



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

**GEOMETRÍA PARA CONSTITUCIÓN DE
METAMATERIAL PARA REGULACIÓN DE
TEMPERATURA EN ESPACIOS
CERRADOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN DISEÑO PRESENTA

JUAN MIGUEL PORTILLA AGUILAR

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN CARLOS ARTEAGA ARCOS

TOLUCA, MÉXICO.
MARZO DEL 2017.

TUTORES ADJUNTOS

DR. DAVID DE LEÓN ESCOBEDO

DR. MIGUEL MAYORGA ROJAS

DR. MIGUEL ANGEL RUBIO TOLEDO

DR. RENE L. SÁNCHEZ VÉRTIZ RÚÍZ

ÍNDICE

I.	Antecedentes	1
II.	Objetivos	4
III.	Hipótesis	5
Capítulo I	Generalidades de la Regulación de temperatura	6
1.1	Biomímica y regulación de temperatura en animales	7
1.1.1	Regulación de Temperatura en animales	7
1.1.2	Regulación de la temperatura del Camello	9
1.1.3	Regulación de la temperatura del Oso Polar	12
1.2	Registro de temperaturas dentro del automóvil	14
1.3	Análisis del Registro de temperaturas	17
1.3.1	Árbol de probabilidad	19
1.3.2	Conclusiones del árbol de probabilidad	21
Capítulo 2	Comportamiento térmico de materiales	23
2.1	Factores que influyen la medición de temperatura en materiales	24
2.1.1	Calor	25
2.1.2	Antecedentes del Calor	25

2.1.3 Generalidades del efecto del almacenamiento de calor	26
2.1.4 Transferencia de calor	27
2.2 Termodinámica	29
2.2.1 Leyes de la Termodinámica	30
2.2.2 Ley Cero	31
2.2.3 Primera Ley de la Termodinámica	32
2.2.4 Segunda Ley de la Termodinámica	32
2.3 Mecánica de fluidos	34
2.3.1 Flujos laminares	34
2.3.2 Viscosidad	38
2.4 Cualidades térmicas de los materiales sólidos para la transmisión de temperatura	39
2.4.1 Conductividad térmica	39
2.4.2 Convección	40
2.4.3 Radiación	43
2.4.4 Conducción	45
2.5 Análisis comparativo de materiales conductores y aislantes	46
2.6 Metamateriales	51
Capítulo 3 Propuesta	56
3.1 Geometría	57

3.2 Experimentación	58
3.2.1 Simulación	59
3.3 Última prueba de temperatura	67
3.4 Discusión de la experimentación	69
3.5 Conclusión	72
Mesografía	73
Referencias	76
Índice de Imágenes	79
Índice de Tablas	82

I.- Antecedentes

Este trabajo tiene la base de su investigación en la regulación de la temperatura del cuerpo humano dentro de la cabina del automóvil, misma que está considerada como un factor determinante para la seguridad de los pasajeros. Sin embargo, el ser humano necesita regular su temperatura en otros espacios, razón por la cual la información que conforma dicha investigación, se va complementando con la obtenida en otros campos y se presenta bajo el anterior razonamiento.

Para que el cuerpo humano pueda cumplir correctamente con todas sus funciones su temperatura debe ser la adecuada, 37°C (grados centígrados) es la media. Sin embargo ésta cifra puede variar de un individuo a otro debido a que diversos factores afectan la medición. Los efectos que el frío puede provocar en el cuerpo humano van desde simples temblores hasta la disminución del control del aparato locomotor. Con el calor las reacciones del cuerpo son la sudoración y en casos extremos, hasta la pérdida de la conciencia por fallas en el sistema nervioso.

El sistema de Aire Acondicionado (A/C) en los automóviles, tiene el objetivo de proporcionar un ambiente térmico adecuado a los usuarios para disminuir los efectos del frío y el calor. Es importante que la cabina del automóvil se mantenga entonces dentro del parámetro de confort térmico que está entre los 19 y los 23°C aproximadamente.

Para ayudar a controlar las temperaturas, dentro del automóvil se incorporan materiales plásticos, textiles, pieles y metales que conforman su cabina. Entre los plásticos destacan el ABS, PPE, PVC y PP cuyos gases tóxicos se liberan en el habitáculo al ser calentados por la luz del sol (o por la radiación solar) para posteriormente ser inhalados por los pasajeros. Las partes metálicas por lo regular están conformadas por fierro con un recubrimiento de cromo: con estas características, el metal a pesar de no estar expuesto directamente a la luz del sol, puede alcanzar los 50°C. Las partes más estables en términos de temperatura son aquellas que están fabricadas con textiles elaborados con fibras sintéticas (como el poliéster) o naturales que al combinarse con la espuma de poliuretano y algunos plásticos conforman a los asientos, alfombras, algunas partes del tablero de instrumentos y portezuelas, toldo y otros accesorios.

Para regular estas alteraciones térmicas, el sistema de aire acondicionado del automóvil demanda energía eléctrica del motor del vehículo, misma que será transformada en mecánica y a su vez en frío o calor. Gracias a esto, el consumo de energía del automóvil se incrementa de un 3 a un 25 por ciento dependiendo del tipo de vehículo que se trate. En términos económicos y energéticos esto representa un incremento de hasta un 25% de combustible sólo por mantener el confort térmico en la cabina.

El consumo energético para regular temperaturas de espacios cerrados, no es un tema exclusivo a estudiar en una cabina de

automóvil. En edificios y casas habitación también es un tema importante. En la industria de la construcción, algunos de los gastos más fuertes los representa el mantenimiento de los edificios y entre ellos se encuentra la energía necesaria para su funcionamiento y regulación de temperaturas.

Según datos presentados por la Administración de Información de Energía de Estados Unidos (EIA), los edificios son responsables del consumo de alrededor de 49% de la energía primaria, en los edificios de adición, se emiten aproximadamente el 57% de los gases de efecto invernadero en el territorio EE. UU. En China el porcentaje de la energía gastada por edificios oscila entre el 25-40% del consumo total del país. Edificios y casas están diseñados y construidos con el fin de proporcionar un ambiente cómodo para los seres humanos; particularmente en climas extremos. Esta comodidad está fuertemente relacionada con el rendimiento térmico en espacios cerrados y puede ser controlado ya sea por medio de calentamiento mecánico o sistemas de aire acondicionado según se requiera.

El impacto ambiental ocasionado para mantener al ser humano en óptimas condiciones térmicas, simplemente es grave. Esto puede apreciarse en el incremento de gases de efecto invernadero, que son una consecuencia directa del elevado consumo de combustibles fósiles destinados a la generación de energía necesaria para regulación de temperaturas.

II.- Objetivos

General

- Diseñar un metamaterial, para el control de la temperatura de espacios cerrados para disminuir el consumo energético por medio de la resistencia térmica que la geometría aplicada a los materiales ofrece a temperaturas frías y cálidas.

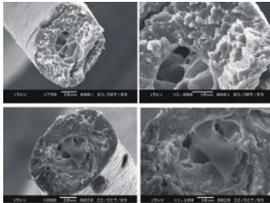
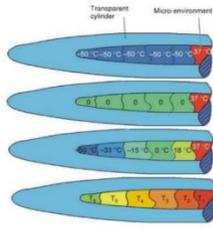
Particulares

- Determinar la temperatura dentro de la cabina del automóvil.
- Realizar pruebas de temperatura en los materiales utilizados para la fabricación de componentes del interior de los vehículos.
- Identificar los materiales que muestran mayor estabilidad térmica.
- Elaborar modelo tridimensional computarizado del panel para realizar pruebas de temperatura.
- Comprobar el funcionamiento de la geometría como intercambiador de calor.

III.- Hipótesis

Si mediante la obtención del análisis de geometrías del panel se calcula la convección de masas de aire dentro del mismo, se podrá determinar la efectividad del diseño y se logrará la implementación de materiales cuya resistencia ante el cambio de temperaturas, sea favorable para que la misma se mantenga en la zona de confort y se tenga como resultado un intercambiador térmico.

CAPITULO 1



CAPITULO 1 GENERALIDADES DE LA REGULACIÓN DE TEMPERATURA

1.1 Biomímica y regulación de temperatura en animales

El presente trabajo de investigación tiene como antecedente la tesis de maestría titulada: *Regulación de la temperatura del cuerpo humano al interior del automóvil: la biomímica, aerodinámica y sustentabilidad como factores determinantes*. En dicho trabajo se propone un panel para regular temperatura, inspirándose en la termorregulación de los animales. Para comprender mejor ésta idea, se analiza lo siguiente.

1.1.1 Regulación de temperatura en animales

El correcto funcionamiento de los organismos animales (entre ellos el hombre) se debe a procesos químicos y físicos sensibles a los cambios de temperatura. Una disminución de ésta, significa una baja en las funciones metabólicas, por el contrario, un aumento de temperatura desnaturaliza las proteínas pudiendo tener consecuencias desastrosas. Por ello es importante la termorregulación, y para lograrlo, los animales utilizan diversas estrategias.

Los mamíferos (homeotermos), poseen mecanismos propios para la regulación de la temperatura corporal a pesar de los cambios de temperatura del ambiente. De esta manera se incrementa la posibilidad de vivir en ambientes distintos. Pero

aquellos que viven en ambientes fríos deben pagar un precio por mantenerse activos: el incremento de su metabolismo, lo que significa consumir una gran cantidad de energía, difícil de mantener sin comida suficiente.

La entrada de calor al cuerpo proviene del exterior y del metabolismo. Una vez ingerido el alimento, se produce calor en todas las etapas del proceso metabólico. Con el tiempo, toda la energía alimentaria se convierte en calor, que se disipa hacia el medio ambiente y se irradia al espacio...Los animales obtienen calor del entorno cuando la temperatura de éste excede a la del cuerpo y cuando se exponen a fuentes de calor radiante. Esto último ocurre cuando el animal se expone a la luz solar o se coloca cerca de objetos sólidos más calientes que su cuerpo. El calor se pierde por radiación desde la superficie corporal hacia un objeto más frío; por convección al calentarse el aire o el agua que los rodea; por evaporación de las secreciones respiratorias, sudoración o saliva, y por conducción hacia superficies más frías con las que el animal se encuentra en contacto. Una pequeña cantidad de calor también se pierde con la orina y las heces (Cunningham, 2003: 534).

Al aumentar el flujo sanguíneo de la piel aumenta la temperatura cutánea y, por tanto, la pérdida de calor, mientras que la reducción del flujo la disminuye. El pelo atrapa el aire e impide la convección. El grosor de la capa de pelo puede alterarse con la piloerección (elevación del pelo) y con el crecimiento de una capa más gruesa de pelo al prepararse para el invierno. La capa gruesa de grasa en los mamíferos marítimos también ofrece un aislamiento. La reducción de la superficie corporal expuesta al enrollarse el animal como una pelota o al amontonarse con otros, también disminuye la pérdida de calor por convección (Ibid, 535).

La alteración de la temperatura por conducción, se da al estar en contacto con una superficie o cuerpo que posee una temperatura mayor o menor que la del cuerpo del animal. Los animales adultos difícilmente alteran su temperatura por este método, debido a que es muy raro que se echen sobre

superficies muy frías o muy calientes, aunque esto no quiere decir que no suceda.

Por último, la alteración de la temperatura por radiación, se da cuando el animal está cerca de alguna fuente de calor y éste es absorbido en su cuerpo. Del mismo modo el cuerpo en cuestión puede perder calor al radiar su energía calórica a un objeto que posee una temperatura inferior.

La pérdida de calor por evaporación se produce cuando los líquidos que contiene el animal (sudor, saliva, secreciones) se convierten en vapor.

La evaporación de 1 litro de agua requiere 580 kilocalorías (kcal). Si el cuerpo proporciona este calor, la evaporación puede ser una forma importante de perderlo mediante la difusión continua de agua a través de la piel y la pérdida de vapor de agua por el tracto respiratorio. Esta pérdida de agua es obligatoria, aunque bajo condiciones de estrés térmico puede aumentar mucho el enfriamiento por evaporación, ya que se activan las glándulas sudoríparas o el animal empieza a jadear. La evaporación es más importante a medida que la temperatura ambiente se acerca a la corporal, ya que es la única forma de perder calor cuando la temperatura ambiental supera a la del cuerpo. Su eficacia se reduce con el aumento de la humedad relativa, esto es, a medida que el aire se empieza a saturar de vapor de agua (Cunningham, 2003; 535).

1.1.2 Regulación de la temperatura del Camello

El clima extremo del desierto ha modelado anatómica y fisiológicamente a éste animal que consigue sobrevivir en las condiciones que su medio natural le proporciona.

Por ejemplo, al caminar el camello apoya en el suelo sus largas extremidades que terminan en dos dedos cubiertos por un cojinete elástico, éste le ayuda a disminuir el desgaste contra la arena al tiempo que le sirve de protección contra el enorme calor que irradia el suelo desértico. Dichos cojinetes forman una única y gran superficie de apoyo que sirve para disminuir la cantidad de peso que recae sobre la extremidad, evitando así el hundimiento en la arena.



Imagen 1: Dromedario sobre arena desértica.

El camello y los dromedarios son animales que han desarrollado mecanismos para soportar la vida extrema del desierto. Para evitar que penetre arena; sus orejas son pequeñas y peludas, la nariz se puede cerrar completamente a voluntad en caso de un gran contenido de arena en el aire y sus ojos se protegen con largas pestañas. Pero tal vez las adaptaciones más notables son las que le permiten regular su temperatura corporal.

Las largas patas y el desmesurado cuello del camello tienen por misión no sólo levantarlo mucho por encima del suelo y poder alcanzar así más lejos con la vista y el resto de los sentidos, sino, sobre todo, aumentar la superficie de su cuerpo y ganar en posibilidades de refrigeración. Éstas aumentan, además por el hecho de que el camello, en lugar de disponer, como otros mamíferos, de una capa de grasa uniformemente repartida bajo la dermis, que impide la irradiación del

calor corporal, es dueño de un depósito donde almacenar esa grasa –la giba-, con lo cual los tejidos del resto del cuerpo quedan directamente en contacto con la piel y pueden así ser refrigerados por el aire ambiental. Gracias a estas disposiciones automáticas y morfológicas, la pérdida de calor interno es considerable en los camellos, pero es menester también hacer notar que la capa de lanilla que cubre al dromedario –mucho más que el largo pelo que luce en algunas partes de su cuerpo el camello bactriano, animal que además que el calor debe sufrir los rigores invernales- da asiento a una capa de aire que evita la directa llegada de los ardientes rayos solares a la epidermis del animal (Rodríguez, 1985: 80)

Contrario a lo que se creía, entonces, el pelo sirve para aislar el cuerpo del camélido del sofocante calor ambiental, pero debe conservarse el equilibrio tan delicado entre la cantidad de pelo y el desempeño de las demás funciones que tiene el camello para refrigerarse.

"Todos los animales llamados de sangre caliente deben mantener cierta constancia en su medio interno, constancia que afecta también, naturalmente, a la temperatura. Por eso, cuando el ardor del sol es excesivo, unos jadean y otros sudan, haciendo descender su temperatura corporal por evaporación de agua, y los hay que reducen al máximo sus actividades para evitar así la producción de calor" (Ibid: 80).

El pelo de la joroba protege al animal de los rayos solares. Es más largo y más tupido en el cuerpo durante el invierno, mientras que es corto y limitado solamente a algunas partes del cuerpo durante el verano. La temperatura del cuerpo puede pasar de los 34°C nocturnos hasta los 40°C diurnos lo que constituye un importante factor de regulación del calor (Nueva Enciclopedia, 1985:149).

(...)Ocurre que, como caso único entre los mamíferos y las aves, al menos por lo que hoy se conoce, el camello puede soportar, sin menoscabo de su capacidades física, elevación de la temperatura de su sangre de hasta seis y siete grados centígrados, es decir, estados de fiebre alta a los que otros animales homeotermos quizá no podrían sobrevivir. Naturalmente, pese a que su mecanismo de refrigeración apenas cuenta con el agua, los camellos tienen, como todos los seres vivos,

necesidad del líquido elemento, pues forma la mayor parte de sus tejidos orgánicos y es imprescindible para la excreción. Sin embargo, como es sabido por todos, la sobriedad de estos animales en lo que respecta a la bebida es casi mítica (Rodríguez, 1985:81).

1.1.3 Regulación de la temperatura del Oso Polar

Resulta asombroso que existan animales superiores que se han adaptado a condiciones de vida realmente extrema, donde los hielos son perpetuos y las temperaturas oscilan entre los 20°C y los 70°C bajo cero.

(...) el oso polar surgió durante la última glaciación a partir del oso pardo. En su progresiva adaptación a la vida en los mares helados, perdió la coloración de su piel, que se hizo blanco amarillenta, más gruesa e impermeable; sus garras se acortaron y fortalecieron y, en esta nueva forma, conjuntamente con la adquisición de plantas peludas, constituyeron un buen apoyo en el hielo o la nieve. (Enciclopedia Salvat de la fauna, 1985:106)

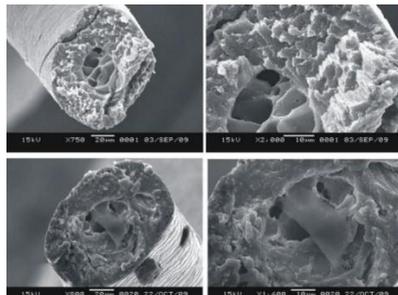
El oso polar es considerado como el mayor carnívoro del mundo, llega a pesar entre 150-500 kg, alcanzando algunas ocasiones los 800 kg. Además de su tamaño, la característica más evidente es el color de su pelambre el que va desde el blanco al blanco-amarillento. Su pelo muy espeso y denso, constituye indudablemente una óptima defensa contra el frío... "su largo y espeso pelo lo protege óptimamente del frío; a 10°C o 15°C de temperatura, el oso polar sufre y busca sombra" (Nueva Enciclopedia Mamíferos 3, 1985:95).

Exceptuando la nariz y las almohadillas de sus pies, el pelo cubre la totalidad de su cuerpo, que junto con una gruesa capa de

grasa lo aíslan del viento gélido y de las bajas temperaturas del mar. Las patas posteriores del oso son más alargadas que las anteriores, sus orejas y cola son pequeñas, lo cual ayuda al animal a disminuir la pérdida de calor por estas extremidades. Las plantas de los pies están cubiertas de pelo en las callosidades plantares, además de protegerlo contra el frío, ayuda al oso a mantener la adhesión sobre la superficie de hielo.

La característica más sorprendente del oso es que su pelambre que a simple vista parece blanco o blanco – amarillento, en realidad es transparente y hueco. En su interior, cada pelo contiene una delgada capa de aire y en el espacio existente entre cada pelo sucede lo mismo. Esta adaptación permite al animal mantener la temperatura de su cuerpo muy arriba de la temperatura ambiente que llega a registrar hasta 70 grados bajo. La piel del oso polar es negra, el pelo transparente refleja la luz y el calor del sol sobre la piel, y ésta última por el color oscuro y por ley física se encarga de transmitir el calor ganado al interior del cuerpo del oso (ver imagen 2).

Imagen 2. Pelo de oso polar con acercamientos de 750x, 2000x, 800x, 1600x. Contrario a lo que se creía, el pelo del oso no es blanco, es transparente y presenta un cuerpo cavernoso el cual se ocupa de no dejar salir el aire atrapado en él (Poblete, 2015).



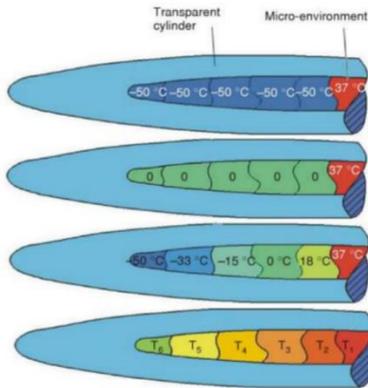


Imagen 3. Esquema que presenta la diferencia de temperaturas al interior del pelo del oso polar. Cuando mayor sea la proximidad a la piel del animal, se tiene una temperatura de 37°C, al otro extremo del pelo la temperatura descende hasta -50°C (Poblete; 2015).

El aislamiento se consigue principalmente mediante el pelaje y los acúmulos de grasa subcutánea, pero presenta otros muchos aspectos de detalle. Así, por ejemplo, el simple aumento de tamaño disminuye la relación superficie-volumen, por aumentar mucho más rápidamente el segundo, con lo que se hace proporcionalmente menor la superficie de irradiación. También se puede conseguir esta disminución acortando la longitud de las extremidades...) (Salvat, 1985; 111).

1.2 Registro de temperaturas dentro del automóvil

El automóvil expuesto a la luz del sol acumula gran cantidad de calor en su interior. Si bien el sistema de aire acondicionado y las ventanillas pueden ayudar a disminuir su concentración, esto da como resultado el incremento del consumo de combustible que el sistema eléctrico necesita del motor para poder funcionar; sin embargo, mantener confortables a los ocupantes

en términos de temperatura, resulta trascendental para que los efectos de la misma no sean tan drásticos que se conviertan en cuestión de inseguridad.

Para conocer la cantidad de calor que queda atrapado en la cabina del automóvil, se realizó la toma de temperaturas en dos vehículos: a) "*Spirit R/T*"¹ y b) "*Fiesta*"². Los autos en estudio fueron exhibidos a la luz del sol desde las 9:00 a las 17:00 hrs y no fueron protegidos por cuerpo o capa alguna que les proporcionara sombra. La altura sobre el nivel del mar del lugar donde se realizó la prueba es de 2680 metros. El clima dentro de la clasificación de Köpenn-Geiger es Cwb (templado con invierno seca y verano suave), con una temperatura media anual de 13.3°C y temperatura media de 22°C en el mes más cálido.

Los datos obtenidos en esta prueba se muestran en la tabla 1.

Prueba de Temperatura		a) Spirit R/T 1993 Interiores en color Gris.	b) Fiesta 2007 Interiores en color Negro.
Hora	Área de prueba dentro de la cabina	Temperatura ° Centígrados	
9:55 a.m.	Tablero/Volante	18°	17°
	Asiento delantero cabecera (ADC)	20.2°	20°

¹ Automóvil Sedán para 4 o 5 pasajeros. Dimensiones: largo 4,602 mm. Ancho: 1,730 mm. Altura: 1,359 mm. Interiores en color gris. Carrocería en color verde esmeralda.

² Automóvil Subcompacto para 4 o 5 pasajeros. Dimensiones: largo 4221 mm. Ancho: 1,765 mm. Altura: 1,497 mm. Interiores en color negro. Carrocería en color gris.

Condiciones climáticas: día soleado con nubes dispersas			
10:03	Tablero	22.2°	18.2°
	ADC	21.1°	22.1°
10:05	Tablero	24.7°	19°
	ADC	21.7°	23.3°
10:06	Tablero	25.2°	21.2°
	ADC	22°	24.5°
10:31	Tablero	38.4°	22°
	ADC	28.2°	28.2°
11:01	Tablero	50.4°	31°
	ADC	36.2°	31.3°
11:25	Tablero	53.8°	40.8°
	ADC	40.1°	36°
Temperatura ambiente 11°			
12:10	Tablero	59.1°	50.1°
	ADC	46.2°	43°
13:04	Tablero	64.2°	49°
	ADC	50.8°	42.8°
Nublado (soportes de cabecera: 47°)			
14:17	Tablero	51.1°	49.5°
	ADC	51°	40.9°
15:07	Tablero	54.4°	44°
	ADC	49.9°	44°

16:13	Tablero	38.6°	38.9°
	ADC	42.5°	34.6°

Tabla 1. Medición de temperaturas. (Portilla, 2014).

1.3 Análisis del Registro de temperaturas

Para calcular el promedio de la cantidad de calor acumulado en la cabina del automóvil, es necesario obtener la temperatura media que se alcanza en cada uno de ellos, para lo cual se tomaron como referencia las cifras recolectadas en el asiento del conductor de cada vehículo. El resultado obtenido en los vehículos tipo “*Spirit R/T*” y “*Fiesta*”, son los siguientes:

35.8°C para el “*Spirit R/T*” y 32.5°C para el “*Fiesta*”

El razonamiento lógico nos llevaría a pensar que un cuerpo más grande con un volumen mayor puede tener más resistencia a la variación de temperatura, el auto tipo Spirit tiene un cuerpo más grande que el tipo Fiesta y posee vestiduras en color gris a diferencia de las negras del otro vehículo, su temperatura media también es mayor. Esto quiere decir que el color de la vestidura es muy importante para el control de la temperatura y que los colores claros reflejan la luz del sol dentro de la cabina incrementando el calor, acumulando cada vez más hasta llegar en algunos casos a los 69°C.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo de temperaturas para ambos casos está determinado por el "rango" y es el siguiente.

$$\text{"Spirit R/T": } 51^{\circ}-20.2^{\circ} = 30.8^{\circ}$$

$$\text{"Fiesta": } 44^{\circ} - 18.5^{\circ} = 24$$

Para obtener la desviación estándar, se presenta la tabla 2.

Temperatura Spirit (Xi)	Temperatura Fiesta (Xi)	Intervalo	Frecuencia	Marca	F(m)	$\bar{x} - m$	$(\bar{x} - m)^2$	$f(\bar{x} - m)^2$					
20.2	20	20-24	4	4	22	88	88	13.825	10.55	191.13	111.3	764.523	445.21
21.1	22.1	25 - 29	1	1	27	27	27	8.825	5.55	77.881	30.803	77.8806	30.803
21.7	23.2	30 - 34	0	2	32	0	64	3.825	0.55	14.631	0.3025	0	0.605
22	24.5	35-39	1	1	37	37	37	-1.175	-4.45	1.3806	19.803	1.38063	19.803
28.2	28.2	40-44	2	4	42	84	168	6.175	-9.45	38.131	89.302	76.2619	357.21
36.2	31.3	45 - 49	2	0	47	94	0	11.18	-14.45	124.88	208.8	249.761	0
40.1	36	50 - 54	2	0	52	104	0	16.18	-19.45	261.63	378.3	523.261	0
46.2	43												
50.8	42.8												
51	40.9												
49.9	44												
42.5	34.6												
429.9	390.6	Sumatoria											
35.825	32.55	Media											
		Desviación Estándar											
		Desviación Estándar											
		Sumatoria											
		Desviación Estándar											
		Sumatoria											
		Desviación Estándar											
		Sumatoria											
		Desviación Estándar											
		Sumatoria											
		Desviación Estándar											

Tabla 2: Media de temperaturas (Portilla, 2014). En ésta tabla las columnas sombreadas de color verde corresponden a las pruebas realizadas en el automóvil tipo "Spirit R/T" y las columnas sombreadas en color gris al automóvil "Fiesta".

Con las operaciones realizadas cuyos resultados se muestran en la tabla 2, se evidencia que el nivel de incertidumbre en el control de temperaturas puede disminuir, si los colores que se utilizan para los interiores de los vehículos son de color oscuro o negro. Lo anterior es debido a que dichos colores transmiten el calor al interior del cuerpo que rodean.

Sin embargo, la desviación estándar de las vestiduras oscuras que es de 8.80 unidades, a pesar de que pueden ser por su color las más óptimas para ser consideradas en el control de temperatura, está muy lejos de la desviación estándar de la zona de confort que se muestra en la tabla 3 que supone el ideal del control térmico.

Confort térmico	Intervalo	Frecuencia	Marca	F (m)	$\bar{x} - m$	$(\bar{x} - m)^2$	$f(\bar{x} - m)^2$
19	15-19	1	17	17	4	16	16
20	20 - 24	3	22	66	-1	1	3
21						Sumatoria	17
22							19
23							
105	Sumatoria					Desviación Estandar	1.94
21	Media						

Tabla 3. Desviación estándar de temperatura (Portilla, 2014). Esta tabla representa la desviación estándar que se obtiene de los datos que corresponden a la zona de confort térmico entre los 19 y los 23 grados centígrados y cuyo valor es de 1.94 unidades.

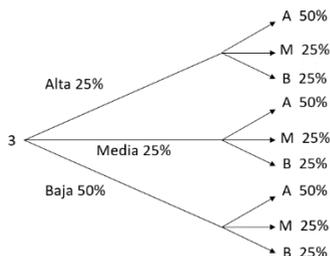
Si se calculan los límites mínimo y máximo probables se tiene que $\text{Min} = \text{Media} - 2$: esto es $\text{Min} = 21 - 2 = 19^\circ\text{C}$; $\text{Max} = \text{Media} + 2$: esto es $\text{Max} = 21 + 2 = 23^\circ\text{C}$ y con ellos se establecen como límites mínimo y máximo 19°C y 23°C respectivamente, teniendo como media 21°C que corresponde a la temperatura media de la zona de confort térmico. La desviación estándar que se presenta en esta tabla tiene un valor mucho menor porque sus valores están más próximos a 21°C que es la media de la misma zona de confort.

1.3.1 Árbol de probabilidad

Para fortalecer este ejercicio, se realiza un árbol de probabilidad donde los dos casos analizados, más la teoría de la zona de confort térmico ideal, da como total tres probabilidades de control de temperaturas y consumo de combustible para regular la cabina del automóvil en el espacio térmico. El resultado de dicho árbol generará un aproximado en pesos (m.n.) del costo que implica el mantener en la zona de confort la temperatura de la cabina del vehículo.

Los datos del ejercicio son los siguientes:

- Cada uno de los tres vehículos, carga 50 litros de combustible en la estación de servicio.
- La prueba incluye un automóvil de pintura oscura e interiores claros y uno de pintura clara con interiores oscuros. El tercero es el ideal de pintura en color claro e interiores negros.
- El A/C se mantiene encendido desde que se carga el combustible hasta que él mismo es consumido por completo.
- Uno de pintura oscura e interiores claros
- Otro de pintura clara e interiores oscuros
- Uno más con pintura clara e interiores oscuros y un buen equipo de A/C.



Árbol de decisiones de tres probabilidades.

$$1) PA = .50(.25) + .50(.25) + .25(.50) = 0.375$$

$$2) PA = .25(.25) + .25(.25) + .25(.50) = 0.25$$

$$3) PA = .25(.25) + .25(.25) + .50(.50) = 0.375$$

A) Costo de consumo de combustible = 157.5 (consumo alto)

B) Costo de consumo de combustible = 107.1 (consumo medio)

C) Costo de consumo de combustible = 78.75 (consumo bajo)

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas de combustible (en pesos)} = \\ 0.375(157.5) + 0.25(107.1) + 0.375(78.75) = 115.36 \end{aligned}$$

1.3.2 Conclusiones del árbol de probabilidad

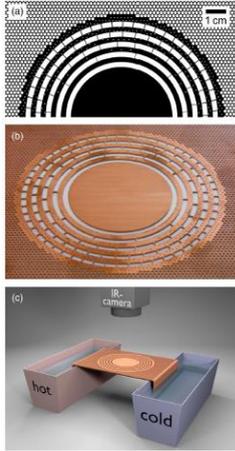
Del anterior árbol de probabilidad se obtiene que por cada tres vehículos:

Y por cada tanque de combustible de 50 litros cada uno, en la probabilidad "A", donde el consumo del energético es mayor, se requiere de \$157.5 (ciento cincuenta y siete pesos 05/100), ó 12.6 litros de gasolina ó, un cuarto de tanque para mantener en funcionamiento el A/C. Para la probabilidad "B", se requieren \$107.1 (ciento siete 01/100 pesos), ó 8.5 litros de gasolina. Para la probabilidad "C", se requieren \$78.75 (setenta y ocho 75/100 pesos) ó 6.25 litros de combustible.

Realizando el cálculo del consumo de combustible de las tres probabilidades combinadas, se tiene que se gastan \$115.36 (ciento quince pesos 36/100 m.n.) cada vez que los tres vehículos cargan en promedio 50 litros de combustible cada uno y hacen funcionar el sistema de A/C durante el tiempo o distancia que les permita dicha cantidad de combustible (aproximadamente: equivale a 500 kilómetros ó 12 horas de conducción en ciudad ó 4,5 horas de conducción en carretera respectivamente).

Con éstas cifras se deduce que los automóviles con colores claros de pintura y vestiduras en negro o cualquier otro color oscuro, el consumo de combustible por mantener en funcionamiento el sistema de A/C, es menor.

Entonces: idealmente los automóviles debieran tener interiores en color negro o algún otro color oscuro utilizando para su elaboración ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), PP (poliéster), PPE (poliéster de metilo) y PUR (poliuretano). En tanto, el exterior debe estar pintado con colores claros.



CAPITULO 2

CAPITULO 2: COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE MATERIALES

2.1 Factores que influyen la medición de temperatura en materiales

Los materiales y las sustancias presentan diversas reacciones cuando son sometidos a pruebas térmicas. Para realizar la medición de la temperatura en las sustancias o materiales, se utilizan diversas técnicas: el cambio en el volumen de una sustancia esta regularmente asociado con la variación de su temperatura. Los líquidos utilizados para realizar esta medición pueden ser mercurio, alcohol y pentano.

Los materiales reaccionan ante el calor y por lo regular se reblandecen cuanto mayor sea la energía calórica que se les aplica. El vidrio por ejemplo después de los 480°C comienza a reblandecerse. Cada uno de los materiales tiene diferentes puntos de temperatura a los que reacciona. Por estas razones la medición de su temperatura puede tener variaciones si se realiza el mismo análisis con distintos dispositivos y diversos procedimientos: cambio de volumen, cambio de presión, cambio de resistencia eléctrica, cambio de potencial eléctrico. Sin embargo, los termómetros están calibrados para lograr cierto grado de exactitud, aunque con distintas técnicas como los termómetros de infrarrojos que pueden medir la temperatura superficial de los sólidos; y los ambientales que miden la temperatura del aire. En este estudio se ocupan ambos.

La temperatura de los sólidos y la de los gases, como sucede en el presente estudio, suele variar por el intercambio de energía

entre ellos. Aún en pequeñas distancias se pueden registrar cambios significativos. Esto sucede gracias al almacenamiento de calor en los materiales.

2.1.1 Calor

La experimentación ha demostrado que cuando un objeto se somete a un sistema, al paso de algún tiempo éste adquiere la temperatura del ambiente en el que ha sido sometido. Si el objeto en cuestión tiene mayor temperatura que el contexto, el primero cederá calor al segundo. Por el contrario, si el contexto tiene mayor cantidad de energía calórica, transferirá éste al objeto en cuestión hasta que adquiera la misma temperatura,

2.1.2 Antecedentes del calor

Probablemente el calor es la forma de la energía que el ser humano pudo entender con mayor facilidad debido a que la presencia de éste, puede tener efectos en la temperatura del cuerpo humano. Los avances científicos del siglo XIX contribuyeron a lograr una comprensión de los efectos de la energía en forma de calor y se consideró a las moléculas como esferas en movimiento que tienen energía cinética.

"(...) el calor se define como la energía relacionada con el movimiento aleatorio de átomos y moléculas. A pesar de que entre el siglo XVIII y principios del XIX se sugirió que el calor es la manifestación del movimiento a nivel molecular, la opinión prevaleciente sobre el calor hasta la mitad del siglo XIX se basó en la teoría calórica propuesta en 1789 por el químico francés Antoine Lavoisier (1744-1794). Esta teoría sostiene que el calor es una sustancia llamada calórico similar a un fluido que no tiene masa, es incoloro, inodoro e insípido y que puede pasar de un cuerpo a otro. Cuando se añadía calórico a

un cuerpo se incrementaba se temperatura; cuando se extraía, entonces disminuía" (Cengel: 2011; 61).

2.1.3 Generalidades del efecto de almacenamiento de calor

La calefacción y refrigeración de un lugar, se basan en el almacenamiento de calor en un material durante un tiempo definido. Cuando el material está expuesto a una fuente de calor, éste lo absorbe; para después liberarlo al medio ambiente cuando la temperatura de la fuente emisora de calor disminuye. La ganancia de calor entonces, es el calor que obtiene un cuerpo al ser expuesto a una fuente emisora de radiación.

La ganancia de calor bruta de un recinto, es la velocidad a la que se recibe calor en cualquier momento, esta ganancia de calor está precedida por: radiación solar, alumbrado, conducción y convección, personas, equipo e infiltración. El calor que desprenden estas fuentes no se utiliza de manera inmediata para calentar el aire del local. Algo de ese calor y en especial la energía radiante del sol, las luces y la gente, se absorbe en los materiales del recinto. A esto se le llama efecto de almacenamiento de calor, como resultado de ello, con frecuencia la carga neta de calor del aire del recinto, que procede de las fuentes de calor, es menor que la ganancia bruta del calor. La carga de enfriamiento del recinto, es la suma de las ganancias netas de calor. Es importante tomar en cuenta el efecto de almacenamiento de calor por que puede ocasionar cargas reales apreciablemente menores, que también se puede considerar como un periodo de retraso del calor, esto es, algo de calor que se recibe en el recinto se retrasa en el tiempo para alcanzar el aire del mismo. Al final, la temperatura de los materiales de construcción se elevará lo suficiente para ceder calor al aire del recinto. (Cruz et al, 2014; 44).

Algunos factores que pueden contribuir a la ganancia de calor en un local son: fuentes externas (conducción por medio de paredes, pisos, techos, vidrios), y fuentes internas (generadores de energía lumínica, personas, equipos electrónicos o mecánicos y filtraciones de aire). A su vez la adición de vapor de agua (calor latente) que incrementan la humedad de un local y el calentamiento del aire (calor sensible) alteran el resultado.

Calor y frío, alteran el comportamiento de los flujos de gases o líquidos para que éstos sean categorizados como laminares o turbulentos. Esto es resultado de la alteración en las energías que puede proporcionar el calor al mismo un flujo. Para este caso el fluido que registra un flujo, es el aire.

Para poder asimilar mejor esto, se puede aplicar la termodinámica que estudia la transformación de la energía. Entender sus principios y como la energía calórica afecta el movimiento de las masas de aire, es fundamental para lograr los flujos laminares del fluido. Un flujo laminar se logra cuando las masas de aire describen líneas ordenadas en su trayectoria.

2.1.4 Transferencia de Calor

“La experiencia nos dice que si se deja sobre la mesa una lata fría de bebida carbonatada, en algún momento alcanzará la temperatura ambiente, mientras que una papa horneada caliente se enfriará. Cuando un cuerpo se coloca en un medio que está a una temperatura diferente, la transferencia de energía tiene lugar entre el cuerpo y el medio hasta que se establece el equilibrio térmico, es decir, cuando ambos alcanzan la misma temperatura. La dirección de la transferencia de energía es siempre del cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura. Una vez establecida la igualdad de

temperatura, termina la transferencia de energía. En este proceso se afirma que la energía se transfiere en forma de calor. El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o entre un sistema y el exterior) debido a una diferencia de temperatura. Es decir, una interacción de energía será calor sólo si ocurre debido a una diferencia de temperatura. Entonces se deduce que no puede haber ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se hallan a la misma temperatura" (Cengel: 2011; 60)

El calor es una forma de interacción entre un sistema abierto o cerrado con su medio ambiente. La energía pasa la frontera del sistema en forma de trabajo o calor. Cuando no es posible que el calor migre por completo, entonces la energía debe transferirse en forma de trabajo.

"Es fácil reconocer el calor: su fuerza impulsora es una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno. Por lo tanto se puede decir simplemente que una interacción de energía que se origina por algo distinto a una diferencia de temperatura entre un sistema y el exterior es trabajo. De manera más específica, el trabajo es la transferencia de energía relacionada con una fuerza que actúa a lo largo de una distancia. Un pistón ascendente, un eje giratorio, y un cable eléctrico que cruzan las fronteras del sistema son situaciones que se relacionan con interacciones de trabajo" (Cengel: 2011; 62).

De las tres formas de transferencia de calor; la conducción y radiación dependen sólo de la existencia de la diferencia de temperaturas. Por su parte a convección implica un transporte de fluido líquido o gaseoso para realizar la transferencia térmica. *"No obstante, lleva a cabo la transmisión de energía desde una región donde el nivel energético es elevado, hasta otra en el que es más bajo, y por lo tanto, generalmente se le considera como una modalidad independiente" (Faires, 2008; 535).*

Las acciones de estas tres formas de transferir calor, pueden dar paso a sistemas que realizan la transferencia térmica de una sustancia a otra, a esto se le denomina cambiador o intercambiador térmico.

2.2 Termodinámica

La termodinámica comienza a estudiarse formalmente a principios del siglo XIX. Los científicos se interesan en esta rama de la física para estudiar cómo es que los sistemas interactúan con su entorno cuando existen flujos de materia. Se

"(...)utilizan los principios derivados de la Termodinámica y otras ciencias de la ingeniería, tales como la mecánica de fluidos y la transferencia de calor y masa, para analizar y diseñar objetos destinados a satisfacer las necesidades humanas.(...) Los ingenieros buscan perfeccionar los diseños y mejorar el rendimiento, para obtener como consecuencia el aumento en la producción de algún producto deseado, la reducción del consumo de un recurso escaso, una disminución en los costes totales o un menor impacto ambiental" (Moran, 2012: 1)

La termodinámica puede aplicarse entre otros proyectos, a aquellos relacionados con: turbinas, células de combustible, sistemas solares activos de calefacción, refrigeración y producción de electricidad, sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, etcétera.

Cuando se refiere a los sistemas de aplicación de la termodinámica, es necesario entender que éstos se dividen en dos: "(...) *sistemas cerrados y volúmenes de control. Un sistema cerrado consiste en una cantidad fija de materia, por lo que también recibe el nombre de masa de control, mientras que un*

volumen de control o sistema abierto es una región del espacio a través del cual puede fluir una masa" (Ibid; 3)

Un sistema es cualquier objeto sujeto de estudio, desde un cuerpo simple hasta uno complejo con líquido o gas en su interior, incluso el espacio vacío. Cualquier cuerpo que se encuentre fuera del sistema se denomina entorno del sistema. Este tiene su límite en la frontera del sistema que puede estar en movimiento o en reposo. Para efectos de éste trabajo, lo que interesa estudiar es la temperatura.

2.2.1 Leyes de la Termodinámica

La termodinámica es la rama de la física que estudia los procesos de transferencia de energía calórica y mecánica. El calor se puede explicar cómo la transferencia de energía de un cuerpo a otro. Cuando esta energía se transfiere por un medio mecánico, se realiza un trabajo. La energía calórica se transfiere de un cuerpo a otro del sistema, cuando alguno de los dos tiene menor temperatura.

En este estudio el sistema está comprendido por un panel de acrílico y un fluido gaseoso, aire. La diferencia de temperaturas en la superficie de dicho panel, afecta la convección de masas de aire dentro del sistema. La Ley Cero de la termodinámica analiza el cambio de energía calórica a mecánica, misma que permitirá la comprensión de la segunda y tercera ley de la termodinámica que intervienen en la generación de flujos laminares y turbulentos.

2.2.2 Ley Cero

Una ley (natural) es una generalización para la que el ser humano no ha encontrado excepciones y ha sido deducida a partir de observaciones de fenómenos físicos. Si un cuerpo "caliente" interactúa con un cuerpo "frío" y los dos han sido aislados de sus alrededores, cambiarán las propiedades de los cuerpos (por ejemplo, temperatura, volumen, conductividad, etc.). Sin embargo después de un cierto tiempo las propiedades dejan de variar. Cuando cesan los cambios se dice que los cuerpos están en equilibrio térmico. La ley cero de la termodinámica (que precede lógicamente a la primera y la segunda) expresa que cuando dos cuerpos aislados del medio circundante están en equilibrio térmico con un tercero, estarán en equilibrio térmico entre sí (Faires, 2008; 21).

Esto quiere decir que el metamaterial compuesto por el panel en cuestión y el aire, después de un tiempo de estar expuestos al efecto de la radiación de una fuente de calor, al no tener un dispositivo mecánico o electrónico que luche contra la variación de frío o calor, será parte del ambiente que lo rodea encontrando un equilibrio que no necesariamente estará comprendido entre la zona de confort térmico del ser humano.

Esta ley explica que la energía se conserva (entalpía), no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Entonces se tiene que al recibir radiación, el metamaterial calentará sus partes sólidas para después transmitir su temperatura al aire contenido en su interior y crear una convección entre las masas de aire frío y el aire caliente, generando así un intercambio térmico que funcionará hasta que el sistema encuentre su punto de equilibrio. Es decir, hasta que llegue el momento en el que el sistema tenga la misma temperatura, lo cual puede ocurrir si la fuente emisora de calor es constante en la energía calórica que irradia en dirección al sistema en cuestión.

2.2.3 Primera Ley de la termodinámica

“ La primera ley de la termodinámica dice que cuando un sistema pasa por un cambio cíclico, el calor neto que entra o sale del sistema es igual al trabajo neto que efectúa o admite el mismo” (Faires, 2008; 80).

“Cuando un sistema cerrado (masa de control) se altera adiabáticamente, el trabajo neto asociado con el cambio de estado es el mismo para todos los procesos posibles entre los dos estados de equilibrio dados” (Wark, 2001; 45).

Esta ley explica la imposibilidad de que los sucesos ocurran en sentido contrario. Es decir, de que una corriente de aire con determinada temperatura regrese a su fuente emisora sin ninguna otra partícula que no hubiera formado parte del flujo al momento de su eyección. Sin embargo al tomar en cuenta la viscosidad del material y con la velocidad adecuada, está demostrado que ciertos procesos son reversibles en algún porcentaje.

2.2.4 Segunda Ley de la termodinámica

“La segunda ley de la termodinámica se puede expresar de diversas maneras, sin embargo, independientemente de la terminología empleada, el propósito de la segunda ley es dar sentido o dirección a los procesos de transferencia de energía. Al combinarla con la primera ley, obtenemos la información necesaria para analizar tales procesos de transmisión energética. La segunda ley de la termodinámica establece que: siempre que se transfiera energía, el nivel de la misma no puede conservarse, y parte de ella tiene que reducirse permanentemente a un nivel inferior. (...) Siempre que se

produce una transferencia de energía, ésta debe conservarse, pero su nivel no puede permanecer igual, y parte de ella tiene que reducirse en forma permanente a nivel inferior" (Burghardt, 1984; 124).

La segunda ley de la termodinámica explica que no hay cuerpo en el universo que tenga una temperatura igual a cero, aunque sea muy poco, todo cuerpo tiene calor y por consiguiente todo cuerpo está sujeto a las leyes de la termodinámica.

"En el curso de los años se han realizado muchos enunciados de la segunda ley y en realidad el principiante obtiene considerablemente más información a partir de un cierto número de enunciados de cualquier otro tipo. La segunda ley, lo mismo que la primera, es resultado de la experiencia y su descubrimiento y refinamiento lógico, empezó con el trabajo de Carnot. Algunos enunciados significativos son:

- A) *Calusius. Es imposible que una máquina que actúa por sí misma, sin ayuda de un agente exterior, haga pasar calor desde un cuerpo a cierta temperatura hasta otro a una temperatura superior.*
- B) *Kelvin-Planck. Es imposible construir una máquina termodinámica que, cuando opere según cierto ciclo, no produzca más efectos que efectuar trabajo e intercambiar calor con un solo depósito térmico.*
- C) *Todos los procesos espontáneos dan por resultado un estado más probable. La tendencia natural de los eventos es pasar de un estado menos probable a uno más probable.*
- D) *La entropía de un sistema aislado nunca disminuye. Si todos los procesos que ocurren dentro del sistema son reversibles, Su entropía no cambia, de otra manera su entropía aumenta.*
- E) *Ninguna máquina termodinámica real o ideal que opera en ciclos puede convertir en trabajo todo el calor suministrado a la sustancia operante si no que tiene que ceder una cierta cantidad de calor. Este enunciado destaca el concepto importante de la degradación de la energía (...)" (Faires, 2008; 108).*

El cambio de entropía de cualquier sistema y su ambiente, considerados juntos, es positivo y tiende a cero en cualquier proceso que tienda a la reversibilidad (Abbott, 1988; 38)

2.3 Mecánica de fluidos

Aquellos flujos cuyas variaciones de densidad son insignificantes se denominan incompresibles, cuando las variaciones de densidad no se pueden despreciar se denominan compresibles.

Si se consideran los dos estados de la materia incluidos en la definición de fluido, líquido y gas, se podría caer en el error de generalizar diciendo que todos los flujos líquidos son flujos incompresibles y que todos los flujos de gases son flujos compresibles. La primera parte de esta generalización es correcta para la mayor parte de los casos prácticos, es decir, casi todos los flujos líquidos son esencialmente incompresibles. Por otra parte, los flujos de gases se pueden también considerar como incompresibles si las velocidades son pequeñas respecto a la velocidad del sonido en el fluido; la razón de la velocidad del flujo, V , a la velocidad del sonido, c , en el medio fluido recibe el nombre de número de Mach, M , es decir, $M=V/c$ (Meléndez, 2015; 1).

Para el caso de la presente investigación tenemos entonces que el flujo del aire es un flujo compresible (=) debido a que se conocen las densidades del mismo a distintas temperaturas y se necesitan presiones de tan solo 2.1 atmósferas para alcanzar velocidades sónicas a diferencia de los líquidos donde son necesarias presiones equivalentes a 1000 atmósferas para modificar su densidad. A este estudio de flujos se le conoce como dinámica de gases y requiere conocer la temperatura a la que un gas se desplaza la cual condiciona los flujos laminares.

2.3.1 Flujos laminares

Alrededor de 1839 se iniciaron las investigaciones sobre los flujos laminares por el francés Jean Louis Marie Poiseuille cuando pretendía conocer el flujo de la sangre con sus principales

características. Más tarde se incluyen ecuaciones para calcular la viscosidad de los fluidos por el también francés Claude Louis Marie Navier. Estas ecuaciones se perfeccionaron en 1845 por el británico George Gabriel Stokes. Los cálculos son tan complejos que solo se pueden aplicar a fluidos simples.

En el mundo cotidiano se puede apreciar la complejidad del flujo de un elemento al observar humo desplazándose por un espacio. Al inicio del desplazamiento, éste es laminar pero conforme se aleja de su origen, se vuelve turbulento y forma remolinos inestables. Entonces para evitar turbulencia se tienen que acortar las distancias de desplazamiento de las partículas de aire reduciendo la fricción entre ellas, dando como resultado una menor adherencia con la superficie sólida que contiene el fluido y una viscosidad adecuada del aire para controlar la convección de masas frías y calientes contribuyendo a la resistencia térmica del metamaterial. Provocando algo próximo al flujo laminar.

El flujo laminar se puede obtener cuando las masas de aire circulan a una velocidad constante o con un incremento controlado de la velocidad y con la menor cantidad de obstáculos que generen diferencias en las superficies con las cuales interactúa dicho flujo. Esto ocasiona que el aire continúe una circulación firme y prácticamente sin ensuciar las superficies.

En un flujo laminar no existe un estado macroscópico de las capas de fluido adyacentes entre sí. Un filamento delgado de tinta que se inyecte en un flujo laminar aparece como una sola línea; no se presenta dispersión

de la tinta a través del flujo, excepto una difusión muy lenta debido al movimiento molecular. Por otra parte, un filamento de tinta inyectado en un flujo turbulento rápidamente se dispersa en todo el campo de flujo; la línea del colorante se descompone en una enredada maraña de hilos de tinta. Este comportamiento del flujo turbulento se debe a las pequeñas fluctuaciones de velocidad superpuestas al flujo medio de un flujo turbulento; el mezclado macroscópico de partículas pertenecientes a capas adyacentes de fluido da como resultado una rápida dispersión del colorante. El filamento rectilíneo de humo que sale de un cigarrillo expuesto a un ambiente tranquilo, ofrece una imagen clara del flujo laminar. Conforme el humo continúa subiendo, se transforma en un movimiento aleatorio, irregular; es un ejemplo de flujo turbulento. El que un flujo sea laminar o turbulento depende de las propiedades del caso. Así por ejemplo, la naturaleza del flujo (laminar o turbulento) a través de un tubo se puede establecer teniendo en cuenta el valor de un parámetro adimensional, el número de Reynolds, $Re = \rho V D / \mu$, donde ρ es la densidad del fluido, V la velocidad promedio, D el diámetro del tubo y μ la viscosidad. (Melendez et al, 2015; 2).

La turbulencia o el comportamiento laminar de un flujo, dependerá de las superficies que tengan contacto con él. El flujo laminar requiere de un desplazamiento ordenado que incluso pueda convertir un flujo turbulento en laminar con trayectorias bien definidas. El flujo turbulento es desordenado con trayectorias no definidas generando movimiento caótico pero el caos puede contribuir a conservar cierto orden de los flujos.

En el flujo laminar, las láminas del fluido siguen líneas paralelas sin mezclarse representando una línea de corriente que describe la pared del objeto en estudio. Si la cantidad de energía calórica que determina el flujo del fluido es desproporcionada, el flujo puede direccionarse con difusores de aire que harán las veces de un peine, direccionando en el

sentido adecuado al flujo, conservando las distancias entre las láminas del mismo, incluso si la viscosidad del fluido cambia por efectos de la temperatura.

En fluidos viscosos a velocidades lentas el flujo es laminar, y en fluidos poco viscosos a velocidades altas el flujo es turbulento. Entonces la densidad de la materia y la figura del objeto que determina su geometría son importantes para condicionar el grado de turbulencia de un fluido.

Tomando en cuenta que la densidad de la materia está condicionada por su peso en kilogramos por cada metro cúbico de su volumen, se tiene que la densidad del aire y viscosidad es variable según la temperatura a la que se desplaza (ver tabla 4.)

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Viscosidad absoluta (Pa s)</i>
0	1.29	1.71 x 10 ⁻⁵
50	1.09	1.95 x 10 ⁻⁵
100	0.946	2.17 x 10 ⁻⁵

Tabla 4. Densidad del aire y viscosidad en relación con su temperatura.

En relación a la información presentada en el cuadro anterior, es importante determinar la temperatura óptima de funcionamiento de las formas que dan origen a la geometría del objeto del cual se pretenda determinar el flujo laminar o turbulento, ya que las mismas determinaran la temperatura del aire que, cuanto más caliente es menos viscoso y con una

velocidad mayor, tendrá mínimas probabilidades de turbulencia y cuanto más frío lo caracterizará una menor viscosidad pudiendo registrar una velocidad mayor conservando una alta probabilidad de desarrollar un flujo laminar.

2.3.2 Viscosidad

Entre las moléculas de un fluido existe una fuerza denominada cohesión, que mantiene unidas a las mismas. Cuando estas se desplazan unas en relación a la posición de otras se tiene una fricción. Al desplazarse las partículas del fluido y tener contacto con las partículas de la superficie de un sólido por el cual fluye en este caso el aire, a esta fuerza se le denomina adherencia. *El coeficiente de fricción interna del fluido se denomina viscosidad y se designa con la letra "η" (Mataix, 2011; 21).*

El aire es uno de los fluidos newtonianos en los cuales la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura. *El estudio de la viscosidad y de sus unidades se hace convenientemente mediante la ley de Newton, que cumplen los fluidos llamados newtonianos (entre los cuales se encuentran muchos de los fluidos técnicamente más importantes como el agua, aire, etc.) (Mataix, 2011; 21).* Esto quiere decir que la viscosidad es inversamente proporcional al aumento de la temperatura. Entonces si se aumenta la temperatura, disminuye la viscosidad del aire y aumenta su velocidad si se le aplica una fuerza constante. Esto quiere decir que el aumento de temperaturas

podría desencadenar una serie de flujos turbulentos al disminuir su resistencia a la deformación.

"Un fluido no ofrece resistencia a la deformación por esfuerzo cortante. Esta es la característica que distingue esencialmente un fluido de un sólido... La viscosidad produce una resistencia, que se llama resistencia a la deformación, o resistencia a que unas capas de fluido resbalen sobre las otras y por tanto, una pérdida de energía en la corriente, cuyo estudio constituye una parte muy importante de la mecánica de fluidos" (Mataix, 2011; 23).

A mayor viscosidad se debe aplicar mayor fuerza si se quiere incrementar la velocidad del fluido pero esto generaría pérdida de los flujos laminares que en un momento dado se podrían transformar en turbulentos.

"La viscosidad dinámica de los fluidos varía mucho con la temperatura, aumentando con la temperatura en los gases y disminuyendo en los líquidos; pero en unos y otros prácticamente es independiente de la presión. Por el contrario la viscosidad cinemática de los gases varía mucho con la presión y la temperatura, mientras que la de los líquidos prácticamente sólo varía con la temperatura" (Mataix, 2011; 23).

2.4 Cualidades térmicas de los materiales sólidos para la transmisión de temperatura

2.4.1 Conductividad térmica

El coeficiente de conductividad térmica es una característica de los materiales que está directamente relacionada con la densidad de su materia. Cuanto más próximas estén las moléculas que lo conforman y más compactas y sólidas sean las mismas, el calor viajará más rápido por medio de ellas. Los

materiales metálicos suelen tener los coeficientes de conductividad más altos y los no metálicos suelen tener un coeficiente más bajo.

"El coeficiente de conductividad térmica es una característica de cada sustancia y expresa la magnitud de su capacidad de conducir el calor....En el sistema internacional de Unidades (SI) se mide en vatios / (metro \times kelvin) ($W/(m \cdot K)$), en kilocaloría / (hora \times metro \times kelvin) ($kcal/(h \cdot m \cdot K)$) en el sistema técnico, y en BTU / (hora \times pie \times Fahrenheit) ($BTU/(h \cdot ft \cdot ^\circ F)$) en el sistema anglosajón. El coeficiente de conductividad térmica expresa la cantidad o flujo de calor que pasa a través de la unidad de superficie de una muestra del material, de extensión infinita, caras planoparalelas y espesor unidad, cuando entre sus caras se establece una diferencia de temperaturas igual a la unidad, en condiciones (condiciones) estacionarias. Este coeficiente varía con las condiciones del material (humedad que contiene, temperatura a la que se hace la medición), por lo que se fijan condiciones para hacerlo, generalmente para material seco y $15^\circ C$ (temperatura media de trabajo de los materiales de construcción) y en otras ocasiones, $300 K$ ($26,84^\circ C$)" (Construmática, 2017).

METÁLICOS	Material	Conductividad Térmica ($W/(m \cdot k)$)	NO METÁLICOS	Material	Conductividad Térmica ($W/(m \cdot k)$)
	Acero	47 - 58		Acrílico	0,15
	Acero Inoxidable	14 - 16		Agua	0,58
	Aluminio	209,3		Aire	0,025
	Bronce	116 - 186		Corcho	0,04 - 0,301
	Litio	301,2		Madera	0,13
	Oro	308,2		Poliestireno expandido	0,025 - 0,045
	Plata	406,1 - 418,7		Poliuretano	0,018 - 0,025
Zinc	106 - 140	Vidrio	0,6 - 1,1		

Tabla 5. Conductividad térmica en materiales metálicos y no metálicos.

2.4.2 Convección

Es el mecanismo de transferencia de calor a través de un fluido en volúmenes relativamente grandes (nivel macroscópico).

"La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento, y tiene que ver con los efectos combinados de conducción y movimiento del fluido: mientras más rápido se éste mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento en masa del fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. El movimiento de la masa del fluido incrementa la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las tasas de transferencia de calor" (Cengel, 2011; 93).

Existen dos tipos de convección:

A) Convección natural: se logra cuando el fluido circula sólo gracias a la diferencia de temperaturas, lo que da como resultado una diferencia de densidades entre moléculas de fluido frío y caliente. Esto ocasiona que las partículas frías, que son más densas, desciendan por efectos de la gravedad y las calientes que son más livianas se desplacen hacia arriba.

"...se trata de convección libre (o natural) si el movimiento del fluido es ocasionado por las fuerzas de flotación inducidas por diferencias de densidad debidas a la variación de temperatura en el fluido. Por ejemplo, en ausencia de un ventilador, la transferencia de calor desde la superficie del bloque caliente (...) será por convección natural puesto que en este caso cualquier movimiento del aire se deberá al ascenso del aire más caliente (y, por lo tanto, más ligero) cercano a la superficie, y al descenso del aire más frío (por consiguiente, más denso) para ocupar su lugar. La transferencia de calor entre el bloque y el aire circundante será por conducción si la diferencia de temperatura entre el aire y el bloque no es demasiado grande para vencer la resistencia del aire a moverse y así iniciar las corrientes de convección natural" (Cengel, 2011; 93).

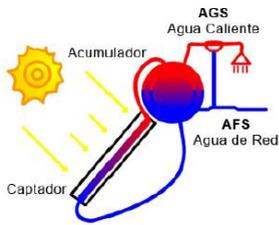


Imagen 4. Convección de agua fría y agua caliente. La primera es más pesada que la segunda, pero al recibir la presión del agua caliente por no tener salida, se comienza la convección. Se trata de una convección natural.

B) Convección forzada: sucede cuando una fuerza ajena al sistema impulsa el desplazamiento del flujo sobre una superficie que puede tener una temperatura mayor o menor que la del fluido. La capacidad de transferencia de calor por convección, dependerá de las propiedades del fluido y de las de las de la superficie que lo contiene. Entre las propiedades del fluido se encuentran la viscosidad dinámica, la densidad y la conductividad térmica. Entre las propiedades de la superficie que transporta el fluido esta la conductividad térmica, la geometría, y aspereza que determina la adherencia del fluido a la superficie así como la velocidad de transferencia (ver imagen 5).

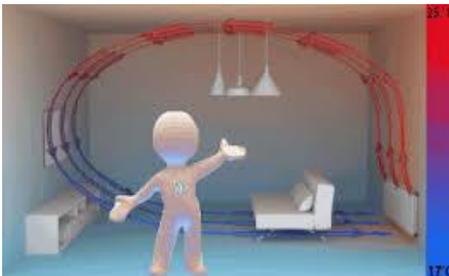


Imagen 5. Convección de masas de aire frío y aire caliente en una habitación cerrada. Al tener un medio mecánico que la condiciona, esta es una convección forzada.

C) Convección de gas

"El modo transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio (difusión), la energía también se transfiere mediante el movimiento global, o macroscópico del fluido. El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados. Tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor. Como las moléculas en el agregado mantienen su movimiento aleatorio, la transferencia total de calor se debe entonces a una superposición de transporte de energía por el movimiento aleatorio de las moléculas y por el movimiento global del fluido. Se acostumbra a usar el término convección cuando se hace referencia a éste transporte acumulado y el término advección cuando se habla del transporte debido al movimiento volumétrico del fluido" (Incropera, 1999; 6).

"El coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad del fluido, es un parámetro determinado de forma experimental cuyo valor depende de todas las variables que afectan la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades del fluido y la velocidad volumétrica del fluido. Los valores representativos de h , en W/m^2 por K , se encuentran en el intervalo entre 2 y 25 para la convección libre de gases, 50 y 1000 para la convección libre de líquidos, 25 y 250 para la convección forzada de gases, 50 a 20 000 para la convección forzada de líquidos y 2 500 a 100 000 para la convección en procesos de ebullición y condensación" (Cengel, 2011; 94).

2.4.3 Radiación

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada en forma de ondas electromagnéticas o fotones. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o

moléculas. La radiación térmica suele corresponder a la banda de frecuencias del infrarrojo.

"A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio. De hecho, este tipo de transferencia es la más rápida (se lleva a cabo a la velocidad de la luz) y no experimenta ninguna atenuación en el vacío. Este es exactamente el modo como la energía del Sol llega a la Tierra. En los estudios de transferencia de calor, el interés se halla en la radiación térmica, que es la forma de radiación que emiten los cuerpos debido a su temperatura, y difiere de las otras formas de radiación electromagnética como los rayos X, gamma, microondas, ondas de radio y televisión que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura superior al cero absoluto emiten radiación térmica...La radiación es un fenómeno volumétrico, y los sólidos, líquidos y gases, emiten absorben o transmiten radiación de distintos grados. Sin embargo, la radiación es considerada en general como un fenómeno superficial para sólidos opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, puesto que la radiación emitida por las regiones interiores de estos materiales nunca alcanza la superficie, mientras que la radiación que incide en esos cuerpos se absorbe comúnmente dentro de unas micras desde la superficie" (Ibid; 94).



Imagen 6. Radiación. Se propaga en forma de ondas electromagnéticas y viaja a la velocidad de la luz. Esta es una condición superficial en los cuerpos.

Si la tasa de radiación absorbida es mayor a la radiación emitida, la superficie del cuerpo está ganando energía. En caso contrario la superficie pierde energía.

"La diferencia entre las tasas de radiación emitida por la superficie y de radiación absorbida es la transferencia neta de calor por radiación. Si la tasa de radiación absorbida es mayor que la de emisión de radiación, se dice que la superficie está ganando energía por radiación. De otro modo, se afirma que la superficie está perdiendo energía por radiación" (Cengel, 2011; 95).

2.4.4 Conducción

Es el mecanismo por el cual las partículas al estar en contacto con otras, realizan transferencia de calor desde las que más temperatura poseen hacia las que menos, lo que produce un flujo de energía desde las temperaturas más altas a las más bajas.

"La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones. La conducción puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases; en estos últimos dos la conducción se debe a las colisiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio, mientras que en los sólidos se debe a la combinación de la vibración de las moléculas en una red y el transporte de energía mediante electrones libres. Por ejemplo una bebida enlatada fría que se halla en una habitación caliente, alcanza por conducción la temperatura de la habitación como resultado de la transferencia de calor de ésta a la bebida, a través de la lata de aluminio" (Cengel, 2011; 92).

La tasa de transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura. Los materiales que son buenos conductores de la electricidad como la plata y el cobre, suelen ser buenos conductores del calor. Materiales como las espumas de

poliuretano y la madera que tienen cuerpos cavernosos, son malos conductores del calor y por tanto, malos conductores de la energía eléctrica.

La temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas. En un líquido o gas, esta energía se debe al movimiento aleatorio de sus moléculas, así como a sus movimientos de vibración y rotación. Cuando colisionan dos moléculas que poseen energías cinéticas distintas, parte de esa energía proveniente de la molécula más energética (mayor temperatura) se transfiere a la de menor energía (menor temperatura), de forma muy similar a cuando colisionan dos bolas elásticas de igual masa a diferentes velocidades: parte de la energía cinética de la bola más rápida se transfiere a la más lenta. (Ibid; 92).

"En los sólidos, la conducción de calor se debe a dos efectos: a las ondas vibratorias de la red inducidas por los movimientos vibratorios de las moléculas situadas en una posición relativamente fija en una forma periódica llamada red cristalina, y a la energía transportada a través del flujo libre de electrones en el sólido. La conductividad térmica de un sólido se obtiene al sumar las componentes de la red y electrónicos. La conductividad térmica de los metales puros se debe sobre todo al componente electrónico, mientras que la de los no metales se debe más que nada al componente de la red cristalina. El componente de la red cristalina de la conductividad térmica depende en gran medida de la forma en que están dispuestas las moléculas; por ejemplo, la de un sólido cristalino altamente ordenado como el diamante es mucho mayor que las de metales puros" (Cengel, 2011; 93).

2.5 Análisis comparativo de materiales conductores y aislantes

En realidad todos los materiales tienen resistencia al paso del calor o del frío. Pero algunos que son tratados para el caso específico muestran una resistencia mayor. "El nombre más correcto de éstos sería aislante térmico específico. Se considera que son aislantes térmicos específicos aquellos que tienen una conductividad térmica, $\lambda < 0,08 \text{ W/m}\cdot\text{c}$ ". De esta forma,

materiales metálicos con alta conductividad calórica pueden ser utilizados como aislantes.

A) El aluminio a pesar de tener una conductividad térmica alta, es utilizado como aislante aplicándolo en forma de láminas delgadas unidas entre sí por otras láminas formando una estructura muy parecida al cartón. De esta manera se logra aislar la temperatura hasta en un 97% independientemente del espesor del material utilizado. Lo importante de esta alternativa es que el aluminio logra reflejar la radiación.

B) El cobre es el segundo mejor conductor de electricidad después de la plata. Es un material con muy buenas propiedades mecánicas lo que le ha permitido ser aplicado en un gran número de proyectos. Su conductividad térmica es de $372,1 - 385,2 \text{ (W(m}^*\text{k))}$.



Imagen 7. El cobre es uno de los mejores materiales conductores de electricidad y de calor.

C) El corcho es un material compuesto en un 45% por suberina. Resiste la humedad, el ataque de hongos y no necesita tratamiento alguno. Basta con hervirlo y tritularlo para formar

paneles del material. Su coeficiente de conductividad térmica es de 0,039 (W/(m*K)).



Imagen 8. El corcho se extrae de la corteza del alcornoque.

D) La madera aprovechada en forma de viruta con una densidad de 70 kg/m³, presenta una conductividad térmica de 0,045 (W/(m*K)); sin embargo, debe recibir tratamiento para resistir la humedad incrementando considerablemente su peso.

La madera en su proceso de formación presenta

"(...) traqueidas, elementos imperforados con puntuaciones areoladas. En un anillo de crecimiento se distingue el leño temprano formado por traqueidas, son de mayor diámetro y el leño tardío caracterizado por la presencia de fibrotraqueidas, de paredes gruesas, lumen reducido y puntuaciones areoladas con abertura interna alargada. Las traqueidas y fibrotraqueidas miden entre 0,1 a 11mm de longitud" (Biblioteca Virtual universal, 2017)

En el xilema, la estructura de la madera presenta el leño temprano en la parte más interna del tronco, enseguida se localiza el leño tardío.

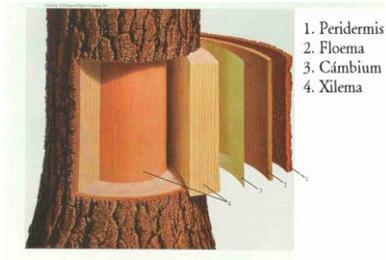


Imagen 9. Corte de madera donde se aprecia la estructura compuesta por peridermis, floema, cambium y xilema.

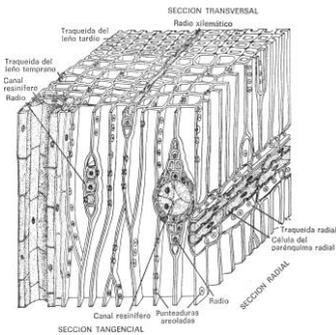


Imagen 10. Estructura interna de la madera. Sección tangencial y transversal.



Imagen 11. En esta ampliación de microscopio, se puede apreciar a detalle el cuerpo cavernoso de la madera que al cercarse del agua que contiene, vuelve a este material un buen aislante térmico.

E) El Poliestireno es un material plástico derivado del petróleo al que al agregar vapor de agua se expande y se denomina EPS. Presenta entonces una célula cerrada que contiene aire en un 98% y poliestireno en un 2%. Presenta una buena resistencia a la humedad, su porcentaje de absorción de agua es del orden del

3% aproximadamente, después de ser expuesto al líquido por 28 días. Resiste temperaturas extremadamente frías pero su límite al calor lo encuentra a los 80 °C. Es un buen aislante de temperatura aunque altamente flamable por lo que se le agregan retardantes que al consumirse generan alta contaminación atmosférica. Este material es capaz de conservar sus características por un largo tiempo (más de 45 años) aunque la luz ultravioleta lo degrada rápidamente cuando es expuesto a la misma. Su coeficiente de conductividad térmica es de 0,025 – 0,045 (W(m*k)).



Imagen 12. Poliestireno expandido.

F) El acrílico es un termoplástico rígido que se obtiene por polimerización del ácido acrílico.

Se le llama termoplástico, debido a que a temperaturas considerablemente altas, se vuelve flexible y fácil de moldear, mientras que cuando se enfría, retoma su dureza y permanece en la forma en la que haya sido moldeado. El acrílico es muy resistente, por lo que su aplicación engloba un gran número de actividades, que van desde la construcción, hasta el sector automotriz. Al igual que el policarbonato, el acrílico puede ser cortado; sin embargo, el proceso es más sencillo en éste último. Su estado natural es incoloro, pero es posible pigmentarlo en una gran variedad de colores, de lo contrario el material será una lámina completamente transparente (Acrilfrasa, 2017).



Imagen 13. Piezas de acrílico.

2.6 Metamateriales

Desde los tiempos en que el hombre ha tenido la oportunidad de utilizar los materiales para mejorar su calidad de vida, éstos han sido aplicados tal y como se encuentran en la naturaleza, metales, maderas, plásticos, etcétera. *“...los metamateriales, que son elementos fabricados de forma artificial en el laboratorio a partir de sustancias naturales, pero que poseen propiedades que no se encuentran en la naturaleza”* (Stekolschik, 2014; 1), son probablemente el futuro de la humanidad.

Ideas que hace apenas 15 años eran descabelladas, con la ayuda de ésta tecnología pueden ser una realidad. Por ejemplo: a pesar de que lograr que los objetos no sean visibles presenta aún limitaciones tecnológicas, con ayuda de los metamateriales se podría conseguir que la luz no sea reflejada y absorbida por la materia logrando teóricamente un objeto invisible.

Los estudios a realizar para lograr nuevas propiedades de los materiales, tienen un proceso de investigación no lineal. Y se pueden obtener pequeños resultados que gradualmente aporten lo necesario hasta conseguir la meta final.

"En el año 2006, se consiguió que un anillo pequeño de cobre se hiciera invisible para las microondas que, como tienen una λ de alrededor de 1 centímetro, requirieron de metamateriales cuyas estructuras fueran menores a esa dimensión, lo cual no precisó de tecnologías muy sofisticadas" (Stekolschik, 2014; 3)

Ahora se tiene que trabajar en lograr que la materia sea invisible en todos los espectros de luz visible.

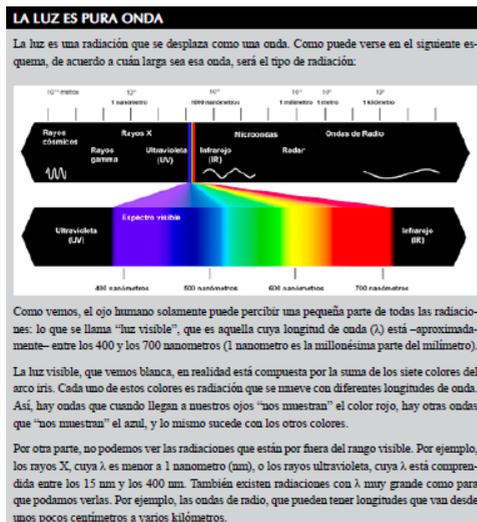


Imagen 14. Percepción del ojo humano de las ondas de radiación. (Stekolschik, 2014; 3)

Así como la ciencia ha hecho lo propio en el segmento de la óptica, se han desarrollado avances en la conductividad térmica alternando en un espacio físico dos o más materiales cuyas propiedades tratan de interponerse unas a las otras.

Para controlar la conductividad térmica de los materiales es necesario recordar que el calor puede ser transferido de un cuerpo a otro mediante tres técnicas: conducción, radiación y convección.

Para regular la temperatura será necesario hacer un compuesto de materiales que por una parte y aprovechando las virtudes naturales de los mismos, aislen la temperatura fría de la caliente y viceversa, sin olvidar que debe ser retardante al fuego, no tóxico, ligero y económico. Algunos estudios han logrado avances significativos en la materia.

"Recientemente se demostró teóricamente que la ecuación de conducción de calor en función del tiempo se forma invariante bajo las transformaciones de coordenadas curvilíneas. Por lo tanto, en analogía con la óptica de transformación, el espacio puede ser mapeado en metamateriales con alta conductividad espacialmente heterogénea y anisotrópica tensionando el espacio de laboratorio. Sobre esta base diseñamos, fabricamos y se caracteriza una capa térmica microestructurada que moldea el flujo de calor alrededor de un objeto en un placa de metal. Esto permite brindar protección contra picos de calefacción del objeto manteniendo el mismo flujo de calor aguas abajo como si no existiera objeto y capa" (Schittny et al, 2013; 1).

En otras palabras, se estaría desarrollando un metamaterial que haría que el calor lo rodee igual que sucede con un árbol cuando el aire pasa alrededor de su cuerpo.

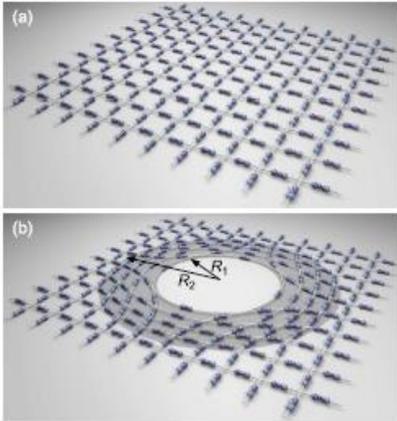


Imagen 15. (a) del enrejado de la Plaza eléctrica o térmica resistencias. (b) Ejemplo de la transformación de coordenadas curvilíneas subyacente a la capa que se muestra en la figura. El manto región está sombreado en gris con el interior y exterior radios R_1 y R_2 marcada. Tenga en cuenta que la conductividad local eficaz varía en tanto la azimutal y las direcciones radiales. Para un observador midiendo calor o flujo eléctrico fuera de la región sombreada, configuraciones (a) y (b) son indistinguibles. Esta es la idea esencial de camuflaje térmico (Ibid; 3).

"Intuitivamente, explotar el hecho de que la conducción de calor es alta a lo largo del dirección de un anillo con alta conductividad de calor, es decir, en el dirección azimutal, mientras que la conducción de calor es menor en la dirección radial perpendicular. La anisotropía efectiva depende del contraste dentro de un par de anillos. Actuar como material de efectivo, la separación entre los anillos necesita ser pequeño en comparación con la escala típica de la temperatura gradientes, es decir, pequeña en comparación con la difusión térmica longitud. Para obtener estas diferentes conductividades térmicas, diseñamos una estructura compuesta por los agujeros de perforación en un cobre de plato y llenándolos de polidimetilsiloxano" (Schittny et al, 2013; 3).

El polidimetilsiloxano (PDMS) o dimeticona es una sustancia polimérica que pertenece al grupo de las siliconas. Es usada por sus propiedades reológicas de la materia. La aplicación de dimeticona en este estudio, se diferencia de los plásticos termoexpandidos por que estos últimos incorporan aire para incrementar la resistencia a la conductividad térmica.

En los metamateriales se pueden combinar las distribuciones físicas de los materiales para dar paso a compuestos que regulen la conductividad térmica. Tal es el caso de la placa que se muestra a continuación.

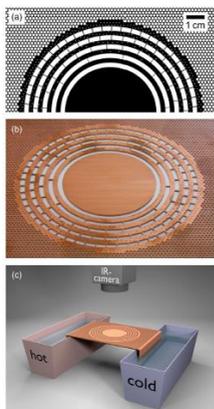
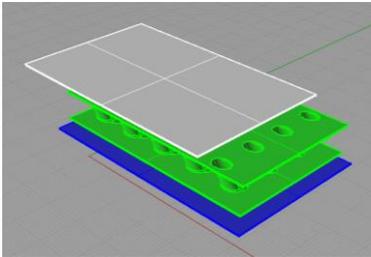
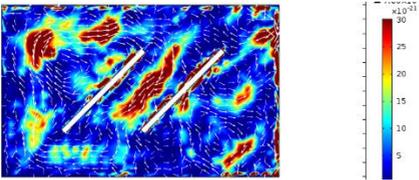
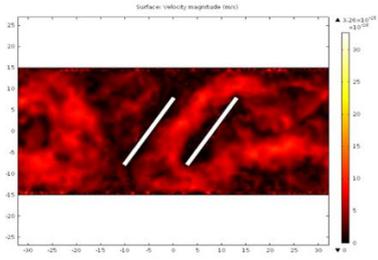


Imagen 16. Se aprecia en *color negro* regiones que mayormente tienen cobre y las regiones blancas son de PDMS con conductividad de calor de 394 y doce y quince $W=\delta Kmp$. En la figura B) se aprecia un aplaca de cobre de 2mm de espesor con perforaciones hexagonales de 0,5 mm logrando que la conducción de calor en estos anillos sea anisotrópico.

CAPITULO 3

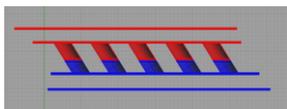


CAPITULO 3 PROPUESTA

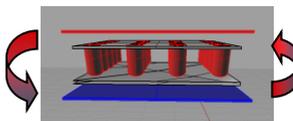
3.1 Geometría

El panel aislante se modela como una estructura con diferentes capas; la capa intermedia es un conjunto de cilindros huecos que controlan la convección del aire confinado y determinan las variables de conductividad térmica. Se colocan los cilindros a 69° de inclinación respecto al eje X con el fin de asegurar el desplazamiento de las masas de aire debido a la diferencia de gradientes de temperatura en las distintas áreas del panel. La geometría propuesta se muestra en las imágenes 17, 18, 19 y 20 donde se coloca la matriz de cilindros inclinados; la fila siguiente tiene un ángulo de 112 grados desde el mismo eje y así sucesivamente. De acuerdo con investigaciones anteriores, la eficiencia del movimiento del aire está fuertemente relacionada con la inclinación de los cilindros. Cuando el cilindro hueco tiene un ángulo de 90 grados, la convección del aire debido a los gradientes de temperatura se vuelve torpe. La eficacia del aislamiento térmico producido por una serie de cilindros huecos que contiene un fluido, depende de diversas variables: la relación de aspecto (diámetro del cilindro dividido por su longitud), el ángulo de inclinación, el contenido de un fluido en los tubos, la composición del material del panel y el espacio total en el que se coloca para trabajar como se desee, es decir, el entorno termodinámico.

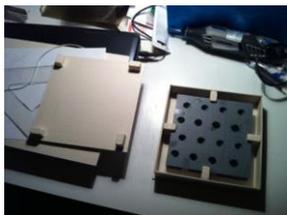
17



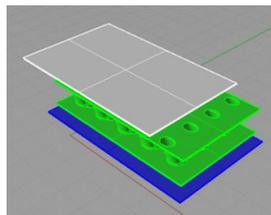
18



19



20



Imágenes 17, 18, 19 y 20. El panel experimental se construyó utilizando tubos de poliestireno cristal de 14 mm y 12 mm, diámetro externo y diámetro interno respectivamente. Los cilindros fueron fijados en sus partes superior e inferior utilizando placas perforadas de acrílico de alto impacto con una conductividad térmica de 0,15. Esta matriz fue encerrada en una caja de cartón comprimido para controlar y definir el entorno termodinámico del sistema cerrado.

3.2 Experimentación

El sistema cerrado fue colocado en un domo de cristal y se expuso directamente a la luz del sol en un día brillante del mes de mayo del año 2014 en Toluca, Estado de México. Todo el aire fuera del sistema se considera como el medio ambiente y con los rayos del sol tocando directamente la caja de control del panel, representan la fuente de calor.

El experimento se inicia a las 10:30 hrs y se llevan a cabo diez mediciones de temperatura del aire local utilizando un termómetro de platino.

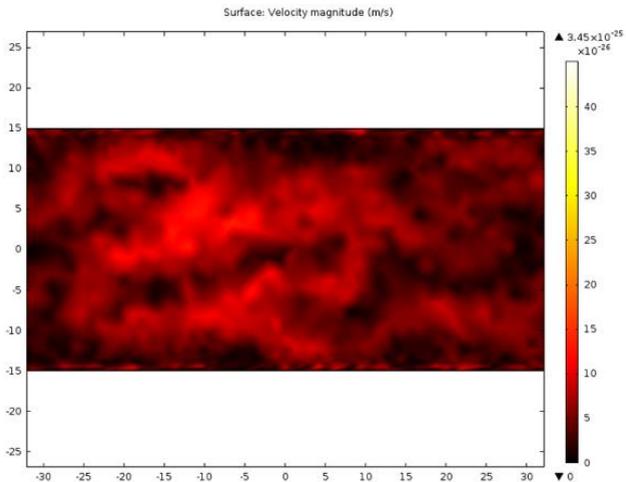
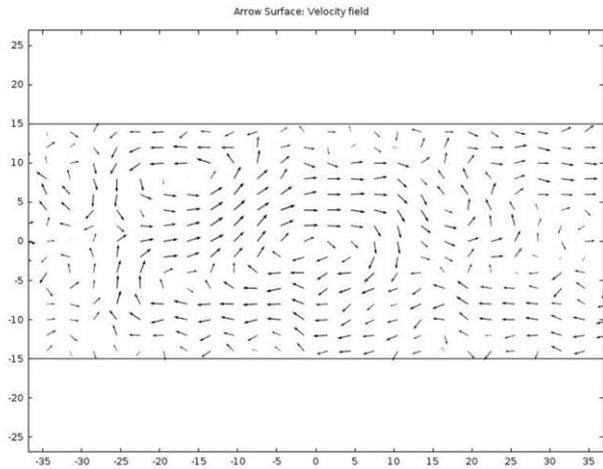
Hora	Condición de clima	Temperatura fuera del sistema (°C)	Temperatura dentro del sistema (°C)
10:30	Soleado	21.3	20.7
11:00	Soleado	31.9	23.1
11:30	Soleado	34.7	24.9
12:00	Soleado	37.0	26.3
12:30	Soleado	38.3	28.2
14:00	Soleado	37.3	29.5
16:00	Nublado	31.7	30.8
17:30	Nublado	24.9	28.4
19:30	Nublado	21.9	24.3
23:00	Nublado	21.3	20.7

Tabla 6. Toma de temperaturas del panel.

3.2.1 Simulación

Desde la configuración experimental se considera un sistema cerrado para realizar una simulación para analizar el comportamiento aerodinámico del aire que pasa a través de un cilindro individual, la aparición de la convección dentro del cilindro sería un indicativo de control de transferencia de calor a través de salida del sistema. Las simulaciones se hicieron utilizando el Módulo de Transferencia de Calor de COMSOL® Multiphysics (Comsol, 2015). El primer paso se realizó considerando una simulación de una cámara de aire expuesto a una fuente de calor, que modela el gradiente de temperatura

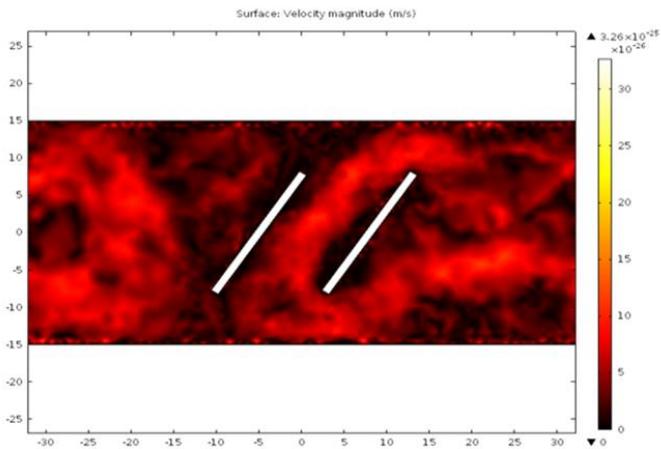
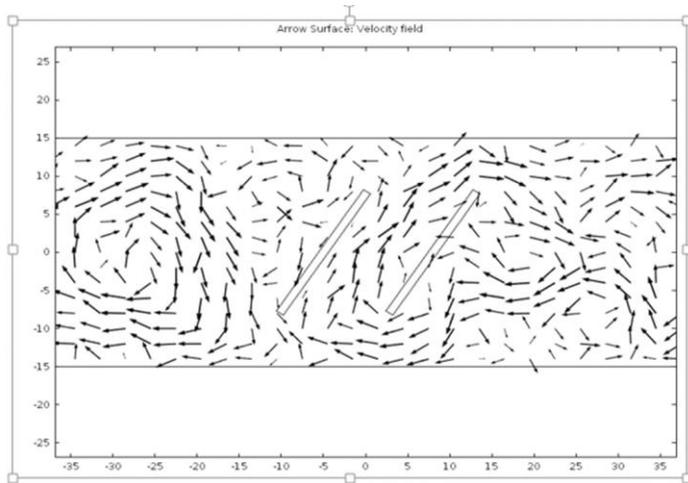
constante con condiciones de contornos laterales fijos. La convección es inducida de forma natural como resultado de los fenómenos acoplados, a saber, una fuerza inducida por el confinamiento y una fuerza opuesta que resulta de la fuerza del gradiente térmico antiparalela a la gravedad.



Imágenes 21 y 22. Dinámica del comportamiento de sección transversal de un volumen de aire isotrópico, sometido a un gradiente vertical de temperatura constante de 12 grados, mientras que las condiciones de contorno laterales son fijos. (21) Representación vectorial del campo de velocidad, (22) la representación coloreada por los valores de los campos de velocidad.

Como se muestra en la imagen 22, la representación vectorial modela las células de convección que surgen debido a las fuerzas térmicas y de confinamiento. Las condiciones de simulación fueron los siguientes: una sección transversal rectangular de 30 mm x 90 mm para el volumen de aire de modelado. El gradiente de temperatura constante de 12°C se consigue configurando el borde superior a una temperatura de 35 ° C y la inferior a 23 ° C; mientras que las condiciones de contorno laterales son fijos.

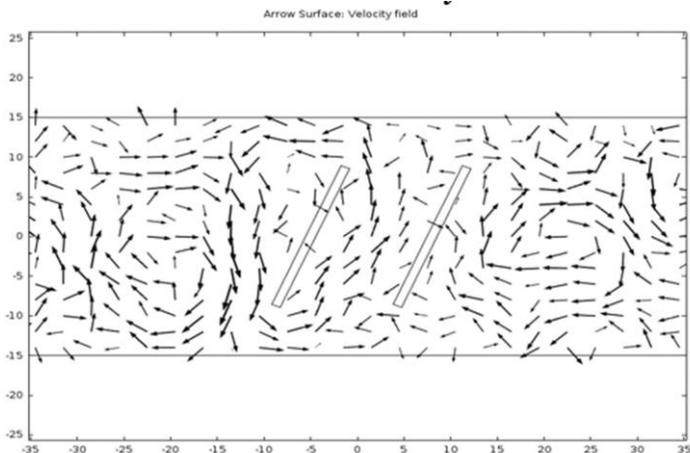
La segunda etapa requiere la adición de cilindro; ya que es una simulación 2D tal adición sólo incluye las paredes del cilindro como un par de líneas inclinadas con una anchura y una longitud constante, los datos experimentales se tienen en cuenta para estos valores. Se muestra la comparación entre tres ángulos representativos. La primera corresponde a la aparición de las primeras etapas de la convección en la presencia del cilindro, esto ocurrió cuando la inclinación es de casi 60 grados. Esto se muestra en la imagen 23, donde se recrean las mismas condiciones térmicas, confinamiento y de contorno externo como para la cámara de aire simple. Las paredes del cilindro juegan el papel de obstáculos para el desarrollo de convección en el centro del sistema, como se muestra por la zona central de la imagen 24.

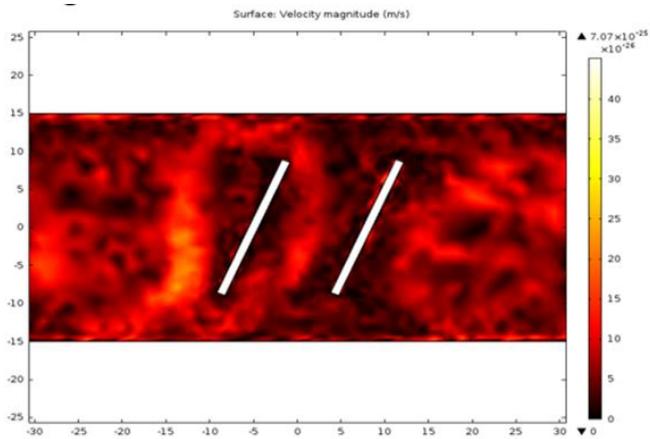


Imágenes 23 y 24. Dinámica del comportamiento en sección transversal para un volumen de aire que rodea isotrópicamente las paredes de un solo cilindro situado en el centro del sistema. Las primeras etapas de la convección aparecen para una inclinación de casi 60 grados. El sistema se somete de nuevo a un gradiente vertical de temperatura constante de 12 grados, mientras que las condiciones de contorno laterales son fijos. (23) Representación vectorial del campo de velocidad, (24) la representación coloreada por los valores de los campos de velocidad.

La matriz de los vectores en el lado derecho de la imagen 23 representa el campo de velocidad del aire que rodea las paredes; se obtiene sólo un vórtice-convección completo como contraposición a las que aparecen sin obstáculos. El gráfico de la parte derecha de la misma figura representa la visualización de color del campo de las velocidades.

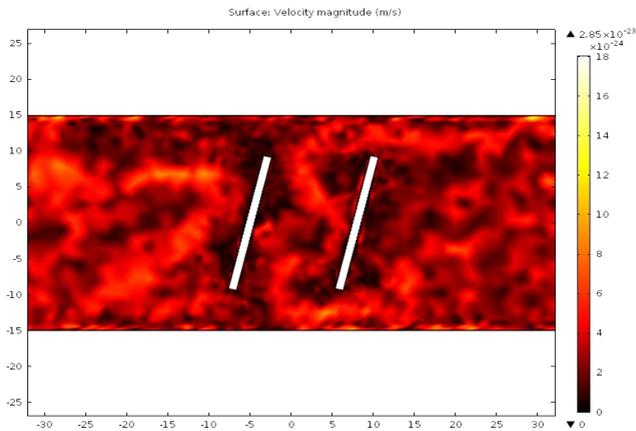
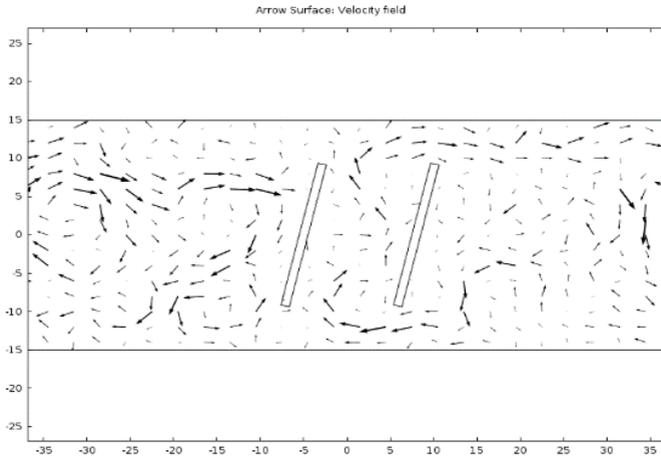
Al aumentar la pendiente del cilindro a 69 grados, la convección es controlada y aumenta, mostrando un vórtice-convección alrededor de cada lado de la pared y fuera del cilindro indicado en la imagen de abajo, por lo tanto, el aislamiento térmico es más controlado y originará un diseño de panel más eficiente.





Imágenes 25 y 26. Dinámica del comportamiento en sección transversal para un volumen de aire que rodea isotrópicamente las paredes de un solo cilindro situado en el centro del sistema. Aparece la convección para una inclinación de casi 70 grados, cediendo a un eficiente control de la temperatura. El sistema se somete de nuevo a un gradiente vertical de temperatura constante de 12 grados, mientras que las condiciones de contorno laterales se fijan (25) la representación vectorial del campo de velocidades, (26) la representación de color para los valores de campo de velocidad.

Para la siguiente simulación se considera un aumento de diez grados en la pendiente de las paredes del cilindro, y se mantienen los parámetros termodinámicos. Así en la imagen 28, la simulación muestra la decadencia de vórtices-convección y como disminuye la velocidad del aire dentro de la estructura; esto producirá un control ineficiente de la temperatura por medio de la disminución de la circulación de aire a través del cilindro. Una vez más, el lado izquierdo de la imagen 27 representa el campo de velocidad del vector.



Imágenes 27 y 28. Dinámica del comportamiento de sección transversal para un volumen de aire que rodea isotrópicamente las paredes del cilindro situado en el centro del sistema. La convección disminuye a una inclinación de casi 80° lo que representa un control ineficiente de la temperatura. El sistema se somete nuevamente a un gradiente vertical de temperatura de 12° .

En las siguientes imágenes se puede apreciar la cantidad de calor que se acumula alrededor y dentro de los cilindros, lo que

indica que también funciona como un concentrador de energía calórica.

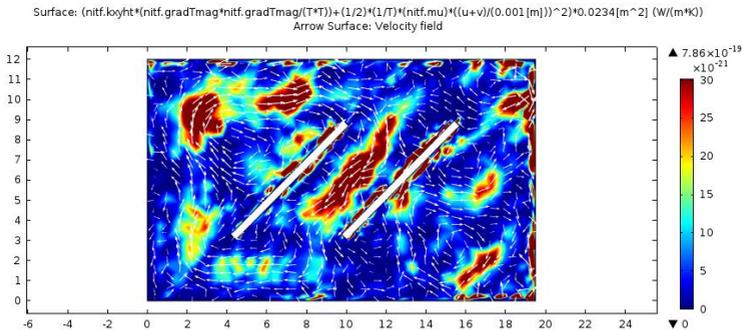


Imagen 29. Con los cilindros inclinados a 45°, estos concentran el calor en la parte media de su diámetro.

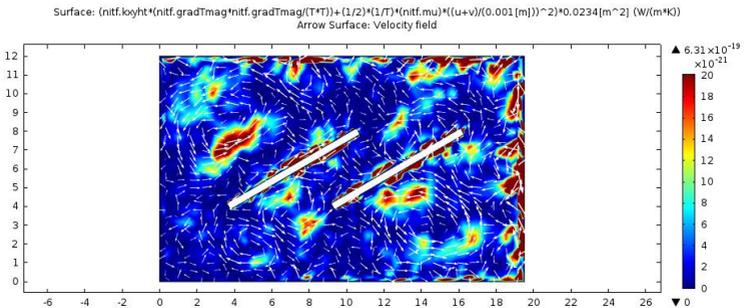


Imagen 30. Con los cilindros inclinados a 30° el calor se concentra en las paredes del cilindro, lo que puede provocar un aumento de la velocidad del aire que toca su superficie generando una mayor fricción en el fluido externo debido a que tiene mayor rapidez.

Surface: (nif.koyht*(nif.gradTmag*nif.gradTmag/(T*T))+(1/2)*(1/T)*(nif.mu)*((u+v)/(0.001[m]))^2)*0.0234[m^2] (W/(m*K))
 Arrow Surface: Velocity field

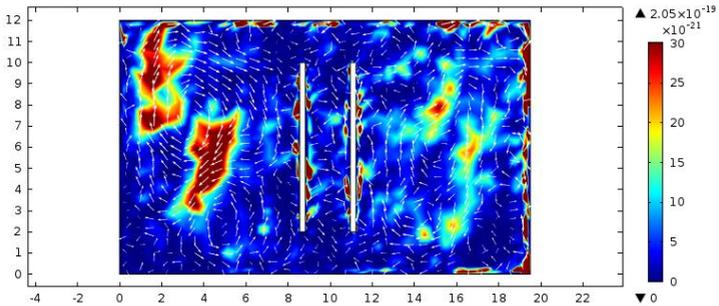


Imagen 31. A 90° el sistema se sale de equilibrio, no es funcional para los propósitos de la investigación.

3.3 Última prueba de temperatura

Con la finalidad de comprobar los datos que arroja el estudio realizado en la simulación computarizada, el panel se somete nuevamente a pruebas en condiciones soleadas, lluviosas y nubladas en dos días distintos, donde las temperaturas fueron variadas en parámetros de cálidas a frías y viceversa.

En esta prueba se tomaron lecturas en seis puntos distintos del panel para comprobar la variación térmica que existe de acuerdo al espesor del material que condiciona la ganancia calórica, y a la posición de los vectores que conforman el material y que determina la exposición a la radiación de calor.

En la siguiente figura se indica con letras las partes del panel donde se toma la lectura.

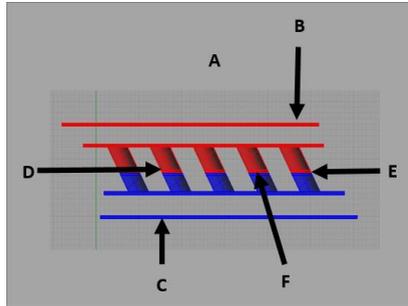


Imagen 32. Esquema del panel.

- A) Temperatura ambiente
- B) Temperatura de superficie blanca de cubierta del panel
- C) Temperatura de superficie blanca debajo del panel
- D) Temperatura del cilindro dentro del panel
- E) Temperatura del panel fuera del cilindro
- F) Temperatura del aire dentro del cilindro

Los resultados obtenidos son los siguientes.

Hora	A	B	C	D	E	F	Observaciones
14:00	24.4	31.0		28.9	28.9	27.9	Soleado y despejado. 1 de noviembre de 2015
14:22	23.2	41.3	27.0	33.0	35.1	32.2	Soleado y despejado
14:42	23.6	41.2	26.2	30.3	31.6	30.0	Soleado y despejado
15:10	23.4	42.4	30.7	35.7	36.8	33.7	Soleado y despejado
15:30	24	36.8	29.2	31.8	32.8	31.0	Soleado y despejado
15:50	24.1	39.6	30.2	34.7	34.7	32.8	Soleado y despejado
16:00	24.2	34.9	32	34.2	34.8	33	Soleado y despejado
16:20	25.5	30.4	32.3	31.3	32.8	31.7	Se ocultó el sol 5 minutos antes de tomar la lectura
16:40	26	27.3	30.0	28.8	29.2	30.0	Sale el sol 15 minutos antes de tomar lectura y se

							oculta en el momento de la lectura
17:00	26.1	29.1	29	28	28.2	28.6	Soleado
17:20	25.7	25.6	25.6	26.8	26.8	27.9	Soleado
11:00	17.3	17.8	16.6	17.6	17.5	16.9	Nublado. 2 de Noviembre de 2015
11:20	17.0	17.4	17.4	17.7	17.7	17.4	Nublado
11:40	17.1	16.8	17.6	17.2	17.0	17.7	Nublado con Lluvia ligera.
12:00	16.1	16.4	17.0	17.0	16.8	16.9	Nublado con lluvia ligera.
13:00	17.6	18.0	17.5	17.6	17.7	17.2	Parcialmente nublado
13:20	20.4	23.0	19.9	22.2	21.3	21.9	Parcialmente nublado
13:40	21.2	23.5	20.0	20.1	20.1	20.2	Parcialmente nublado
14:00	21.6	16.8	20.0	19.2	18.7	19.1	Nublado

Tabla 7. Última toma de temperaturas.

3.4 Discusión de la experimentación

El sistema cerrado se colocó en una cúpula de cristal y se expone directamente a la luz del sol en un día muy brillante de primavera; como consecuencia, todo el aire fuera del sistema, es decir, la radiación solar se considera como la fuente de calor.

La prueba comienza a las 9 hrs cuando la luz del sol comienza a calentar el medio ambiente en el que el panel como sistema cerrado es sometido. El panel se vuelve parte del entorno térmico después de dos horas.

Sometiendo la parte superior de los cilindros a una temperatura de 35° y la inferior a 23° se obtiene una constante de 12° en la parte interna del panel.

Según la tabla anterior la temperatura interna de los cilindros, en un 75% de las lecturas de temperatura, es mayor que la del medio ambiente. Con ello se demuestra que lo encontrado en la simulación computarizada de COMSOL® Multiphysics resulta verídico: el calor se concentra en el centro de los cilindros. (a)

La temperatura de la parte media de los cilindros (a) es mayor que la temperatura del medio ambiente en un 84% de las tomas de lectura (b), demostrando que existe una transferencia de calor desde la parte superior del panel (c) (ver imagen 33).

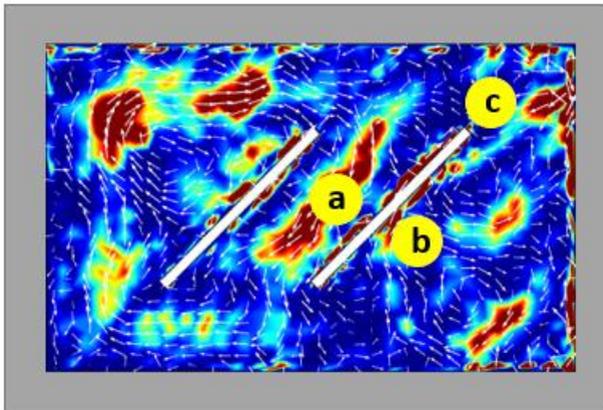


Imagen 33. Termográfica del intercambiador.

El panel ha demostrado que es capaz de generar una convección adecuada de masas de aire debido a la inclinación de los cilindros (69°). Cuando la masa de aire inicia su camino en la parte baja del panel (d), genera distintas velocidades entre las partículas que del fluido gaseoso se friccionan con el sólido (e) y las que están por encima de éstas

últimas (f). Al encontrarse en su camino con el vértice (g) que se forma entre el cilindro y la base del mismo, se genera una pequeña turbulencia o vórtice (h) que impulsa el fluido al segmento de superficie contraria del cilindro (i) generando una fuerza tangencial que desplaza el gas hacia la parte superior del intercambiador (j).

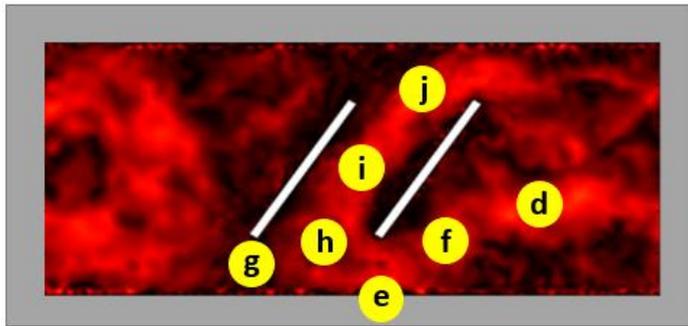


Imagen 34. Puntos de referencia del panel al contacto con el fluido gaseoso.

Por otro lado, la simulación numérica muestra cómo los cilindros pueden ser adecuadamente incluidos para gestionar los fenómenos de convección que conducen a la de control de transferencia de calor de la cámara de aire para una variedad de diferentes aplicaciones, tales como el aislamiento térmico o un intercambiador de calor, entre otros, es decir, el diseño es útil como un dispositivo de gestión térmica.

3.5 Conclusión

Al panel puede llamarse "Intercambiador de Calor" debido a que ha quedado demostrado que existe transferencia térmica de un sólido a un fluido en distintos puntos del cuerpo que conforma el sistema térmico con la mezcla de acrílico como cuerpo sólido y aire como fluido dando origen a un metamaterial.

El desplazamiento del calor queda regulado por la geometría del intercambiador. El material (acrílico) con el que se fabricó es 20 por ciento más aislante y tiene una conductividad térmica 3 veces menor que el vidrio.

La geometría del intercambiador de calor puede ser utilizada para la regulación de temperaturas en espacios cerrados como la cabina de los automóviles, habitaciones de edificios o casas, cámaras de refrigeración y en general en los sistemas que requieran del aislamiento de temperaturas. Se considera que el Intercambiador puede funcionar adecuadamente en un intervalo de temperatura ambiental que va de los -10° a los 40° centígrados. El resultado de su uso debe redundar en la disminución del consumo de energía para mantener el confort térmico de los espacios cerrados.

MESOGRAFÍA

- Abbott, Michael M. Teoría y problemas de Termodinámica. McGraw Hill. México 1988. P 38
- Acrilfrasa. www.acrilfrasa.mx/Acrico 05/03/17 17:25 hrs
- Biblioteca Virtual Universal. Leño.
- <http://www.biblioteca.org.ar/Libros/hipertextos%20de%20biologia/maderas.htm> 05/03/17 14:36 hrs
- Burghardt, M. David. Ingeniería Termodinámica. Segunda Edición. Editorial Harla. 1984. P 124.
- Cengel, Yunus A. Termodinámica. Editorial McGraw Hill. México 2011 Pps 60, 62, 92, 93, 94,95.
- Construmática.
http://www.construmatica.com/construpedia/Coeficiente_de_Conductividad_T%C3%A9rmica 14/02/2017 22:33 hrs
- Crespo. Mecánica de fluidos. Publicaciones E.T.S.I.I. Madrid. 1989.
- Cunningham, James G. Fisiología Veterinaria Editorial Elsevier. España. 2003 Pps. 534,535.
- Cruz Martínez Omar, De la Merced Castillo Juan Carlos. Tesis colectiva: "Cálculo y selección de equipo de aire acondicionado para un vagón del sistema de transporte masivo". Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Unidad Azcapotzalco. Instituto Politécnico Nacional. P44.
- F.M. White. Mecánica de fluidos. Editorial McGraw Hill. 1984.

- Faires, Virgil Moring. Termodinámica. Editorial Limusa. 2008. México D.F. P 21, 80,108, 535.
- Frank M- White. Viscous Fluid Flow (2ª Edición). Mc Graw Hill 1974.
- G. K. Bachelor. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge Press 1967.
- Incropera, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Prentice Hall. México 1999.
- Ingeniería Química. Tomos 2 y 3. E. Costa Novella y otros. 1984. Alhambra Universidad.
- Mataix, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Editorial Alfaomega. México, 2011. P 21, 23.
- Meléndez Rangel, Jesús Enrique. Mecánica de fluidos. Universidad Autónoma Metropolitana. México. P1
- P. Gerhart, R. Gross y J. Hochstein. Fundamentos de Mecánica de Fluidos (2ª Edición). Adison-Wesley Iberoamericana 1995.
- Poblete Durruty, Pablo Martín. Oso polar. Proyecto de investigación. 2015.
- Ronald L. Panton. Incompressible Flow. John Wiley & Sons, Inc. 1984.
- Shames I. H. La mecánica de los fluidos. Editorial Castillo. 1979.
- Schittny Robert, Kadic Muamer, Guenneau Sebastien, Wegener Martin. Experiments on Transformation Thermodynamics: Molding the Flow of Heat. Physical Review Letters. 2013. Pp 1, 3.

- Stekolschik, Gabriel. Los Metamateriales: Luz Obediente. Argentina. 2009. Pps 1,3.
- Victor L. Streeter y E. Benjamin Wylie. Mecánica de los Fluidos (8ª Edición). McGraw Hill 1986.
- Wark, Kenneth. Termodinámica. McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A. de C.V. 2001. P45.
- White Frank M. Mecánica de Fluidos. Frank M. White. McGraw Hill 1979. (en lo que sigue el párrafo se ve más comprimido, revisar para tener uniformidad)

REFERENCIAS

- ASHRAE, Standard 55-2004. Thermal comfort conditions for human occupancy, Atlanta: ASHRAE, 2004.
- Benyus, J.M. Biomimicry; Innovation Inspired by Nature, New York: Harper Collins Publishers Inc., 1997.
- Bynum R.T. Insulation Handbook, New York: MC Graw Hill, 2001.
- CEN, Standard EN15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, Paris: AFNOR, 2007.
- Craster, Richard V., Guenneau, Sébastien. Acoustic Metamaterials. Springer. New York. 2013.
- Chipouline, A. Petschulat, J. Tuennermann, A. Pertsch, T. Menzel, C. Rockstuhl, C. Lederer, F. Multipole approach in electrodynamics of metamaterials. Applied Physics A. Materials Science & Processing. Springer-Verlag. 2011.
- Cui, Tien Jun. Smith, David R. Liu, Ruopeng. Metamaterials. Theory, Design, and Applications. Springer. New York. 2010.
- Denz, Cornelia. Flach, Sergej. Kivshar Yuri S. Nonlinearities in Periodic Structures And Metamaterials. Springer. Berlin. 2010.
- Diest. Kenneth. Numerical Methods for Metamaterial Design. Springer. New York. 2013
- Ghasemi, B. and Aminossadati, S.M. "Natural Convection Heat Transfer in an Inclined Enclosure Filled with a Water- CuO Nanofluid", Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology, vol. 55, no. 8, pp. 807-823, 2009.
- Klein, Sanford. Nellis, Gregory. Thermodynamics. Cambridge University Press. New York. 2012.

- J. Hua, H. Fan, X. Wang and Y. Zhang, "A novel concept to determine the optimal heating mode of residential rooms based on the inverse problem method," Building and Environment, vol. 85, pp. 73-84, 2015.
- M. S. Al-Homoud, "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials," Building and Environment, no. 40, p. 353–366, 2005.
- Pearce, M. "Mick Pearce, Architect", Site credits, 07 01 2015. [Online]. Available: <http://www.mickpearce.com/works/office-public-buildings/eastgate-development-harare/>. [Accessed 07 01 2015].
- Rani N., Setia H., Dutt M. and Wanchoo R. "Natural Convection Heat Transfer from Inclined Cylinders: A Unified Correlation", International Journal of Mathematical, Computational, Physical and Quantum Engineering, vol. 8, no. 1, pp. 100-105, 2014.
- S. V. Russell-Smith, M. D. Lepech, R. Fruchter and A. Littman, "Impact of progressive sustainable target value assessment on building design decisions," Building and Environment, vol. 85, pp. 52-60, 2015.
- T. Thorsell, Advances in Thermal Insulation - Vacuum Insulation Panels and Thermal Efficiency to Reduce Energy Usage in Buildings, Stockholm: Doctoral thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2012.
- Telrandhe, R.G. and R. Thombre, R. "CFD Analysis of Natural Convection Flow through Inclined Pipethrough Inclined Pipe", International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), vol. 2, no. 10-14, p. 2, 2013.
- Yu Wu, Liang. Et al. Design of an acoustic behind waveguide with acoustic metamaterials via transformation acoustic. Applied Physics A. Materials Science & Processing.

- Zou, Si. Liu, JinSong. Microwave transmission properties of metamaterials with double sets of square holes. Chinese Science Bulletin. China. 2012.
- www.comsol.com," [Online].

ÍNDICE DE IMÁGENES

1. Dromedarios sobre arena desértica.
<http://www.bing.com/images/search?q=camello+caminando+en+arena&view=detailv2&&id=C18E1A3796B1CC14DC62E6A804EC1CC25849BFE2&selectedIndex=113&ccid=sNOcQF5E&simid=608004715175153628&thid=OIP.Mb0d39c405e44d4ba0e2b2c442ff5d21do0&qjxhist=0> 13/09/2015 20:18 hrs
2. Pelo de oso polar (ampliación) Poblete Durruty, Pablo Martín.
Oso polar. Proyecto de investigación. 2015.
3. Esquema térmico del pelo del oso polar. Poblete Durruty, Pablo Martín. Oso polar. Proyecto de investigación. 2015.
4. Convección de agua fría y agua caliente. Cruz Martínez Omar, De la Merced Castillo Juan Carlos. Tesis colectiva: "Cálculo y selección de equipo de aire acondicionado para un vagón del sistema de transporte masivo". Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Unidad Azcapotzalco. Instituto Politécnico Nacional. P28.
5. Convección de aire frío y caliente. www.google.com
05/03/17 13:35 hrs
6. Radiación.
<http://www.educaycrea.com/2014/04/propagacion-del-calor-formas-y-ejemplos/> 05/03/17 13:50 hrs
7. Cobre.

https://www.google.com.mx/search?q=convecci%C3%B3n+de+agua+fr%C3%ADa+y+agua+caliente&biw=1536&bih=768&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjEntOgjMDSAhUKwmMKHTtODHgQ_AUIBigB#tbm=isch&q=cobre*&imgrc=gfdtdOmavJO4iM: 05/03/17 14:30 hrs

8. Corcho. www.google.com 10/10/215 19:35 hrs

9. Corte de Madera. www.google.com 10/10/215 19:35 hrs

10. Estructura interna de la Madera. Biblioteca Virtual Universal.

<http://www.biblioteca.org.ar/Libros/hipertextos%20de%20biologia/maderas.htm> 05/03/17 14:36 hrs

11. Ampliación microscópica del cuerpo cavernoso de la madera.

<http://www.bing.com/images/search?q=madera%20en%20microscopio&q&qs=n&form=QBIR&pq=madera%20en%20microscopio&sc=0-15&sp=-1&sk=> 05/03/17 14:51 hrs

12. Poliestireno expandido. www.google.com 11/03/2017 15:33 hrs

13. Piezas de acrílico. www.acrilfrasa.mx/Acrylic 05/03/17 17:25 hrs

14. Percepción del ojo humano de las ondas de radiación. Stekolschik, Gabriel. Los Metamateriales: Luz Obediente. Argentina. 2009. P 3.

15. Enrejado de la Plaza eléctrica o térmica resistencias. Schittny Robert, Kadic Muamer, Guenneau Sebastien, Wegener Martin. Experiments on Transformation Thermodynamics: Molding the Flow of Heat. Physical Review Letters. 2013. P 3.

16. Regiones de cobre y PDMS. Schittny Robert, Kadic Muamer, Guenneau Sebastien, Wegener Martin. Experiments on Transformation Thermodynamics: Molding the Flow of Heat. Physical Review Letters. 2013. P 3.

17, 18, 19 y 20. Modelo computarizado de panel. Portilla Aguilar Juan Miguel. 2013.

21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28. Comportamiento vectorial del flujo. COMSOL de COMSOL® Multiphysics.

29, 30, 31. Imágenes termográficas del comportamiento del panel. COMSOL® Multiphysics.

32) Esquema del panel. Imagen computarizada. Portilla Aguilar Juan Miguel. 2013.

33) Termografía del intercambiador. COMSOL® Multiphysics.

34) Puntos de referencia del panel al contacto con el fluido gaseoso. Portilla Aguilar Juan Miguel. 2017.

Índice de Tablas

1, 2 y 3. Portilla Aguilar, Juan Miguel. Cálculos de media y desviación estándar de las temperaturas registradas en el interior del automóvil. 2013

4. http://www.efunda.com/materials/common_matl/show_gas.cfm?MatlName=Air0C 10/03/2017 19:28 hrs

5. Tabla 5. Conductividad térmica en materiales metálicos y no metálicos. Santiago Netto, Ricardo.

http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php

6. Toma de temperaturas del panel. Portilla Aguilar Juan Miguel. 2015

7. Última toma de temperaturas. Portilla Aguilar Juan Miguel. 2015