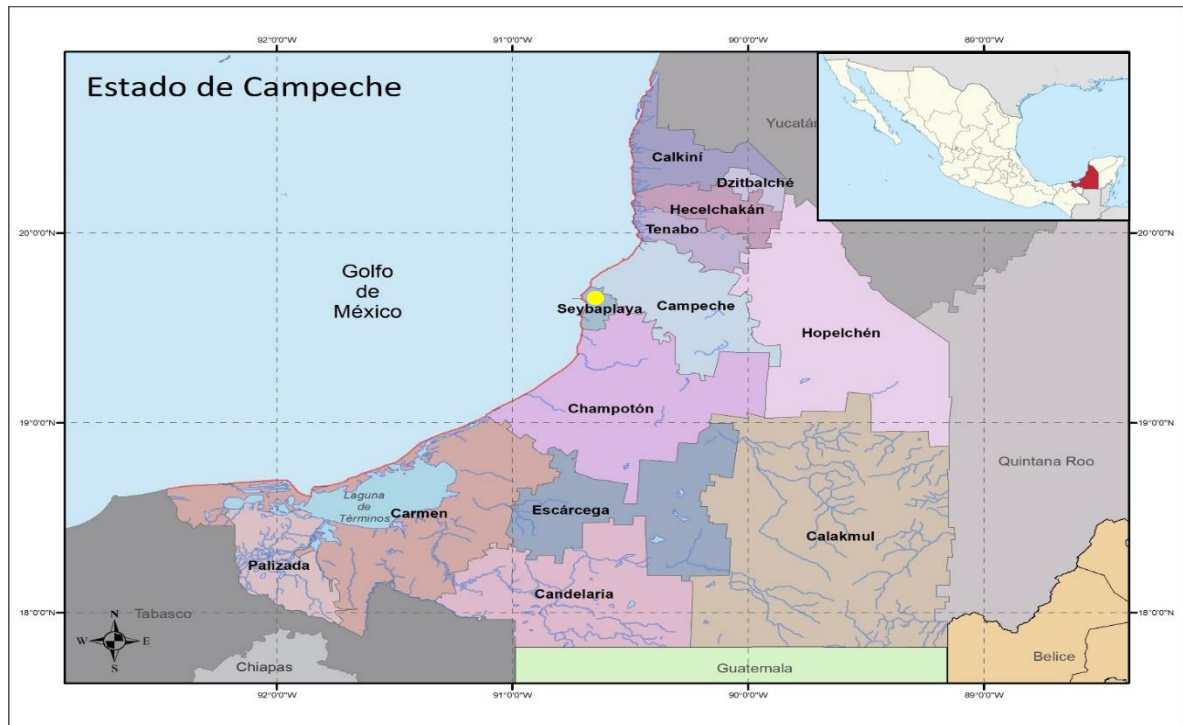


Figura 1 Estado de Campeche

3.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Tomando en consideración el producto y el proceso, se definen los siguientes diseños conceptuales para proveer de aire caliente al proceso de secado.

Se presentan dos escenarios de comparación, la primera muestra un sistema de calentamiento de aire solar y calentador auxiliar de gas LP y el segundo muestra un sistema

de calentamientos de aire empleando únicamente gas LP como energético. En ninguno de los casos es posible almacenar energía.

3.2.1 Sistema de calentamiento de aire solar y calentador auxiliar a gas LP

3.2.1.1 Escenario 1: Sistema de calentamiento de aire solar y calentador auxiliar de gas LP (híbrido)

El diseño conceptual que muestra la Figura 2 se compone de un sistema de captación de energía solar formado principalmente de colectores de calentamiento de aire. El calentador está conectado a un calentador auxiliar de gas LP, además cuenta con un ventilador que impulsa el aire al proceso. El aire del medio ambiente ingresa a los colectores de aire donde éste eleva su temperatura y se conduce al proceso. En este sistema es necesario contar con un equipo de respaldo (calentador auxiliar) el cual tenga la capacidad de elevar la temperatura del flujo másico del aire en caso de ser necesario.

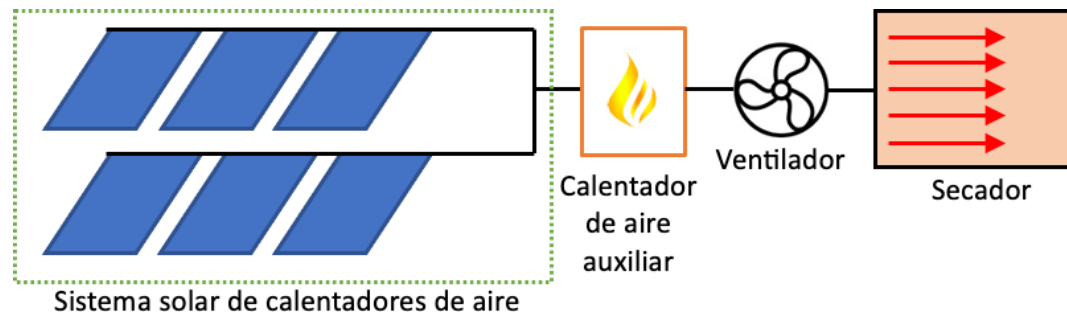


Figura 2 Sistema solar con calentadores de aire y calentador auxiliar de gas LP (híbrido).

3.2.2 Sistema de calentamiento de aire a gas LP

3.2.2.1 Escenario 2: Sistema de calentamiento de aire con calentador de gas LP.

Este diseño de la Figura 3 es un ejercicio de referencia, consiste en un calentador de aire que emplea gas LP como energético, y al igual que el sistema anterior cuenta con un ventilador que impulsa el aire caliente al proceso. El aire del medio ambiente ingresa al calentador, ahí, éste eleva su temperatura y se conduce al proceso.

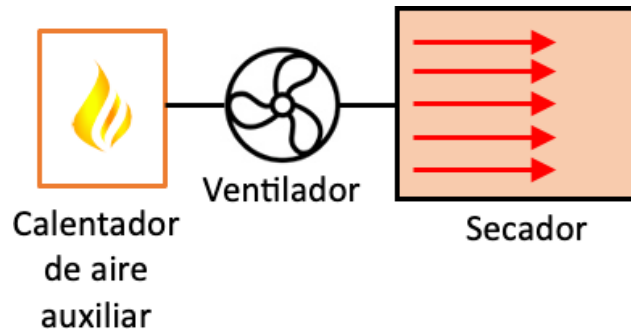


Figura 3 Sistema de calentamiento de aire con calentador de gas LP.

4 CONSTRUCCIÓN DE LA SIMULACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA

La simulación se llevó a cabo empleando TRNSYS como herramienta de cómputo especializado [5]. Esta herramienta permite modelar el sistema propuesto y considera la variabilidad climática que impacta el comportamiento térmico del sistema. La información climática de Campeche fue incorporada en la simulación en formato TMY (*Typical Meteorological Year*).

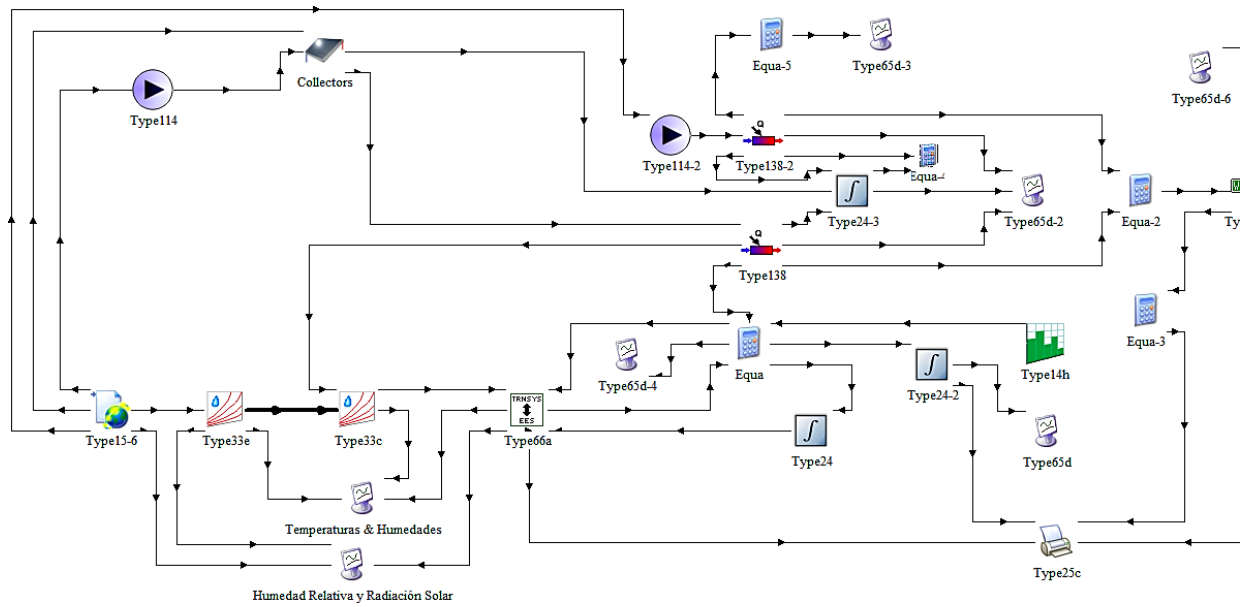


Figura 4 Construcción de la simulación dinámica del sistema.

4.1 GENERALIDADES DE LOS COMPONENTES EMPLEADOS EN EL SISTEMA

En la simulación cada uno de los equipos que integran el sistema son representados por componentes que modelan el comportamiento específico de los equipos, estos componentes se denominan “Types”.

Tabla 2 Principales componentes del sistema.

Componente	Descripción
Type 1	Este componente modela el desempeño térmico de un colector solar de placa plana. Una ecuación cuadrática de segundo orden es empleada para calcular la incidencia del ángulo modificador. Los coeficientes de las funciones vienen de ASHRAE.
Colector solar de aire	
Modulo solar	Parámetros

Referencia y datos técnicos (Ver ANEXOS) El área del colector es de 2.52 m², el flujo masico de prueba del colector es de 0.0366 kg/s.m², primer orden IAM 0.1273 [4], eficiencia de interposición de 0.583, eficiencia de pendiente de 5.9458 W/m².K, eficiencia de curvatura de 0.0464 W/m².K

Type 138 Calentador auxiliar El calentador auxiliar se comporta como un calentador de paso que es provisto de un flujo másico de aire. Dentro de este calentador el fluido es calentado por una flama producida por la combustión de Gas LP.

Parámetros

Potencia máxima de calentamiento de 52 kW y un calor específico del fluido de 1kJ/kg.K, la eficiencia considerada es de 0.8.

Type 114 Ventilador- Bomba de aire Este permite mantener una corriente de flujo constante de aire hacia el proceso. La corriente de flujo de aire es introducida en kg/h. El ventilador o bomba de aire toma la

información atmosférica (temperatura de bulbo seco) proveniente del generador de clima. El ventilador es capaz de entregar características del aire como temperatura, flujo, presión, humedad relativa y absoluta, además de características del ventilador como la energía consumida, transferida al aire y transferida al ambiente. El flujo masico es regido por la función Coll:Flow_rate, calor específico del fluido 1kJ/kg.K, potencia nominal de 2684.0 kJ/hr, eficiencia de la bomba 1, eficiencia del motor 1

Type 66 Este type llama componentes escritos en el programa engineering equation solver (EES) [5] a una simulación en TRNSYS. Todas las entradas se envían a EES y EES es llamado en cada iteración y en cada paso de tiempo.

Modelo de evaporación de agua

Para representar el proceso de secado, se escribió en EES un código que representa de manera sencilla un modelo simplificado de

evaporación de agua basado en saturación adiabática, para esto se empleó un solucionador de ecuaciones algebraicas (EES). El código considera las características de la cantidad de masa, porcentaje de humedad, densidad del producto a secar (Tabla 7) y las condiciones del aire a través del tiempo para determinar dimensionamiento, la tasa de evaporación de agua, la energía necesaria para evaporar el agua, y calcula las condiciones del aire al final del proceso.

- Type 14 Este componente fue empleado para repetir el horario de operación cada día en la simulación, es una función de forzamiento dependiente del tiempo empleada en procesos con comportamiento caracterizado por un patrón repetido. El patrón de la función forzada se establece mediante un conjunto de puntos de datos discretos que indican el valor de la función en varios momentos a lo largo de un ciclo.
- Type 33 Este componente toma como entrada la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa del aire húmedo y llama a la rutina TRNSYS Psychrometrics, devolviendo las siguientes propiedades del aire húmedo correspondientes: temperatura de bulbo seco, temperatura de punto de rocío, temperatura de bulbo húmedo, relación de humedad absoluta, humedad relativa y entalpía.
- Type 15 Este componente tiene el propósito de leer datos a intervalos de tiempo regulares de un archivo de datos meteorológicos externos, interpolar los datos (incluida la radiación solar para superficies inclinadas) en intervalos de tiempo de menos de una hora y ponerlos a disposición de otros componentes de TRNSYS.
- Type 582 El componente realiza el análisis económico del costo del ciclo de vida de un sistema, usa el método P1 P2.
-

4.2 ANÁLISIS PARAMÉTRICO DEL SISTEMA SOLAR CON CALENTADORES DE AIRE

Este análisis incluye la variación paramétrica del número de colectores de calentamiento de aire, tipo de arreglo serie/paralelo y el ángulo de inclinación de los colectores. Al hacer esta variación de parámetros es posible comparar los resultados para encontrar los valores de los parámetros que optimizan el funcionamiento del sistema. De acuerdo con el número de parámetros se establece el número de corridas a analizar.

4.2.1 Variación paramétrica

En las tablas se describen las variaciones que se tomaron en cuenta para los parámetros. En la Tabla 3, se describen los arreglos con 2 colectores conectados en serie y un arreglo en paralelo de 12, 16 y 20 colectores en total, a los que se les analizara con 3 diferentes ángulos de inclinación [7]. En total se obtienen 9 combinaciones posibles.

Tabla 3 Tabla paramétrica para arreglo de 2 colectores en serie.

Tipo de arreglo	2 colectores en serie		
Número de filas en paralelo	6	8	10
Número de colectores	12	16	20
	20°	20°	20°
Ángulos de inclinación	40°60°	40°60°	40°60°

En la Tabla 4, de manera similar que, en la tabla anterior, se describe que se toma en cuenta 3 colectores conectados en serie y un arreglo en paralelo de 9, 15, 24 y 27 colectores en total, a los que se les analiza con 3 diferentes ángulos de inclinación [6]. En total se obtienen 9 combinaciones posibles, ya que 3 combinaciones no se consideran debido a que no se corrieron de manera satisfactoria.

Tabla 4 Tabla paramétrica para arreglo de 3 colectores en serie.

Tipo de arreglo	3 colectores en serie		
-----------------	-----------------------	--	--

Número de filas en paralelo	3	5	8	9
Número de colectores	9	15	24	27
Ángulos de inclinación	20°	20°	40°20°	40°20° 40°
	40°*60°	60°	60°	60°*
*Corridas fallidas				

La variación de parámetros genera un total de 18 combinaciones posibles, esto significa 18 corridas o simulaciones de cada uno de estos escenarios.

4.3 OPTIMIZACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA

Este método empleado para calcular el costo del proyecto se basa en el análisis del costo del ciclo de vida útil o LCCA por sus siglas en inglés (Life Cycle Cost Analysis). Sin embargo, es conocido como P1P2 [8], el cual analiza el costo de vida del proyecto basándose en indicadores económicos. El primer indicador (P1) es la relación entre el costo del combustible del ciclo de vida y el costo del combustible del primer año. El segundo indicador (P2) es la relación entre los gastos del ciclo de vida relacionados con la inversión.

El costo total del proyecto es traído a valor presente y contempla la inversión en la instalación solar y el consumo del combustible afectado por el aumento promedio anual en el costo del combustible y la inflación ver Tabla 5.

Se establece un periodo de análisis de 20 años ya que es el tiempo de vida útil promedio de los principales componentes del sistema. En la tabla 5 se exponen los principales parámetros a definir para el cálculo.

El aumento promedio anual en el costo del gas LP es cuánto se espera que aumente año con año en promedio el valor del combustible que en este caso es el Gas LP .

La inflación se refiere al aumento generalizado y sostenido de los precios de los bienes y servicios en una economía durante un periodo de tiempo.

El costo de inversión se refiere a los gastos incurridos para adquirir, mejorar o mantener un activo o proyecto. En este caso es la variable por determinar dependiendo de los requerimientos técnicos.

El tiempo de depreciación es en términos contables el tiempo en el cual se puede distribuir la depreciación de un activo en una empresa.

El valor de salvamento también se le conoce como valor residual y es el valor estimado de un activo al final de su vida útil.

El costo de mantenimiento anual respecto al costo de inversión es el valor estimado que se tendrá que presupuestar para el mantenimiento del activo calculado en base al costo de inversión.

Descuento del IVA se refiere a que es posible recuperar la fracción correspondiente al IVA por medios fiscales.

Costo del combustible es el costo calculado del combustible en pesos mexicanos por unidad de energía en mega Joules.

Tabla 5 Principales parámetros en el análisis económico.

Parámetros principales	Valor	Unidad
Aumento promedio anual en el costo del gas LP	10	%
Inflación	5	%
Costo de Inversión	Variable	\$MXN
Depreciación	2	Años
Valor de salvamento	1	%
Costo de mantenimiento anual respecto al costo de inversión	1	%
Costo de instalación	50	%
Descuento del IVA	16	%
Costo del combustible [4]	0.4	\$MXN/MJ

RESULTADOS

4.4 RESULTADOS DE VARIACIÓN PARAMÉTRICA

A continuación, se presentan los resultados de la variación paramétrica de la Tabla 3, donde se emplean 2 colectores conectados en serie. La Figura 5, muestra el costo total para cada una de las 9 combinaciones analizadas, tanto del proyecto híbrido como del proyecto a gas L.P. El costo más bajo es obtenido por los proyectos híbridos, destacando el caso de 12 colectores a 20 ° de inclinación y el proyecto más costoso fue el de 20 colectores a 60 ° de inclinación. El comportamiento en el costo del proyecto a gas L.P. se ve fuertemente influenciado por el flujo de aire utilizado para cada uno de los diferentes escenarios. Mientras que para el arreglo híbrido impacta tanto el aumento en el flujo de aire como el aumento por costo de colectores. En esta figura también se muestra en promedio la evaporación de agua al día para

cada proyecto en donde existe una variación mínima para cada combinación influenciada por la cantidad de energía suministrada.

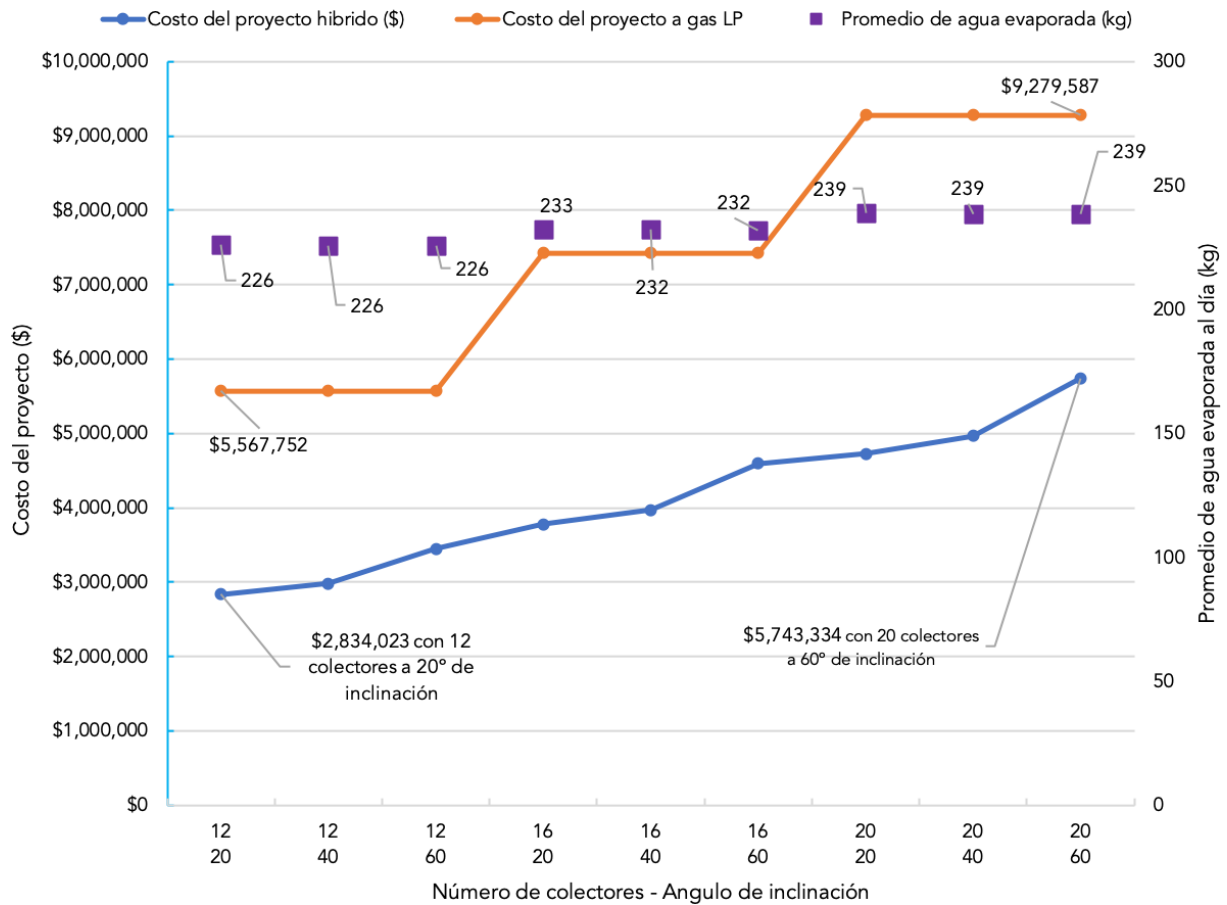


Figura 5 Costo total del proyecto híbrido contra el costo del proyecto a gas LP a 20 años de operación para 2 colectores conectados en serie.

A continuación, se presentan los resultados de la variación paramétrica de la Tabla 4, donde se emplea un arreglo de 3 colectores conectados en serie. La Figura 6, muestra el costo total del proyecto para cada una de las 9 combinaciones analizadas, tanto del proyecto híbrido como del proyecto a gas LP. El costo más bajo es obtenido por los proyectos híbridos, destacando el caso de 15 colectores a 20 ° de inclinación y el proyecto más costoso fue el de 24 colectores a 60 ° de inclinación. El comportamiento en el costo del proyecto a gas L.P. se ve fuertemente influenciado por el flujo de aire utilizado para cada uno de los diferentes escenarios. Mientras que para el arreglo híbrido impacta tanto el aumento en el flujo de aire como el aumento por costo de colectores. Es posible observar que fue posible mejorar el costo total del proyecto mediante la variación del arreglo de los colectores. Esto en gran medida se debe a que el arreglo de 3 colectores alcanza una mayor temperatura en el aire que permite minimizar el uso del calentamiento auxiliar. En esta figura también se muestra en promedio la evaporación de agua al día para cada proyecto.

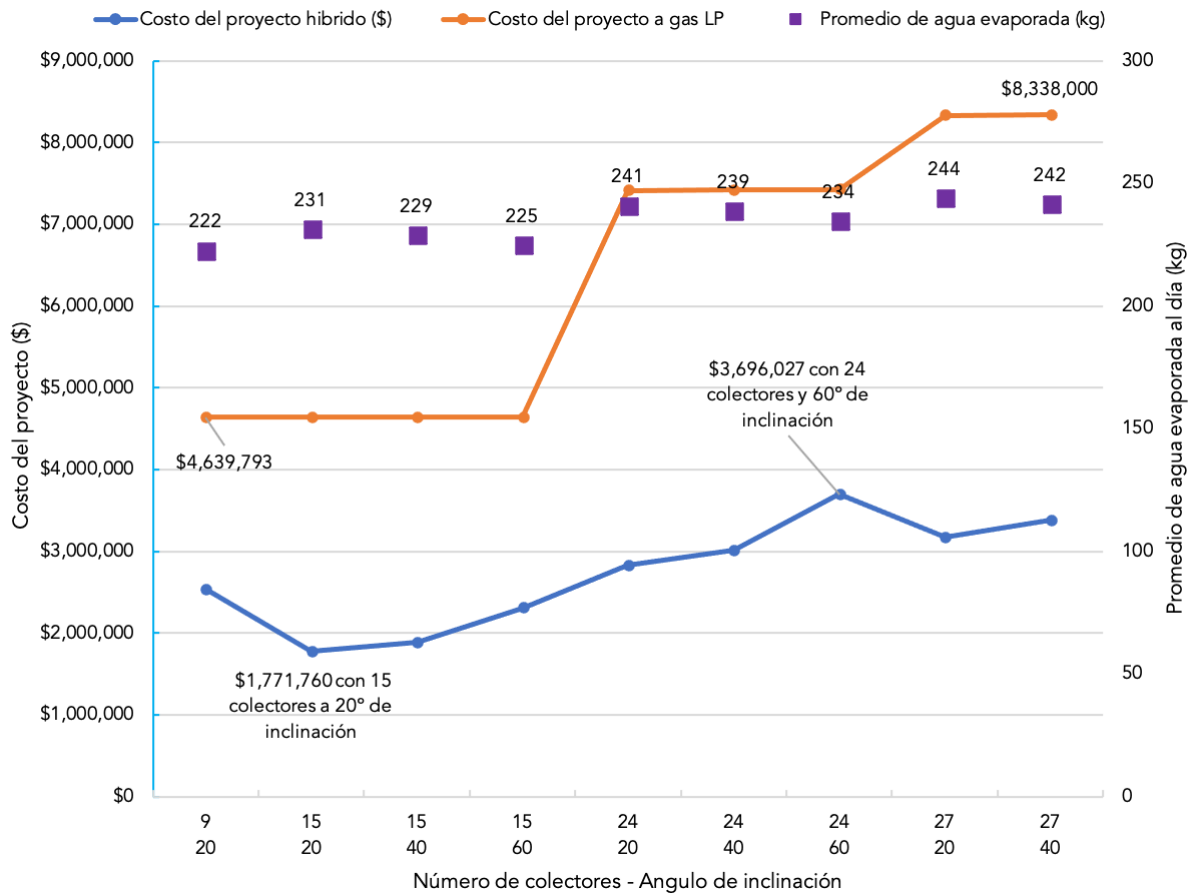


Figura 6 Costo total del proyecto híbrido contra el costo del proyecto a gas LP a 20 años de operación para 3 colectores conectados en serie.

4.5 PROYECTO ÓPTIMO

En la Figura 7 se muestran los costos totales de los 18 proyectos analizados y su contribución solar en función de la energía requerida, conocida como fracción solar. En el eje horizontal se encuentra identificado el tipo de arreglo de 2 o 3 colectores en serie, esto seguido del número de colectores y finalmente el ángulo de inclinación. Aquí se distingue la combinación de parámetros que dan como resultado el menor costo del proyecto híbrido que es de \$1,771,760.00 con 64% de aporte solar. También se puede observar el proyecto más costoso de \$5,743,334.00 y la combinación que lo genera con 37% de fracción solar. Se puede observar una diferencia notable entre el costo del proyecto óptimo y el proyecto híbrido más costoso de hasta 324%. Este proyecto híbrido más costoso puede derivarse de un sobre dimensionamiento en conjunto con una instalación deficiente. Por ejemplo, es

posible observar el impacto en el costo de los proyectos que depende de la inclinación de los colectores. Por todo lo anterior, se observa la importancia de realizar estudios de optimización técnico-económica para el correcto dimensionamiento de sistemas altamente dependientes de las condiciones climáticas del lugar en donde van a ser instalados y que por ende son difíciles de calcular con herramientas basadas en estado estable o que utilizan promedios como base de cálculo.

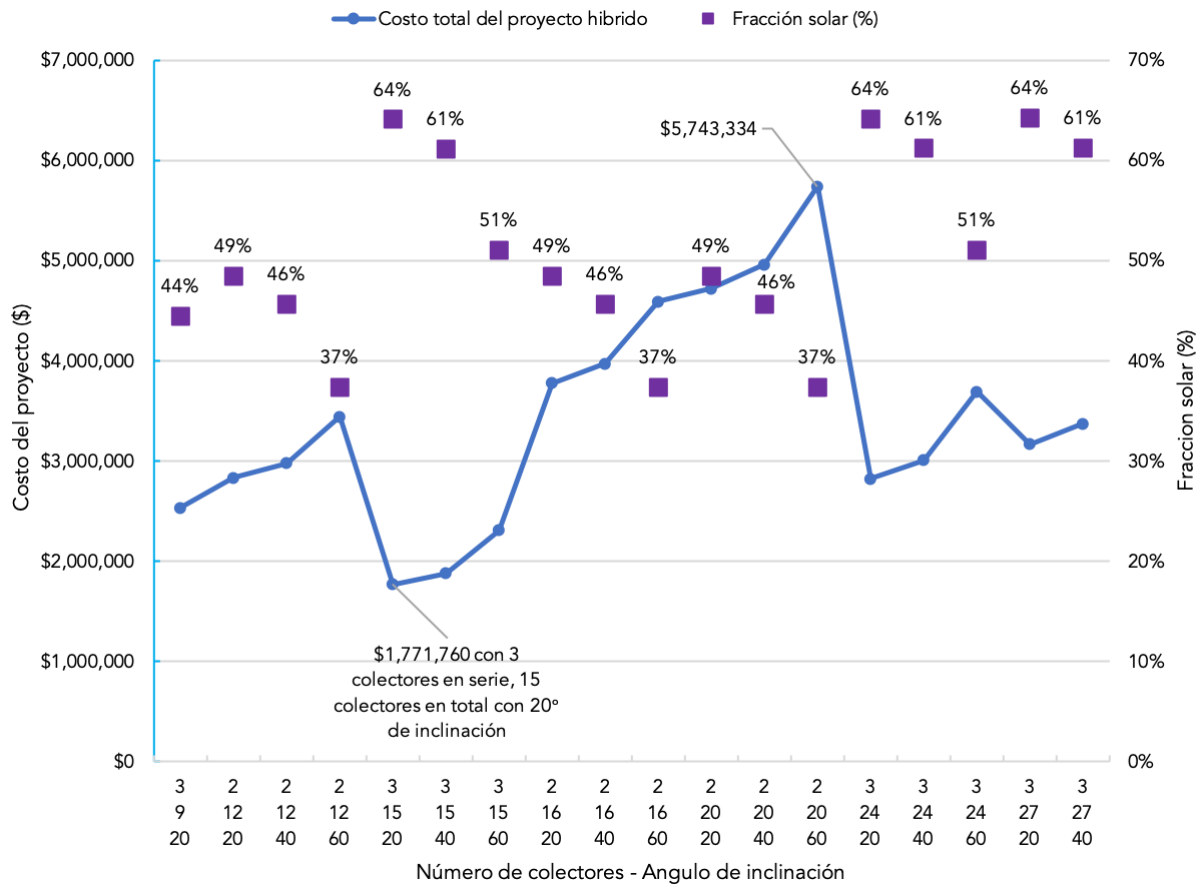


Figura 7 Costo total del proyecto híbrido y fracción solar a 20 años de operación para 2 y 3 colectores conectados en serie.

En la Figura 8 se muestran los costos totales de los 18 proyectos analizados. En el eje horizontal se encuentra identificado el tipo de arreglo si es de 2 o 3 colectores en serie, y el ángulo de inclinación. Aquí se distingue de manera clara la combinación de parámetros que dan como resultado óptimo del proyecto híbrido que es de \$1,771,760.00 con 15 colectores, 3 colectores conectados en serie y 20 ° de inclinación.

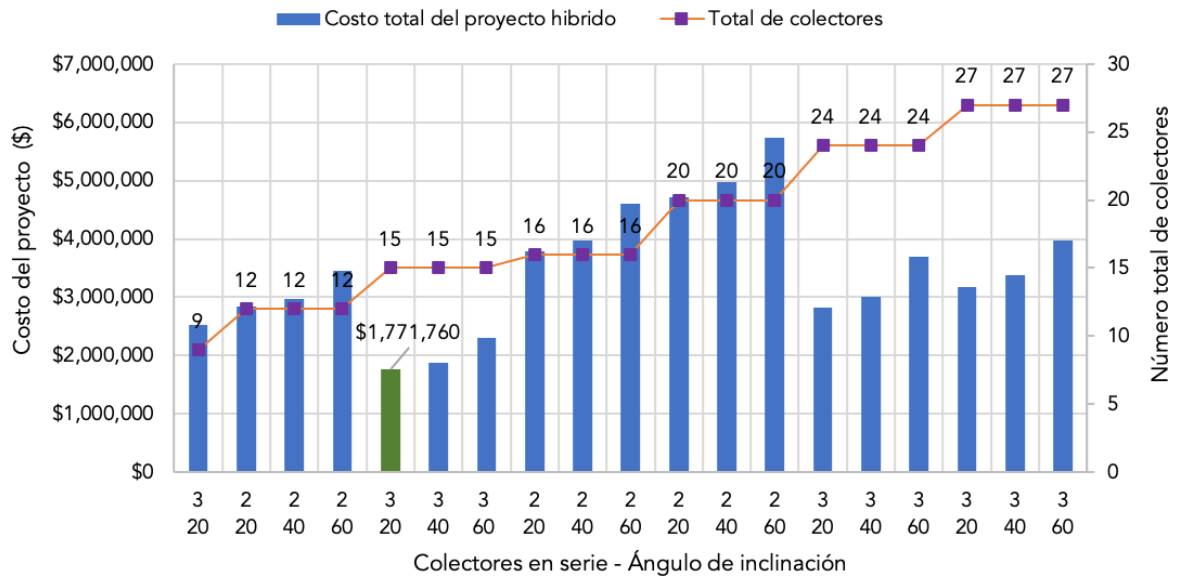


Figura 8 Costo total del proyecto híbrido a 20 años de operación para 2 y 3 colectores conectados en serie.

4.5.1 Costo total del proyecto y ahorro

Una vez identificado el proyecto híbrido óptimo, podemos hacer la comparación de lo que costaría el proyecto usando calentadores solares de aire contra el caso de no usar calentadores solares de aire, tal como se muestra en la Figura 9. El mejor caso identificado como el óptimo tiene un costo \$1,771,760.00 comparado contra el peor caso donde se sobredimensiona el flujo masico y además no se usan colectores solares el cual tiene un costo de \$9,279,587.00.

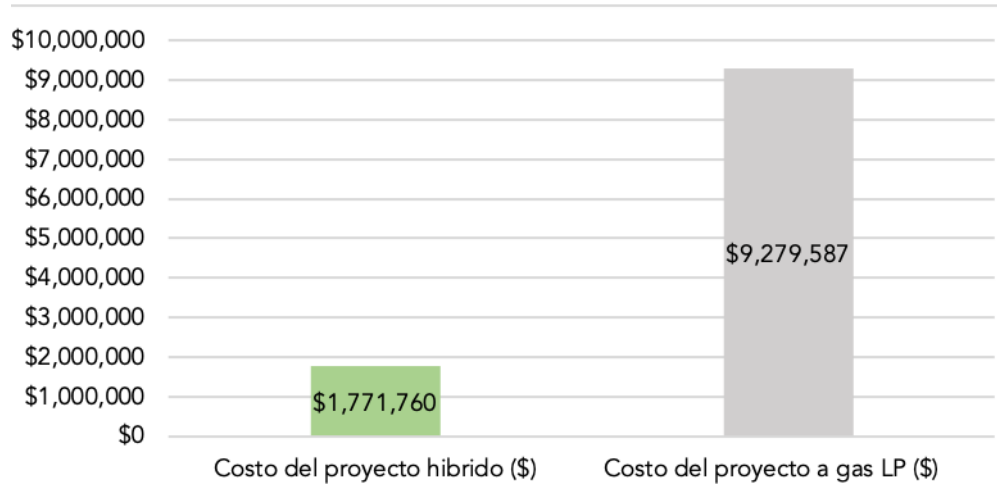


Figura 9 Comparación de costos entre el proyecto hibrido y el proyecto a gas LP.

5 CONCLUSIONES

Fue posible obtener que el proyecto con el menor costo es el que contempla 15 colectores solares para calentamiento de aire en un arreglo de 3 colectores en serie, 5 filas en paralelo Figura 10 y a un ángulo de inclinación de 20 grados. El costo total del proyecto a valor presente es de \$1,771,760.00 a 20 años de operación. La fracción solar estimada resultó en un 64% y el periodo de recuperación de la inversión es de aproximadamente 1.8 años. El Flujo másico del arreglo de colectores corresponde a 0.4611 kg/s. Para proyectos de calor solar de procesos es indispensable el correcto dimensionamiento de los sistemas ya que un sobredimensionamiento puede ocasionar un costo del proyecto varias veces mayor. Según los resultados obtenidos es posible llegar a un ahorro de hasta el 80% con respecto a un sistema convencional que utiliza Gas LP como fuente de energía. Lo anterior sin mencionar los beneficios medioambientales derivados del uso de energías renovables en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero que no son liberados hacia la atmósfera. Para llegar a esto es necesario el uso y dominio de herramientas de cómputo que permitan simular la variación climática del lugar en donde se pretende hacer la instalación de dichos sistemas, así como el impacto de esto sobre cada uno de los componentes del sistema.

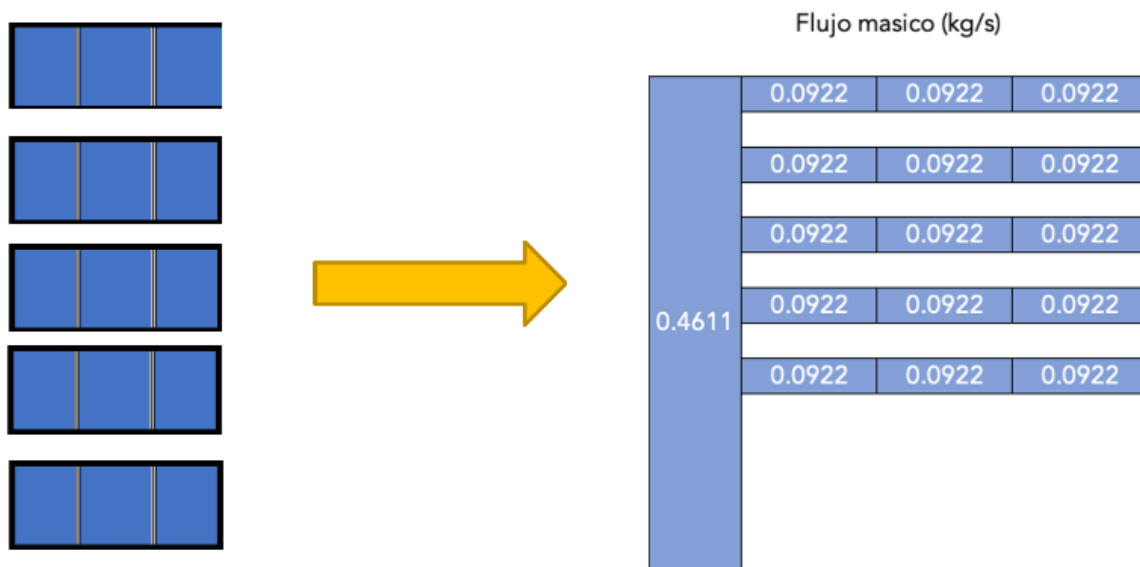


Figura 10 Acomodo de 15 colectores con 3 colectores en serie y 5 filas en paralelo y flujo másico.

En la Tabla 6 se muestra el resumen de los resultados de la optimización del proyecto.

Tabla 6 Resultados generales de la optimización del proyecto.

Combinación de parámetros	Costo total del proyecto híbrido (LCC)	Fración solar	Calentador auxiliar potencia máxima requerida (kW)	Energía necesaria para evaporar el agua (GJ/ año)	Agua evaporada (kg/año)	Flujo másico (kg/s)
3 colectores en serie 15 colectores entotal 20 ° de inclinación	\$1,771,760.00	64%	21.5	198.64	84,353.00	0.4611

El simulador de este proyecto se encuentra completamente funcional y es posible utilizarlo para proporcionar futura información requerida.

6 ANEXOS

Tabla 7 Características físicas de los tipos de pescado.

Tipo de pescado	Contenido inicial de agua (%)	Cinética (h)	Contenido de agua final (%)	Densidad (kg/m ³)
Bosch o Boox (1)	73.71	11	10.19	-
Armado (1)	75.48	7	10.86	-
Chac-Chi (1)	78.06	10	12.41	-
Bacalao ¹ (2)	81	-	-	1180
Salmón (2)	67	-	-	
Res (2)	74	-	10	1190
Valor establecido	75	-	10	1180

Reporte técnico [1].

Propiedades de alimentos comunes. Handbook of Fundamentals de la ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating, and Air- Conditioning Engineering, Inc.,1993, Cap.30, tables 7 y 9.

1

Tabla 8 Dimensiones y materiales del calentador solar de aire. [7]

Parámetro	Valores
Dimensiones	
Ancho, largo, alto (bruto) [m]	1.21, 2.09, 0.094
Ancho, largo (apertura) [m]	1.11, 2.08
Espacio absorbedor-cubierta [m]	0.05
Material de ductos	
Número de ductos	21
Altura, ancho, espesor [m]	0.025, 0.05, 0.001
Conductividad térmica [W/mK]	52.0
Superficie selectiva	pintura negra
Emisividad, absortancia	0.9, 0.9
Material de cubierta	
Número de cubiertas	1
Espesor [m]	0.0032
Transmitancia, emisividad,	0.9, 0.88
Índice de refracción	1.526
Conductividad térmica [W/mK]	1.0
Material de aislante inferior y lateral	
Conductividad térmica [W/mK]	0.02691
Emisividad de aislante inferior y lateral	0.92
Espesor de aislante inferior [m]	0.044
Espesor de aislante lateral [m]	0.05
Material caja externa	
Espesor [m]	0.0005
Conductividad térmica [W/mK]	52
Emisividad	0.04

Tabla 9 Coeficiente de las curvas lineales y cuadráticas de eficiencia térmica instantánea referenciados a la temperatura media del fluido y al

Arreglo	Flujo (m^3/s)	Cuadráticos			Lineales		G (W/m^2)
		a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	
1-SAH	0.051	0.581	-5.5801	-0.0310	0.5934	-7.0363	1016
	0.069	0.562	-2.5253	-0.0807	0.5810	-5.3928	1028
	0.087	0.583	-5.9458	0.0464	0.5752	-4.5012	987
2-SAH	0.051	0.531	-2.6237	-0.0654	0.5767	-6.1835	986
	0.069	0.638	-9.7765	0.0570	0.6104	-7.0879	1030
	0.087	0.643	-5.9522	-0.0078	0.6458	-6.2944	1013
3-SAH	0.051	0.756	-17.9089	0.1653	0.5744	-6.5480	1025
	0.069	0.617	-6.3567	-0.0190	0.6367	-7.6022	1012
	0.087	0.581	-1.5274	-0.0994	0.6465	-6.9069	1003

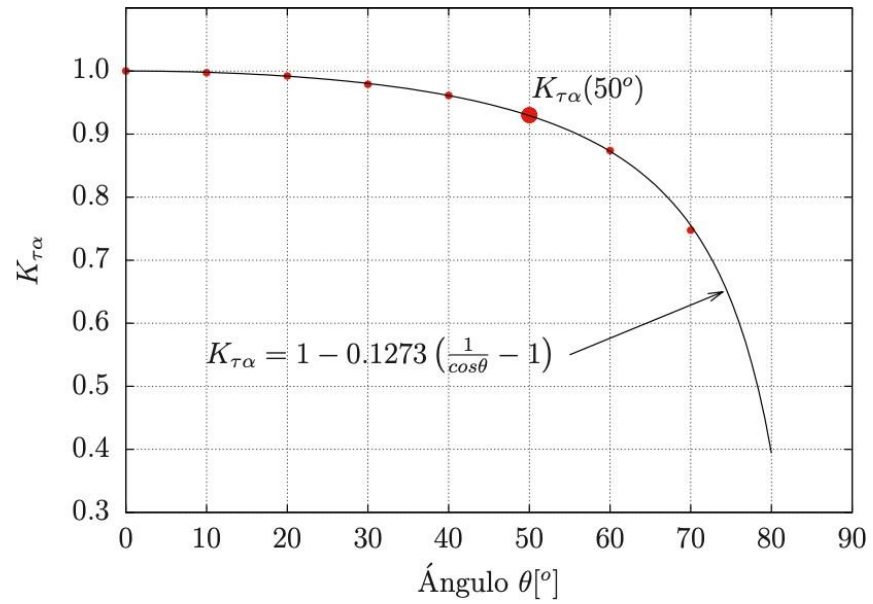


Figura 11 Curva numérica de ángulo modificador para el calentador de aire operado a 0.087 m³/s. [7]

7 REFERENCIA

[1] Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), and Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), “Proyecto: planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termosolar para su integración en comunidades rurales,” México, 2022.

[2] Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), and Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), “Antecedentes del secado de pescado,” México, 2022.

[3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), “Clima en Campeche.” [Online]. Available: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/camp/territorio/clima.aspx?tema=me&e=04>. [Accessed: 22-Mar-2023].

[4] Comisión Reguladora de Energía (CRE), “Precios máximos vigentes del 22 al 28 de enero de 2023.” Gobierno de México, México, D.F., pp. 1–68, 2023.

[5] F-Chart Software, “Engineering Equation Solver (EES).” U.S.

[6] H. Gunerhan and H. Arif, “Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications,” *Build. Environ.*, vol. 42, pp. 779–783, 2007.

[7] J. R. Pérez Espinosa, “SIMULACIÓN NUMÉRICA Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN CAPTADORES SOLARES PLANOS DE BAJA TEMPERATURA,” UNAM (Universidad Autónoma de México), Mexico, 2019.