



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

PRUEBAS EXPERIMENTALES EN SISTEMAS ENERGÉTICOS CON FLUJOS INTERNOS Y EXTERNOS

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**PRESENTA:
JUAN CARLOS MEJIA NAVA**

**NOMBRE DEL ASESOR:
DR. MARCOS BEDOLLA HERNÁNDEZ**



APIZACO, TLAX., NOVIEMBRE 2023



Apizaco, Tlaxcala, **21/noviembre/2023.**

Oficio No.: MM/647/2023.

ASUNTO: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

MARTÍN ROJAS RAMÍREZ
JEFE DEL DEPTO. DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno:	JUAN CARLOS MEJIA NAVA
Carrera:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
No. De Control:	11370469
Nombre del Proyecto:	PRUEBAS EXPERIMENTALES EN SISTEMAS ENERGÉTICOS CON FLUJOS INTERNOS Y EXTERNOS
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA

ENRIQUE ACOLTZI BAUTISTA
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA

MARCOS BEDOLLA HERNÁNDEZ ASESOR	VICENTE FLORES LARA REVISOR	EREN SÁNCHEZ FLORES REVISOR

- C.p. Oficina de Titulación
C.p. Departamento de Servicios Escolares
C.p. Expediente. -Jefe de proyectos de vinculación Metal-Mecánica

EAB*petry.





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Apizaco, Tlax., **27/noviembre/2023**
No. OFICIO: DEP-CT/812/2023

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

JUAN CARLOS MEJIA NAVA
EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
CON NÚMERO DE CONTROL: 11370469
P R E S E N T E

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** cuyo tema es: **"PRUEBAS EXPERIMENTALES EN SISTEMAS ENERGÉTICOS CON FLUJOS INTERNOS Y EXTERNOS"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESION

Debiendo entregar **3** discos del mismo, apropiadamente encuadernados, a la brevedad, para presentar su acto de recepción profesional.

Sin otro particular por el momento, le envió un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

MARTÍN ROJAS RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

c.p. archivo



Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec,
Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010 Ext. 304,
e-mail: dep_titulación@apizaco.tecnm.mx



2023
Francisco VILLA

AGRADECIMIENTOS

A Dios, Por darme la vida y brindarme la oportunidad de seguir viviendo, para así poder alcanzar esta meta tan importante en mi vida, por nunca abandonarme en los momentos más difíciles que he tenido manteniendo siempre la fe en ti.

Permite que Dios reine en tu corazón. Recibirás su paz y dirección para tu vida

A mi amada esposa Erika que siempre ha estado a mi lado apoyándome en los momentos más difíciles, por brindarme la confianza en todo momento, por haberme apoyado a concluir esta meta tan importante....

A mis hijos Charly Bryant y Denisse que son el mejor regalo que he recibido de Dios, son mi mayor tesoro y mi fuente de inspiración para continuar en cada momento y que por ustedes mis pequeños continuaré hacia adelante.

A mi padre y a mi Madre, que gracias a ellos soy lo que soy, por haberme enseñado el camino del bien, a ustedes que son mi motivo para salir adelante.

Agradezco también por la confianza que han depositado en mí y el esfuerzo que han realizado toda mi vida para que por fin llegara este momento.

A mis hermanos, por que han contribuido al cumplimiento de una de mis más importantes metas, porque a base de esos momentos difíciles de nuestras vidas siempre hemos salido adelante.

A mis profesores, por tener la paciencia de enseñar, por compartir sus grandes conocimientos para así poderme desarrollar personal y profesionalmente.

Gracias al Instituto Tecnológico de Apizaco que me dio la oportunidad de haberme superado y por todo el apoyo que encontré dentro de la institución y al mismo tiempo quiero agradecer a mi profesor Dr. Vicente Flores Lara por darme la oportunidad de realizar este proyecto, por la ayuda que me brindó, por el tiempo dedicado a este proyecto, por sus grandes consejos y por compartirme sus grandes conocimientos.

Sólo hay un bien: el conocimiento. Sólo hay un mal: la ignorancia.

(Sócrates)

El cerebro humano es como una máquina de acuñar monedas. Si echas en ella metal impuro, obtendrás escoria; si echas oro, obtendrás moneda de ley.

(Santiago Ramón y Cajal)

Resumen del proyecto

En el presente proyecto se realiza un estudio termo hidráulico a un sistema de remoción de calor, se realiza un estudio del comportamiento de un sistema fotovoltaico acoplado con un canal (sistema híbrido), se realizaron pruebas experimentales bajo condiciones ambientales distintas y en horas diferentes para analizar el comportamiento de este mismo sistema, utilizando instrumentos de medición para cada lectura correspondiente.

Durante las pruebas realizadas se coloca el sistema híbrido en diferentes posiciones para verificar el comportamiento del fluido en la entrada y salida del sistema registrando las lecturas y así poder realizar la comparación de los datos obtenidos del sistema.

De acuerdo al registro y al análisis de los datos recabados durante las pruebas realizadas al sistema, se modifica el tipo de aleta, se fabrica la aleta y se implementa en el sistema fotovoltaico para realizar las pruebas de esta nueva modificación.

Se realizan pruebas experimentales mediante una simulación en el sistema fotovoltaico para verificar el comportamiento del fluido y así analizar la transferencia de calor existente.

El sistema está constituido por un intercambiador de calor colocado en la parte posterior del panel fotovoltaico, el cual cuenta con aletas rectangulares las cuales tienen la función de obstaculizar a lo largo del intercambiador colocadas de manera alternada para crear un patrón de flujo que permita la máxima remoción de calor y por consecuencia del mismo sistema.

Índice de contenido

Introducción.....	14
Descripción de la empresa.....	17
Problemas a resolver.....	20
Objetivo general	21
Objetivos específicos.....	21
Justificación.....	21

Capítulo 1 Antecedentes

Capítulo 2 Fundamento Teórico

2.1 Convección.....	22
2.2 Constante solar.....	23
2.3 Condiciones de la radiación.....	23
2.4 Posición de los captadores solares.....	24
2.5 Transferencia de la energía.....	25
2.6 Mecanismos de transferencia de calor.....	25
2.7 Conductividad térmica.....	26
2.8 Numero de Nusselt.....	26
2.9 Flujo laminar en comparación con el turbulento.....	28
2.10 Numero de Prandtl.....	29
2.11 Flujos laminar y turbulento.....	30
2.12 Numero de Reynolds.....	31
2.13 Flujo paralelo sobre placas planas.....	32
2.14 Flujo sobre bancos de tubos.....	34
2.15 Caída de presión.....	37
2.16 Aletas de transferencia de calor.....	38
2.16.1 Para que se utilizan las aletas.....	39
2.16.2 Material con que se construyen	39
2.16.3 Tipos de aletas de transferencia de calor.....	40
2.16.4 Aleta rectangular recta.....	40
2.17 Flujos laminar y turbulento en tubos.....	40
2.18 Flujo constante de calor en la superficie ($\dot{q}_s = \text{constante}$).....	43
2.19 Temperatura superficial constante ($T_s = \text{constante}$).....	46

Capítulo 3 Desarrollo del proyecto

3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	47
3.2 Ubicación del sistema hibrido solar.....	48
3.3 Componentes del sistema hibrido solar.....	49
3.4 Desarrollo del sistema.....	50
3.5 Descripción de instrumentos de medición.....	60
3.6 Calculo de Aleta.....	69

Capítulo 4 Evaluación del canal con aletas

4.1 Resultados Teóricos Experimentales.....	72
4.2 Simulación del fluido.....	78

Capítulo 5 conclusiones

5.1 Conclusiones del proyecto, recomendaciones y experiencia personal adquirida.....	79
--	----

Capítulo 6

6.1 Bibliografía.....	80
-----------------------	----

Índice de figuras

Figura 2.1 Transferencia de calor a través de una capa de fluido de espesor l y diferencia de temperatura ΔT	27
Figura 2.2 Flujos laminar, de transición y turbulento	28
Figura 2.3 Desarrollo de la capa límite para el flujo sobre una placa plana y los diferentes regímenes de flujo	31
Figura 2.4 El número de Reynolds se puede concebir como la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas que actúan sobre el elemento de un fluido	31
Figura 2.5 Regiones laminar y turbulenta de la capa en el flujo sobre una placa plana	33
Figura 2.6 Patrones de flujo para los bancos de tubos alineados o escalonados	35
Figura 2.7 Configuración de los tubos en los bancos alineados o escalonados (a_1 , a_t y a_d son las áreas de flujo en los lugares indicados y l es la longitud de los tubos)	36
Figura 2.8 Factor de fricción f factor de corrección χ para bancos de tubos	38
Figura 2.9 El diámetro hidráulico $D_h = 4A_c/p$ se define en tal forma, que se reduce al diámetro común para los tubos circulares. Cuando hay una superficie libre, como en el flujo de canal abierto, el perímetro húmedo incluye sólo las paredes en contacto con el fluido	41
Figura 2.10 En la región de transición, el flujo cambia aleatoriamente entre laminar y turbulento	42

Figura 2.11 Variación de las temperaturas superficial del tubo y media del fluido a lo largo del tubo para el caso del flujo constante de calor en la superficie.....	43
Figura 2.12 Interacciones energéticas para un volumen diferencial de control en un tubo.....	44
Figura 2.13 La forma del perfil de temperaturas permanece inalterada en la región completamente desarrollada de un tubo sujeto a flujo constante de calor en la superficie.....	45
Figura 3.1 Ubicación vía Google Maps.....	48
Figura 3.2 Componentes de sistema híbrido.....	49
Figura 3.3 Panel policristalino y monocristalino acoplados a un canal (sistema híbrido).....	50
Figura 3.4 Dimensiones del panel solar.....	50
Figura 3.5 Fabricación y colocación de ducto en canal.....	51
Figura 3.6 Colocación de ventilador en ducto.....	52
Figura 3.7 Convección forzada.....	52
Figura 3.8 Lectura tomada con un medidor de radiación solar.....	53
Figura 3.9 Obteniendo temperatura con termómetro en interior de panel.....	53
Figura 3.10 Lectura tomada en 3 puntos del panel solar.....	54
Figura 3.11 Cámara termográfica utilizada en las pruebas experimentales.....	55
Figura 3.12 Tomando lectura de presión a la salida del canal.....	55
Figura 3.13 Lectura tomada con una anemómetro a la entrada y salida del panel.....	56

Figura 3.14 Prueba experimental del comportamiento del fluido a través de un canal.....	57
Figura 3.15 Rediseño y fabricación de aletas.....	57
Figura 3.16 Colocación de aletas en panel fotovoltaico.....	58
Figura 3.17 Ensamble de canal con panel solar.....	58
Figura 3.18 Instalación de equipos para realizar las pruebas experimentales.....	59
Figura 3.19 Estructura del Anemómetro.....	60
Figura 3.20 Pirómetro Infrarrojo.....	62
Figura 3.21 Vista frontal del pirómetro.....	63
Figura 3.22 Vista posterior del pirómetro.....	63
Figura 3.23 Radiación solar.....	64
Figura 3.24 Cámara termográfica.....	65
Figura 3.25 Termómetro.....	66
Figura 3.26 Termopar utilizado en las pruebas experimentales níquel-cromo.....	67
 Figura 4.1 Datos de pruebas experimentales del sistema hibrido 26-Abril-2018.....	 72
Figura 4.2 Datos de pruebas experimentales del sistema hibrido 27-Abril-2018.....	73
Figura 4.3 Datos de pruebas experimentales del sistema hibrido 04-Mayo-2018.....	74
Figura 4.4 Temperatura parte frontal del panel.....	75
Figura 4.5 Temperatura del panel.....	75
Figura 4.6 Velocidad y temperatura del panel (entrada).....	76

Figura 4.7 Velocidad y temperatura del panel(salida).....	76
Figura 4.8 Representación de la radiación en el transcurso del día y su presión en el sistema hibrido.....	77
Figura 4.9 Fluido a través del sistema aletado.....	78
Figura 4.10 Fluido a través del sistema hibrido.....	78

Índice de tablas.

Tabla 2.1	Rangos típicos de los números de Prandtl para fluidos comunes.....	29
Tabla 3.1	Actividades a realizar.....	47
Tabla 3.2	Medición de velocidad del viento.....	61
Tabla 3.3	Medición de temperatura.....	61
Tabla 3.4	Tipos de termopares.....	67
Tabla 3.5	Código de colores de termopares.....	68

Introducción

La energía solar es la producida por la luz (energía fotovoltaica o el calor del sol-termosolar) para la generación de electricidad o la producción de calor. Inagotable y renovable, pues procede del sol, se obtiene por medio de paneles y espejos.

Las células solares fotovoltaicas convierten la luz del sol directamente en electricidad por el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual se determina que materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica. Por otro lado, los colectores solares térmicos usan paneles o espejos para absorber y concentrar el calor solar, transferirlo a un fluido y conducirlo por tuberías para su aprovechamiento en edificios e instalaciones o también para la producción de electricidad (solar termoeléctrica).

Cada año el sol arroja 4 mil veces más energía que la que consumimos, por lo que su potencial es prácticamente ilimitado.

La intensidad de energía disponible en un punto determinado de la tierra depende, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor. Actualmente es una de las energías renovables más desarrolladas y usadas en todo el mundo.

¿De qué manera convertimos esta energía en energía útil para su uso cotidiano?

Esta energía renovable se usa principalmente para dos cosas, aunque no son las únicas, primero para calentar cosas como comida o agua, conocida como energía solar térmica, y la segunda para generar electricidad, conocida como energía solar fotovoltaica.

Los principales aparatos que se usan en la energía térmica son los calentadores de agua y las estufas solares.

Para generar la electricidad se usan las células solares, las cuales son el alma de lo que se conoce como paneles solares, las cuales son las encargadas de transformarla energía eléctrica.

¿Qué beneficios tiene la energía solar?

La energía solar goza de numerosos beneficios que la sitúan como una de las más prometedoras.

Renovable, no contaminante y disponible en todo el planeta, contribuye al desarrollo sostenible.

Igualmente, la simplicidad de esta tecnología la convierte en idónea para su uso en puntos aislados de red, zonas rurales o de difícil acceso.

La energía solar también es útil para generar electricidad a gran escala e inyectarla en red, en especial en zonas geográficas cuya meteorología proporcione abundantes horas de sol al año.

Los módulos de captación solar requieren de un mantenimiento relativamente sencillo lo que, unido a la progresiva y acelerada disminución del coste de las células fotovoltaicas, explican las favorables perspectivas existentes actualmente para la energía solar. Las plantas solares, además, no emiten gases contaminantes y son extremadamente silenciosas.

Otro aspecto beneficioso de la energía que nace del sol es su condición de generadora de riqueza local, puesto que su implantación en un país disminuye la dependencia energética de otros países. Si bien es cierto que la energía solar-como la eólica- es intermitente, esto es, directamente dependiente de la meteorología o de los ciclos día-noche, el rápido avance experimentado por las tecnologías de almacenamiento eléctrico va a minimizar cada vez más esta circunstancia y incrementar la participación de este tipo de energías en el sistema energético.

¿Cómo se obtiene la energía del sol?

El sol proporciona energía de dos formas diferentes:

- Proporciona calor, aprovechado mediante espejos de manera que los rayos del sol se concentran en un receptor que alcanza hasta temperaturas de hasta 1000 °C. El calor se utiliza para calentar un fluido que genera vapor. El vapor finalmente mueve una turbina y produce electricidad.
- Proporciona luz que se convierte en electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos están formados por grupos de células o celdas solares que transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).

Energía solar fotovoltaica

La energía solar es aquella que aprovecha la radiación de las partículas de luz de sol para producir energía.

La energía solar fotovoltaica transforma de manera directa la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico. Al incidir la radiación del sol sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica (que conforman los paneles) se produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando así corriente eléctrica.

Existen tres tipos de paneles solares: fotovoltaicos, generadores de energía para las necesidades de nuestros hogares; térmicos, que se instalan en casas con recepción directa al sol; y termodinámicos, que funcionan a pesar de la variación meteorológica, es decir, aunque sea de noche, llueva o esté nublado.

La energía solar fotovoltaica se basa en el principio de que la energía contenida en las partículas de luz (los fotones) puede ser convertida en electricidad. Esto se logra a través del denominado proceso de conversión fotovoltaica.

La conversión directa de energía solar en electricidad se realiza a través de un material semiconductor (silicio, por ejemplo). No requiere partes móviles, combustible ni ruido. El elemento básico es la célula fotovoltaica: expuesta a la luz, absorbe la energía de los fotones de luz. Estos ponen en movimiento electrones que son atrapados por un campo eléctrico interno. Los electrones recogidos en la superficie de la celda generan una corriente eléctrica continua.

¿Qué beneficios comporta la energía fotovoltaica?

La energía eléctrica generada mediante paneles solares fotovoltaicos es inagotable y no contamina, por lo que contribuye al desarrollo sostenible, además de favorecer el desarrollo del empleo local.

Asimismo, puede aprovecharse de dos formas diferentes: puede venderse a la red eléctrica o puede ser consumida en lugares aislados donde no existe una red eléctrica convencional.

Por ello, es un sistema particularmente adecuado para zonas rurales o aisladas donde el tendido eléctrico no llega o es dificultosa o costosa su instalación o para zonas geográficas cuya climatología permite muchas horas de sol al año.

Descripción de la empresa u organización y puesto o área de trabajo.

El tecnológico de Apizaco, desde hace cuatro décadas se ha dedicado a propiciar alternativas reales y sustentables para la juventud de la región. Es una institución que pertenece al sistema nacional de educación superior tecnológica. El ITA ofrece en su formación educativa 8 ingenierías y 2 maestrías cuyas matrículas abarcan de manera integral una formación general básica que incluye el fortalecimiento científico y metodológico; todas las carreras cuentan con especialidades diseñadas que atienden las necesidades de los sectores productivo y social.

Misión

Es una Institución de Servicios de Educación Superior Tecnológica comprometida en la formación de profesionales, que responde a los requerimientos de desarrollo Económico, Científico, Social y Cultural que demanda nuestro entorno, a través de la adecuada integración de nuestros recursos.

Visión

Ser una Institución de nivel superior, consolidada, comprometida, competitiva, con excelencia y renombre a nivel nacional, cuyo prestigio se reconozca por los principios, valores humanos, hábitos intelectuales y actitudes profesionales, que permita a nuestros egresados, con espíritu emprendedor y de investigación, contribuir de forma trascendental al desarrollo de todos los sectores de la sociedad.

La Educación Superior Tecnológica se ha convertido en los últimos años en pilar del desarrollo industrial y por consecuencia económico de los países alrededor del mundo, en ese contexto fue creado el Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica, actualmente Tecnológico Nacional de México, del cual formamos parte más de 260 Institutos Tecnológicos dando servicio de Educación Superior a una matrícula mayor a 520,000 estudiantes de todo el territorio nacional.

El Instituto Tecnológico de Apizaco se define como una institución comprometida en la formación de profesionales competitivos, con espíritu emprendedor y con un alto sentido humano que se incorporen en el mercado laboral de nuestro entorno.

Nuestro Instituto es reconocido por la Secretaría de Educación Pública como uno de los mejores Tecnológicos del país, esto ha sido fruto de una incansable actitud de mejora continua que caracteriza a todos los que trabajamos en esta noble casa de estudios.

Fundado hace cuarenta años, mismos que han permitido consolidar proyectos de sus fundadores, permitiendo una mejora continua en muchos aspectos, como lo es la Infraestructura física, formación de su capital humano, en posgrados, así como certificaciones y re-acreditaciones por diversos organismos nacionales, lo que permiten establecer una educación con altos estándares de calidad. Te invitamos a realizar un recorrido virtual de este sitio web donde encontrarás información relativa a esta institución y para que conozcas nuestros objetivos, proyectos, eventos y las diferentes actividades que cada día realizan los miembros de ésta comunidad tecnológica.

Valores:

Honestidad:

Se demuestra día a día a través de la transparencia con la ejecución de las actividades laborales cotidianas.

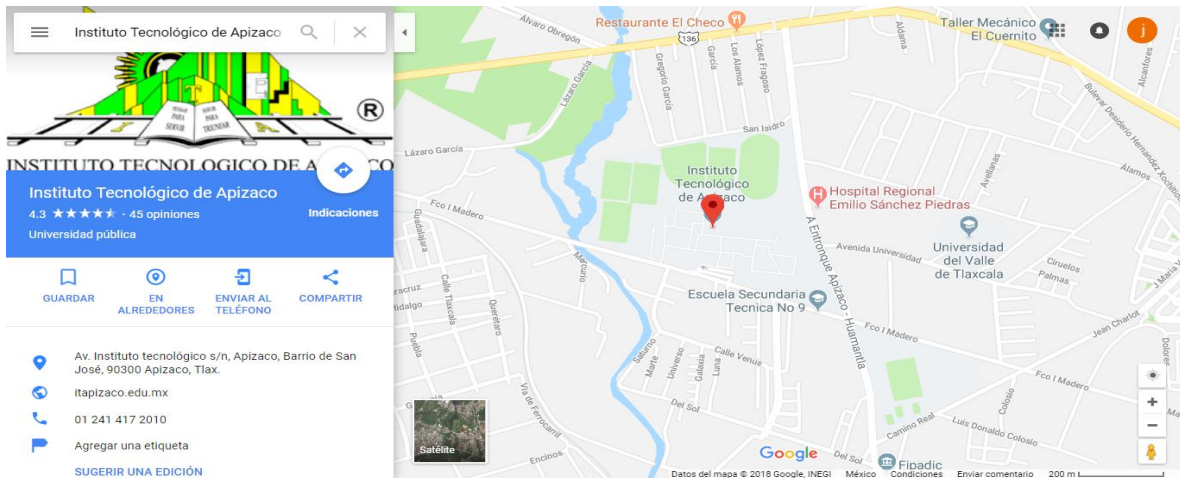
Responsabilidad:

Es la actitud que caracteriza al personal en el cumplimiento de su tarea con eficacia y eficiencia en beneficio de la comunidad.

Lealtad:

Es la actitud que caracteriza al personal del Instituto Tecnológico de Apizaco, aplica sus conocimientos y habilidades en el logro de las metas institucionales, sin olvidar en ningún momento el lema:

“Pensar para servir, servir para triunfar”



Giro: Es Instituto de Educación Superior en el Estado de Tlaxcala.

Dirección: Carretera Apizaco – Tzompantepec, esquina con Av. Instituto Tecnológico S/N, Conurbado Apizaco – Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90300

(Tel) 012414172010

FAX 01 241 41 8 03 21

Página web: <http://www.itapizaco.edu.mx>

Problemas a resolver

En la actualidad las energías renovables juegan un papel muy importante en la contribución al cuidado del medio ambiente, sin duda una de las energías renovables de mayor importancia es la energía solar. Es por ello que es de suma importancia desarrollar nuevos proyectos para el aprovechamiento de esta energía y al mismo tiempo realizar los estudios para analizar el comportamiento de esta misma.

Por ello se buscará la forma en aprovechar el calor irradiado por el sol captado a un sistema híbrido a base de un panel fotovoltaico acoplado a un canal y un sistema de aletas.

Se requiere desarrollar un diseño de un sistema híbrido en donde nos permita obtener las mediciones requeridas de temperatura, velocidad de fluido, radiación, presión), entre otras.

- Adecuación del sistema experimental para el análisis de flujos internos.
- Pruebas experimentales al sistema híbrido.
- Rediseñar el sistema.
- Análisis de los datos obtenidos.

Objetivo general

Desarrollar sistemas experimentales para remover energía térmica aun sistema fotovoltaico.

Objetivos específicos

- Realizar pruebas experimentales a sistema en el cual se realice el registro de los datos obtenidos.
- Analizar los datos obtenidos en las pruebas para verificar el comportamiento del sistema.
- Determinar donde se requiere una mejora al equipo para así poder rediseñar el sistema de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas.
- Ya implementada la mejora, realizar nuevamente las pruebas y verificar el comportamiento del sistema.

Justificación

Desarrollo de nuevas tecnologías, en la formación como ingenieros electromecánicos obteniendo más conocimientos.

Trabajar con tecnologías no comunes, tecnologías renovables aprovechando la energía del sol y del viento.

Realizar trabajos de residencias con conocimiento práctico.

Aprovechar los recursos naturales para generar energías renovables sin perjudicar el medio ambiente.

Capítulo 2 Fundamento teórico

2.1 Convección

El fenómeno de transferencia de calor por convección es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido (líquido o gas) en la vecindad de una superficie, y está íntimamente relacionado con su movimiento. Para explicar esto, considérese una placa cuya superficie se mantiene a una temperatura T_s y que disipa el calor hacia un fluido cuya temperatura T_∞ . La experiencia indica que el sistema disipa más calor cuando se le hace pasar aire proveniente de un ventilador que cuando sólo está expuesto al aire ambiente; de ello se desprende que la velocidad del fluido tiene un efecto importante sobre la transferencia de calor a lo largo de la superficie. De manera similar, la experiencia indica que el flujo de calor es diferente si la placa se enfría en agua o en aceite en vez de aire. De aquí las propiedades del fluido deben tener también una influencia importante en la transferencia de calor.

Puesto que la velocidad relativa del fluido con respecto a la placa es, en general, igual a cero en la interface sólido-fluido ($y=0$),* el calor se transfiere totalmente por conducción sólo en este plano del fluido. Sin embargo, aun cuando el calor disipado por la placa puede calcularse con la ecuación. El gradiente de temperatura en el fluido depende de las características, a menudo complejas, del flujo de éste. Por tanto, es más conveniente estimar el flujo de calor disipado por el sistema en términos de la diferencia total de temperaturas entre su superficie y el fluido. Es decir,

$$q' = h(T_s - T_\infty)$$

donde h es el coeficiente local de transferencia de calor o coeficiente de película.

Sus unidades en el SI son W/m^2K (watt por metro cuadrado kelvin).

El fenómeno de transferencia de calor por convección suele clasificarse en dos categorías: *convección forzada* y *convección libre o natural*. En la primera se hace pasar el fluido por el sistema mediante la acción de algún agente externo, digamos un ventilador, una bomba o agentes meteorológicos. Por su parte, en el segundo caso el movimiento del fluido es resultado de los gradientes en densidad que experimenta éste, al estar en contacto con una superficie a mayor temperatura y en presencia de un campo gravitacional (o centrífugo).

Un caso típico de convección forzada es el radiador en el sistema de enfriamiento del motor de un automóvil u otro intercambiador de calor.

De igual manera, ejemplos clásicos de convección libre son el calentamiento de agua en un recipiente antes de sufrir ebullición o el enfriamiento de equipo eléctrico (algunos transformadores, transistores, etcétera).

2.2 Constante solar

La constante solar se considera la cantidad de energía por unidad de tiempo y área que alcanza la atmósfera terrestre sobre una superficie normal al sol. Su valor es de 1.367 vatios por metro cuadrado de superficie.

Sin embargo, la atmósfera la atenúa, tal como se ha indicado, por efecto de las reflexiones sobre las nubes y por la absorción al atravesar las moléculas de aire, el ozono, el vapor de agua, etc., con lo que el valor práctico que se toma para los cálculos de las instalaciones solares térmicas sobre la superficie terrestre es de 1kW/m^2 , valor que, no obstante, sufre otros decrementos por las condiciones que se describen en los siguientes apartados.

Para cuantificar la radiación solar recibida del sol se emplean cotidianamente dos unidades que la definen en forma de potencia (W) o de energía (J). Éstas son:

Irradiancia. Define este término la potencia correspondiente al valor de la radiación sobre la superficie. Se expresa como W/m^2 .

Irradiación. Define el valor de la energía, ya que corresponde a la radiación sobre una superficie dada y durante un periodo de tiempo determinado. Se expresa en Wh/m^2 o bien en J/m^2 , que es la notación más empleada.

Se puede establecer una equivalencia entre las expresiones que definen la radiación solar en potencia y en energía. Así, empleando las expresiones más cotidianas de kilovatio (kW) y megaJulio (MJ):

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

2.3 Condiciones de la radiación

La radiación solar no es constante en toda la franja diurna. Intervienen factores tales como el estado momentáneo de la atmósfera, la hora del día y la estación del año. Así, la indicada cantidad de irradiación solar de 1kW/m^2 sobre la superficie terrestre se da sólo en la condición de día completamente despejado y al mediodía.

Cuando se expresa el valor de la energía, ésta puede proceder de radiación directa del sol o bien de la denominada difusa, que corresponde a la reflejada por las nubes.

De cualquier modo, la energía que recibe una superficie es la global, que corresponde a la suma de ambas.

En las instalaciones de energía solar térmica para obtener ACS, climatización, etc., se pueden dar dos situaciones para las que es preciso conocer sus condiciones para poder dimensionarlas:

Aplicación temporal. La instalación se emplea sólo durante una franja determinada del año (invierno, verano, etc.).

Aplicación permanente. Su instalación se emplea durante todo el año.

Para el primer tipo de instalación es preciso conocer el valor promedio de la energía incidente durante el periodo de empleo elegido, creciendo de importancia el del resto del año, y para la segunda se debe conocer el valor más desfavorable, por ejemplo el que se da en invierno, para dimensionar la instalación solar del modo más adecuado que permita mantener el servicio en todo momento.

2.4 Posición de los captadores solares

Es muy de tener cuenta las condiciones de la geometría orbital para poder situar los paneles solares en la posición en la que capten la máxima energía durante el mayor tiempo del arco solar en su recorrido Este-Oeste. La figura muestra un ejemplo de situación de un panel solar con respecto al citado recorrido del sol.

Para tal condición debe tenerse en cuenta que la posición del supuesto panel tiene dos ejes de fijación, que corresponden al azimut (posición Este- Oeste) y a la elevación (φ , inclinación con respecto al plano horizontal de tierra).

A efectos prácticos de orientación, sin recurrir a complejos cálculos, tales ejes pueden tener las siguientes condiciones:

- Azimut. Orientación hacia el sur geográfico (en el hemisferio Norte). Por definición, es el ángulo formado por el plano de la altura que contiene la línea de un astro y el plano del meridiano del lugar.
- Elevación. Valor coincidente con la latitud del lugar.

Si la instalación solar es de condición permanente, la elevación será la indicada, que corresponde a un valor práctico promedio, pero si es estacional, se puede optimizar su captación introduciendo la siguiente corrección en el valor de la elevación.

- Periodo estival = -10°
- Periodo invernal = $+10^\circ$

Otro aspecto a considerar ante la instalación de captadores solares es la separación mínima que debe existir entre sus filas para que no se hagan sombra durante ninguna estación del año.

En efecto, cuando el dimensionado requiere algunas filas de captadores, la separación mínima entre ellas debe garantizar que no se proyecte sombra de una fila sobre la adyacente en ningún momento de la trayectoria solar.

2.5 Transferencia de la energía

La energía se puede transferir hacia una masa dada, o desde ésta, por dos mecanismos: *calor* Q y *trabajo* W . Una interacción energética es transferencia de calor si su fuerza impulsora es una diferencia de temperatura. De lo contrario, es trabajo. Tanto un pistón que sube, como una flecha rotatoria y un alambre eléctrico que crucen las fronteras del sistema, están asociados con interacciones de trabajo. El trabajo realizado por unidad de tiempo se llama potencia y se denota W .

En la vida diaria con frecuencia se hace referencia a las formas latente y sensible de la energía interna como calor y se habla del contenido de calor de los cuerpos. Sin embargo, en la termodinámica a esas formas de energía se les suele mencionar como energía térmica, con el fin de impedir que se tenga una confusión con la transferencia de calor. La transferencia de calor hacia un sistema con frecuencia se menciona como adición de calor y la transferencia de calor hacia afuera de un sistema como rechazo de calor.

Llamaremos a la energía térmica *calor* y a la transferencia de energía térmica *transferencia de calor*. La cantidad de calor transferido durante el proceso se denota por Q . La cantidad de calor por unidad de tiempo se llama razón de transferencia de calor y se denota por $\dot{Q}$. La velocidad de transferencia de calor, $\dot{Q}$, tiene la unidad J/s, lo cual es equivalente a W.

2.6 Mecanismos de transferencia de calor

Se define el calor como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro, como resultado de la diferencia de temperatura.

Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación.

Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.

2.7 Conductividad térmica

Se sabe que los diferentes materiales almacenan calor en forma diferente y se ha definido la propiedad de calor específico c_p como una medida de la capacidad de un material para almacenar energía térmica. Por ejemplo, $c_p = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, para el agua, y $c_p = 0.45 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, para el hierro, a la temperatura ambiente, indica que el agua puede almacenar aproximadamente 10 veces más energía que el hierro por unidad de masa. Del mismo modo, la conductividad térmica k es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. Por ejemplo, $k = 0.607 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, para el agua, y $k = 80.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, para el hierro, a la temperatura ambiente, indican que el hierro conduce el calor más de 100 veces más rápido que el agua.

La conductividad térmica de un material se puede definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante.

2.8 Numero de Nusselt

Los estudios sobre convección, es práctica común quitar las dimensiones a las ecuaciones que rigen y combinar las variables, las cuales se agrupan en números adimensionales, en fin de reducir el número de variables totales. También es práctica común quitar las dimensiones del coeficiente de transferencia de calor h con el número de nusselt, que se define como:

$$\text{Nu} = \frac{hL_c}{k}$$

Donde k es la conductividad térmica del fluido y L_c es la longitud característica. Para comprender el significado físico del número de nusselt, considere una capa de fluido de espesor L y diferencia de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$, como se muestra en la figura 2.2. La transferencia de calor a través de la capa de fluido será por convección cuando esta última tenga algún movimiento y por conducción cuando este inmóvil.

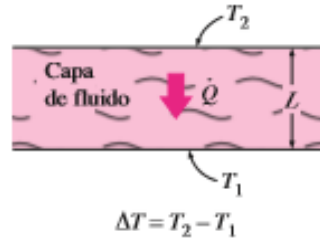


Figura 2-1 Transferencia de calor a través de una capa de fluido de espesor L y diferencia de temperatura ΔT .

En cualquier de los dos casos. El flujo de calor (la velocidad de transferencia de calor por unidad de tiempo por unidad de área superficial) es:

$$\dot{q}_{conv} = h\Delta T$$

Y

$$\dot{q}_{cond} = k \frac{\Delta T}{L}$$

Al dividir ambas ecuaciones da:

$$\frac{\dot{q}_{conv}}{\dot{q}_{cond}} = \frac{h\Delta T}{k\Delta T/L} = \frac{hL}{k} = Nu$$

Lo cual es el número de Nusselt. Por lo tanto, el número de Nusselt representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa. Entre mayor sea el número de Nusselt, más eficaz es la convección. Un número de Nusselt de $Nu = 1$ para una capa de fluido representa transferencia de calor a través de esta por conducción pura.

2.9 Flujo laminar en comparación con el turbulento

Algunos flujos son suaves y ordenados, mientras que otros son un tanto caóticos. El movimiento de fluidos intensamente ordenado, caracterizado por capas suaves, se conoce como laminar. La palabra *laminar* proviene del movimiento de las partículas adyacentes de fluido reunidas en “láminas”. El flujo de los fluidos altamente viscosos, como los aceites a bajas velocidades, comúnmente es laminar. El movimiento altamente desordenado de los fluidos que, en general, se tiene a altas velocidades y que se caracteriza por fluctuaciones en la velocidad se conoce como turbulento (figura 2.4). Lo común es que el flujo de fluidos de baja viscosidad, como el aire a altas velocidades, sea turbulento. El régimen de flujo influye mucho en la potencia requerida para el bombeo. Un flujo que se alterna entre laminar y turbulento se conoce como de transición.

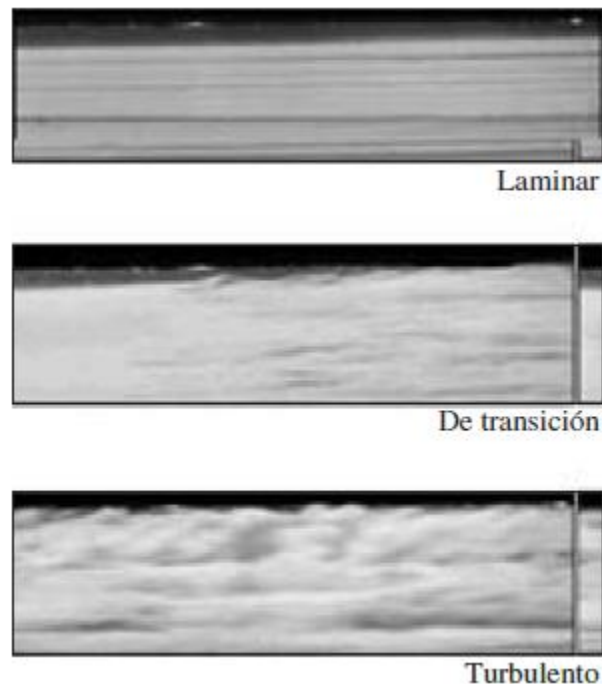


Figura 2-2 Flujos laminar, de transición y turbulento.

2.10 Numero de Prandtl

La mejor manera de describir el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica es por medio del parámetro número de Prandtl adimensional, definido como:

$$Pr = \frac{\text{Difusividad molecular de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusividad molecular de calor}} = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k}$$

Los números de Prandtl de los fluidos van desde menos de 0.01 para los metales líquidos, hasta más de 100 000 para los aceites pesados tabla (2.1). Nótese que el número de Prandtl es del orden de 10 para el agua.

Fluido	Pr
Metales líquidos	0.004-0.030
Gases	0.7-1.0
Agua	1.7-13.7
Fluidos orgánicos	
ligeros	5-50
Aceites	50-100 000
Glicerina	2 000-100 000

Tabla 2-1 Rangos típicos de los números de Prandtl para fluidos comunes.

Los números de Prandtl para los gases son de alrededor de 1, lo cual indica que tanto la cantidad de movimiento como el calor se disipan a través de fluido a más o menos la misma velocidad. El calor se difunde con mucha rapidez en los metales líquidos ($Pr \ll 1$) y con mucha lentitud en los aceites ($Pr \gg 1$) en relación con la cantidad de movimiento. Como consecuencia, la capa límite térmica es mucho más gruesa para los metales líquidos y mucho más delgada para los aceites, en relación con la capa límite de la velocidad.

Los metales líquidos son una clase especial de fluidos con número de Prandtl muy bajos.

El número de Prandtl tan bajo se debe a la alta conductividad térmica de estos fluidos, dado que el calor específico y la viscosidad de los metales líquidos son muy comparables a otros fluidos comunes. Se han estudiado con considerable interés los metales líquidos como refrigerantes en aplicaciones donde grandes cantidades de calor deben eliminarse de un espacio relativamente pequeño, como en un reactor nuclear, por ejemplo. Los metales líquidos, además de tener altos valores de conductividad térmica, tienen una alta capacidad térmica, una baja presión de vapor y un punto de fusión bajo.

Permanecen en estado líquido a temperaturas más altas que los fluidos convencionales. Esto los hace más atractivos para usarlos en intercambiadores de calor compactos. No obstante, los metales líquidos son de naturaleza corrosiva y su contacto con el aire o agua puede generar una reacción violenta, por lo que se han desarrollado medidas adecuadas para su manejo.

2.11 Flujos laminar y turbulento.

En el primer caso, se dice que el régimen de flujo es laminar, caracterizado por líneas suaves de corriente y un movimiento altamente ordenado; en el segundo caso es turbulento y se caracteriza por fluctuaciones en la velocidad y un movimiento altamente desordenado.

La transición de flujo laminar al turbulento no ocurre en forma repentina; por el contrario, tiene lugar sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre laminar y turbulento, antes de volverse por completo turbulento. La mayor parte de los flujos que se encuentran en la práctica son turbulentos. Existe flujo laminar cuando los fluidos son fuertemente viscosos, como los aceites, fluyen en tubos pequeños o ductos estrechos.

Se puede verificar la existencia de estos regímenes de flujo laminar, de transición y turbulento al inyectar una vena de tinta en el flujo en un tubo de vidrio.

En la figura (2.5), también se dan perfiles típicos de velocidad promedio en flujo laminar y turbulento. Nótese que, en el turbulento, el perfil de velocidad está mucho más lleno que en el laminar, con una caída brusca cerca de la superficie. Se puede considerar que la capa límite turbulenta consta de cuatro regiones, caracterizadas por la distancia que hay hasta la pared. La capa muy delgada cercana a la pared, en donde los efectos viscosos son dominantes, es la subcapa viscosa. En esta, el perfil de velocidad es muy cercano al lineal y el flujo se presenta en líneas de corriente suaves.

A continuación está la capa intermedia, en la cual los efectos turbulentos se vuelven más significativos, pero el flujo todavía es dominado por los efectos viscosos. Arriba de la capa intermedia está la capa de traslape, en la cual los efectos turbulentos son mucho más significativos pero todavía no dominantes.

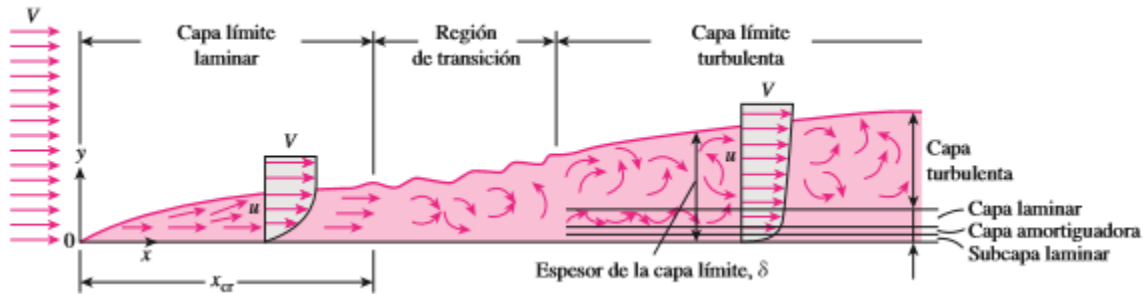


Figura 2-3 Desarrollo de la capa límite para el flujo sobre una placa plana y los diferentes regímenes de flujo.

Arriba de esa se encuentra la capa turbulenta, en la cual los efectos turbulentos dominan sobre los viscosos.

2.12 Numero de Reynolds

La transición del flujo laminar a turbulento depende de la configuración geométrica de la superficie, de la aspereza superficial, de la velocidad del flujo, de la temperatura de la superficie y del tipo de fluido, entre otras cosas. Esta razón se conoce como número de Reynolds, el cual es una cantidad adimensional y se expresa para el flujo externo como (figura 2.6):

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} \\
 &= \frac{\rho V_{\text{prom}}^2 L^2}{\mu V_{\text{prom}} L} \\
 &= \frac{\rho V_{\text{prom}} L}{\mu} \\
 &= \frac{V_{\text{prom}} L}{\nu}
 \end{aligned}$$

Figura 2-4 El número de Reynolds se puede concebir como la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas que actúan sobre el elemento de un fluido

$$Re = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza viscosas}} = \frac{VL_c}{\nu} = \frac{\rho V L_c}{\mu}$$

Donde V es la velocidad corriente superior (equivalente a la velocidad de la corriente libre para una placa plana), L_c es la longitud característica de la configuración geométrica y $\nu = \mu/\rho$ es la viscosidad cinemática del fluido. Para una placa plana, la longitud característica es la distancia x desde el borde de ataque. Nótese que la viscosidad cinemática tiene la unidad de m^2/s , que es idéntica a la de la difusividad térmica, y se puede concebir como la difusividad viscosa o la difusividad para la cantidad de movimiento.

A número de Reynolds grandes, las fuerzas de inercia, que son proporcionales a la densidad y a la velocidad del fluido, son grandes en relación con las fuerzas viscosas y, como consecuencia, estas últimas no pueden impedir las fluctuaciones aleatorias y rápidas del fluido. Sin embargo, a números de Reynolds pequeños o moderados, las fuerzas viscosas son suficientemente grandes como para suprimir estas fluctuaciones y mantener “alineado” el fluido. Por lo tanto, en el primer caso el flujo es turbulento y en el segundo, laminar.

El número de Reynolds en el cual el flujo se vuelve turbulento se llama número crítico de Reynolds. El valor de este número crítico es diferente para configuraciones diferentes. Para el flujo sobre una placa plana, el valor aceptado en general del número crítico de Reynolds es $Re_{cr} = Vx_{cr}/\nu = 5 \times 10^5$, donde x_{cr} es la distancia desde el borde de ataque de la placa a la cual ocurre la transición de flujo laminar a turbulento. No obstante, el valor de Re_{cr} puede cambiar de manera sustancial dependiendo del nivel de turbulencia en la corriente libre.

2.13 Flujo paralelo sobre placas planas

Considere el flujo paralelo de un fluido sobre una placa plana de longitud L en la dirección del flujo, como se muestra en la siguiente figura 2.9. La coordenada x se mide a lo largo de la superficie de la placa, desde el borde de ataque, en la dirección del flujo. El fluido se aproxima a la placa en la dirección x con una velocidad uniforme V , y temperatura T_∞ . El flujo en la capa límite de velocidad se inicia como laminar, pero si la placa es suficientemente larga, el flujo se volverá turbulento a una distancia x_{cr} a partir del borde de ataque, donde el número de Reynolds alcanza su valor crítico para la transición.

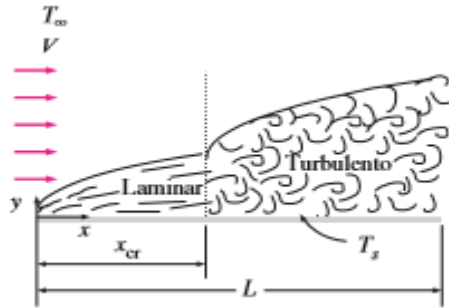


Figura 2-5 Regiones laminar y turbulenta de la capa en el flujo sobre una placa plana.

La transición de flujo laminar hacia turbulento depende de la configuración geométrica de la superficie, de su aspereza, de la velocidad corriente arriba, de la temperatura superficial y del tipo del fluido, entre otras cosas, y se le caracteriza de la menor manera por el número de Reynolds.

El número de Reynolds a una distancia x desde el borde de ataque de una placa plana se expresa como:

$$Re_x = \frac{\rho V x}{\mu} = \frac{V x}{\nu}$$

Nótese que el valor del número de Reynolds varía para una placa plana a lo largo del flujo, hasta llegar a $Re_L = VL/\nu$ al final de la misma.

Para un flujo sobre una placa plana, la transición del flujo de laminar a turbulento empieza alrededor de $Re = 1 \times 10^5$, pero no se vuelve por completo turbulento antes de que el número de Reynolds alcance valores mucho más elevados, comúnmente alrededor de 3×10^6 . En el análisis de ingeniería, un valor generalmente aceptado para el número crítico de Reynolds es:

$$Re_{cr} = \frac{\rho V x_{cr}}{\mu} = 5 \times 10^5$$

El valor real del número crítico de Reynolds en ingeniería, para una placa plana, puede variar desde 10^5 hasta 3×10^6 , dependiendo de la aspereza superficial, el nivel de turbulencia y la variación de la presión a lo largo de la superficie.

2.14 Flujo sobre bancos de tubos

En la práctica es común encontrar flujo cruzado sobre bancos de tubos en equipos de transferencia de calor, como los condensadores y evaporadores las plantas generadoras de energía eléctrica, los refrigeradores y los acondicionadores de aire.

En ese equipo, un fluido se mueve por dentro de los tubos, mientras que el otro se mueve sobre estos en una dirección perpendicular. En un intercambiador de calor que contiene un banco de tubos, estos suelen colocarse en una coraza y de ahí el nombre de intercambiador de calor de coraza y tubos, en especial cuando el fluido es un líquido, y este fluye a través del espacio entre los tubos y el casco.

El flujo por el interior de los tubos se puede analizar al considerar el flujo por uno solo de ellos, y al multiplicar los resultados por el número de tubos. Sin embargo, este no es el caso para el flujo sobre los tubos, ya que influyen sobre el patrón de flujo y el nivel de turbulencia corriente abajo y, por consiguiente, sobre la transferencia de calor hacia ellos o desde ellos, como se muestra en la siguiente figura 2.10. Por lo tanto cuando se analiza la transferencia de calor desde un banco de tubos en flujo cruzado, se deben considerar a la vez todos los tubos en el haz.

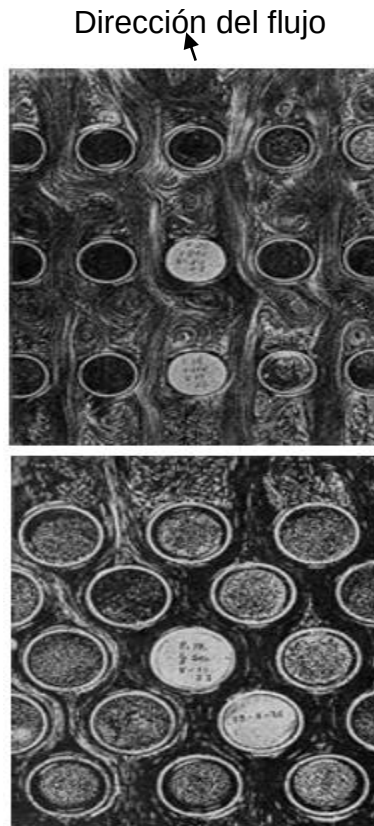
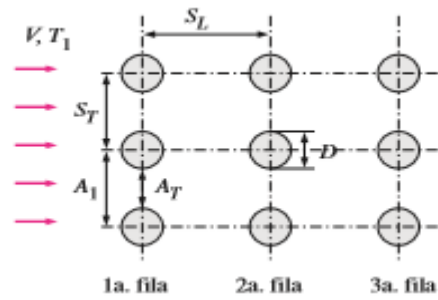


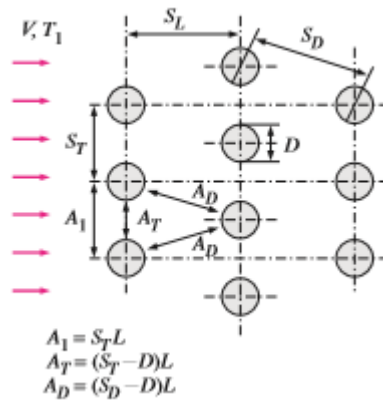
Figura 2-6 Patrones de flujo para los bancos de tubos alineados o escalonados.

Los tubos en un banco suelen disponerse alineados o escalonados en la dirección del flujo, como se muestra en la siguiente figura 2.11. El diámetro exterior del tubo D se toma como la longitud característica. La disposición de los tubos en el banco se caracteriza por el paso transversal S_T , el paso longitudinal S_L y el paso diagonal S_D entre los centros de los tubos. El paso diagonal se determina a partir de:

$$S_D = \sqrt{S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2}\right)^2}$$



(a).- Dirección del flujo alineado.



(b).- Dirección del flujo escalonado

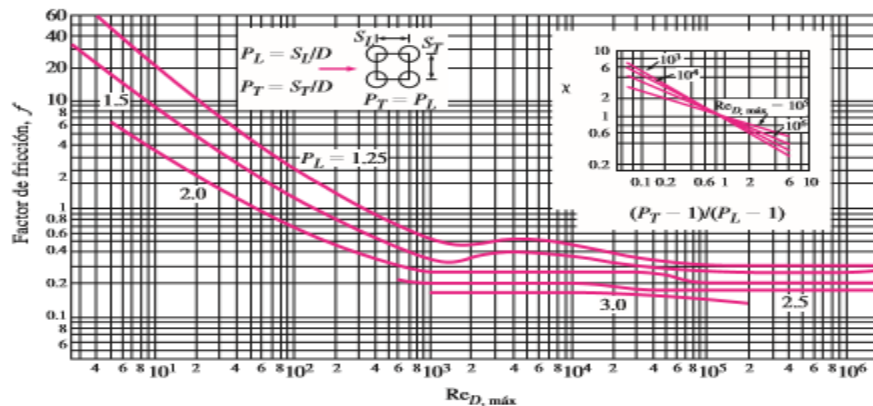
Figura 2-7 Configuración de los tubos en los bancos alineados o escalonados (A_1 , A_T y A_D son las áreas de flujo en los lugares indicados y L es la longitud de los tubos).

2.15 Caída de presión

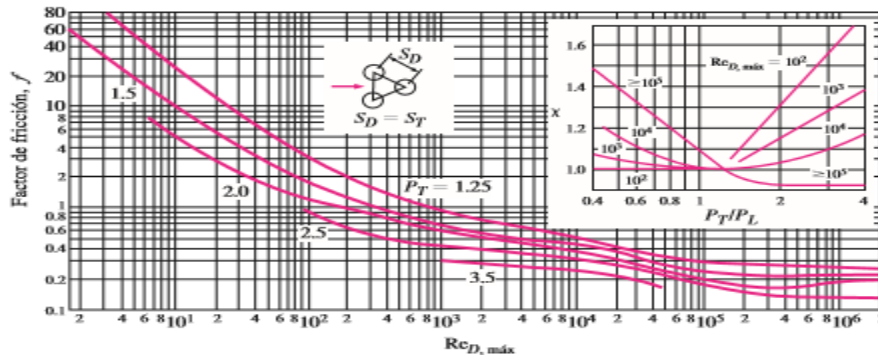
Otra cantidad de interés asociada con los bancos de tubos es la caída de presión, ΔP , la cual es la diferencia entre la presión en la admisión y la salida de bancos. Es una medida de la resistencia que los tubos ofrecen al flujo sobre ellos y se expresa como:

$$\Delta P = N_L f \chi \frac{\rho V_{\max}^2}{2}$$

Donde f es el factor de fricción y χ es el factor de corrección, las gráficas de ambos se dan en la figura (2.12 a y b), contra el numero de Reynolds, con base en la velocidad máxima $V_{\max}$. El factor de fricción de la figura (2.12a) es par un banco cuadrado de tubos alineados ($S_T = S_L$) y el factor de corrección dado en el inserto se usa para tomar en cuenta los efectos de la desviación de las disposiciones rectangulares alineadas con respecto a la disposición cuadrada. De manera análoga, el factor de fricción de la figura (2.12b) es par un banco equilátero de tubos escalonados ($S_T = S_D$) y el factor de corrección es para tomar en cuenta los efectos de la desviación con respecto a la disposición equilátera. Nótese que $\chi = 1$ tanto para la disposición cuadrada como para la de triángulo equilátero. Asimismo, la caída de presión se presenta en la dirección del flujo y, como consecuencia, en la relación de ΔP se usa N_L (el número de filas).



a).- Disposición de alineados



b).- Disposición escalonada

Figura 2-8 Factor de fricción f y el factor de corrección χ para bancos de tubos

La potencia requerida para mover un fluido a través de un banco de tubos es proporcional a la caída de presión y, cuando se cuenta con esta caída, la potencia requerida de bombeo se puede determinar a partir de:

$$\dot{W}_{bomba} = \dot{V} \Delta P = \frac{\dot{m} \Delta P}{\rho}$$

2.16 Aletas de transferencia de calor

Las aletas de enfriamiento son las que aumentan la transferencia de calor. Que modela la velocidad de transferencia de calor por convección entre una superficie y el fluido que lo rodea, y teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos tanto T_s (Temperatura de la superficie) como T_f (Temperatura del fluido) son condiciones de diseño prefijadas, las posibilidades para incrementar la velocidad de transferencia de calor desde una superficie al fluido que la rodea son:

- Aumentar el valor del coeficiente de película (h). Esto se puede hacer, por ejemplo, utilizando un ventilador para forzar la convección. En muchas ocasiones esta solución no resulta económicamente rentable o es demasiado complicada.
- Aumentar la superficie de intercambio (A_s) mediante elementos adicionales llamados, en general, aletas.

2.16.1 Para que se utilizan las aletas

Las aletas se utilizan en todos los enfriadores de aire, refrigeradores en seco, evaporadores y condensadores para transferir energía desde un medio líquido o refrigerante principal al aire aunque, en determinadas situaciones, el aire puede estar tan sucio que exista un riesgo de bloqueo. Las aletas aumentan la transferencia de calor de los enfriadores de aire y constan de placas de metal delgadas, con un espesor de 0,12-0,5 mm, que se encuentran fijadas a un enfriador de aire. Normalmente, las aletas están hechas de aluminio, material que tiene una buena conductividad térmica.

La transferencia de calor entre el metal y el aire resulta menos eficaz que desde el líquido al metal, por lo que se utiliza las aletas para aumentar la superficie global y compensar así el menor rendimiento metal-aire.

2.16.2 Material con que se construyen

Las aletas de enfriamiento están hechas de materiales intensamente conductores como el aluminio. Mejoran la transferencia de calor desde una superficie al exponer un área más grande a la convección y radiación; son de uso común en la práctica para mejorar la transferencia de calor y a menudo incrementar la velocidad de esas transferencias desde una superficie con varios dobleces.

2.16.3 Tipos de aletas de transferencia de calor

Aleta recta de sección transversal uniforme: Es cualquier superficie prolongada que se une a una pared plana. Puede ser de área de sección transversal uniforme o el área de sección transversal puede variar con la distancia desde la pared.



Ecuación:

$$A_f = 2wL_c$$

$$L_c = L + (t/2)$$

$$m = (2h/kt)^{1/2}$$

Siendo $w \gg t$

Eficiencia:

$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$$

2.16.4 Aleta rectangular recta

La aleta rectangular recta de la figura (a) tiene ancho W y espesor $2t$. El área de la sección transversal es

$A_c = 2tW$, y el perímetro es $p = 2(W + 2t)$. Para $W \gg t$, el cociente p/A_c es simplemente $1/t$, y

$$\beta = (h_c / kt)^{1/2}.$$



2.17 Flujos laminar y turbulento en tubos

El flujo en un tubo puede ser laminar o turbulento, dependiendo de las condiciones del mismo. El flujo de fluidos sigue líneas de corriente y, como consecuencia, es laminar a velocidades bajas, pero se vuelve turbulento conforme se incrementa la velocidad más allá de un valor crítico. La transición de flujo laminar a turbulento no ocurre de manera repentina; más bien, se presenta sobre algún intervalo de velocidad, donde el flujo fluctúa entre laminar y turbulento antes de volverse por completo turbulento.

La mayor parte de los flujos en tubos que se encuentran en la práctica son turbulentos. El flujo laminar se encuentra cuando fluidos intensamente viscosos, como los aceites, fluyen en tubos de diámetro pequeño o pasos angostos.

Para el flujo en un tubo circular, el número de Reynolds se define como D^2

$$Re = \frac{V_{prom} D}{\nu} = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu} = \frac{\rho D}{\mu} \left(\frac{\dot{m}}{\rho \pi D^2 / 4} \right) = \frac{4 \dot{m}}{\mu \pi D}$$

en donde V_{prom} es la velocidad promedio del flujo, D es el diámetro del tubo y

$\nu = \mu/\rho$ es la viscosidad cinemática de fluido.

Para el flujo por tubos no circulares, el número de Reynolds así como el número de Nusselt y el factor de fricción se basan en el diámetro hidráulico D_h , definido como (figura 2-15)

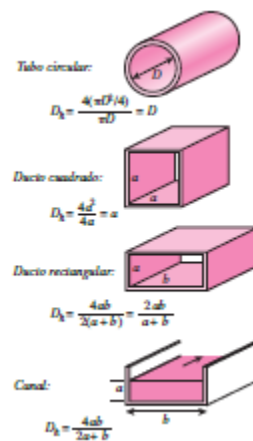


Figura 2-9 El diámetro hidráulico $D_h = 4A_c/p$ se define en tal forma. que se reduce al diámetro común para los tubos circulares. cuando hay una superficie libre, como en el flujo de canal abierto, el perímetro Húmedo incluye sólo las paredes en contacto con el fluido.

$$D_h = \frac{4A_c}{p}$$

donde A_c es el área de la sección transversal del tubo y p es su perímetro.

El diámetro hidráulico se define en tal forma que se reduce al diámetro hidráulico D para los tubos circulares, ya que

Tubos circulares
$$D_h = \frac{4A_c}{p} = \frac{4\pi D^2/4}{\pi D} = D$$

Por supuesto, resulta conveniente tener valores precisos de los números de Reynolds para los flujos laminar, de transición y turbulento, pero, en la práctica, este no es el caso. Esto se debe a que la transición de flujo laminar a turbulento también depende del grado de perturbación que ese flujo recibe por parte de la aspereza de la superficie, las vibraciones del tubo y las fluctuaciones en el flujo. En las condiciones más prácticas, el flujo en un tubo es laminar para $Re < 2\,300$, turbulento para $Re > 10\,000$ y, en los valores intermedios, de transición. Pero se debe tener presente que, en muchos casos, el flujo se vuelve completamente turbulento para $Re > 4\,000$. Cuando se diseñan redes de tuberías y se determina la potencia del bombeo, se aplica un enfoque conservador y se supone que los flujos con $Re > 4000$ son turbulentos.

En el flujo de transición éste oscila entre laminar y turbulento de manera aleatoria (figura 2-16).

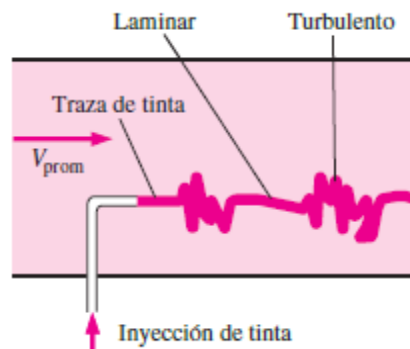


Figura 2-10 En la región de transición, el flujo cambia aleatoriamente entre laminar y turbulento.

Se debe tener presente que, en tubos muy lisos, se puede mantener el flujo laminar con número de Reynolds mucho más altos, con el fin de evitar las perturbaciones del flujo y las vibraciones del tubo. En experimentos cuidadosamente controlados de esa manera, se ha mantenido el flujo laminar con número de Reynolds de hasta 100 000.

2.18 Flujo constante de calor en la superficie ($\dot{q}_s = \text{constante}$)

En el caso de $\dot{q}_s = \text{constante}$, la razón de la transferencia de calor también se puede expresar como:

$$\dot{Q} = \dot{q}_s A_s = \dot{m} c_p (T_e - T_i) \quad (\text{W})$$

Entonces, la temperatura media del fluido en la salida del tubo queda:

$$T_e = T_i + \frac{\dot{q}_s A_s}{\dot{m} c_p}$$

Note que la temperatura media del fluido se incrementa *linealmente* en la dirección del flujo en el caso de flujo de calor constante en la superficie, puesto que el área superficial aumenta en forma lineal en esa dirección (A_s es igual al perímetro, el cual es constante, multiplicado por la longitud del tubo.)

En el caso de flujo de calor constante en la superficie, $\dot{q}_s$, la temperatura superficial se puede determinar a partir de

$$\dot{q}_s = h (T_s - T_m) \rightarrow T_s = T_m + \frac{\dot{q}_s}{h}$$

En la región completamente desarrollada, la temperatura superficial T_s también se incrementará linealmente en la dirección del flujo, dado que h es constante y, por lo tanto, $T_s - T_m = \text{constante}$ (figura 2.22).

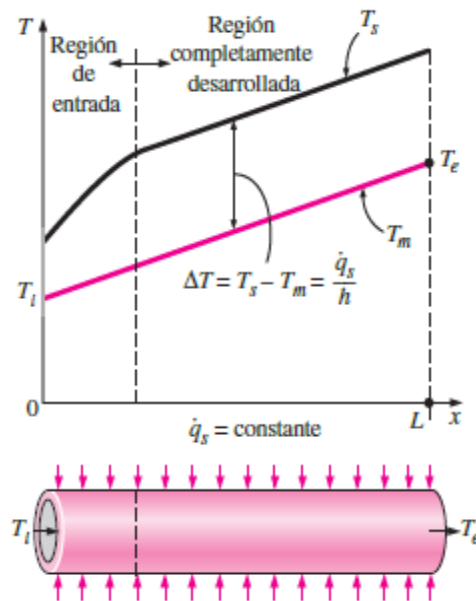


Figura 2-11 Variación de las temperaturas superficial del tubo y media del fluido a lo largo del tubo para el caso del flujo constante de calor en la superficie.

Por supuesto, esto se cumple cuando las propiedades del fluido permanecen constantes en el flujo.

Se puede determinar la pendiente de la temperatura media del fluido T_m en un diagrama T - x mediante la aplicación de un balance de energía de flujo estacionario a una rebanada del tubo de espesor dx , mostrada en la figura 2.23.

Esto da

$$\dot{m} C_p dT_m = \dot{q}_s (p dx) \rightarrow \frac{dT_m}{dx} = \frac{\dot{q}_s p}{\dot{m} C_p} = \text{constante}$$

Donde p es el perímetro del tubo.

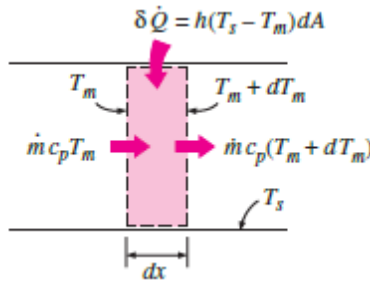


Figura 2-12 Interacciones energéticas para un volumen diferencial de control en un tubo.

Puesto que $\dot{q}_s$ y h son constantes, la derivación de la ecuación anterior con respecto a x da

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{dT_s}{dx}$$

Asimismo, el requisito de que el perfil de temperatura adimensional permanezca inalterado en la región completamente desarrollada da

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{T_s - T}{T_s - T_m} \right) = 0 \rightarrow \frac{1}{T_s - T_m} \left(\frac{\partial T_s}{\partial x} - \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0 \rightarrow \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{dT_s}{dx}$$

puesto que $T_s - T_m = \text{constante}$. Al combinar las ecuaciones 8-19, 8-20 y 8-21, da

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{dT_s}{dx} = \frac{dT_m}{dx} = \frac{\dot{q}_s p}{\dot{m} C_p} = \text{constante}$$

Entonces, se concluye que en el flujo completamente desarrollado en un tubo sujeto a flujo constante de calor en la superficie, el gradiente de temperatura es independiente de x y, por lo tanto, la forma del perfil de temperaturas no cambia a lo largo del tubo (figura 2.24).

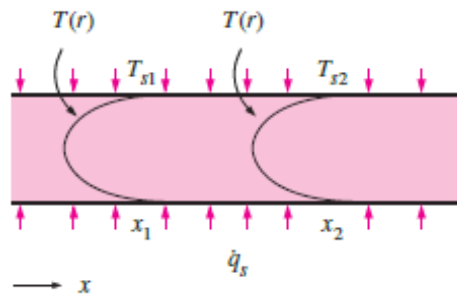


Figura 2-13 La forma del perfil de temperaturas permanece inalterada en la región completamente desarrollada de un tubo sujeto a flujo constante de calor en la superficie.

Al integrar la ecuación de $x = 0$ (entrada del tubo $T_m = T_i$), obtenemos una expresión para la variación de la temperatura media a lo largo del tubo para el caso de flujo constante de calor

$$T_m = T_i + \frac{\dot{q}_s p}{\dot{m} c_p} x$$

Tras evaluar la ecuación anterior $x = L$ (salida del tubo donde $T_m = T_e$) y al reconocer que $A_s = pL$, se obtiene la ecuación 8-17. A partir de la ecuación anterior se puede concluir de nuevo que la temperatura media varía linealmente con x a lo largo del tubo para el caso de flujo constante de calor.

Par un tubo circular, $p = 2\pi R$ y $\dot{m} = \rho V_{prom} A_c = \rho V_{prom} (\pi R^2)$, la ecuación 8-22 queda

Tubo circular:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{dT_s}{dx} = \frac{dT_m}{dx} = \frac{2\dot{q}_s}{\rho V_{prom} c_p R} = \text{constante}$$

donde V_{prom} es la velocidad media del fluido.

2.19 Temperatura superficial constante ($T_s = \text{constante}$)

Con base en la ley de Newton del enfriamiento, la razón de la transferencia de calor desde o hacia un fluido, que fluye en un tubo se puede expresar como:

$$\dot{Q} = hA_s \Delta T_{prom} = hA_s (T_s - T_m)_{prom} \quad (W)$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección promedio, A_s es el área superficial para la transferencia de calor (es igual a πDL para un tubo circular de longitud L) y ΔT_{prom} es alguna diferencia *promedio* apropiada de temperatura entre el fluido y la superficie.

En el caso de temperatura superficial constante ($T_s = \text{constante}$), ΔT_{prom} se puede expresar aproximadamente por la diferencia media aritmética de temperatura ΔT_{ma} como

$$\begin{aligned} \Delta T_{prom} \approx \Delta T_{ma} &= \frac{\Delta T_i + \Delta T_e}{2} = \frac{(T_s - T_i) + (T_s - T_e)}{2} = T_s - \frac{(T_i - T_e)}{2} \\ &= T_s - T_b \end{aligned}$$

donde $T_b = (T_i + T_e)/2$ es la *temperatura promediada entre su entrada y salida del fluido*, la cual es el *promedio aritmético* de las temperaturas medias del fluido en la admisión y la salida del tubo.

Capítulo 3 Desarrollo del proyecto

3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

Tabla 3.1 de actividades a realizar durante el periodo de enero-junio.

	Actividad	Descripción
1	ADECUACIÓN DEL SISTEMA EXPERIMENTAL PARA ANÁLISIS DE FUJOS INTERNOS.	Acoplar canal de flujo interno con cavidades de geometría asimétrica
2	INSTALACIÓN DEL SISTEMA EXPERIMENTAL Y PUESTA EN OPERACIÓN.	Suministrar energía eléctrica e instalación de equipos de medición (velocidad del viento, de temperatura, de humedad) para estar monitoreando y obtener todos los datos posibles.
3	COLECCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS.	Realizar pruebas experimentales, registrando parámetros termo-físicos del sistema y parámetros ambientales
4	REDISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL PARA OPERAR CON FLUJOS NATURALES Y FORZADOS.	Acoplamiento de ventilador axial con variador de velocidad. Acoplamiento de extensión de canal para provocar el tiro natural.
5	MAQUINAR PIEZAS PARA ADECUACIÓN DEL SISTEMA EXPERIMENTAL PARA FLUJOS EXTERNOS (AEROGENERADOR).	Maquinar piezas para el montaje de un aerogenerador multi-pala de eje horizontal (álabes, veleta y eje principal que soporta todo el aerogenerador).
6	ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL EÓLICO (AEROGENERADOR).	Acoplar partes (veleta, álabes del aerogenerador), colocar generador eléctrico, montaje o instalación de piezas del generador.
7	MONTAJE DEL SISTEMA EÓLICO.	Instalación en campo del aerogenerador en torre de 7 metros. Fijación de tirantes de la torre del aerogenerador
8	COLECCIÓN DE DATOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA EÓLICO.	Instalación de sensores de variables climáticas (velocidad del viento, temperatura ambiente y registro de las mismas). Obtener los datos (velocidad del viento, generación de energía eléctrica).
9	ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES.	Graficar los datos experimentales, generar tablas y gráficas, evaluar su capacidad de generación del sistema.
10	REPORTE TÉCNICO FINAL.	Elaboración del reporte final del proyecto, analizar los datos obtenidos mediante las pruebas experimentales. Elaborar el reporte de los resultados finales.

Tabla 3-1 Actividades a realizar

3.2 Ubicación del sistema híbrido solar

El lugar donde está situado el sistema híbrido solar es afuera del edificio F de Ing. Electromecánica en el Instituto Tecnológico de Apizaco.

Ubicado en la carretera Apizaco – Tzompantepec, esquina con Av. Instituto Tecnológico S/N, Conurbado Apizaco – Tzompantepec, Tlaxcala.

Coordenadas 19.4073107, -91.1211184

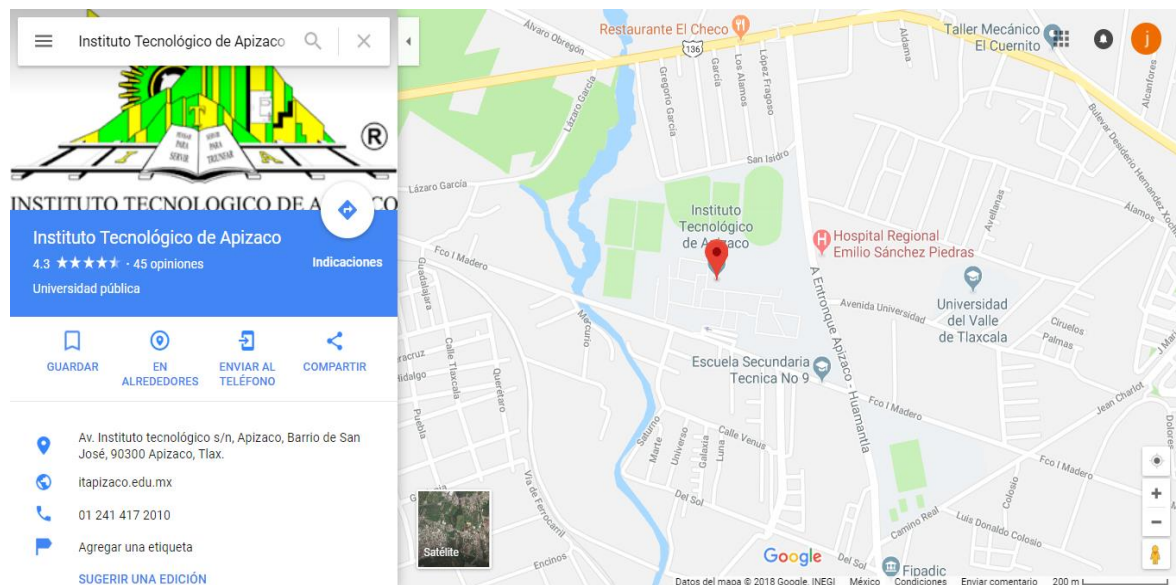


Figura 3-1 Ubicación vía Google Mapas

3.3 Componentes del sistema hibrido solar

El sistema hibrido solar se compone de un panel fotovoltaico solar en celdas pequeñas y de alta eficiencia, mediante la utilización de espejos, lentes o una combinación de ambos tipos de dispositivos. Las celdas que constituyen los módulos fotovoltaicos generalmente están fabricadas de varias capas, cada una de las cuales captura longitudes de onda específicas del espectro de luz solar. Aunque el costo de las celdas de concentración fotovoltaica es mayor, este se podría compensar con las altas eficiencias más de 38% para las celdas y 25% en los módulos que presentan y con el menor costo de las superficies reflejantes. A continuación se representa un esquema de un módulo solar fotovoltaico figura 3...

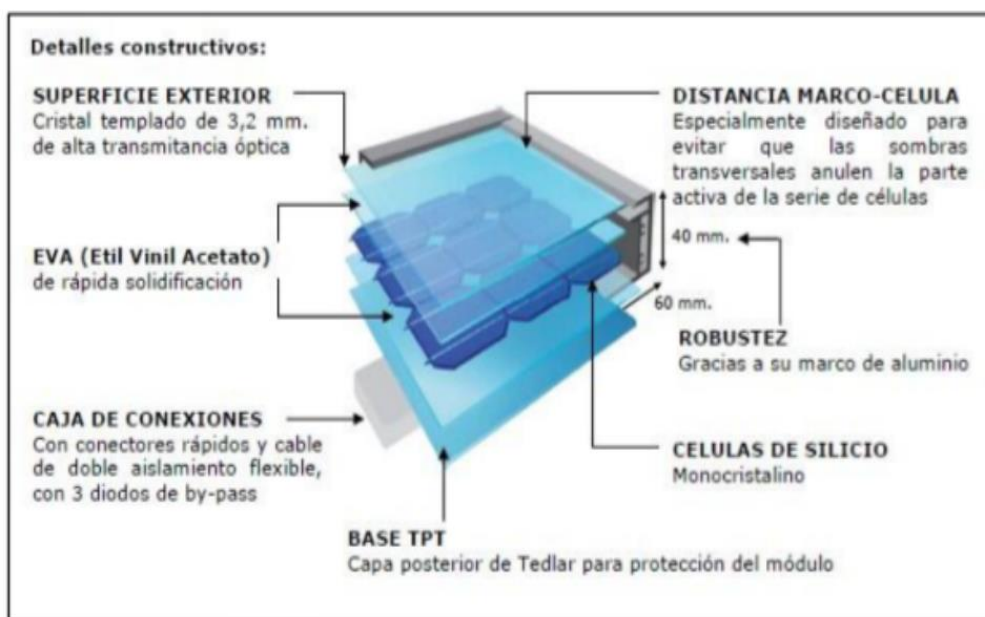


Figura 3-2 Componentes de sistema hibrido.

3.4 Desarrollo del sistema

En el presente trabajo se realizan pruebas experimentales con paneles solares fotovoltaicos de material policristalino y monocristalino acoplados a un canal (figura 3.3), para analizar su comportamiento de estos mismos y así mismo verificar el de mayor eficiencia.



Figura 3-3 Panel policristalino y monocristalino acoplados a un canal (sistema híbrido).

Se utilizan paneles solares de 0.99m de ancho x 1.64m de longitud (figura 3.4), posteriormente se fabrica un ducto de 14.5 cm x 14.5 cm para ensamblarlo junto con el canal que va acoplado al panel solar (figura 3.5)

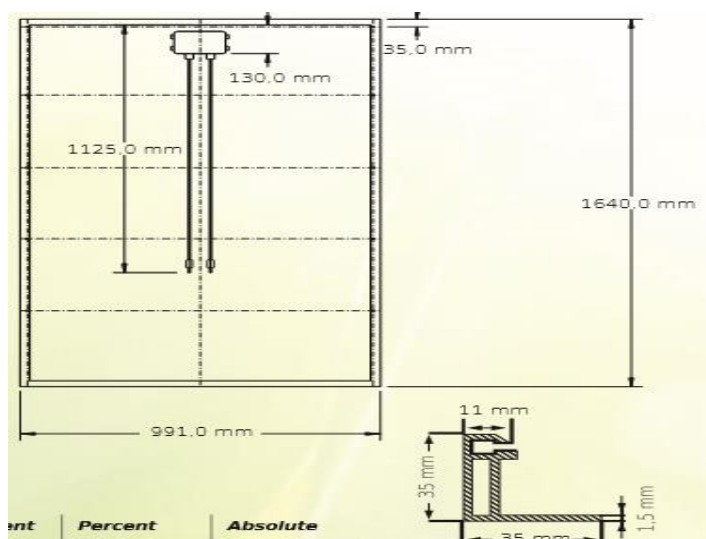


Figura 3-4 Dimensiones del panel solar



a) Fabricación de ducto



b) Colocación de ducto en canal

Figura 3-5 Fabricación y colocación de ducto en canal

Se instalan los equipos de medición utilizados para las pruebas realizadas en el panel.

En la figura 3.6 se muestra la colocación de un ventilador axial en el ducto, con las siguientes características:

- Ventilador de aluminio
- 115 V~ 60 Hz 20 W
- 0,2 A
- Velocidad máxima 5 m/s



Figura 3-6 Colocación de ventilador en ducto

El ventilador se colocó para realizar las pruebas correspondientes ya que la convección forzada requiere la presencia del movimiento de fluidos. El movimiento del fluido mejora la transferencia de calor, ya que pone en contacto porciones más calientes y más frías de ese fluido, iniciando índices más altos de conducción en un gran número de sitios (figura 3-7).

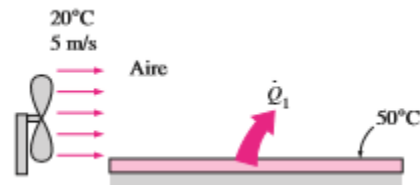


Figura 3-7 Convección forzada

Se prosigue a realizar las pruebas experimentales a los paneles solares fotovoltaicos, obteniendo las siguientes mediciones:

- Radiación
- Temperatura
- Presión
- Velocidad

Se obtiene la medición de la radiación obtenida por la energía del Sol cuando llega a la Tierra obteniendo radiaciones elevadas en un transcurso de 12:00pm a 2:00pm (figura 3.8).

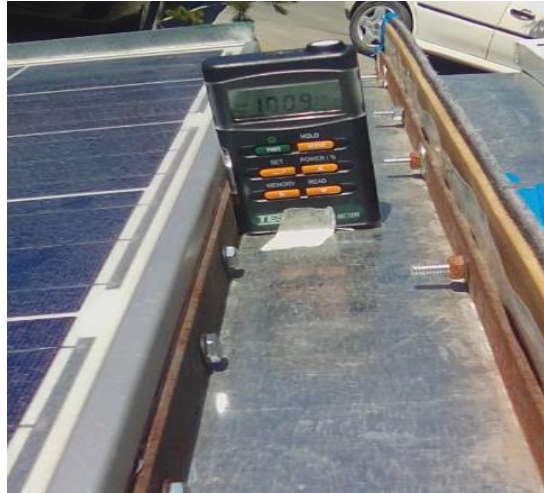


Figura 3-8 Lectura tomada con un medidor de radiación solar

Para obtener las temperaturas en los diferentes puntos del equipo se realizan pruebas de temperatura con termómetros y su correspondiente termopar colocados en puntos específicos para tomar lecturas al interior del panel (figura 3.9).



Figura 3-9 Obteniendo temperatura con termómetro en interior de panel.

Se toma lectura con un pirómetro (figura 3-10) al panel solar en tres puntos específicos para obtener las diferentes temperaturas y así saber qué puntos tienen menores y mayores temperaturas en el transcurso del día.



a) Punto 1



b) Punto 2



c) Punto 3

Figura 3-10 Lectura tomada en 3 puntos del panel solar.

La siguiente lectura se toma con una cámara termográfica apuntando perpendicularmente al panel solar para saber la radiación calorífica emitida por el mismo panel (figura 3.11).



Figura 3-11 Cámara termográfica utilizada en las pruebas experimentales.

La presión se obtuvo con un anemómetro a la salida del canal, obteniendo presiones estables de -0.192, -0.193 y -0.194 PSI (figura 3.12).



Figura 3-12 Tomando lectura de presión a la salida del canal

La velocidad se obtuvo con un anemómetro y su correspondiente sensor, donde se mide la velocidad, la temperatura de entrada y salida del fluido dentro del panel solar (figura 3.13).



a) Velocidad y temperatura tomada a la entrada del panel



b) Velocidad y temperatura tomada a la salida del panel

Figura 3-13 Lectura tomada con una anemómetro a la entrada y salida del panel.

Se realiza una prueba experimental al sistema híbrido haciendo pasar un gas para representar y verificar cómo se comporta el flujo dentro del canal (figura 3.14).



Figura 3-14 Prueba experimental del comportamiento del fluido a través de un canal.

Mediante el análisis de los resultados obtenidos en las primeras pruebas experimentales se determinó la modificación de aletas de un panel solar para verificar su rendimiento, eficiencia y el comportamiento del fluido que pasa a través del canal aletado.

Por lo consiguiente se prosigue a fabricar las aletas con medidas de 3.5 cm ancho x 4.0 cm de longitud (figura 3.15).

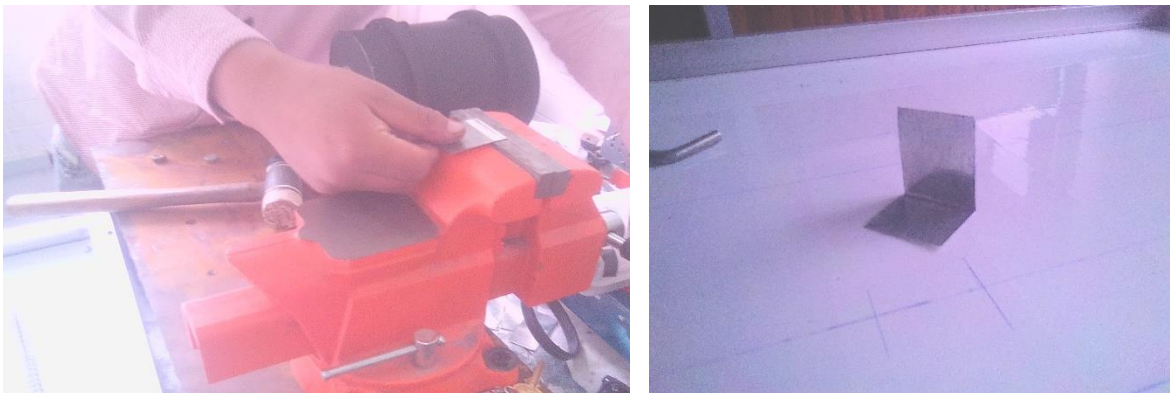


Figura 3-15 Rediseño y fabricación de aletas.

Se continúa con la colocación de 55 aletas escalonadas, uniéndolas al panel solar con silicón negro, ya que es imposible utilizar algún tipo de soldadura o cualquier otro tipo de material para unirlo (figura 3.16).



Figura 3-16 Colocación de aletas en panel fotovoltaico.

Posteriormente se ensambla el canal con el panel solar, para así realizar nuevamente las pruebas experimentales al panel y determinar su comportamiento con esta nueva modificación (figura 3.17).



Figura 3-17 Ensamble de canal con panel solar.

Se continúa a realizar nuevamente pruebas experimentales ya con todos los equipos adecuados e instalados en su respectivo lugar para obtener nuevos resultados (figura 3.18)



Figura 3-18 Instalación de equipos para realizar las pruebas experimentales.

3.5 Descripción de instrumentos de medición

Anemómetro

Es un aparato de alta durabilidad que proporciona mediciones precisas y estables. Dispone de una pantalla doble; pantalla principal y secundaria (velocidad + temperatura, flujo + área). Ofrece la posibilidad de hacer mediciones de la velocidad y mediciones del flujo del viento a tiempo real en m / s , km / h , ft / min . El anemómetro nos proporcionará el valor máximo y el mínimo, el valor medio y la temperatura en grados centígrados y Fahrenheit. Dispone de una capacidad de almacenamiento de datos de 2044 registros. El anemómetro se puede conectar a un PC para poder hacer mediciones a tiempo real y para almacenar, analizar e incluso imprimir los valores obtenidos. Obsérvese su estructura en la figura 3.19.

Estructura del Anemómetro. (Figura 3.19)

1. Ventilador
2. Indicador de dirección del viento
3. Mango
4. Pantalla secundaria
5. Pantalla principal
6. Botón de encendido
7. Botones funcionales
8. Unidad principal



Figura 3-19 Estructura del Anemómetro

Requerimientos ambientales

Rango de temperatura de trabajo 0°C ~50°C (32°F ~ 122°F)

Humedad relativa 0 ~75%, no condensación

Temperatura de almacenaje - 20°C ~ 65°C (- 4°F ~ 149°F)

Presión 500mB ~ 2 Bar

Seguridad / Conformidad Certificación: CE

EN61326: 2006

EN55022: 1998+A1+A2

EN55024: 1998+A1+A2

Rango	Precisión	
2 ~10 m/s	$\pm(3\%+0.5)$	$\pm(3\%+0.5)$
10~30 m/s	$\pm(3\%+0.8)$	$\pm(3\%+0.8)$

Tabla 3-2 Medición de velocidad del viento.

Temperatura	Rango	Precisión
Rango de temperatura	0°C ~ 40°C	$\pm 3^{\circ}\text{C}$
	32°F ~ 104°F	$\pm 4^{\circ}\text{F}$

Tabla 3-3 Medición de temperatura.

Pirómetro

El pirómetro mide la temperatura de superficies sin contacto por medio de un sensor infrarrojo. El aparato tiene integrado un puntero laser para determinar el área de medición.

En la medición de temperatura se pueden elegir niveles de sensibilidad de entre 1 °C, 5 °C y 10 °C, según la temperatura de referencia. Si se sobrepasa o no se alcanza el valor umbral seleccionado, se activa una función de alarma visual y acústica.

Si se requiere, es posible iluminar la pantalla.

Se apaga automáticamente para proteger la pila a largo plazo.

Principio de medición

El aparato mide la temperatura gracias a un sensor infrarrojo. Las magnitudes principales son el diámetro del área de medición y el grado de emisión

Área de medición

Tenga en cuenta la relación entre la distancia y el diámetro del área de medición. Mientras mayor sea la distancia al objeto mayor será el diámetro y más impreciso el resultado de la medición.

El puntero láser indica el punto medio aproximado al área de medición. Por lo tanto, solo se debe tomar como una de indicación y no como la medición de temperatura valida, figura 3.20

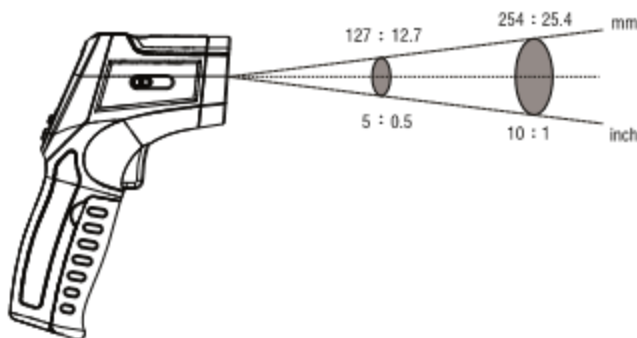


Figura 3-20 Pirómetro Infrarrojo

Vista general de aparato.

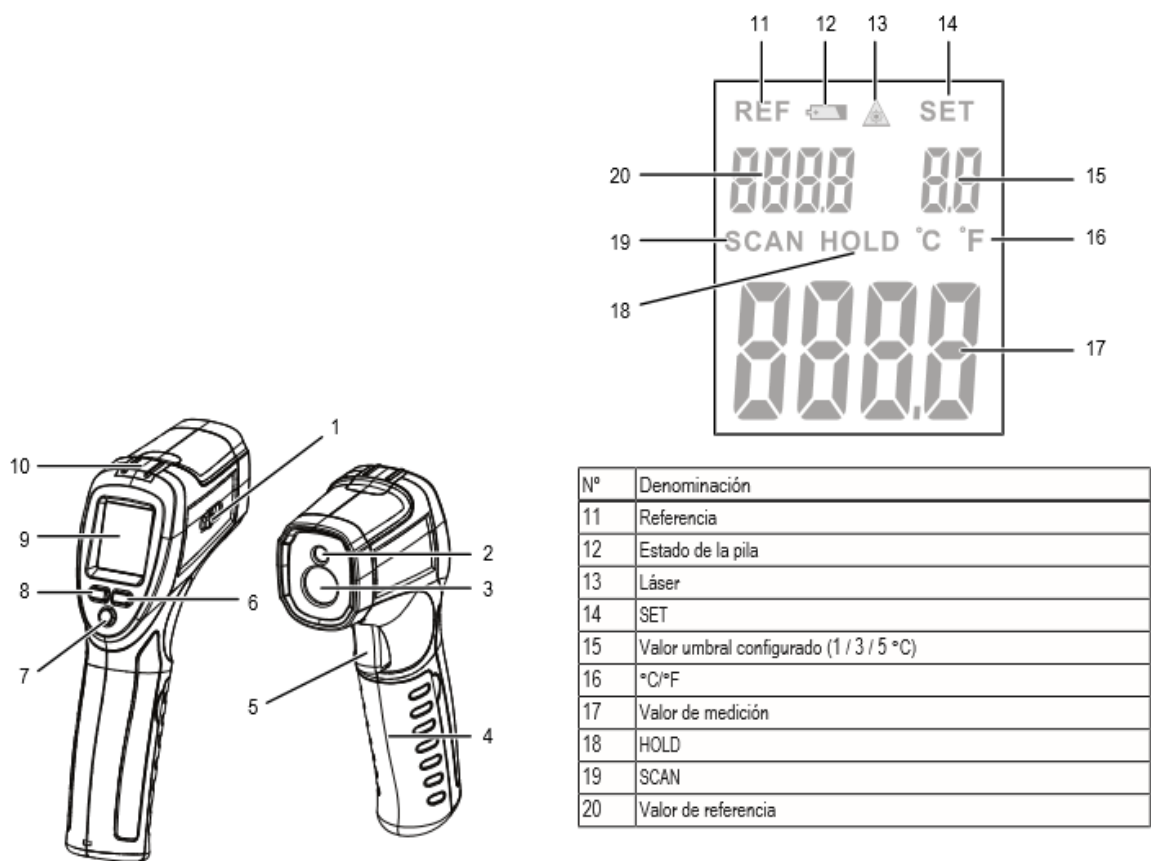


Figura 3-21 Vista frontal del pirómetro

Nº	Denominación
1	Selector del valor umbral
2	Puntero láser
3	Sensor infrarrojo
4	Compartimento de la pila con tapa
5	Tecla de medición
6	Tecla para la luz
7	Tecla C/°F
8	Tecla láser
9	Pantalla
10	LED de función de alarma

Figura 3-22 Vista posterior del pirómetro

Medidor de radiación de energía solar

El medidor de radiación reconoce la radiación solar completa, es decir, tanto la radiación directa como la radiación solar difusa en la atmósfera. La mayor parte de la radiación solar que refleja en la superficie de la tierra se encuentra en la parte infrarroja visible del espectro electromagnético, ya que la radiación ultravioleta es absorbida por la atmósfera. La radiación solar varía a lo largo del año, pues el ángulo incidente de la luz solar en el verano es mayor que en invierno y los rayos inciden en verano de forma directa sobre la superficie terrestre.

El medidor de radiación para energía solar es el instrumento óptimo para ingenieros solares y aficionados a la ingeniería solar. Con este medidor de radiación determina la potencia solar. Otros datos nominales (corriente, tensiones) se pueden detectar de forma paralela con un medidor separado (multímetro con registrador de datos). El parámetro más importante P_{tot} (en W/m^2) se puede leer directamente en pantalla, como se muestra en la siguiente figura 3.23



Figura 3-23 Radiación solar

Cámara Termográfica

Una cámara termográfica es un dispositivo para medir la temperatura sin necesidad de contacto. Las cámaras termográficas detectan la energía infrarroja emitida, transmitida o reflejada por todos los materiales a temperaturas superiores al cero absoluto (0°C Kelvin) y convierten el factor de energía en una lectura de temperatura o termograma. Un termograma es la imagen térmica del objeto que está emitiendo, transmitiendo o reflejando la energía infrarroja, mostrando por la cámara. A continuación se ilustra un ejemplo de la cámara termográfica figura 3.24.



Figura 3-24 Cámara termográfica

Rango de temperatura.

El rango de temperatura y la sensibilidad de una cámara también son consideraciones importantes. El rango especifica cual es la temperatura mínima y máxima que puede medir la cámara (un rango típico es, por ejemplo, de -4 °F a 2192 °F (-16 a 1200 °C)).

Aplicaciones de la cámara termográfica

La detección de estas radiaciones infrarrojas, imposibles de realizar a simple vista, supone una ventaja importantísima en muchas situaciones y puede ayudar a la prevención de multitud de situaciones indeseadas. La no uniformidad de temperaturas suele indicar alguna falla o punto crítico. A continuación se enumeran unas cuantas aplicaciones:

- Calentamiento de componentes eléctricos defectuosos.
- Fricción en motores o maquinas eléctricas.
- Desequilibrio de cargas.
- Puntos críticos en conductores.
- Sobrecargas en circuitos eléctricos.

Termómetro

Este dispositivo de medida digital combina un termómetro con un multímetro digital de rango automático, un luxómetro y un medidor de humedad. El termómetro multifunción tiene un diseño compacto, práctico y fácil de usar. Ejemplo común de un termómetro PCE-EM 886 en la figura 3.25.

- Sensor de luz: 4000 / 40000 Lux
- Sensor de sonido: 35...100 dB
- Sensor de humedad relativa: 33... 99% H.r.
- Sensor de temperatura (Tipo K): -20... 1300 °C
- Función de multímetro: corriente AC / DC



Figura 3-25 Termómetro

Termopares

Un termopar es un dispositivo para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz.

La fuerza electromotriz generada por el termopar está en función de la diferencia de temperatura entre la unión fría y caliente, pero más específicamente, esta es generada como un resultado de los gradientes de temperatura los cuales existe a lo largo de la longitud de los conductores. Ejemplo de un termopar de níquel-cromo en la figura 3.26.

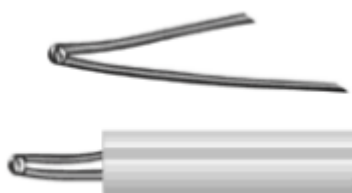


Figura 3-26 Termopar utilizado en las pruebas experimentales níquel-cromo

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) Vs. (-)
Metal - Base		
E	-270 a 1 000	níquel - cromo Vs. cobre - níquel
J	-210 a 1 200	hierro Vs. cobre - níquel
T	-270 a 400	cobre Vs. cobre - níquel
K	-270 a 1 372	níquel - cromo Vs. níquel - aluminio
N	-270 a 1 300	níquel - cromo - silicio Vs. níquel - silicio - magnesio
Metal - Noble		
R	-50 a 1 768	platino - 13 % rodio Vs. platino
S	-50 a 1 768	platino - 10 % rodio Vs. platino
B	0 a 1 820	platino - 30 % rodio Vs. platino - 6 % rodio

Tabla 3-4 Tipos de termopares.

Código de colores

El propósito es establecer uniformidad en la designación de los termopares y cables de extensión, por medio de colores en sus aislamientos e identificar su tipo o composición así como su polaridad.

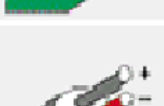
Código ANSI	Combinación de la aleación		Código de color	
	+	-	Termopar	Extensión
E	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
J	hierro Fe	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
T	cobre Cu	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
K	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Alumel níquel - aluminio Ni-Al		
N	Nicrosil níquel - cromo - silicio Ni-Cr-Si	Nisil níquel - silicio - magnesio Ni-Si-Mg		
R	platino - 13% rodio Pt-13% Rh	platino Pt	No establecido	
S	platino - 10% rodio Pt-10% Rh	platino Pt	No establecido	
B	platino - 30% rodio Pt-30% Rh	platino - 6% rodio Pt-6% Rh	No establecido	

Tabla 3-5 Códigos de colores de termopares.

3.6 Cálculo de aleta

26/ABRIL/2018

Tipo de aleta rectangular, dimensiones 3 cm de ancho por 4 cm de longitud para velocidad promedio = 1.293m/s.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1.1614 \text{ kg/m}^3)(1.293 \text{ m/s})(0.035 \text{ m})}{1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$Re = 2919.95$$

$$Nu = 0.228(Re^{0.731})(0.7^{1/3})$$

$$Nu = 0.228(2919.95^{0.731})(0.7^{1/3})$$

$$Nu = 69.1$$

$$h = \frac{k}{l} Nu \rightarrow h = \frac{52 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{1.65 \text{ m}} (69.1)$$

$$h = 2177.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$x = \left(\frac{hP}{kA_c} \right)^{1/2}$$

$$x = \left(\frac{2177.7 \text{ W/m}^2 \text{ K} * 0.072 \text{ m}}{52 \text{ W/mK} * 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2} \right)^{1/2}$$

$$x = 293.51$$

$$\eta = \frac{1}{x} (\tanh x)$$

$$\eta = \frac{1}{293.51} (\tanh 293.51)$$

$$\eta = 3.407 \times 10^{-3}$$

27/ABRIL/2018

Tipo de aleta rectangular, dimensiones 3 cm de ancho por 4 cm de longitud, para velocidad promedio = 1.386m/s.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1.1614 kg/m^3)(1.386 m/s)(0.035 m)}{1.8 \times 10^{-5} kg/m \cdot s}$$

$$Re = 3129.973$$

$$Nu = 0.228(Re^{0.731})(0.7^{1/3})$$

$$Nu = 0.228(3129.973^{0.731})(0.7^{1/3})$$

$$Nu = 72.701$$

$$h = \frac{k}{l} Nu \rightarrow h = \frac{52 \frac{W}{mK}}{1.65 m} (72.701)$$

$$h = 2291.183 W/m^2 K$$

$$x = \left(\frac{hP}{kA_c} \right)^{1/2}$$

$$x = \left(\frac{2291.183 W/m^2 K * 0.072 m}{52 W/mK * 3.5 \times 10^{-5} m^2} \right)^{1/2}$$

$$x = 301.065$$

$$\eta = \frac{1}{x} (\tanh x)$$

$$\eta = \frac{1}{301.065} (\tanh 301.065)$$

$$\eta = 3.32 \times 10^{-3}$$

04/MAYO/2018

Tipo de aleta rectangular, dimensiones 3 cm de ancho por 4 cm de longitud, para velocidad promedio= 1.2615m/s

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1.1614 \text{ kg/m}^3)(1.2615 \text{ m/s})(0.035 \text{ m})}{1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$Re = 2848.81$$

$$Nu = 0.228(Re^{0.731})(0.7^{1/3})$$

$$Nu = 0.228(2848.81^{0.731})(0.7^{1/3})$$

$$Nu = 67.867$$

$$h = \frac{k}{l} Nu \rightarrow h = \frac{52 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{1.65 \text{ m}} (67.867)$$

$$h = 2138.83 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$x = \left(\frac{hP}{kA_c} \right)^{1/2}$$

$$x = \left(\frac{2138.83 \text{ W/m}^2 \text{ K} * 0.072 \text{ m}}{52 \text{ W/mK} * 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2} \right)^{1/2}$$

$$x = 290.88$$

$$\eta = \frac{1}{x} (\tanh x)$$

$$\eta = \frac{1}{290.88} (\tanh 290.88)$$

$$\eta = 3.437 \times 10^{-3}$$

Capítulo 4 Evaluación del canal con aletas

4.1 Resultados Teóricos Experimentales

Los datos obtenidos en las pruebas experimentales se realizaron en intervalos de diez minutos en un horario de 10:00am a 3:00pm en el periodo Enero-Junio 2018. Los datos que se obtuvieron se utilizaron para analizar detalladamente el comportamiento del sistema, para así interpretar las estadísticas mediante los gráficos obtenidos.

Los datos registrados en las pruebas experimentales serán de mucha importancia para las personas involucradas en el presente trabajo.

Registro de datos.

Los datos obtenidos se muestran en la figura 4.1 y 4.2 para así poder realizar su correspondiente análisis.

Datos obtenidos del día 26 y 27 de abril para el diseño anterior de aletas tipo “L”.

HORA	TEMPERATURAS DE PANEL			TEMPERATURA INT. PANEL		VELOC. Y TEMP. DE ENTRADA		VELOC. Y TEMP. DE SALIDA		RADIACIÓN	PRESIÓN	VELOCIDAD PROMEDIO
	TEMP.1	TEMP.2	TEMP.3	TEMP.1	TEMP.2	VELOC.1	TEMP.1	VELOC.2	TEMP.2			
10:20	32.3	35.8	34.2	21.7	22.3	0.45	20.8	1.94	27.3	598.1	-0.194	1.195
10:30	28.8	33	31.4	23.7	22.7	0.46	22.1	1.94	29.3	646.3	-0.193	1.2
10:40	35.4	39.6	38.1	22.3	23.5	0.6	22.4	1.82	30.6	731.6	-0.195	1.21
10:50	35.7	38.6	39.5	22	24.3	0.67	21.7	1.92	30.5	758.1	-0.195	1.295
11:00	35.8	40.1	41	23.1	26.5	0.7	22.6	2	31.3	752.8	-0.193	1.35
11:10	36.2	39.9	37.8	22.8	27.8	0.93	23.9	1.87	33.3	730.6	-0.194	1.4
11:20	39.4	42.8	45	25.7	24.3	0.53	23.2	1.8	33.7	742.1	-0.195	1.165
11:30	44.4	42.6	42	25.5	24.3	0.56	23.7	1.93	33.6	202.1	-0.144	1.245
11:40	42.2	48.9	46.2	24.1	26.3	0.96	23.1	1.91	34	239.5	-0.14	1.435
11:50	37.4	43.2	41.4	28	25.5	0.59	24.2	2.07	33	680.1	-0.193	1.33
12:00	40.8	46.6	45.1	30.8	25.9	1.31	24.2	2.07	34.6	887.8	-0.195	1.69
12:10	40.5	45.2	43	27	26.8	0.74	24.6	1.96	33.1	848.2	-0.193	1.35
12:20	40.3	45.6	44.1	28.8	27.5	1.08	25.2	2	34.8	888.5	-0.192	1.54
12:30	41	48.9	44.6	31.2	26.8	0.87	25.2	2.1	36.5	628.1	-0.194	1.485
12:40	44.2	50.1	48.5	28.7	28.7	0.75	26.9	1.97	38.2	801	-0.193	1.36
12:50	49.7	48.1	46.3	29.4	29	1.05	27.9	1.99	38.9	835.1	-0.195	1.52
13:00	44.5	48.8	45.7	29	28.5	0.78	26.8	2.1	37.1	794.5	-0.192	1.44
13:10	52.1	50.3	49.7	33	27.7	0.9	26.6	2.14	38.4	826.9	-0.192	1.52
13:20	50.3	53.1	50.1	31	30.2	0.84	28.3	2.05	39.7	758.2	-0.193	1.445
13:30	42.6	45.9	41.4	31	29.4	0.88	27.5	1.2	32.3	251.2	-0.192	1.04
13:40	47.6	49.9	47.3	30.8	32	0.61	28.3	1.4	33.4	850.4	-0.191	1.005
13:50	41.4	45.2	40.3	21.5	28	0.65	26.4	1.55	31.3	898.7	-0.192	1.1
14:00	37.1	39.2	37.2	27.1	27.2	0.34	24.6	1.31	27.2	183.5	-0.191	0.825
14:10	46.5	50.5	47.5	31.3	29.3	1.04	27.3	1.38	32.4	990.8	-0.19	1.21
14:20	42.6	50.1	47.5	29.3	28.6	1.13	26.3	1.28	31.6	293.6	-0.193	1.205
14:30	33.6	41.5	41.9	28.9	28.7	0.85	25.9	1.76	32.3	899.3	-0.189	1.305
14:40	47.6	48.1	45.6	35.2	30.1	0.44	28.2	1.63	37.3	1024	-0.19	1.035
14:50	50	55.2	50.8	33	33.2	0.72	29.6	1.8	39.9	1036	-0.194	1.26
15:00	42.1	45.4	43.8	30.8	28.6	0.88	25.7	1.84	34.3	193.4	-0.19	1.36
												1.293793103

Figura 4-1 Datos de pruebas experimentales del sistema híbrido, 26-abril-2018.

HORA	TEMPERATURAS DE PANEL			TEMPERATURA INT.PANEL		VELOC. Y TEMP. DE ENTRADA		VELOC. Y TEMP. DE SALIDA		RADIACIÓN	PRESIÓN	VELOCIDAD PROMEDIO
	TEMP.1	TEMP.2	TEMP.3	TEMP.1	TEMP.2	VELOC.1	TEMP.1	VELOC.2	TEMP.2			
10:00	28.6	31.8	28.2	19.5	19.4	1.24	21.4	2	25.8	438.1	-0.186	1.62
10:10	26.8	30.4	29.3	20.3	21.8	0.66	19	1.9	24.6	442.9	-0.186	1.28
10:20	28.1	33.2	32.2	20	22.7	0.8	19.1	1.9	25.9	477.4	-0.188	1.35
10:30	32.1	36.4	35.5	21.5	21.7	1.5	20.7	1.93	27.5	489.7	-0.187	1.715
10:40	30.7	37.7	36.7	21.2	22	0.72	20.2	1.44	27.8	594.6	-0.19	1.08
10:50	40.9	44.1	42.3	22.6	23.2	0.59	21.8	1.89	29.1	632.4	-0.116	1.24
11:00	38.1	42.1	40.7	23.3	21.3	0.65	20.3	1.89	33.3	660.2	-0.111	1.27
11:10	38.1	44.2	43.2	24.9	24.6	0.76	22.9	2.05	31	690.8	-0.107	1.405
11:20	43.1	48.3	46.9	26.2	25	0.43	23.4	2.05	36.4	706.1	-0.186	1.24
11:30	42.9	48.2	45.5	24.2	22.5	0.48	22.9	2.01	35.2	723.9	-0.104	1.245
11:40	42.1	49	48.1	26.2	23.2	0.73	25.2	1.92	32.4	730.6	-0.101	1.325
11:50	42.7	48.7	47.9	26.3	22.9	0.59	25	1.98	34.9	767.8	-0.098	1.285
12:00	49.4	50.9	49.2	26.1	22.3	0.71	25.7	1.95	34.3	810.3	-0.1	1.33
12:10	52.7	51.9	49.5	28.4	23.9	0.6	25.8	2.03	35.8	812.4	-0.096	1.315
12:20	47.2	53.3	49.9	26.6	24.4	0.66	26.3	2.07	37.1	821.9	-0.097	1.365
12:30	50.7	51.6	48.6	28.9	24	0.61	27.4	2.02	38	814.2	-0.143	1.315
12:40	47.9	54.6	53.8	28.1	24.1	0.64	27.5	2.1	38.5	916.4	-0.1	1.37
12:50	48.9	56.6	52.2	34.5	23.9	0.87	26.7	2.05	39.4	906.8	-0.116	1.46
13:00	48.9	57.8	52.3	28	27.7	0.62	27.7	1.97	39	902.8	-0.118	1.295
13:10	50.5	59.1	57.3	27.9	24.9	0.78	28.5	2.03	41.7	947.1		1.405
13:20	51.3	57.8	57.4	29	24.6	1.3	28.8	2.07	40.8	983.2		1.685
13:30	49.2	58.7	57.6	27.9	24.1	0.84	27.6	2.28	40.6	216.8		1.56
13:40	40.4	45.9	46.6	28.3	25.3	0.68	27.4	1.94	35.2	1007		1.31
13:50	48.3	56.1	54.1	27.2	25.9	1.15	27.8	2.07	38.3	948.3		1.61
14:00	31.1	44.4	42.7	26.9	22.3	1.16	25.9	2.03	31.2	134.8		1.595
												1.3868

Figura 4-2 Datos de pruebas experimentales del sistema híbrido, 27-abril-2018.

Después del análisis conforme a los datos obtenidos, se determina un nuevo rediseño en la aleta rectangular tipo “L”.

Se obtienen nuevos datos que se muestran en la figura 4.3.

HORA	TEMPERATURAS DE PANEL 1			VELOC. Y TEMP. DE ENTRADA		VELOC. Y TEMP. DE SALIDA		TEMP. INT.	VELOC. VENTILADOR
	TEMP.1	TEMP.2	TEMP.3	VELOC.1	TEMP.1	VELOC.1	TEMP.1		
10:00 a.m.	24.8	25.1	27	0.75	21.7	1.92	22.2	21.3	4.37
10:10 a.m.	32.1	30.7	29.1	0.75	25.6	1.8	27.6	24.1	4.43
10:20 a.m.	31.6	31.3	28.9	0.52	29.4	2.16	28.9	22	3.6
10:30 a.m.	35.1	37.2	35.8	0.93	27.7	1.93	32.7	25.1	4.64
10:40 p.m.	36.1	36.7	39.7	0.49	24.1	1.8	24.6	23.1	5.02
10:50 a.m.	38.4	39.3	40.3	0.7	29.9	1.88	29	26.9	4.75
11:00 a.m.	41.9	39.7	41.2	0.33	28.8	1.82	29.5	27.7	5.24
11:10 a.m.	43.2	41.4	42.8	0.4	30.8	2	32.2	25.4	4.2
11:20 a.m.	42.3	43.7	45.3	0.55	30.5	2.1	32.5	27.2	5.06
11:30 a.m.	41.2	46.8	46.2	0.55	30.8	2.2	31.1	27.7	4.3
11:40 a.m.	42.5	47.8	48	0.52	30.4	1.99	31.3	30.5	5.69
11:50 a.m.	47.2	53.7	51.6	0.61	32.5	0.92	33.5	32.6	5.2
12:00 p.m.	46.3	53.5	53.2	1.2	32.4	1.96	34.6	28.6	5.17
12:10 p.m.	50.6	55.9	56.3	0.68	31.5	1.92	34.9	34.7	4.95
12:20 p.m.	51.3	57.3	56.2	0.55	34.9	2.1	36.9	28.6	5.2
12:30 p.m.	50.8	57.6	56.1	0.43	37.7	1.98	40.7	34.2	5.06
12:40 p.m.	49.2	56.2	54.9	0.54	34.7	2.15	37	35.2	4.82
12:50 p.m.	52.1	56.8	56.4	0.63	35.3	2	35.1	30.5	4.5
01:00 p.m.	53.2	57.9	58.8	0.51	37.1	1.75	38.5	32.5	4.64
01:10 p.m.	53.6	58.8	53.2	0.85	36.3	1.66	35.6	33.9	4.52
01:20 p.m.	58.3	61	58.5	1.26	36.1	1.82	34.7	30.2	4.68
01:30 p.m.	58.9	62.3	58.3	0.76	36.2	1.74	36.1	33.5	4.75
01:50 p.m.	60.9	62.4	61.7	1.11	38.6	1.88	36.8	31.2	4.46
02:00 p.m.	58.8	53.8	53.7	0.41	38.5	1.8	37.5	37.9	4.66
02:10 p.m.	57.7	58.4	58.9	1.3	36.6	1.9	37.8	32.4	4.38
02:20 p.m.	54.4	55.3	55.4	0.83	35.3	1.58	34.9	31.4	4.35
02:30 p.m.	48.3	49.1	47.8	0.36	34.6	1.74	31.8	31.8	4.61
02:40 p.m.	36.5	41.7	40.7	0.43	33.4	1.88	31.6	30.2	4.28
02:50 p.m.	32.4	36.6	37.6	0.5	30.7	1.72	21.3	26.6	4.57
03:00 p.m.	39.6	42.2	39.4	0.52	32.3	1.62	32.8	28.2	4.6

TEMPERATURAS DE PANEL 2			VELOC. Y TEMP. DE ENTRADA		VELOC. Y TEMP. DE SALIDA		TEMP. INT.	VELOC. VENTILADOR	RADIACIÓN	VELOC. PROM. P1	VELOC. PROM. P2
TEMP.1	TEMP.2	TEMP.3	VELOC.1	TEMP.1	VELOC.1	TEMP.1					
23.9	24.6	27.7	0.55	21.4	1.69	23	20.7	4.41	448.9	1.335	1.12
30.9	31.8	29.2	0.67	25.2	1.6	26.1	22.4	4.5	504.1	1.275	1.135
32.9	33.2	30.6	0.48	29	1.75	28.9	21.6	3.49	532.6	1.34	1.115
34.6	38.8	37.9	0.58	27.6	1.68	30.1	23.5	4.48	557.1	1.43	1.13
36.3	41.4	40.6	0.44	24.3	1.74	26.7	22.5	4.37	609.3	1.145	1.09
36.8	41.1	40.8	1.13	28.5	1.71	29.4	24.6	4.39	625.6	1.29	1.42
36.9	39.7	42.4	0.35	28.8	1.65	29.1	24.9	5	672.4	1.075	1
40.6	44.8	44.3	0.4	30.3	2	31.4	24.6	4.1	695.8	1.2	1.2
41.4	46.3	45.9	0.72	30.3	1.62	31.4	25.9	4.77	715.8	1.325	1.17
42.4	47.2	46.7	0.7	30.4	1.62	31.2	25.7	4.37	763.3	1.375	1.16
47.3	49.2	48.8	0.83	30.2	1.7	30.9	27.1	4.81	793.4	1.255	1.265
47.4	53.3	52.6	0.5	32.3	1.63	33.7	28.4	4.95	750.6	0.765	1.065
46.2	52.4	53.6	0.83	32	1.62	33.9	27.6	5.08	778.9	1.58	1.225
51.6	56.3	56.1	1.03	31	1.42	35.4	30.2	4.33	799.3	1.3	1.225
49.8	59.2	58.4	1.1	33.1	1.75	36.7	27.8	4.59	829.2	1.325	1.425
50.4	58.2	56.7	0.45	37	1.77	41.7	31.3	4.9	777.6	1.205	1.11
47.6	55.6	55.1	0.72	34.1	1.78	34.5	32.1	4.86	833.2	1.345	1.25
52.4	57.5	58.4	1.13	34.5	1.9	36.1	29.1	4.68	885.6	1.315	1.515
57.4	59.2	60.7	0.5	36.9	1.6	34.4	30.6	4.57	888.2	1.13	1.05
59	59.6	60.6	0.56	36.1	1.37	36.1	31.3	4.48	905.3	1.255	0.965
54.2	62.1	62.4	1.06	34.6	1.61	35.8	30.2	4.84	898.5	1.54	1.335
54.6	65.4	63.1	0.44	36.9	1.72	36.6	31.9	4.52	926.9	1.25	1.08
59.2	64.9	63.9	0.71	37	1.53	37.2	31.4	4.86	995.8	1.495	1.12
58.1	62.6	62.7	1.06	37.2	1.34	37.2	32.8	4.34	963.1	1.105	1.2
57.1	59.2	61.1	1.15	35.6	1.98	37.6	31.8	4.37	996.4	1.6	1.565
	57.2	58.5	0.63	35.7	1.5	35.8	31.8	4.52	1023	1.205	1.065
49.5	50.4	51.1	1.88	34.2	1.33	32.7	31.3	4.46	926.5	1.05	1.605
38.1	40.8	40.1	0.13	31.8	1.46	31.4	29	4.3	205	1.155	0.795
36.2	37.2	37.2	0.83	30.5	1.36	32.1	27.4	4.43	232.5	1.11	1.095
57.9	39.4	40.1	0.22	33.2	1.36	33.2	28.6	4.27	290.1	1.07	0.79
										1.2615	1.176166667

Figura 4-3 Datos de pruebas experimentales del sistema híbrido, 04-mayo-2018.

Se grafican los datos obtenidos en las pruebas experimentales para los días 26 y 27 de abril.

Se toman lecturas en 3 puntos del panel solar (figura 4.4 – 4.8).

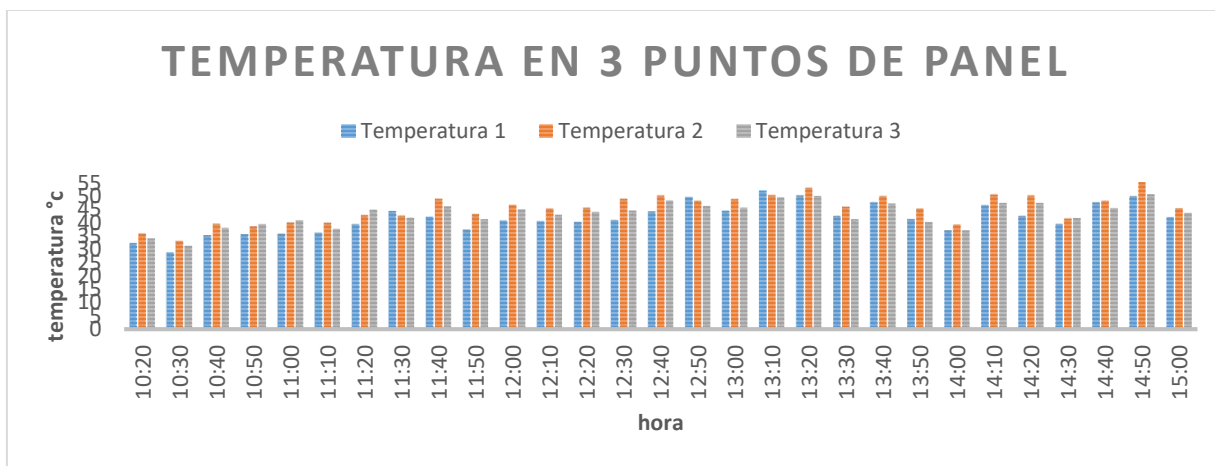


Figura 4-4 Temperatura parte frontal del panel

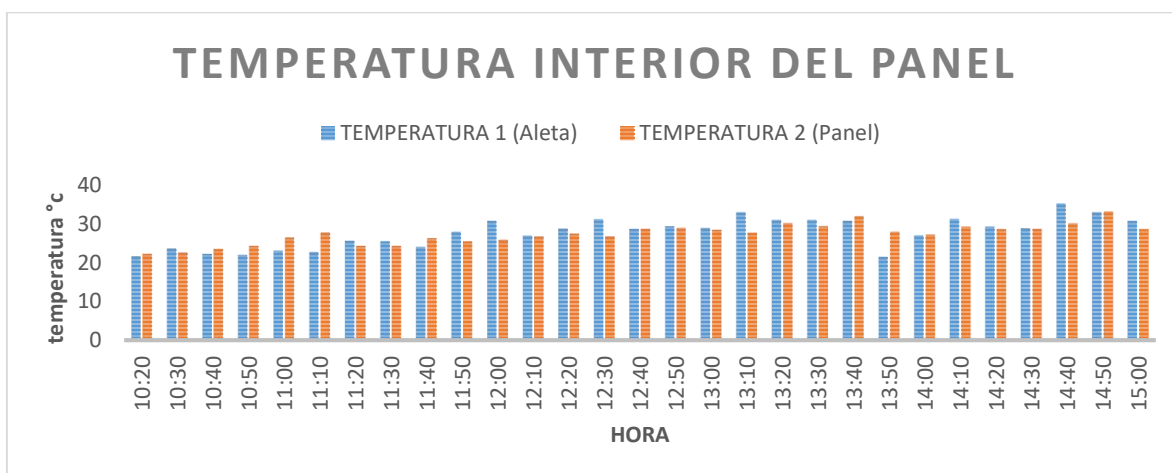


Figura 4-5 Temperatura en el interior del panel

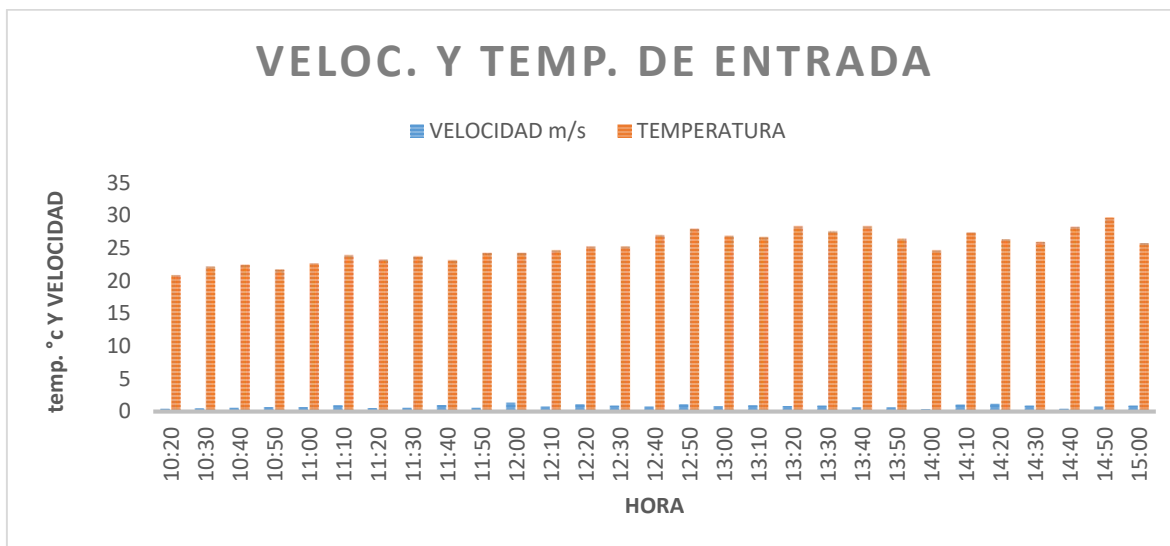


Figura 4-6 Velocidad y Temperatura del panel (Entrada)

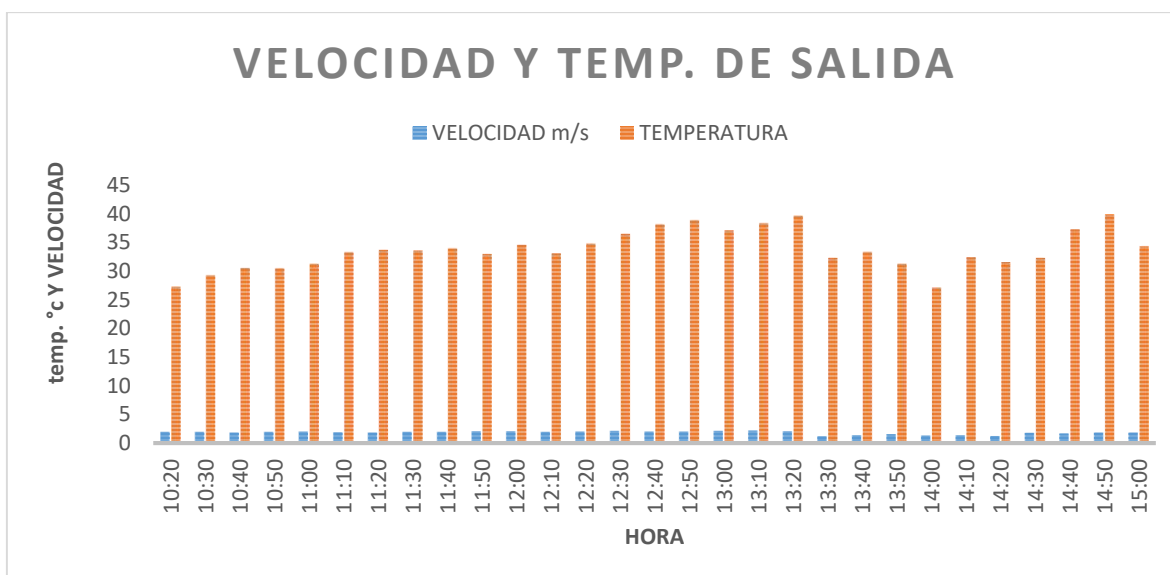


Figura 4-7 Velocidad y Temperatura del panel (Salida)

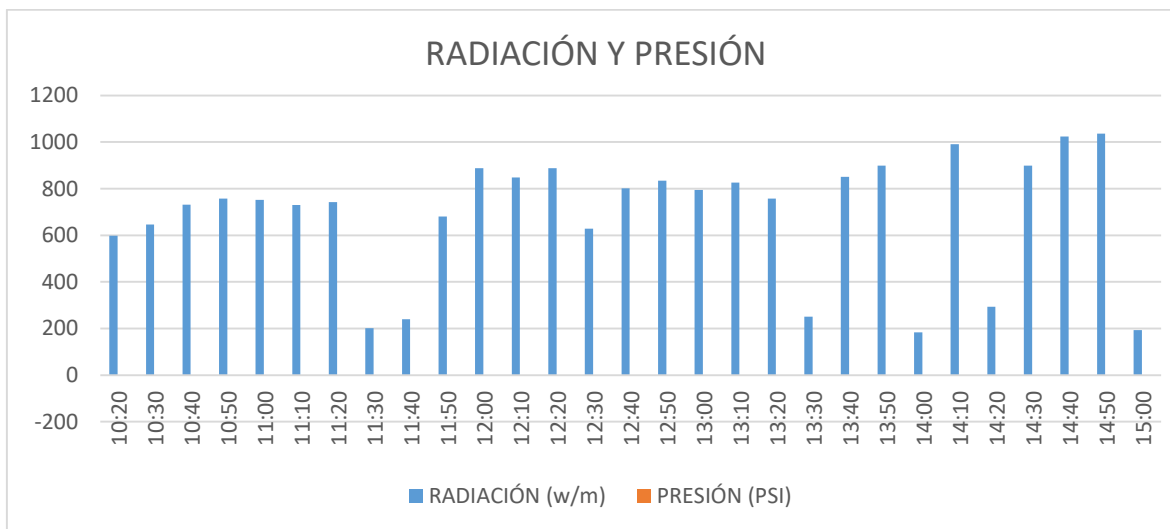


Figura 4-8 Representación de la radiación en el transcurso del día y presión en el sistema híbrido.

4.2 Simulación del fluido.

Se muestran las diferentes simulaciones del fluido en un sistema híbrido, en el cual se observa su comportamiento a través de un canal aletado, haciendo pasar el fluido de dos diferentes formas: Extractor y Ventilador.
(Observece en la siguientes figuras 4.9 y 4.10).

Extractor.

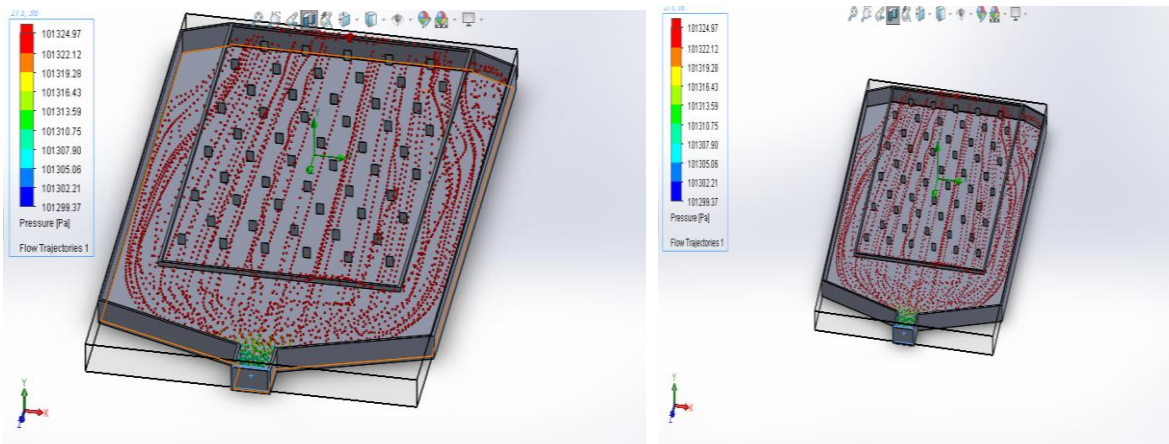


Figura4-9 Fluido a través del sistema aletado

Ventilador

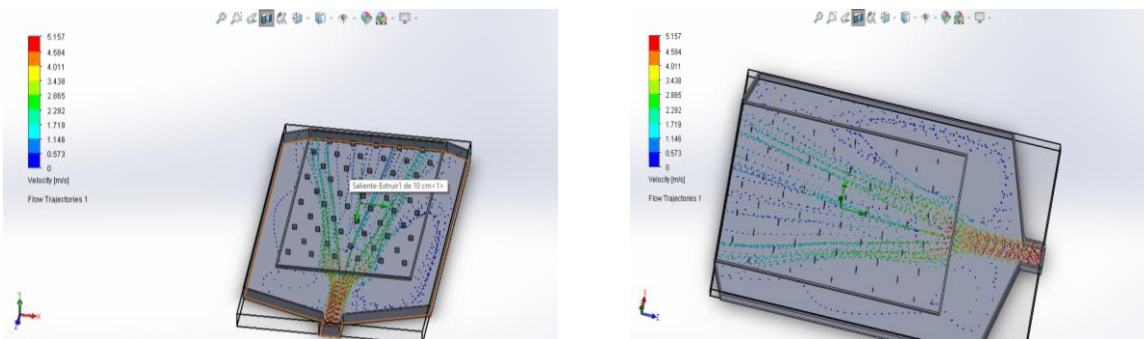


Figura 4-10 Fluido a través del sistema híbrido

5.1 Conclusión

Después de haber realizado las pruebas experimentales a un sistema fotovoltaico híbrido y poder observar durante varias semanas el comportamiento del sistema se concluye que el sistema hizo remover el calor desde la superficie posterior de éste mismo, hasta la masa de aire que se hacía pasar con diferentes flujos másicos a través del canal aletado.

Se realizaron pruebas experimentales al canal aletado utilizando instrumentos de medición para poder realizar las lecturas correspondientes al sistema.

Los resultados obtenidos fueron analizados detalladamente para así poder verificar el comportamiento del fluido a través del canal y determinar la eficiencia del sistema. En las gráficas mostradas anteriormente se describe el comportamiento de las variables climatológicas, verificando que las lecturas tomadas durante el transcurso del día tienen una variación en un cierto tiempo determinado de cada diez minutos en donde se ve reflejada la variación de temperaturas durante el día. También se pudo observar que si existe un día nublado disminuye la radiación solar y esto causa una baja eficiencia en el sistema híbrido ya que no está en condiciones excelentes para realizar una remoción de calor o que exista transferencia de calor.

Este sistema híbrido es de mucha importancia por el hecho de que pueden proporcionar simultáneamente electricidad y calor de altos valores de conversión de la irradiación solar absorbida, comparado con el que podría lograrse con un sistema fotovoltaico estándar.

Algunas de sus aplicaciones ya ocurren, como es el caso de la calefacción y suministro de energía eléctrica en edificaciones, alimentación de equipos motrices y secado de productos agrícolas en deshidratadores en zonas remotas.

Finalmente, al analizar el efecto de la remoción de calor por el sistema hacia el comportamiento eléctrico del módulo fotovoltaico, a pesar de la reducción en la temperatura del módulo no se mostró aumento significativo en su eficiencia eléctrica.

6.1 Bibliografías.

Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.

Transferencia%20de%20calor (10a%20Impresion) %20-%20J.P. %20Holman.

Transferencia-de-calor-holman.

Transferencia-de-calor-y-masa-4taed-150518095423-lva1-app6891.

Principios_de_trasferencia_de_calor_frank_kreith_primera_edicion.

Nomenclatura

C_p Calor específico a presión constante, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
 C_v Calor específico a volumen constante, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
 e Energía específica total, kJ/kg
 E Energía total, KJ
 f Factor de fricción
 f_λ Función de radiación del cuerpo negro fuerza, N
 G Radiación incidente, W/m^2
 h Coeficiente de transferencia de calor por convección, $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 h_c Conductancia térmica por contacto, $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 L Longitud; mitad del espesor de una pared plana
 NTU Numero de unidades de transferencia
 Nu Número de Nusselt
 P Presión, kPa
 P_v Presión de vapor, kPa
 Pr Numero de prandtl
 $\dot{q}$ Flujo de calor, W/m^2
 Q Transferencia total de calor, kJ
 $\dot{Q}$ Índice de transferencia de calor, Kw
 Re Número de Reynolds
 S Factor de forma en la conducción
 T Temperatura, $^\circ\text{C}$ o K
 u Energía interna específica, kJ/kg
 U Coeficiente total de transferencia de calor, $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 v Volumen específico, m^3/kg
 V Volumen total, m^3

Letras griegas

α Difusividad termica, m^2/s
 δ_t Espesor de la capa límite de velocidades, m
 ΔP Caída de presión, Pa
 ε Emisividad; efectividad del intercambiador de calor o de la aleta
 η_{aleta} Eficiencia de la aleta
 η_{term} Eficiencia térmica
 μ Viscosidad dinámica, $\text{Kg/m} \cdot \text{s}$ o $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$
 ν Frecuencia, $1/\text{s}$
 ρ Densidad, kg/m^3
 θ Temperatura adimensional
 cond Conducción
 conv Convección
 rad Radiación
 s Superficie