



Educación
Secretaría de Educación Pública



Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

FORMACION DE PATRONES DE FLUJO EN DUCTOS CON INSERTOS

TITULACION INTEGRAL PROYECTO DE INVESTIGACION

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRONICO

PRESENTA:

GERMAN LARA MOLINA

ASESOR:

DR. VICENTE FLORES LARA



APIZACO, TLAXCALA; DICIEMBRE 2024



Apizaco, Tlaxcala, 09/diciembre/2024

Oficio No. MM-871/2024

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA 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:	GERMÁN LARA MOLINA
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	05370428
Nombre del Proyecto:	"FORMACIÓN DE PATRONES DE FLUJO EN DUCTOS CON INSERTOS".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

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 cumplir



LUZ FABIOLA SÁNCHEZ PARRA
SUBDIRECTORA ACADÉMICA SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

VICENTE FLORES LARA ASESOR	JORGE AGUILAR VÁZQUEZ REVISOR	JFREN SÁNCHEZ FLORES REVISOR

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

JAV*petry.



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 15/enero/2025

LARA MOLINA GERMÁN.
EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA.
CON NÚMERO DE CONTROL 05370428.
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la OPCIÓN III: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN cuyo tema es: FORMACIÓN DE PATRONES DE FLUJO EN DUCTOS CON INSERTOS 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 la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar 2 USB del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepcion Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

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



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES


ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
ijss/aehs



2025
Año de
La Mujer

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



AGRADECIMIENTOS

Con profundo agradecimiento, extendiendo mi más sincera gratitud a mi casa de estudios el Instituto Tecnológico de Apizaco, agradezco a mis docentes de la carrera que han compartido sus conocimientos para mi formación académica y profesional, en especial a los docentes de metal mecánica. Dr. Vicente Flores Lara

Expreso sincero agradecimiento a mis padres que, con sacrificio y entusiasmo, incondicionalmente me brindaron su apoyo para mi formación.

A mis hermanos que durante toda esta etapa de estudio han sido un gran apoyo moral y un ejemplo a seguir.

A mi esposa e hijos que han sido el motor de motivación intrínseca que día con día me impulsa a promover la autonomía en los diferentes ámbitos.

INDICE

1	Capítulo I Introducción.....	7
1.1	Sistemas Híbridos.....	9
1.2	Planteamiento del problema.....	12
1.3	Justificación.....	13
1.4	Objetivos.....	16
1.4.1	Objetivo general.....	16
1.4.2	Objetivo específico.....	16
1.5	Metodología.....	18
1.5.1	Alcances.....	19
1.5.2	Limitaciones.....	19
1.6	Estado del arte	20
1.6.1	Sistemas híbridos.....	20
1.6.2	Sistemas de transferencia de calor con aletas.....	29
2	Capítulo II Marco Teórico.....	37
2.1	Modulo fotovoltaico.....	37
2.2	Superficies extendidas.....	38
2.2.1	Aletas de sección transversal uniforme.....	39
2.2.2	Balance de energía a través de la aleta.....	41
2.2.3	Distribución de temperatura en aletas rectangulares.....	41
2.2.4	Efectividad de aleta.....	42
2.2.5	Disposición geométrica de aleta.....	43
2.2.6	Superficies rugosas.....	45
2.3	Balance de energía de flujo de aire a través del conducto rectangular....	48
2.4	Coeficiente de transferencia de calor.....	49
2.5	Capa límite de velocidad.....	50
2.6	Velocidad media.....	51
2.7	Capa límite térmica.....	51
2.8	Temperatura media.....	51
2.9	Gradiente de presión y factor de fricción.....	52
2.10	Balance de energía para el sistema térmico para el calentamiento del aire..	53

3	Capítulo III Configuración y resultados experimentales	57
3.1	Elementos disipadores de calor (aletas)	58
3.2	configuración de elementos disipadores de calor	60
3.3	Sección transversal del conducto	64
3.4	configuración experimental y procedimiento de medición	68
3.5	Descripción del sistema	68
3.6	Normatividad de pruebas	70
3.7	Instalación experimental	71
3.8	Instrumentación	73
3.9	Procedimiento de prueba experimentales	78
3.10	Resultados experimentales	79
3.10.1	Parámetros ambientales	79
3.10.2	Parámetros del comportamiento del sistema	80
4	Capítulo IV Análisis de resultados teórico experimentales	83
4.1	Análisis teórico experimental del panel fotovoltaico aletado	83
4.2	Comportamiento teórico experimental del sistema	86
4.3	Influencia del flujo másico en el comportamiento del sistema híbrido	88
4.4	Selección de la configuración geométrica de aletas de un sistema híbrido	91
4.5	Efecto del enfriamiento del Panel Fotovoltaico	95
4.6	Sistema híbrido de panel aletado vs Panel Fotovoltaico estándar	97
4.7	Desempeño eléctrico del sistema Vs. Panel fotovoltaico estándar	99
4.8	Sistema híbrido configurado geométricamente	101
5	Conclusiones	103
6	Bibliografía	105

CAPITULO I

1. Introducción

El programa nacional estratégico de energía y cambio climático busca promover una reflexión amplia y acciones específicas para alcanzar un sistema energético sostenible y más equitativo. Busca promover soluciones de largo plazo que garantice un uso sustentable y democrático de la energía que asegure el acceso a servicios energéticos a la población más pobre y vulnerable [1].

En materia de transición energética, este PRONACE promueve la democratización de la generación de energía y la posibilidad de detonar procesos productivos locales con base en la creación distribuida de la energía y el uso de fuentes renovables. Una transición de esta naturaleza contribuirá a lograr una mayor soberanía, seguridad e independencia energéticas en el país, reducirá la pobreza y mitigará el cambio climático [1]. Mitigar el cambio climático tomando como base el aspecto energético, no solo involucra transitar al aprovechamiento de energías renovables, sino también al hacer uso racional y eficiente de la energía, siendo la forma de energía a la que se le atribuye el calentamiento global, la térmica, por ser ésta, la última manifestación de todas las formas de energía en los procesos de transformación.

La falta de implementar técnicas y procesos de recuperación de calor y transformación de energía conduce a pérdidas superiores al 40% de la energía disponible inicialmente

Una técnica actualmente aplicada en la industria para aumentar la transferencia de calor de una superficie, es hacerla rugosa, ya sea con granos de arena o mediante el uso de formas geométricas regulares que modifican la rugosidad en la superficie. Sin embargo, el aumento de la transferencia de calor va acompañado de un aumento en la resistencia al flujo de fluido. Muchos investigadores [2] han estudiado este problema en un intento de generar información precisa de forma experimental o a través de predicciones simulando el comportamiento de una rugosidad dada una geometría. Buscando definir la geometría de la rugosidad que proporcione el mejor rendimiento de transferencia de calor para una fricción de flujo determinada.

A pesar de que existen equipos de transferencia de calor en los que se ha estudiado la influencia de insertos o nervaduras, los equipos estudiados son de altas capacidades y de uso industrial. Sin embargo, de acuerdo al estado de la técnica, existe un área de oportunidad, cuando se trabaja con equipos de transferencia de calor que aprovechan la energía solar; entre otros, calentadores solares de aire, deshidratadores solares, calentadores solares de agua con almacenamiento integrado.

Un aspecto fundamental en el estudio del comportamiento de insertos y nervaduras, es la relación entre el tamaño de obstrucción en relación con el diámetro hidráulico del conducto (h/D_h), canal o tubería, así como, la relación entre el tamaño de la obstrucción con respecto a la separación tanto longitudinal (h/PL), como transversal, (h/PT) entre una y otra.

1.1 Sistemas híbridos

La demanda de energía limpia y sostenible está en constante crecimiento en todo el mundo. En este contexto, la energía solar se ha convertido en una opción atractiva y cada vez más popular. Sin embargo, existen dificultades con la generación de electricidad solar debido a factores como la variabilidad de la radiación solar y la dependencia climática.

Para superar estas limitaciones y garantizar un suministro constante de energía, han surgido los sistemas híbridos de energía solar. Estos sistemas maximizan la efectividad y confiabilidad de la generación eléctrica al combinar la energía solar con otras fuentes de energía.

Sistema híbrido de energía solar

Los sistemas híbridos de energía solar son configuraciones que usan energía solar junto con fuentes de energía adicionales para producir electricidad de manera más efectiva y consistente. El objetivo de estos sistemas es garantizar un suministro constante de electricidad, incluso en circunstancias desfavorables, utilizando la radiación solar y otras formas de energía renovable o convencional.

El objetivo de los sistemas híbridos es sortear las limitaciones inherentes a la generación de energía solar fotovoltaica, que depende de la luz solar. Por ejemplo, durante la noche o en días nublados, la producción de electricidad solar se ve reducida. Al combinarla con otras fuentes de energía, se busca compensar esa variabilidad y asegurar un suministro continuo.

Sistema híbrido solar-eólico

Este sistema combina energía eólica y solar. La radiación solar diurna es capturada por paneles solares, mientras que la energía eólica nocturna es capturada por turbinas eólicas. Esta combinación permite una generación más constante y equilibrada de energía, ya que la disponibilidad de luz solar y viento puede variar en diferentes momentos del día.

Sistema híbrido solar-hidroeléctrico

En este tipo de sistema, los paneles solares se combinan con una planta hidroeléctrica. Durante el día, los paneles solares generan electricidad mediante la radiación solar, y en caso de que haya una demanda energética mayor a la capacidad de generación solar, se puede utilizar energía hidroeléctrica almacenada en embalses para cubrir la demanda adicional. Este tipo de sistema ofrece una mayor flexibilidad y confiabilidad en la generación de energía.

Sistema híbrido solar-diésel

Aquí, los paneles solares fotovoltaicos se combinan con generadores diésel. Durante el día, los paneles solares proporcionan electricidad, reduciendo así la necesidad de utilizar los generadores diésel. Sin embargo, en situaciones de baja radiación solar o alta demanda energética, los generadores diésel pueden entrar en funcionamiento para cubrir la demanda adicional.

Sistema híbrido solar-batería

Este tipo de sistema combina paneles solares fotovoltaicos con sistemas de almacenamiento de energía, como baterías. Durante el día, los paneles solares generan electricidad y, en lugar de enviar todo el exceso de energía a la red, se almacena en las baterías para su uso posterior cuando la generación solar es limitada, como durante la noche o en días nublados.

Sistema híbrido solar-geotérmico

Este sistema combina paneles solares fotovoltaicos con la energía geotérmica. Los paneles solares captan la radiación solar durante el día, mientras que la energía geotérmica aprovecha el calor proveniente del interior de la Tierra. Se utiliza la energía geotérmica como una fuente adicional de generación cuando la radiación solar es limitada, lo que proporciona una mayor estabilidad y continuidad en la producción de electricidad.

Sistema híbrido solar-biomasa

La biomasa, que es materia orgánica de origen vegetal o animal utilizada como fuente de energía, se combina con paneles solares fotovoltaicos en este tipo de sistemas. Los paneles solares generan electricidad durante el día, y la biomasa se utiliza para generar calor o electricidad cuando la generación solar no es suficiente. La biomasa puede provenir de residuos agrícolas, forestales o industriales, lo que brinda una opción renovable y sostenible para complementar la energía solar.

Sistema híbrido solar-termosolar

Aquí, los paneles solares fotovoltaicos se combinan con tecnología termosolar. Los paneles solares fotovoltaicos convierten la radiación solar en electricidad, mientras que la tecnología termosolar utiliza los rayos del sol para calentar un fluido y producir vapor que mueve una turbina generadora de electricidad. Esta combinación permite aprovechar tanto la radiación solar directa para generar electricidad como el calor solar para producir energía térmica.

Ventajas de los sistemas híbridos de energía solar

Ya que sabemos que es un sistema híbrido es momento de conocer sus ventajas. Al comparar los sistemas de energía solar híbridos con los sistemas de energía solar únicamente fotovoltaicos, hay una serie de beneficios importantes. A continuación, se presentan algunas de las principales ventajas de los sistemas híbridos:

Mayor eficiencia energética

Los sistemas híbridos pueden utilizar los recursos disponibles de manera más eficaz al combinar la energía solar con otras fuentes de energía como la eólica, la hidroeléctrica o el diésel. Esto permite una generación continua de electricidad incluso cuando la radiación solar es limitada, lo que aumenta la eficiencia general del sistema y reduce la dependencia exclusiva de la energía solar.

Suministro constante de electricidad

La combinación de múltiples fuentes de energía en un sistema híbrido garantiza un suministro más estable y confiable de electricidad. Esto es especialmente importante en áreas donde la radiación solar varía a lo largo del día o en condiciones climáticas adversas. La presencia de fuentes de respaldo asegura que el suministro eléctrico se mantenga incluso en momentos de baja generación solar.

Reducción de la dependencia de una sola fuente de energía

Al integrar diferentes fuentes de energía en un sistema híbrido, se reduce la dependencia de una sola fuente. Esto proporciona una mayor resiliencia energética y disminuye la vulnerabilidad ante posibles interrupciones o fluctuaciones en la disponibilidad de una fuente específica. Diversificar las fuentes de energía aumenta la estabilidad y la seguridad del suministro.

Flexibilidad y adaptabilidad

Los sistemas híbridos son flexibles y pueden adaptarse a diferentes condiciones y necesidades energéticas. La combinación de tecnologías permite ajustar la generación de electricidad de acuerdo con la demanda, lo que facilita la optimización de los recursos disponibles y la adaptación a situaciones específicas.

Aprovechamiento óptimo de los recursos

Los sistemas híbridos permiten aprovechar de manera óptima los recursos disponibles en un determinado lugar. Por ejemplo, un sistema híbrido que combina

energía solar y eólica maximiza la producción de energía renovable y ofrece el mejor rendimiento en áreas con vientos constantes y abundante radiación solar diurna.

Reducción de costos de energía

Al combinar diferentes fuentes de energía en un sistema híbrido, se puede reducir el costo total de la energía. En comparación con los sistemas convencionales, los sistemas híbridos pueden producir ahorros considerables a largo plazo al utilizar fuentes de energía renovable fácilmente accesibles y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

Mayor autonomía energética

Los sistemas híbridos de energía solar con almacenamiento de energía, como baterías, brindan mayor autonomía energética. Para utilizar la energía solar adicional producida durante el día que no se necesita de inmediato, primero debe almacenarse. Como resultado, hay más independencia energética y menos dependencia de la red eléctrica tradicional.

Es fundamental darse cuenta de que esta es una forma creativa y eficaz de abordar los problemas asociados con la producción de electricidad a partir de fuentes renovables. Los importantes beneficios de estos sistemas, como una mayor eficiencia, un suministro constante de electricidad, menores emisiones y el mejor uso de los recursos disponibles, son posibles al fusionar la energía solar con otras fuentes de energía.

Debe reconocerse la capacidad de los sistemas híbridos de energía solar para acelerar el cambio hacia un futuro energético sostenible. Estos sistemas ofrecen una alternativa viable a los sistemas convencionales, permitiendo una mayor autonomía energética, reduciendo los costos a largo plazo y contribuyendo a la protección del medio ambiente. Los gobiernos, las empresas y las personas deben promover la adopción de sistemas híbridos de energía solar como parte de esta transición hacia una generación de energía más limpia y sostenible. Es fundamental apoyar leyes y normas que faciliten su adopción, así como la investigación y creación de enfoques y tecnologías novedosas.

1.3 Justificación

Insertos y nervaduras en tuberías y ductos.

Se puede lograr un mayor rendimiento y/o reducir el tamaño de los dispositivos de transferencia de calor mediante técnicas que mejoran la transferencia de calor.

En general, estas técnicas se pueden dividir en dos grupos: técnicas activas y pasivas.

Los tubos con nervaduras helicoidales se han utilizado como una de las técnicas pasivas de mejora de la transferencia de calor y son los tubos los más utilizados en varias aplicaciones de transferencia de calor, por ejemplo, procesos de recuperación de calor, sistemas de acondicionamiento y refrigeración de aire y reactores químicos. De acuerdo con investigaciones como [3, 4, 5], la aplicación de insertos, aletas, o nervaduras en la tubería son generalmente utilizados en intercambiadores de calor que involucran flujos de baja capacidad térmica, como por ejemplo en intercambiadores líquido-gas, donde las nervaduras se implementan en el lado del flujo de gas, la finalidad que tienen es aumentar la transferencia de calor mejorando la turbulencia del fluido en movimiento, sin embargo, existe una mayor pérdida de presión comparado con tubos lisos. Carnavos [3] fue uno de los primeros en realizar un trabajo integral sobre tubos con inserciones internas. Presentó los resultados de las pruebas obtenidas durante el enfriamiento del aire. El análisis se refiere al flujo a través de 21 tubos. Los diámetros internos de los tubos oscilaron entre 3.18 mm. y 23.8 mm. Dentro de los tubos analizados había entre 5 y 41 costillas con diferentes geometrías. En la mayoría de los tubos, las costillas estaban dispuestas longitudinalmente (ángulo de costilla helicoidal = 0°); en seis casos, el ángulo helicoidal varió de 2.5° a 20° . Usando los datos experimentales, el autor relacionó las dimensiones geométricas y los ángulos helicoidales de las inserciones con el coeficiente de transferencia de calor y el factor de fricción. Carnavos [3] también estimó que el uso de tubos con inserciones internas podría reducir la cantidad de tubos necesarios en el intercambiador en un 12%. Otra ventaja que observó fue el aumento de la capacidad de la potencia de los intercambiadores de calor existentes sin tener que aumentar el flujo másico. En este sentido, en [5] se estudia el factor de fricción experimental y el número de Nusselt para un flujo laminar de aceite viscoso a través de una tubería con rugosidad artificial a base de costillas en espiral con cintas retorcidas y dientes oblicuos. También se presentaron las correlaciones predictivas del factor de fricción y del número de Nusselt y se evaluó el rendimiento termohidráulico.

La búsqueda del estado de la técnica demuestra que muy pocas pruebas experimentales se han realizado internamente en tubos con inserciones rectangulares para provocar un patrón de flujo que se refleje en la mejora de la transferencia de calor con aplicaciones industriales como equipos de transferencia de calor.

El estudio de las pérdidas relacionadas con la presión en tubos con inserciones o costillas (obstrucciones) se han determinado utilizando correlaciones desarrolladas para tubos instalados en intercambiadores de calor compactos con diferentes fluidos y diámetros más pequeños. La mala transferencia de calor a través de las superficies de los tubos se debe principalmente a la capa límite que se desarrolla dentro de las tuberías además de la baja velocidad del fluido, lo que lleva a una disminución en el coeficiente de transferencia de calor [6, 7, 8]. La utilización de costillas es un ejemplo de la rugosidad artificial, métodos utilizados para superar este problema mediante la ruptura de la capa límite. Además, las costillas son utilizadas para aumentar el área de superficie de transferencia de calor y su uso no requiere energía externa; por eso, se considera una técnica pasiva de aumento de la transferencia de calor. Numerosas aplicaciones industriales y así como dispositivos utilizan inserciones para aumentar la transferencia de calor [9].

Los procesos de transferencia de calor en el sector industrial y comercial demandan un elevado flujo de energía que debe ser estrictamente analizado, principalmente para reducir costos de manejo que conduzca a un aprovechamiento y uso eficiente de la energía [10].

Insertos y nervaduras en equipos solares para calentamiento de fluidos

Los calentadores solares de aire tienen muchas aplicaciones, como secado solar, calefacción de espacios, etc. [1-3]. En los calentadores de aire solares convencionales, debido al flujo de aire turbulento a través del conducto, se forma una subcapa laminar en la capa límite turbulenta adyacente a la superficie de transferencia de calor de la placa absorbente [4]. El espesor de la subcapa laminar aumenta a lo largo de la dirección del flujo; como resultado, el rendimiento térmico de los calentadores solares de aire convencionales se ve afectado negativamente. Se han investigado muchos métodos para mejorar el desempeño térmico, como los de doble paso de fluido, los de absorbedor con aletas, los de lecho empaquetado, los de nervaduras periódicas generando superficies rugosas, etc. [5]. De todas estas técnicas la de nervaduras periódicas se considera el más efectivo ya que crea turbulencias en una región cerca de la superficie de transferencia de calor de la placa absorbente donde se desarrolla la subcapa laminar; y no afecta al flujo principal debido a que el aumento de la potencia de bombeo es menor en comparación con otros métodos de mejora del rendimiento [6-13]. La técnica del uso de las superficies rugosas artificiales mediante el uso de nervaduras también se utiliza ampliamente en el enfriamiento de álabes de turbinas de vapor [14] y en intercambiadores de calor compactos. [15]. Diferentes investigaciones como las que se reportan en [12-14], han estudiado varias formas de rugosidad mediante insertos o nervaduras con el objetivo de mejorar la transferencia de calor entre la placa absorbente y el aire, con un aumento mínimo en la demanda de potencia de bombeo. Las investigaciones detalladas para nervaduras transversales e inclinadas, sobre la transferencia de calor y la caída de presión han sido reportadas en diferentes trabajos.

En comparación con las costillas transversales, los vórtices en movimiento longitudinal se generan en las nervaduras inclinadas proporcionando una mejora en la transferencia de calor. Varios investigadores han demostrado experimentalmente el efecto positivo de las nervaduras en forma de V sobre la transferencia de calor y el factor de fricción en comparación con las nervaduras en ángulo, para diferentes configuraciones geométricas y números de Reynolds. La periodicidad de los insertos o nervaduras en la superficie, la relación de aspecto del conducto, y el rango de operación del número de Reynolds, son decisivos en el desempeño de los equipos de transferencia de calor que aprovechan la energía solar. El estudio de la simetría y asimetría de los espacios, transversales y longitudinales entre inserto e inserto, aspectos de la mecánica de fluidos y transferencia de calor que se abordan en este proyecto, aplicados al estudio del comportamiento de equipos de transferencia de calor, fundamentalmente en la eficiencia con la que ocurre la transformación de energía.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar patrones de flujo que se producen en el transporte de fluido multifasico por tuberías horizontales en el Campo Libertador. PROBLEMA: Los sistemas bifásicos son el caso más reducido, y pueden presentarse en varias combinaciones, de las cuales el caso más problemático es el flujo líquido-gas. HIPÓTESIS: Mediante el estudio de los patrones de flujo multifásico en tuberías horizontales se puede llegar a determinar una correlación que se acerque a la realidad del campo Libertador, que nos permitirá realizar una selección optima de tubería

1.4.2 Objetivo específico

Los patrones o regímenes de flujo hacen referencia a la configuración geométrica que adquieren las fases dentro de la tubería. Éstos han sido estudiados tanto teórica como experimentalmente con el objetivo de determinar las condiciones en que se presentan, así como para identificar los mecanismos físicos que gobiernan su hidrodinámica y transferencia de calor. En general, la existencia de los patrones de flujo en un sistema bifásico depende principalmente de:

1. Condiciones de operación (gastos, presión y temperatura)
2. Geometría del ducto (diámetro y ángulo de inclinación)
3. Propiedades físicas de las fases por ejemplo, densidad, viscosidad y tensión interfacial.

La determinación de los patrones de flujo es un problema fundamental en el análisis de un sistema multifásico. Esto se debe a que las variables principales de diseño, como por ejemplo el colgamiento, los coeficientes de transferencia de masa, momento y de calor, así como los gradientes de presión y temperatura, dependen del patrón de flujo. Ahora bien, como se menciona en el capítulo 1, en la actualidad no existe una clasificación única de los patrones de flujo agua-aceite. Por lo tanto, en el presente trabajo se utilizará la propuesta, misma que ha sido ampliamente aceptada en la industria.

1.5 Metodología

La identificación de los patrones de flujo aceite-agua en tuberías puede realizarse de varias maneras. En la mayoría de los estudios realizados entre los años 1950 y 1960, los patrones de flujo fueron identificados visualmente y tomando en cuenta las variaciones en las caídas de presión registradas en cada régimen de flujo. Estudios más recientes han usado herramientas adicionales, tales como sondas de conductividad o tubos de muestreo. En los últimos años es cada vez más común utilizar también densitómetros de rayos gamma. En resumen, pueden diferenciarse las siguientes tres etapas en la evolución de las técnicas para determinar experimentalmente los patrones de flujo:

Observación visual a través de tuberías transparentes. Los dispositivos utilizados incluyen cámaras fotográficas y de video, así como cámaras de alta velocidad. Los primeros estudios, tales como Russell (1959) y Charles (1961), y Arirachakaran (1989), se basaron en estas técnicas. La principal desventaja es la subjetividad en la identificación de los patrones de flujo.

El uso de sondas de conductividad (Trallero, 1995; y Nadler y Mewes, 1997), y/o de sondas de impedancia de alta frecuencia (Vigneaux, 1988; Soleimani, 1999; y Angeli y Hewitt, 2000), han permitido un reconocimiento más objetivo y preciso de los regímenes de flujo. Vedapuri et al. (1997), Fairuzov et al. (2000) y Perez (2005) han utilizado también sondas de muestreo múltiple en sus pruebas de laboratorio.

Finalmente, la densitometría de rayos gamma se ha constituido como una de las tecnologías más sofisticadas para la identificación y caracterización experimental de patrones del flujo aceite-agua (Soleimani, 1999; Elseth, 2001; y Kvandal, 2000).

1.5.1 Alcances

Los alcances reflejados en esta investigación son los siguientes:

Se puede lograr un mayor rendimiento y/o reducir el tamaño de los dispositivos de transferencia de calor mediante técnicas que mejoran la transferencia de calor.

En general, estas técnicas se pueden dividir en dos grupos: técnicas activas y pasivas.

Los tubos con nervaduras helicoidales se han utilizado como una de las técnicas pasivas de mejora de la transferencia de calor y son los tubos los más utilizados en varias aplicaciones de transferencia de calor, por ejemplo, procesos de recuperación de calor, sistemas de acondicionamiento y refrigeración de aire y reactores químicos. De acuerdo con investigaciones como [3, 4, 5], la aplicación de insertos, aletas, o nervaduras en la tubería son generalmente utilizados en intercambiadores de calor que involucran flujos de baja capacidad térmica, como por ejemplo en intercambiadores liquido-gas, donde las nervaduras se implementan en el lado del flujo de gas, la finalidad que tienen es aumentar la transferencia de calor mejorando la turbulencia del fluido en movimiento.

1.5.2 Limitaciones

Existen diversas tecnologías para realizar análisis de patrones de flujo en insertos, de acuerdo con las características del metal o material empleado, del agente corrosivo y del tipo de corrosión que se inspeccionará; entre las más comunes, puede mencionarse la espectroscopía electrónica Auger y la espectroscopía fotoelectrónica de rayos X.

Otras Limitaciones son: en tuberías pueden presentarse algunos problemas que ponen en riesgo la integridad mecánica de éstas, entre los cuales la corrosión es uno de los más importantes

Bajo este escenario, es claro que los problemas de corrosión tienen un impacto económico significativo en:

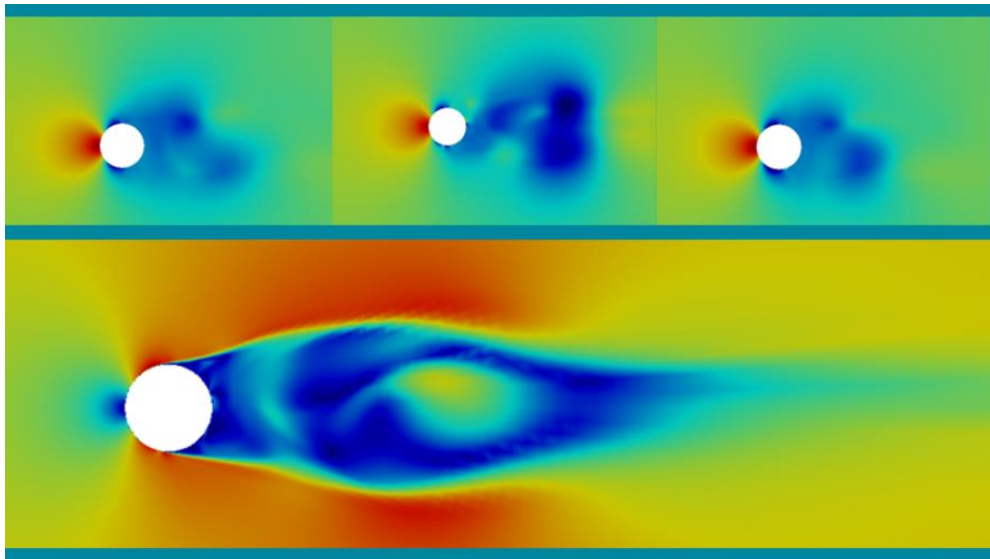
- Costos de diseño y construcción. Representan los recursos requeridos para prevenir, minimizar o controlar la corrosión.
- Costos de operación. Costos diarios asociados con el control de la corrosión y reparaciones, incluyendo los costos de mantenimiento planeado/no planeado.
- Costos de reemplazo. Costos ocasionados por reemplazo o reparación de piezas grandes del equipo dañado.

1.6 Estado del arte

1.6.1 Sistemas Híbridos

En general, el estado de un sistema híbrido el estado cambia de forma continua, de acuerdo con una condición de flujo, o discretamente de acuerdo con un gráfico de control.

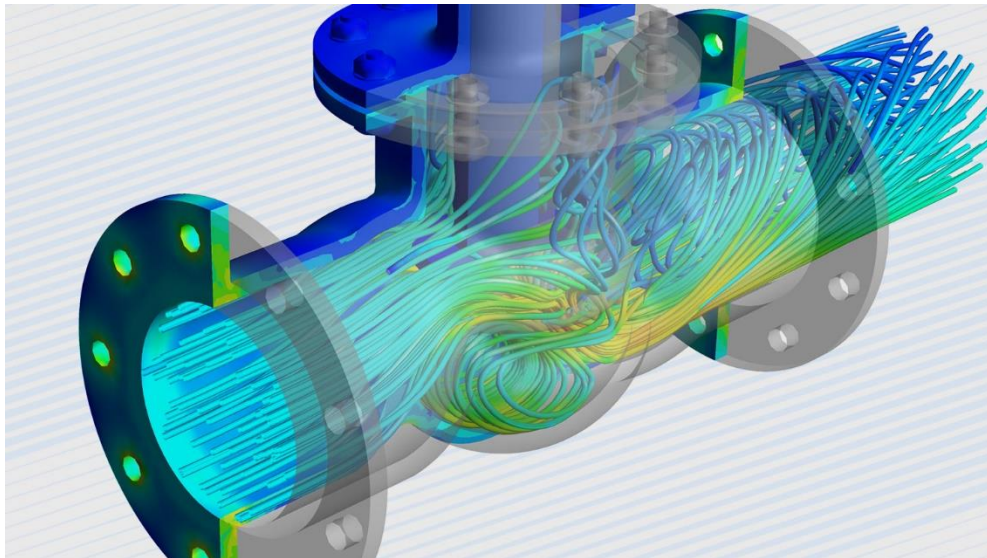
Se permite el flujo continuo mientras se mantengan las llamadas invariantes, mientras que pueden ocurrir transiciones discretas tan pronto como se cumplan las condiciones de salto dadas.



Modelos híbridos con transición de flujo

La demanda de energía limpia y sostenible está en constante crecimiento en todo el mundo. En este contexto, la energía solar se ha convertido en una opción atractiva y cada vez más popular. Sin embargo, existen dificultades con la generación de electricidad solar debido a factores como la variabilidad de la radiación solar y la dependencia climática.

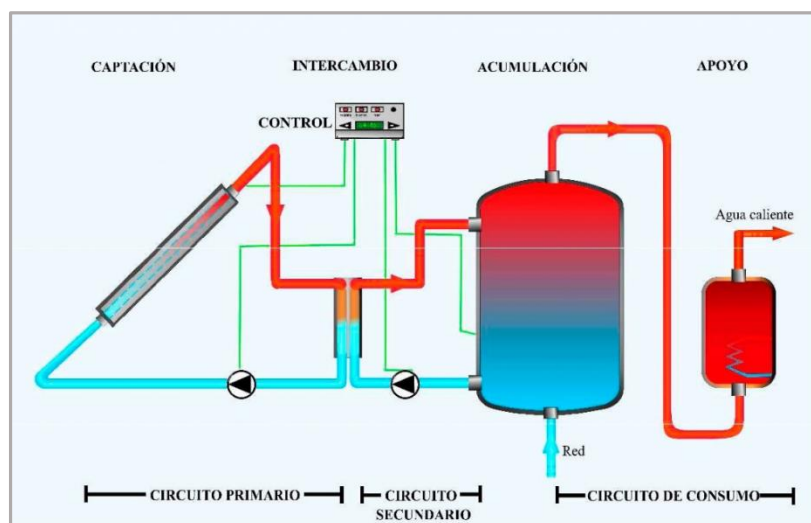
Para superar estas limitaciones y garantizar un suministro constante de energía, han surgido los sistemas híbridos de energía solar. Estos sistemas maximizan la efectividad y confiabilidad de la generación eléctrica al combinar la energía solar con otras fuentes de energía.



Sistema híbrido de energía solar

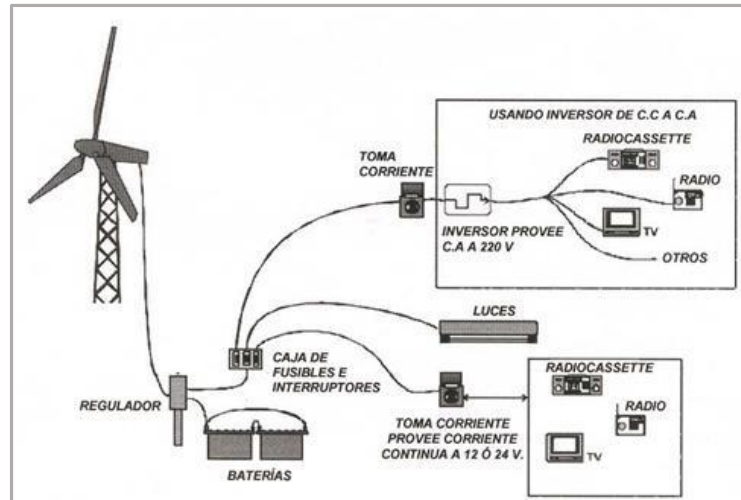
Los sistemas híbridos de energía solar son configuraciones que usan energía solar junto con fuentes de energía adicionales para producir electricidad de manera más efectiva y consistente. El objetivo de estos sistemas es garantizar un suministro constante de electricidad, incluso en circunstancias desfavorables, utilizando la radiación solar y otras formas de energía renovable o convencional.

El objetivo de los sistemas híbridos es sortear las limitaciones inherentes a la generación de energía solar fotovoltaica, que depende de la luz solar. Por ejemplo, durante la noche o en días nublados, la producción de electricidad solar se ve reducida. Al combinarla con otras fuentes de energía, se busca compensar esa variabilidad y asegurar un suministro continuo.



Sistema híbrido solar-eólico

Este sistema combina energía eólica y solar. La radiación solar diurna es capturada por paneles solares, mientras que la energía eólica nocturna es capturada por turbinas eólicas. Esta combinación permite una generación más constante y equilibrada de energía, ya que la disponibilidad de luz solar y viento puede variar en diferentes momentos del día.



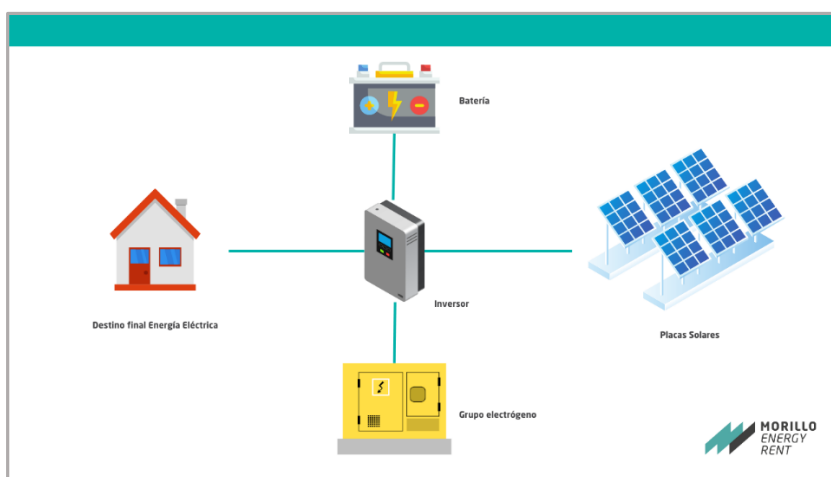
Sistema híbrido solar-hidroeléctrico

En este tipo de sistema, los paneles solares se combinan con una planta hidroeléctrica. Durante el día, los paneles solares generan electricidad mediante la radiación solar, y en caso de que haya una demanda energética mayor a la capacidad de generación solar, se puede utilizar energía hidroeléctrica almacenada en embalses para cubrir la demanda adicional. Este tipo de sistema ofrece una mayor flexibilidad y confiabilidad en la generación de energía.



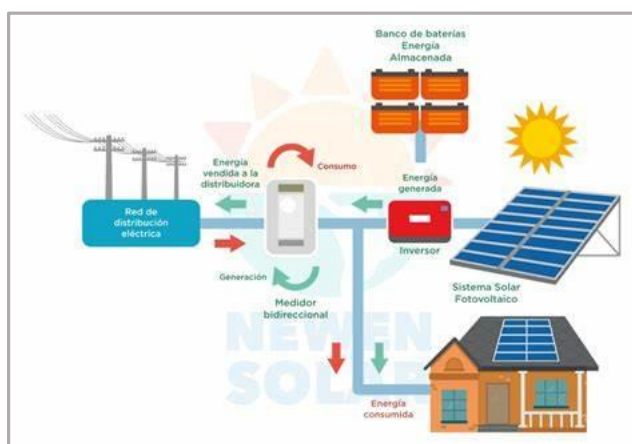
Sistema híbrido solar-diésel

Aquí, los paneles solares fotovoltaicos se combinan con generadores diésel. Durante el día, los paneles solares proporcionan electricidad, reduciendo así la necesidad de utilizar los generadores diésel. Sin embargo, en situaciones de baja radiación solar o alta demanda energética, los generadores diésel pueden entrar en funcionamiento para cubrir la demanda adicional.



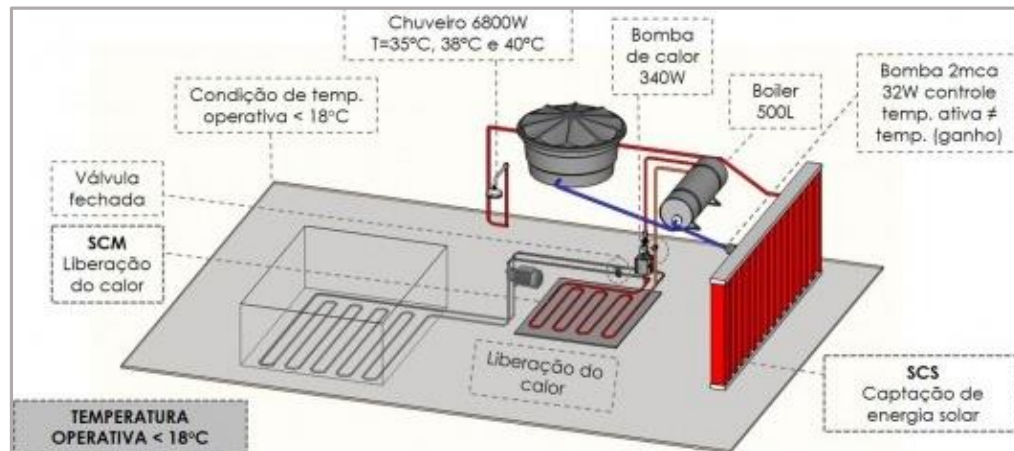
Sistema híbrido solar-batería

Este tipo de sistema combina paneles solares fotovoltaicos con sistemas de almacenamiento de energía, como baterías. Durante el día, los paneles solares generan electricidad y, en lugar de enviar todo el exceso de energía a la red, se almacena en las baterías para su uso posterior cuando la generación solar es limitada, como durante la noche o en días nublados.



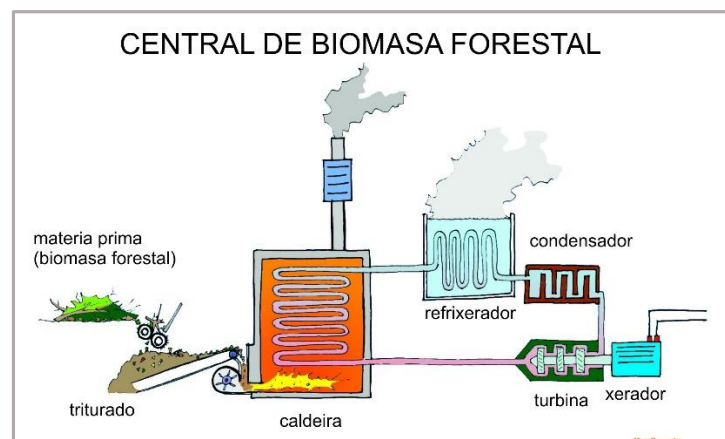
Sistema híbrido solar-geotérmico

Este sistema combina paneles solares fotovoltaicos con la energía geotérmica. Los paneles solares captan la radiación solar durante el día, mientras que la energía geotérmica aprovecha el calor proveniente del interior de la Tierra. Se utiliza la energía geotérmica como una fuente adicional de generación cuando la radiación solar es limitada, lo que proporciona una mayor estabilidad y continuidad en la producción de electricidad.



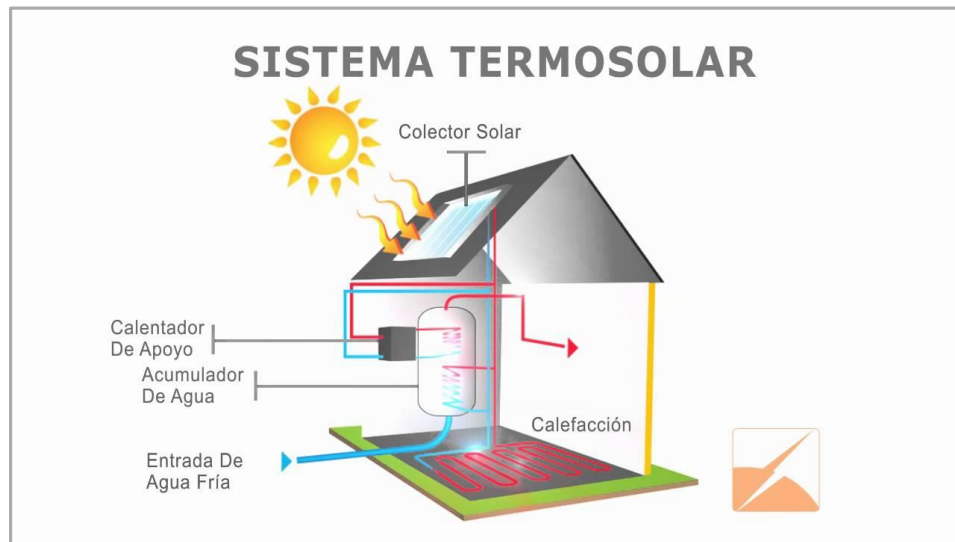
Sistema híbrido solar-biomasa

La biomasa, que es materia orgánica de origen vegetal o animal utilizada como fuente de energía, se combina con paneles solares fotovoltaicos en este tipo de sistemas. Los paneles solares generan electricidad durante el día, y la biomasa se utiliza para generar calor o electricidad cuando la generación solar no es suficiente. La biomasa puede provenir de residuos agrícolas, forestales o industriales, lo que brinda una opción renovable y sostenible para complementar la energía solar.



Sistema híbrido solar-termosolar

Aquí, los paneles solares fotovoltaicos se combinan con tecnología termosolar. Los paneles solares fotovoltaicos convierten la radiación solar en electricidad, mientras que la tecnología termosolar utiliza los rayos del sol para calentar un fluido y producir vapor que mueve una turbina generadora de electricidad. Esta combinación permite aprovechar tanto la radiación solar directa para generar electricidad como el calor solar para producir energía térmica.



Ventajas de los sistemas híbridos de energía solar

Ya que sabemos que es un sistema híbrido es momento de conocer sus ventajas. Al comparar los sistemas de energía solar híbridos con los sistemas de energía solar únicamente fotovoltaicos, hay una serie de beneficios importantes. A continuación, se presentan algunas de las principales ventajas de los sistemas híbridos:

Mayor eficiencia energética

Los sistemas híbridos pueden utilizar los recursos disponibles de manera más eficaz al combinar la energía solar con otras fuentes de energía como la eólica, la hidroeléctrica o el diésel. Esto permite una generación continua de electricidad incluso cuando la radiación solar es limitada, lo que aumenta la eficiencia general del sistema y reduce la dependencia exclusiva de la energía solar.

Suministro constante de electricidad

La combinación de múltiples fuentes de energía en un sistema híbrido garantiza un suministro más estable y confiable de electricidad. Esto es especialmente importante en áreas donde la radiación solar varía a lo largo del día o en condiciones climáticas adversas. La presencia de fuentes de respaldo asegura que el suministro eléctrico se mantenga incluso en momentos de baja generación solar.

Reducción de la dependencia de una sola fuente de energía

Al integrar diferentes fuentes de energía en un sistema híbrido, se reduce la dependencia de una sola fuente. Esto proporciona una mayor resiliencia energética y disminuye la vulnerabilidad ante posibles interrupciones o fluctuaciones en la disponibilidad de una fuente específica. Diversificar las fuentes de energía aumenta la estabilidad y la seguridad del suministro.

Flexibilidad y adaptabilidad

Los sistemas híbridos son flexibles y pueden adaptarse a diferentes condiciones y necesidades energéticas. La combinación de tecnologías permite ajustar la generación de electricidad de acuerdo con la demanda, lo que facilita la optimización de los recursos disponibles y la adaptación a situaciones específicas.

Aprovechamiento óptimo de los recursos

Los sistemas híbridos permiten aprovechar de manera óptima los recursos disponibles en un determinado lugar. Por ejemplo, un sistema híbrido que combina energía solar y eólica maximiza la producción de energía renovable y ofrece el mejor rendimiento en áreas con vientos constantes y abundante radiación solar diurna.

Reducción de costos de energía

Al combinar diferentes fuentes de energía en un sistema híbrido, se puede reducir el costo total de la energía. En comparación con los sistemas convencionales, los sistemas híbridos pueden producir ahorros considerables a largo plazo al utilizar fuentes de energía renovable fácilmente accesibles y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

Mayor autonomía energética

Los sistemas híbridos de energía solar con almacenamiento de energía, como baterías, brindan mayor autonomía energética. Para utilizar la energía solar adicional producida durante el día que no se necesita de inmediato, primero debe almacenarse. Como resultado, hay más independencia energética y menos dependencia de la red eléctrica tradicional.

Es fundamental darse cuenta de que esta es una forma creativa y eficaz de abordar los problemas asociados con la producción de electricidad a partir de fuentes renovables. Los importantes beneficios de estos sistemas, como una mayor eficiencia, un suministro constante de electricidad, menores emisiones y el mejor uso de los recursos disponibles, son posibles al fusionar la energía solar con otras fuentes de energía.

Debe reconocerse la capacidad de los sistemas híbridos de energía solar para acelerar el cambio hacia un futuro energético sostenible. Estos sistemas ofrecen una alternativa viable a los sistemas convencionales, permitiendo una mayor autonomía energética, reduciendo los costos a largo plazo y contribuyendo a la protección del medio ambiente. Los gobiernos, las empresas y las personas deben promover la adopción de sistemas híbridos de energía solar como parte de esta transición hacia una generación de energía más limpia y sostenible. Es fundamental apoyar leyes y normas que faciliten su adopción, así como la investigación y creación de enfoques y tecnologías novedosas.

1.6.2 Sistemas de transferencia de calor con aletas

Las aletas se utilizan en todos los enfriadores de aire, refrigeradores en seco, evaporadores y condensadores para transferir energía desde un medio líquido al aire o desde el aire a un medio líquido.

Las aletas aumentan la transferencia de calor de los enfriadores de aire. 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 constan de placas de metal delgadas, con un espesor de 0,12–0,5 mm, que se encuentran fijadas a un enfriador de aire, refrigerador en seco, evaporador o condensador. 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 utilizan las aletas para aumentar la superficie global y compensar así el menor rendimiento metal-aire.

1 Flujo de aire

2 Fluido a través de las tuberías

3 Placas del intercambiador calorífico

A la vista de la Ley de Newton del Enfriamiento: $Q_{\text{punto conv}} = A_s \cdot h \cdot (T_s - T_f)$ que modela la velocidad de transferencia de calor por convección entre una superficie y el fluido que la 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 dos:

1) 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.

2) Aumentar la superficie de intercambio (A_s) mediante elementos adicionales llamados, en general, aletas.

NOMENCLATURA EMPLEADA

A	factor experimental / Área
A_2	coeficiente experimental para las líneas de tubos
a	coeficiente producto de la discretización
b	coeficiente del término fuente
c_p	calor específico
d	diámetro
D	máxima longitud de la escala local conductancia de difusión
e	energía total del fluido espesor
F	fuerza de convección
$\vec{F}_v$	fuerzas volumétricas
f	factor de fricción
G	flujo másico por unidad de área
h	Entalpia / coeficiente convectivo / coeficiente de transferencia de calor
k	conductividad
L	distancia
l	altura
Ma	número de Mach
$\dot{m}$	flujo de gases
N_r	número de líneas de tubos
Nu	Número de Nusselt
n	número de iteración / número
Pe	número de Peclet

$\dot{Q}$	flujo de calor en el módulo
q_T	calor total
r	relación de gradientes
R	constante universal de los gases
R_f	Factor de ensuciamiento
Re	número de Reynolds
S	pitch
s	espaciamiento
T	temperatura
$T_{1\text{máx}}, T_{1'\text{máx}}$	Temperatura máxima de fluidos
$T_{2\text{máx}}, T_{2'\text{máx}}$	Temperatura mínima de fluidos
t	espesor
U_o	coeficiente global de transferencia de calor
u_{med}	perfil de velocidades inicial
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	componentes medios de la velocidad
$\bar{u}^*$	campo de velocidades inicial
V_p	volumen de la celda
$\bar{v}^*$	campo de velocidades inicial
$\bar{V}$	velocidad instantánea
$\bar{V}_i$	velocidad en la cara i
W_v	trabajo viscoso
α	factor de relajación
β	variación de la presión promedio en la dirección del flujo

TIPOS DE ALETAS

Aletas longitudinales

Se utilizan en intercambiadores de tubos concéntricos y de camisa y tubos (sin chicanas), cuando uno de los fluidos es viscoso y escurre en régimen laminar.

Aletas transversales

Usadas ampliamente para el calentamiento o enfriamiento de gases en flujo cruzado.

Aletas de anillos de acero

Es un tipo de aleteado integral continuo, con aletas formadas del mismo tubo. Se considera anillos de acero cuando las alturas de las aletas varían de 7 mm a 15mm. Similar al Medium-Fin, el diámetro de la sección aletada se ajusta según el material del tubo y la altura de la aleta.

Aletas helicoidales

El tubo aleteado helicoidal es un tipo de tubo aleteado en el que se aplica una aleta helicoidal continua con base de apoyo plana mediante soldadura láser directamente sobre la superficie del tubo base. Esta soldadura puede realizarse con o sin aporte según las especificaciones del cliente.

Se utilizan en una variedad de aplicaciones industriales, incluyendo secaderos, calderas, hornos y economizadores, entre otros. Su diseño robusto y la soldadura precisa garantizan una transferencia de calor eficiente y una alta resistencia a la presión y la corrosión.

Materiales de Aletas

La tira de la aleta se encastra en un surco trabajado a máquina sobre el tubo y es fijada a este con seguridad en lugar por expansión del material del tubo. Esto se asegura de que se minimiza la resistencia térmica.

La temperatura de funcionamiento máximo para este tipo de la aleta es 450°C

Materiales del tubo:

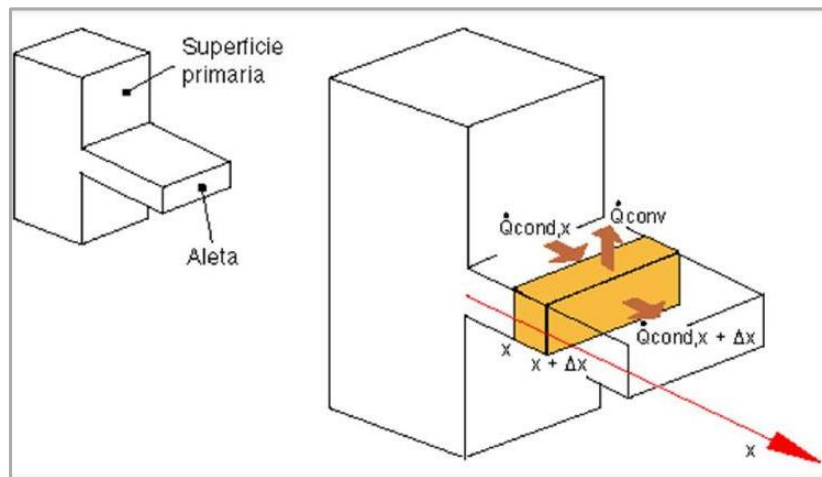
Acero de carbón, acero de Cr.-Mo., acero inoxidable, Cobre, aleaciones de cobre, etc.

Un tubo bimetálico que consiste en un tubo externo del aluminio y un tubo interno de casi cualquier material (soporta cualquier fluido de proceso). La Aleta se forma extrudiendo el material del tubo exterior, para dar una Aleta con muy buen contacto térmico con el tubo interior. La temperatura de funcionamiento máximo para este tipo de la aleta es 290 - 300°C.

Ecuación de la aleta

El balance de energía en el elemento de volumen coloreado en la figura adjunta será:

Q-punto cond, x = Q-punto cond, x+Dx + Q-punto conv, es decir,
 (Velocidad de transferencia de calor por conducción en la sección correspondiente a x) =
 (Velocidad de transferencia de calor por conducción en la sección correspondiente a x+Dx) + (Velocidad de transferencia de calor por convección en la superficie lateral del elemento de volumen).



Tf), siendo p el perímetro de la sección transversal de la aleta. Sustituyendo en la ecuación del balance de energía y dividiendo por Dx queda:

$$\frac{\dot{Q}_{cond,x+\Delta x} - \dot{Q}_{cond,x}}{\Delta x} + h p (T_s - T_f) = 0$$

Tomando el límite cuando $\Delta x \rightarrow 0$ queda

$$\frac{d\dot{Q}_{cond}}{dx} + h p (T_s - T_f) = 0$$

Según la Ley de Fourier de la Conducción (transferencia unidireccional, régimen permanente): Q-punto, cond = - k At (dT / dx), siendo At el área de la sección transversal de la aleta. Sustituyendo en la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{d}{dx} \left(k A_t \frac{dT}{dx} \right) - h p (T_s - T_f) = 0$$

Ecuación diferencial que habrá que resolver para cada tipo de aleta para el caso particular en que el área de la sección transversal de la aleta sea constante ($A_t = \text{cte}$) y conductividad térmica constante ($k = \text{cte}$) resulta la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - a^2 \theta = 0$$

Donde $a^2 = (h p) / (k A_t)$; $J = T_s - T_f$; T_s es la temperatura de la aleta en cada sección transversal.

Parámetros característicos de una aleta.
Eficiencia y efectiva longitud apropiada

Eficiencia

de una aleta es la relación entre la potencia térmica ($\dot{Q}$ -punto) que se disipa en la misma y la potencia térmica que se disiparía si toda la aleta estuviese a una temperatura igual a la de la base (la temperatura de la aleta será inferior a la de la base)

$$\eta_{\text{aleta}} = \frac{\dot{Q}_{\text{aleta}}}{\dot{Q}_{\text{aleta, max}}} = \frac{\text{Velocidad de transferencia de calor real desde la aleta}}{\text{Velocidad de transferencia de calor ideal desde la aleta si estuviera toda ella a la temperatura de la base}}$$

$\dot{Q}_{\text{aleta}} = \eta_{\text{aleta}} \dot{Q}_{\text{aleta, max}}$

$\eta_{\text{aleta}} < 1$; η_{aleta} : eficiencia de la aleta

Efectividad de una aleta es la relación entre la potencia térmica (Q-punto) que se disipa en la misma y la potencia térmica que se disipa sin aleta desde el área de la base que ocupa ésta en la superficie primaria:

$$\varepsilon_{\text{aleta}} = \frac{\dot{Q}_{\text{aleta}}}{\dot{Q}_{\text{sin aleta}}} = \frac{\text{velocidad de transferencia de calor desde la aleta de área de la base } A_b}{\text{Velocidad de transferencia de calor desde la superficie de área } A_b}$$

$\dot{Q}_{\text{aleta}} = \varepsilon_{\text{aleta}} \dot{Q}_{\text{sin aleta}}$

$\varepsilon_{\text{aleta}}$: efectividad de la aleta

$$\varepsilon_{\text{aleta}} = \frac{\dot{Q}_{\text{aleta}}}{\dot{Q}_{\text{sin aleta}}} = \sqrt{\frac{k p}{h A_t}}$$

Dónde: k: conductividad térmica de la aleta; p: perímetro de la sección transversal de la aleta; h: coeficiente de película; A_t : área de la sección transversal de la aleta.

Actuando sobre estos parámetros se puede variar la efectividad de la aleta según convenga:

- Si EFECTIVIDAD = 1 la aleta no afecta a la velocidad de transferencia de calor.
- Si EFECTIVIDAD < 1 la aleta se comporta como un aislante ralentizando la velocidad de transferencia de calor.
- Si EFECTIVIDAD > 1 la aleta acelera la velocidad de transferencia de calor.

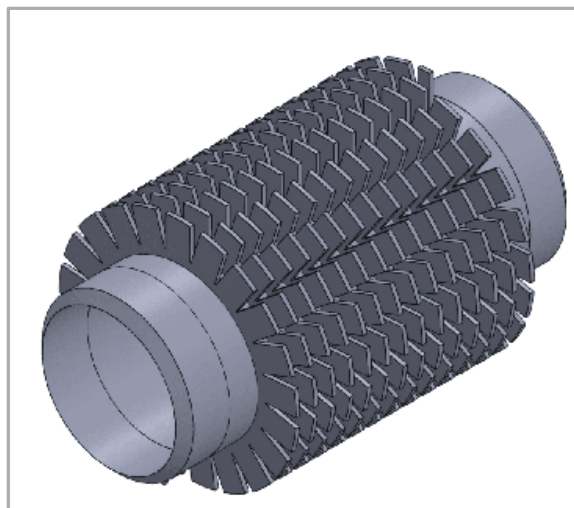
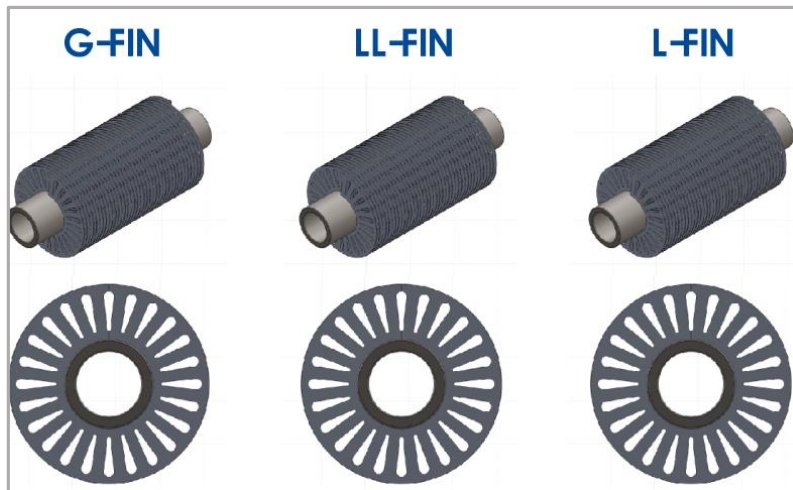
Longitud apropiada.

Podría parecer que cuanto más larga es una aleta, mayor es su área superficial y, como consecuencia, mayor es la velocidad de transferencia de calor y, por lo tanto, para conseguir la máxima velocidad de transferencia de calor la aleta tendría que ser infinitamente larga. Sin embargo, la temperatura de las secciones transversales de la aleta desciende exponencialmente con respecto a la temperatura de la base a medida que la distancia aumenta respecto a la base. A una determinada distancia la temperatura de la aleta será igual a la del ambiente, no existiendo intercambio de calor entre la aleta y el ambiente. Es decir, a partir de una determinada longitud de aleta un aumento de la misma no tiene efecto sobre la velocidad de transferencia de calor.

-- Comparando la velocidad de transferencia de calor de una Aleta con la de otra infinitamente larga:

$$\frac{\dot{Q}_{\text{aleta}}}{\dot{Q}_{\text{aleta larga}}} = \tanh aL \quad ; \quad a = \sqrt{\frac{h p}{k A_t}}$$

Para valores de a y L tales que $\tanh aL = 1$ la longitud en exceso de la aleta deja de ser efectiva. Una Aleta con $aL = 5$ produciría el mismo efecto que una infinitamente larga.



CAPITULO II

2. Marco teórico

2.1 Modulo fotovoltaico

El módulo fotovoltaico es el componente que proporciona electricidad cuando incide sobre él la radiación solar. Está compuesto por celdas de silicio en las que tienen lugar una conversión directa de la energía electromecánica del Sol en energía eléctrica. En general, las celdas solares en un módulo están conectadas en serie por sus propiedades eléctricas. El módulo fotovoltaico representa la unidad básica de un generador fotovoltaico. El voltaje nominal de operación del sistema debe estar relacionado con el voltaje nominal de los demás subsistemas. El modulo fotovoltaico consta de diversas capas que recubren a las células por arriba y por abajo, con el fin de darles una protección mecánica, a la vez que además las protegen contra los agentes atmosféricos, especialmente el agua, que puede llegar a ser causante de la oxidación de los contactos, con lo cual las células quedarían inservibles para la producción de energía.

El módulo estándar generalmente se diseña para que pueda conectarse, directamente o a través de algún elemento de protección a una batería de 12 V. Tomando en cuenta sobre los voltajes para cargar la batería y compensar bajos voltajes en condiciones no ideales, esto supone un número de celdas entre 32 y 36, que representa una tensión superior a 12 V. en el punto de máxima potencia aun en las peores condiciones de temperatura. Para comparar unos módulos fotovoltaicos con otros, se han especificado condiciones uniformes para determinar datos eléctricos, son llamadas condiciones de prueba estándar

Estas condiciones se incluyen en las fichas técnicas de los módulos, como se muestra en la tabla 1.1. Cuando las pruebas de calidad del panel se obtienen con una iluminación inferior, se suele hacer a 200 W/m se hace así en muchos casos ya que la radiación solar de un módulo fotovoltaico bajo la luz del Sol es un parámetro esencial. En el punto ideal de la curva característica corriente-tensión en condiciones estándar. Los valores de tensión y corriente son también muy importantes.

$$P_m = V_m * I_m \dots \dots (1-1)$$

Donde:

P_m : Potencia máxima [W]

V_m : Tensión máxima [V]

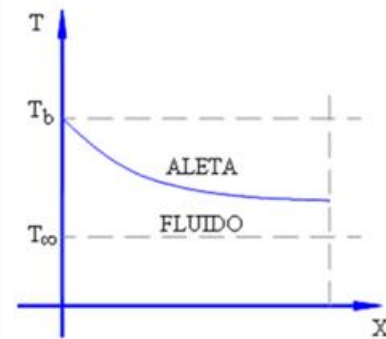
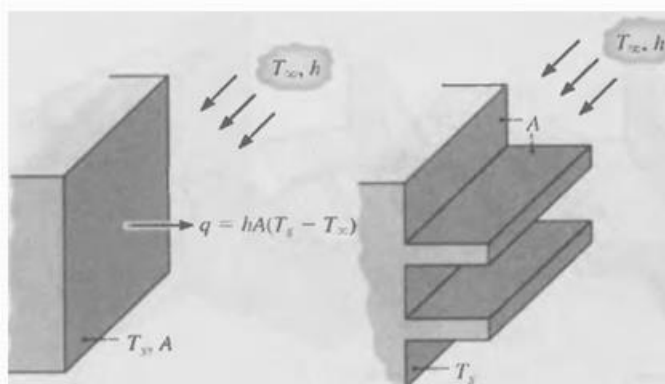
I_m : Corriente máxima [A]

2.2 Superficies extendidas

Al hablar de superficie extendida, se hace referencia a un sólido que experimenta transferencia de energía por conducción dentro de sus límites, así como transferencia de energía por convección e (y/o radiación) entre sus límites y los alrededores.

La aplicación más frecuente es aquella en la que se usa una superficie extendida de manera específica para aumentar la rapidez de transferencia de calor entre un sólido y un fluido contiguo.

Las aletas se usan cuando el coeficiente de transferencia de calor por convección h es pequeño

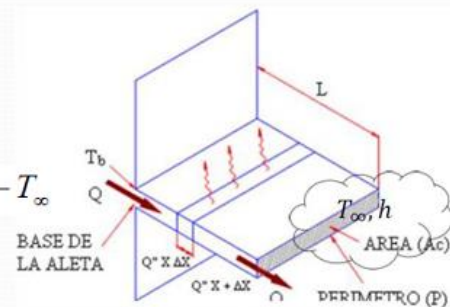


Parámetros para el análisis de la aleta:

Diferencia de Temperaturas (θ): $\theta_{(x)} = T_{(x)} - T_{\infty}$

Máxima Diferencia de Temperaturas (θ_b): $\theta_b = T_b - T_{\infty}$

Factor geométrico (m): $m = \sqrt{\frac{hP}{KA_c}}$



2.2.1 Aletas de sección transversal uniforme

En este capítulo se analizarán los procesos implicados en la transferencia de calor de la aleta de sección transversal uniforme, tales como la conducción y convección unidimensional en estado permanente. Las ecuaciones de la distribución de temperaturas en la aleta se obtendrán con el fin de identificar la mejor aproximación del problema en cuestión, posteriormente se analizarán las capas límite de velocidad y térmica para obtener el coeficiente de transferencia de calor por convección de la aleta de área de sección transversal rectangular. Finalmente se mostrarán algunas correlaciones para el cálculo del coeficiente de convección de la aleta de sección transversal circular, y se hablará acerca de la naturaleza del flujo y la importancia del número del Reynolds.

Para conocer los modelos matemáticos que rigen el proceso de transferencia de calor a través de la aleta, se requiere hacer un análisis termodinámico por medio del desarrollo de relaciones matemáticas. Las aletas de sección transversal uniforme se dividen en dos; aletas rectangulares y aletas circulares como se muestra en la figura 2.1.

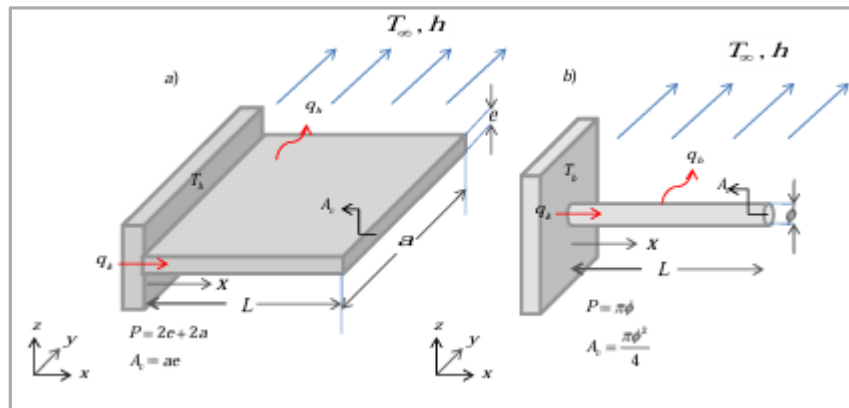


Figura 2.1 Tipos de aleta de área de sección transversal uniforme.

- a) Aleta de área de sección transversal rectangular.
- b) Aleta de área de sección transversal circular.

La conducción se debe a la existencia de una diferencia de temperaturas en un medio estacionario, ya sea un sólido o un líquido. En la figura 2.2, el medio

estacionario es la aleta, la diferencia de temperaturas se da entre la superficie isotérmica y la aleta, es decir $T_1 > T_2$, esto ocasiona que el flujo de calor por conducción se transfiera a través de la superficie de mayor temperatura hacia la superficie de menor temperatura, esta transferencia de calor a través del área normal A_c determina la dirección de flujo de calor por conducción. En otras palabras el calor es transferido en la dirección de la temperatura decreciente, es decir desde la superficie isotérmica que está a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ hacia el resto de la aleta cuya temperatura es menor.

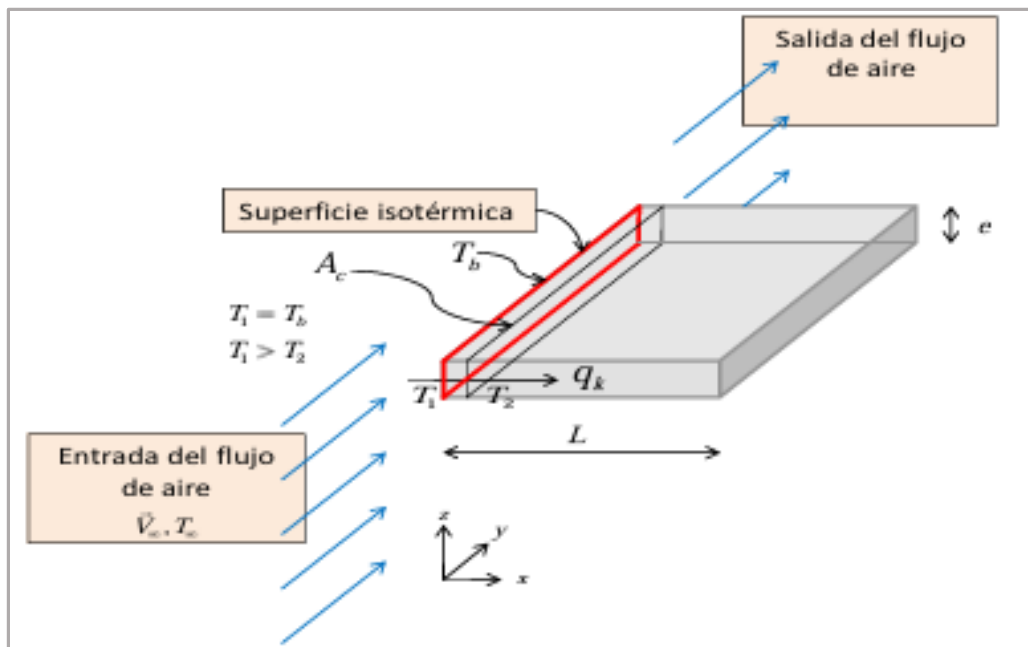


Figura 2.2 Conducción a través de una aleta.

2.2.2 Balance de energía a través de la aleta

El modelo matemático que describe el proceso de transferencia de calor por conducción unidimensional en estado permanente, se conoce como LEY DE FOURIER y se denota como:

El modelo matemático que describe el proceso de transferencia de calor por conducción unidimensional en estado permanente, se conoce como LEY DE FOURIER y se denota como:

$$q_k'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

donde:

$q_k'' [W / m^2]$: Transferencia de calor por conducción por unidad de área o flujo de calor.

$k [W / m \cdot K]$: Coeficiente de conductividad térmica.

$\frac{dT}{dx} [K / m]$: Razón de cambio de temperatura por unidad de longitud en la dirección x .

Esta ecuación solo es válida para una pared unidimensional en cuyo caso el flujo de calor quedaría expresado de la siguiente forma.

$$q_k'' = -k \left(\frac{T_2 - T_1}{L} \right) \quad (2.2)$$

donde:

$L [m]$: Longitud de la pared.

$T_2 [K]$: Temperatura en el extremo de la pared.

$T_1 [K]$: Temperatura en la base de la pared.

La transferencia de calor por conducción por unidad de tiempo q_k a través de una pared plana de área A_c es:

donde:

$q_k [W]$: Transferencia de calor por conducción por unidad de tiempo.

$A_c [m^2]$: Área normal a la dirección del flujo de calor o área transversal.

$q_k'' [W / m^2]$: Transferencia de calor por conducción por unidad de área o flujo de calor.

Haciendo un análisis de dimensiones.

$$q_k [W] = q_k'' [W / m^2] \cdot A_c [m^2]$$

$$q_k [W] = q_k'' A_c [W]$$

$$q_k [W] = q_k [J / s] = q_k [(N \cdot m) / s]$$

2.2.4 Efectividad de Aleta

En aplicaciones reales la geometría de las aletas es mas compleja que lo visto hasta el momento. Sus expresiones matemáticas son engorrosas y poco prácticas.

Concepto de eficiencia de aleta

La resistencia térmica a la convección ($1/hA$) con un área A a un fluido a T_f .

Añadir una aleta $\uparrow A$ pero introduce una resistencia a la conducción por el material extra. Hay que considerar el gradiente de T^a a lo largo de la aleta ya que h cambia

Esta evaluación se hace con la eficiencia de la aleta.

$$\eta_f = \frac{q}{q_{To}}$$

Cociente entre el calor real disipado (q) y el que disiparía si toda la aleta estuviera a la misma T^a de la base (q_{To})

$$q_{To} = A_a h (T_0 - T_f)$$

Con A_a como área convectiva y h como coef. trans. calor.

2.2.5 Disposición geométrica de aleta

La disposición geométrica de las aletas, el material de la misma y el tipo de fluido de trabajo son determinantes para mejorar la transferencia de calor, además mencionan que existe una relación entre las fuerzas de flotación del fluido y el gradiente de temperatura, entre las aletas y el fluido de trabajo y que las fuerzas viscosas del fluido se ven afectadas por este fenómeno debido a la presencia de los cambios en magnitud y dirección de los vectores de velocidad del fluido.

Esta investigación trata sobre como el número de aletas, el espesor de estas y la distancia entre ellas afecta la eficiencia térmica y la transferencia de calor global en un arreglo rectangular, mediante los resultados se puede observar cual es el parámetro más significativo que se debe tomar en consideración al momento de diseñar un disipador de energía y de esta forma disminuir la temperatura de operación de los circuitos electrónicos haciendo de esta forma más óptimo su funcionamiento.

Se analiza la transferencia de calor y la eficiencia térmica de un arreglo cuadrado de aletas de sección transversal rectangular. En la Figura N° 1 se presenta un esquema del arreglo de superficies extendidas que se analiza.

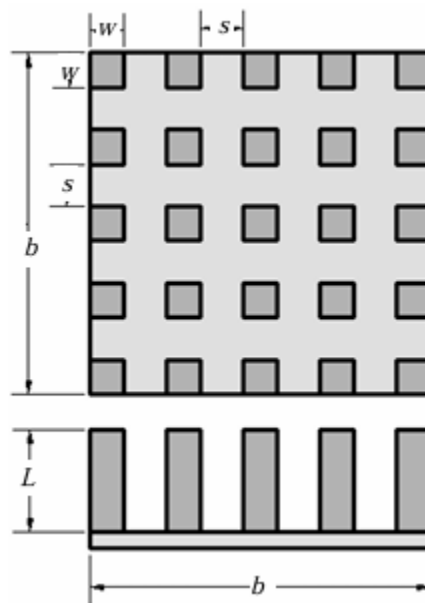


Fig. 1. Esquema del arreglo de superficies extendidas analizado.

Los parámetros que intervienen en el diseño de las aletas son: el ancho del arreglo (w), separación entre las aletas (s), coeficiente de transferencia de calor por convección entre las superficies y el fluido (h), número de aletas (N), longitud de la placa que soporta las aletas (b) y la longitud de aletas (L). Solamente se analiza cómo influyen w, s y N en el funcionamiento del arreglo de aletas. No se analiza cómo influyen b y L, ya que son parámetros geométricos definidos por las dimensiones del sistema mecatrónico donde se coloque el arreglo de las aletas, por lo regular estas no pueden ser modificadas. No se analiza tampoco la influencia de h ya que no es un parámetro geométrico, sino que depende de la velocidad y el valor de las propiedades termodinámicas del fluido.

El modelo matemático que describe la solución del caso de estudios se presenta a continuación. La transferencia de calor de la aleta (qf) está dada por la Ecuación (1). La Ecuación (2) define la variable m y M es definida por la Ecuación (3).

$$q_f = M \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \quad (1)$$

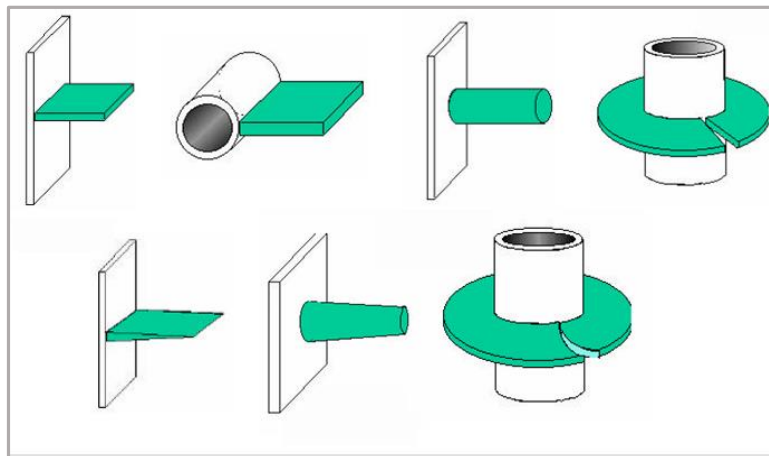
$$m^2 = \frac{hP}{kA_c} \quad (2)$$

$$M = \sqrt{hPkA_c} \theta_b \quad (3)$$

El área transversal de la aleta para secciones transversales cuadradas (A_c) está dada por la Ecuación (4) y la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido que rodea el arreglo de las aletas (θ_b) está dada por la Ecuación (5).

$$A_c = w^2 \quad (4)$$

$$\theta_b = T_b - T_\infty \quad (5)$$



2.2.6 Superficies rugosas

La falta de implementar técnicas y procesos de recuperación de calor y transformación de energía conduce a pérdidas superiores al 40% de la energía disponible inicialmente

Una técnica actualmente aplicada en la industria para aumentar la transferencia de calor de una superficie, es hacerla rugosa, ya sea con granos de arena o mediante el uso de formas geométricas regulares que modifican la rugosidad en la superficie. Sin embargo, el aumento de la transferencia de calor va acompañado de un aumento en la resistencia al flujo de fluido. Muchos investigadores [2] han estudiado este problema en un intento de generar información precisa de forma experimental o a través de predicciones simulando el comportamiento de una rugosidad dada una geometría. Buscando definir la geometría de la rugosidad que proporcione el mejor rendimiento de transferencia de calor para una fricción de flujo determinada.

A pesar de que existen equipos de transferencia de calor en los que se ha estudiado la influencia de insertos o nervaduras, los equipos estudiados son de altas capacidades y de uso industrial. Sin embargo, de acuerdo al estado de la técnica, existe un área de oportunidad, cuando se trabaja con equipos de transferencia de calor que aprovechan la energía solar; entre otros, calentadores solares de aire, deshidratadores solares, calentadores solares de agua con almacenamiento integrado.

Un aspecto fundamental en el estudio del comportamiento de insertos y nervaduras, es la relación entre el tamaño de obstrucción en relación con el diámetro hidráulico del conducto (h/D_h), canal o tubería, así como, la relación entre el tamaño de la obstrucción con respecto a la separación tanto longitudinal (h/PL), como transversal, (h/PT) entre una y otra.

El espesor de la subcapa laminar aumenta a lo largo de la dirección del flujo; como resultado, el rendimiento térmico de los calentadores solares de aire convencionales se ve afectado negativamente. Se han investigado muchos métodos para mejorar el desempeño térmico, como los de doble paso de fluido, los de absorbedor con aletas, los de lecho empaquetado, los de nervaduras periódicas generando superficies rugosas, etc. [5]. De todas estas técnicas la de nervaduras periódicas se considera el más efectivo ya que crea turbulencias en una región cerca de la superficie de transferencia de calor de la placa absorbente donde se desarrolla la subcapa laminar; y no afecta al flujo principal debido a que el aumento de la potencia de bombeo es menor en comparación con otros métodos de mejora del rendimiento [6-13]. La técnica del uso de las superficies rugosas artificiales mediante el uso de

nervaduras también se utiliza ampliamente en el enfriamiento de álabes de turbinas de vapor [14] y en intercambiadores de calor compactos. [15]. Diferentes investigaciones como las que se reportan en [12-14], han estudiado varias formas de rugosidad mediante insertos o nervaduras con el objetivo de mejorar la transferencia de calor entre la placa absorbente y el aire, con un aumento mínimo en la demanda de potencia de bombeo. Las investigaciones detalladas para nervaduras transversales e inclinadas, sobre la transferencia de calor y la caída de presión han sido reportadas en diferentes trabajos.

2.3 Balance de energía de flujo de aire a través del conducto rectangular

El balance de energía en el flujo de aire a través de un ducto rectangular implica analizar las entradas y salidas de energía del sistema. La energía entra al sistema principalmente a través del trabajo del ventilador, y se pierde debido a la fricción con las paredes del ducto, cambios de dirección y otras resistencias. El objetivo es minimizar estas pérdidas para optimizar el rendimiento energético del sistema.

Elementos clave del balance de energía:

- **Entrada de energía:**

El trabajo del ventilador es la principal fuente de energía. Este trabajo se utiliza para vencer la presión del ducto y generar el flujo de aire.

- **Pérdidas de energía:**

- **Fricción:** La fricción del aire con las paredes del ducto genera calor y reduce la energía cinética del flujo.

- **Cambios de dirección:** Curvas y accesorios en el ducto crean turbulencias y aumentan las pérdidas de presión, lo que también reduce la energía cinética.

- **Obstrucciones:** Filtros, rejillas y otros obstáculos pueden reducir la sección transversal del ducto y generar pérdidas adicionales.

- **Salida de energía:**

La energía se pierde principalmente en forma de calor debido a la fricción y la turbulencia.

- **Balance de energía:**

El balance de energía se expresa como la diferencia entre la energía que entra y la que se pierde.

Consideraciones para optimizar el balance de energía:

- **Selección del ducto:**

Elegir un ducto con dimensiones adecuadas y materiales que minimicen la fricción puede reducir las pérdidas.

- **Diseño del sistema:**

Evitar cambios bruscos de dirección y optimizar la trayectoria del flujo de aire puede disminuir las turbulencias y las pérdidas.

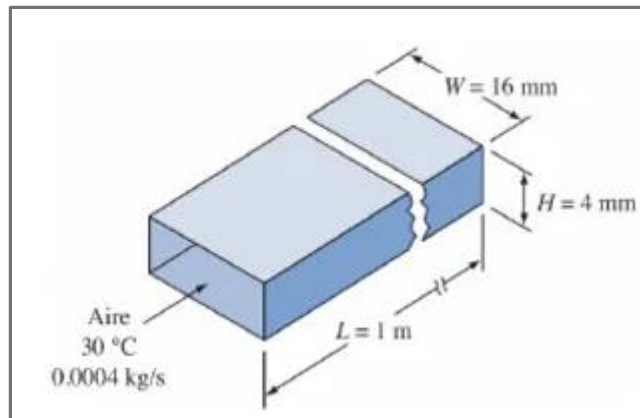
- **Mantenimiento:**

Limpiar los filtros y revisar el ducto en busca de obstrucciones puede garantizar un flujo de aire eficiente y reducir las pérdidas.

- **Ventilador eficiente:**

Utilizar un ventilador con la capacidad adecuada y un diseño que minimice el consumo de energía puede optimizar el rendimiento.

En resumen, el balance de energía en un ducto rectangular se refiere a la gestión de la energía que se utiliza para mover el aire a través del sistema, minimizando las pérdidas para optimizar la eficiencia.



2.4 Coeficiente de transferencia de calor

El coeficiente total de transferencia de calor está influenciado por el espesor y la conductividad térmica de los materiales a través de los cuales se transfiere el calor. Cuanto más grande el coeficiente, más fácil se transfiere el calor desde su fuente hacia el producto que está siendo calentado. En un intercambiador de calor, la relación entre el coeficiente total de transferencia de calor (U) y la tasa de transferencia de calor (Q) puede ser demostrada mediante la siguiente ecuación:

$$Q = UA\Delta T_{LM}$$

donde,

Q = tasa de transferencia de calor, W = J/s [btu/hr]

A = área de la superficie de transferencia de calor, m² [ft²]

U = coeficiente total de transferencia de calor, W/(m²°C) [Btu/(hr-ft²°F)]

ΔT_{LM} = diferencia de temperatura media logarítmica, °C [°F]

Hay varias ecuaciones que se pueden usar para determinar el valor U, una de ellas es:

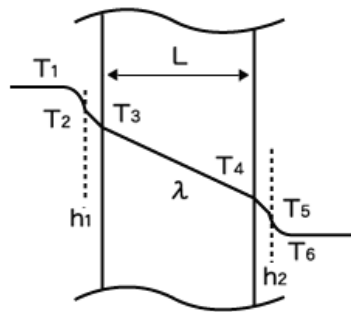
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_2}$$

donde,

h = coeficiente de transferencia de calor por convección, W/(m²°C) [Btu/(hr-ft²°F)]

L = espesor de pared, m [ft]

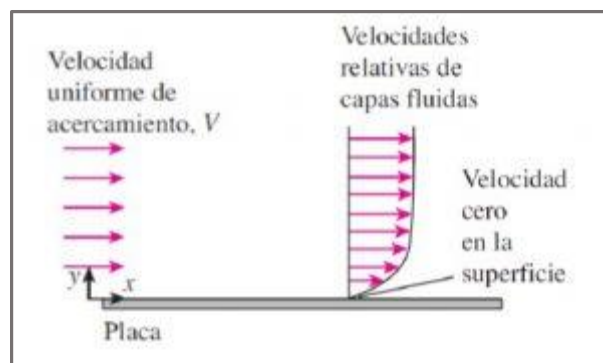
λ = conductividad térmica, W/(m°C) [Btu/(hr-ft°F)]



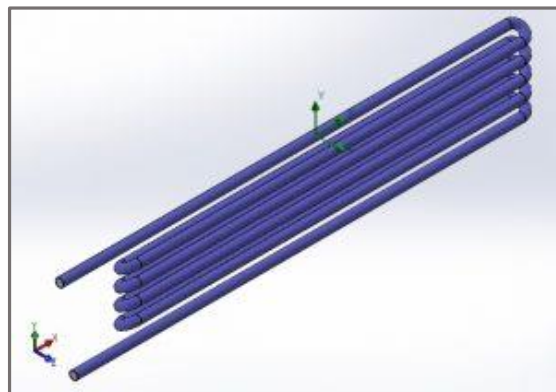
Transferencia de calor a través de una pared de metal

2.5 Capa límite de velocidad

Para entender la capa límite de velocidad, consideraremos el flujo de un fluido a través de un tubo con superficie sólida impermeable al fluido. Conforme el fluido fluye, la parte que está en contacto directo con la superficie se adhiere a esta por los efectos de la viscosidad y no se desliza, provocando una velocidad de cero en esta zona. Esto se conoce como condición de no deslizamiento. Esa capa adherida a la superficie transmite la desaceleración a la capa adyacente y ésta a la que sigue y así sucesivamente debido a la interacción de las fuerzas viscosas existentes, desarrollándose un perfil de velocidades.



La región del flujo adyacente a la superficie en la cual los efectos viscosos son significativos se llama capa límite de velocidad. La viscosidad es la propiedad del fluido responsable del desarrollo de la capa límite. La aparición de la capa límite de velocidad tiene dos principales efectos: el primero es el arrastre superficial, fuerza que un fluido ejerce sobre una superficie en la dirección del flujo. Y segundo que la transferencia de calor entre el sólido y la capa de fluido adyacente a esa superficie se dé por conducción pura, ya que dicha capa está inmóvil.



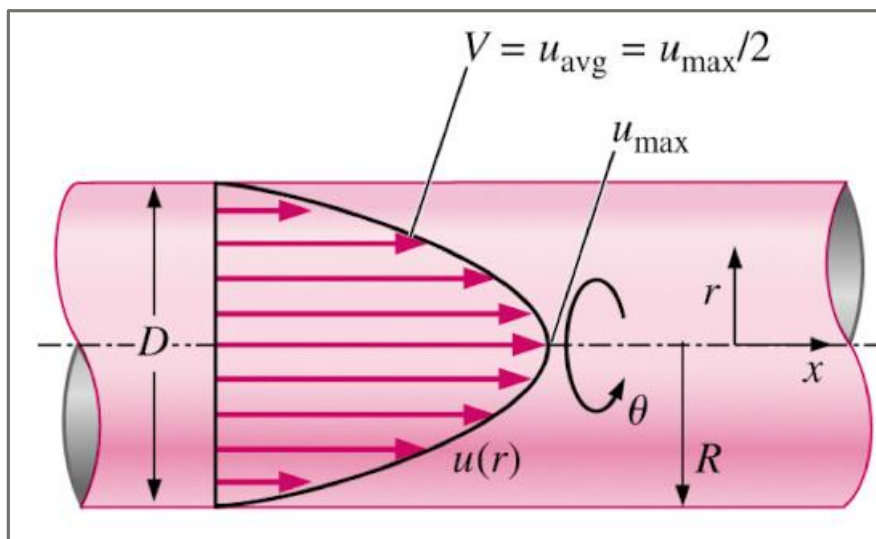
2.6 Velocidad media

La velocidad media de un fluido se refiere a la velocidad promedio a la que el fluido fluye a través de un área transversal determinada de una tubería o canal. La fórmula para calcular la velocidad media del flujo de un fluido es:

Velocidad Media = $(1/8 * \text{Viscosidad dinámica}) * \text{Gradiente de presión} * \text{Radio de la tubería}^2$.

Esta fórmula permite determinar la velocidad media en función de la viscosidad del fluido y las características de la tubería.

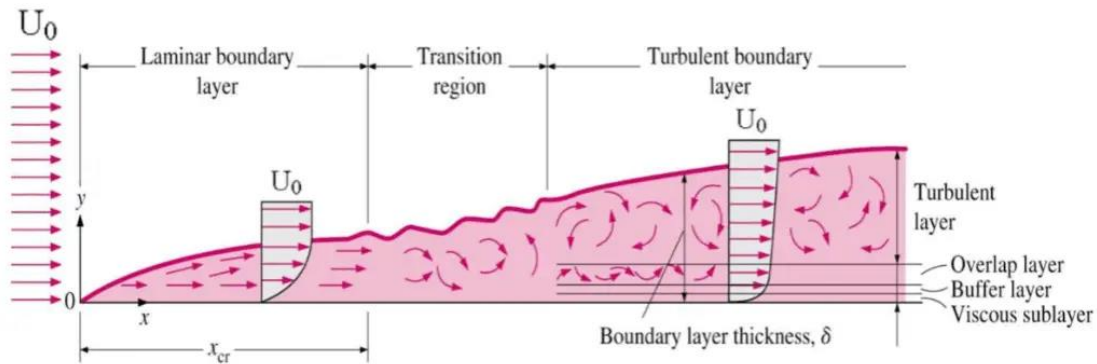
Dado que la velocidad del fluido no es uniforme en toda la sección transversal (debido a la fricción en los límites, que ralentiza el flujo cerca de las paredes), la velocidad media proporciona una medida útil para representar la velocidad general del flujo. En un escenario de flujo del mundo real, el fluido cerca de las paredes de la tubería experimenta fricción, lo que provoca un movimiento más lento, mientras que el fluido en el centro se mueve más rápido. La velocidad media es un valor único que representa la velocidad general del flujo, promediando estas diferencias.



2.7 Capa límite térmica

En general, cuando un fluido fluye sobre una superficie estacionaria, por ejemplo, la placa plana, el lecho de un río o la pared de una tubería, el fluido que toca la superficie se detiene por el esfuerzo cortante en la pared. La región en la que el flujo se ajusta desde la velocidad cero en la pared hasta un máximo en la corriente principal del flujo se denomina capa límite. El concepto de capas límite es importante en todas las dinámicas de fluidos viscosos y también en la teoría de la transferencia de calor.

Las características básicas de todas las capas límite laminares y turbulentas se muestran en el flujo de revelado sobre una placa plana. Las etapas de la formación de la capa límite se muestran en la siguiente figura:



Las capas límite pueden ser laminares o turbulentas dependiendo del valor del número de Reynolds .

El número de Reynolds es la relación de fuerzas de inercia a fuerzas viscosas y es un parámetro conveniente para predecir si una condición de flujo será laminar o turbulento. Se define como

$$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu}$$

En donde V es la velocidad de flujo media, D una dimensión lineal característica, densidad de fluido ρ , viscosidad dinámica μ y viscosidad cinemática ν .

Definimos el grosor de la capa límite como la distancia desde la pared hasta el punto donde la velocidad es el 99% de la velocidad de “flujo libre”. Para las capas límite laminar sobre una placa plana, la solución de Blasius de las ecuaciones que rigen el flujo da:

$$\delta \approx \frac{5.0}{\sqrt{Re_x}} x$$

2.9 Gradiente de presión y factor de fricción

El gradiente de presión consiste en las variaciones o diferencias de presión en una dirección dada, que pueden ocurrir en el interior o en la frontera de un fluido. A su vez, la presión es la fuerza por unidad de área que ejerce un fluido (líquido o gas) sobre las paredes o frontera que lo contiene.

Por ejemplo, en una piscina llena de agua hay un gradiente de presión positivo en la dirección vertical hacia abajo, porque la presión aumenta con la profundidad. Cada metro (o centímetro, pie, pulgada) de profundidad, la presión crece linealmente.

Sin embargo, en todos los puntos ubicados a un mismo nivel, la presión es la misma. Por lo tanto, en una piscina el *gradiente de presión* es nulo (cero) en la dirección horizontal.

Para encontrar la presión ejercida por una columna de agua o cualquier otro fluido, sobre el piso del recipiente, se considerará que el fluido tiene las siguientes características:

- Su densidad es constante.
- Es incompresible.
- Está en condiciones de equilibrio estático (reposo).

Una columna de fluido, en estas condiciones, ejerce una *fuerza* sobre el fondo del recipiente que lo contiene. Esta fuerza es equivalente a su [peso](#) W :

$$W = mg$$

El factor de fricción (f) es un parámetro adimensional que cuantifica la resistencia al flujo en una tubería debido a la interacción entre el fluido y las paredes del conducto. Depende del régimen de flujo (laminar o turbulento), la rugosidad de la superficie de la tubería y el número de Reynolds (Re), que mide la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas en el fluido.

- En flujo laminar ($Re < 2000$), el factor de fricción se calcula mediante la ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re}$$

- En flujo turbulento ($Re > 4000$), el cálculo es más complejo, ya que el factor de fricción depende también de la rugosidad relativa (ϵ/D), donde ϵ es la rugosidad absoluta y D el diámetro de la tubería.

2.10 Balance de energía para el sistema térmico para el calentamiento del aire

El balance de energía en un sistema abierto es un concepto fundamental en la termodinámica que nos permite analizar la transferencia de energía en forma de calor y trabajo hacia y desde un sistema abierto, es decir, un sistema que puede intercambiar materia y energía con su entorno.

En un sistema abierto, la energía total del sistema puede cambiar debido a dos formas principales de transferencia de energía:

- Transferencia de calor: Es la transferencia de energía térmica hacia o desde el sistema a través de una diferencia de temperatura con su entorno. Si hay transferencia de calor hacia el sistema, se considera un aporte de energía positivo, mientras que si hay transferencia de calor desde el sistema, se considera una pérdida de energía negativa.
- Trabajo realizado: Es la transferencia de energía mecánica hacia o desde el sistema debido a fuerzas externas. Si el trabajo se realiza sobre el sistema, se considera un aporte de energía positivo, mientras que si el sistema realiza trabajo sobre su entorno, se considera una pérdida de energía negativa.

El balance de energía en un sistema abierto se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

Energía total que entra al sistema - Energía total que sale del sistema = Aporte de calor - Pérdida de calor + Trabajo realizado - Trabajo recibido

Este balance de energía nos permite evaluar cómo la energía total de un sistema abierto puede cambiar debido a las transferencias de calor y trabajo. Es una herramienta importante en el análisis de sistemas de flujo continuo, como los sistemas de generación de energía, los procesos químicos y las plantas de producción.

$$\hat{H} = \hat{U} + P\hat{V}$$

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gh}{g_c} \right)_{ent} \delta m_{ent} - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gh}{g_c} \right)_{sale} \delta m_{sale} + \delta Q - \delta W_s = d \left[\left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gh}{g_c} \right) m \right]_{sist}$$

El movimiento de un continuo está gobernado por la ley de conservación o balance de energía, que es la Primera Ley de la Termodinámica. Cuando los fenómenos mecánicos son los preponderantes (tornando los demás fenómenos despreciables), el balance de energía térmica se reduce a la ecuación de momento lineal. Supongamos aquí que los fenómenos térmicos son los preponderantes y despreciemos los demás fenómenos, así el balance de energía puede plantearse como una ecuación independiente. La energía interna del cuerpo B es definida como

$$E = \int_B \rho \varepsilon dV$$

Donde ρ es la densidad del material y ε la energía interna por unidad de volumen. La primera ley de la termodinámica establece que el cambio de energía interna de un sistema es igual al calor Q absorbido más el trabajo realizado sobre el sistema (fenómeno mecánico que hemos despreciado), o sea:

$$\Delta E = Q$$

El cambio por unidad de tiempo es:

$$\frac{DE}{dt} = \dot{Q}$$

El calor absorbido por el cuerpo B pasa a través de la frontera. Se define el vector flujo de calor $\mathbf{q}$, tal que la tasa con la que el calor se transmite desde interior de B hacia el exterior a través del elemento de superficie dS de normal exterior $\mathbf{n}$ es $\mathbf{q} \cdot \mathbf{n} dS = q_n dS$, que es la tasa con la que B pierde calor a través de dS . La tasa con la que B gana calor es entonces

$$\dot{Q} = - \int_S q_n dS$$

Por el teorema de Gauss

$$\dot{Q} = - \int_B q_{n,i} dV = - \int_B \text{div } \mathbf{q} dV$$

Luego, la ecuación resulta

$$\frac{D}{dt} \int_B \rho \varepsilon dV = - \int_B \text{div } \mathbf{q} dV$$

Aplicando la definición de derivada material de un volumen integral suponiendo que el cuerpo está en reposo, el lado izquierdo toma la forma

$$\frac{D}{dt} \int_B \rho \varepsilon dV = \int_B \frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) dV = \int_B \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \varepsilon + \rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right) dV$$

Con el cuerpo en reposo, la ecuación de continuidad resulta

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

Luego, la tasa de cambio de la energía interna total resulta

$$\frac{D}{dt} \int_B \rho \varepsilon dV = \int_B \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} dV$$

Así, la ecuación toma la forma

$$\int_B \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} dV = - \int_B \operatorname{div} \mathbf{q} dV$$

Considerando que B es arbitrario, llegamos a la ecuación de balance de energía cuando los fenómenos térmicos son preponderantes

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{q} = 0$$

La ley de Fourier es una ley constitutiva lineal para el flujo de calor, que postula una relación lineal entre el flujo de calor y el gradiente de temperatura T, de la forma

$$\mathbf{q} = -k \operatorname{grad} T \quad \text{o} \quad q_i = -k T_{,i}$$

Donde k es la conductividad térmica del material. Para un material que obedezca la ley de Fourier, la ecuación de balance de energía resulta

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} - \operatorname{div} (k \operatorname{grad} T) = 0$$

Para un sólido en reposo, despreciando fenómenos mecánicos, la energía interna por unidad de volumen está dada por

$$\rho \varepsilon = \rho c T$$

Donde c es la capacidad calorífica del material por unidad de masa o calores específico del material. Finalmente, la ecuación de balance toma la forma conocida como ecuación de calor.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \operatorname{div} (k \operatorname{grad} T) = 0$$

CAPITULO III

3. Configuración y resultados experimentales

Este tema es de especial interés, pues beneficiará a procesos industriales y al conocimiento científico en diferentes campos de la industria

En este trabajo se demuestra que a pesar de que la geometría en el disipador de calor tipo alberca no es la más óptima, los resultados experimentales muestran que éste es capaz de disipar una mayor cantidad de calor cuando se tiene solamente un distribuidor de flujo, sin embargo, éste tiene también una mayor caída de presión de alrededor del 10%. En base a esto, se requiere hacer una mayor investigación sobre si es posible reducir la caída de presión en el disipador alberca a través con el distribuidor de flujo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://conahcyt.mx/pronaces/pronaces-energia-y-cambio-climatico/>
- [2] Kakac, S.; Bergles, A.; Mayinger, F.; Yuncu, H. (Eds.) Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 1999; ISBN 978-94-015-9159-1.
- [3] Carnavos, T.C. Cooling of Air in Turbulent Flow with Internally Finned Tubes. Heat Transf. Eng. 1979, 1, 41–46.
- [4] Sagnik P., Sujoy K. S. Laminar fluid flow and heat transfer through a circular tube having spiral ribs and twisted tapes, Experimental Thermal and Fluid Science 60 (2015) 173–181.
- [5] Mills A. F. y Coimbra C. F. M., Basic Heat and Mass Transfer, Temporal Publishing, LLC, 2015.
- [6] Bergman T. L., Lavine A. S., Incropera F. P. y Dewitt D. P., Introduction to Heat Transfer, JOHN WILEY & SONS, INC., 2011.

- [7] Ahmed, M.H. Investigation of the Heat Transfer and Pressure Drop in Tubes with Transverse Ribs of Zigzag Configurations. *Applied. Sciences*. 2022, 12, 5734.
- [8] Perry, R. H; Green D. W. *Manual del Ingeniero Vol. III*, Ed. Mc Graw Hill, 2001
- [9] Han J. C., Glicksman L. R. and Rohsenow W. M.. An investigation of heat transfer and friction for rib-roughened surfaces. *Int. J. Heat Mass Transfer* Vol. 21, (1978), pp. 1143-1156
- [10] Paisarn N., Manachai N. and Jutarat K. Tube side heat transfer coefficient and friction factor characteristics of horizontal tubes with helical rib. *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 3031–3044.
- [11] Hans V.S., Gill R.S. and Sukhmeet S. Heat transfer and friction factor correlations for a solar air heater duct roughened artificially with broken arc ribs. *Experimental Thermal and Fluid Science* (2016). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.07.022>
- [12] Rajesh M., Saini J.S. Heat transfer and friction factor correlations for a solar air heater duct roughened artificially with V-ribs with symmetrical gaps. *Experimental Thermal and Fluid Science* 70 (2016) 220–227.
- [13] Aiwu F., Junjie D., Jian G., Wei L. A numerical study on thermo-hydraulic characteristics of turbulent flow in a circular tube fitted with conical strip inserts. *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 2819-2828.
- [14] Pawan S. K., Anil K. P. Thermo-hydraulic performance of a heat exchanger tube with discrete corrugations. *Applied Thermal Engineering* 66 (2014) 162-170
- [15] Bhagoria J.L., Saini J.S., Solanki S.C. Heat transfer coefficient and friction factor correlations for rectangular solar air collector having transverse wedge shaped rib roughness on the absorber plate. *Renewable Energy* 25 (2002) 341–369.