



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ENFRIAMIENTO CON TECNOLOGÍA TERMOELÉCTRICA,
MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL EFECTO PELTIER CON
ALIMENTACIÓN FOTO VOLCÁNICA”.

T E S I S :

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

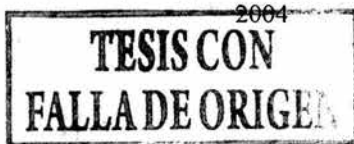
P R E S E N T A :

MARCO ANTONIO MORALES LEAÑOS

ASESOR: ING. JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ GUTIÉRREZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

JUNIO





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Diseño e implementación de un sistema de enfriamiento con tecnología termoeléctrica, mediante la aplicación del efecto peltier con alimentación fotovoltaica.

que presenta El pasante: Marco Antonio Morales Leños
con número de cuenta: 8809522-2 para obtener el título de
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 5 de Marzo de 2004

PRESIDENTE	<u>Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez</u>	
VOCAL	<u>Ing. Carlos Alberto Martínez Pérez</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Enrique Cortés González</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Héctor Hernández Guzmán</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Antonio Ramírez Martínez</u>	

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por la fortaleza que me da día con día.

A MIS PADRES:

Por su apoyo, amor, y comprensión.

A MIS HERMANAS:

Sin ellas habría sido muy difícil culminar.

A MI ASESOR :

Por su apoyo y paciencia.

A MIS SINODALES :

Por sus consejos profesionales.

A LA PROFESORA:

Laura por su amistad incondicional consejos, ánimos y cariño recibido.

A MIS AMIGOS :

Manuel, José, Sergio, Pedro, Carlos Andrés, Marco, Lorena, Nidia, Orieta, Alma, y de manera muy especial a mi Estado Mayor Pepsidencial: Oswaldo Juan, Enrique, Arturo, Karlo

A MIS COMPAÑEROS:

Mario, Venancio, Raymon, Jacobo, Berna, Memo, Adalberto, Gabriel, Oscar, Miguel, José Luis Nacxitl, Héctor, Israel, Vícíor, Rodolfo, Fernando, Alejandro, Rolas, Carmona, Chesaro, Oaxaco, Jefecito.

A MIS PROFESORES:

Por dar lo mejor de si.

A LA UNIVERSIDAD

Por todo el conocimiento adquirido.

A MIS CONTEMPORANEOS:

Por que con ellos fue más ligero el camino

A TODAS LAS PERSONAS :

Que confiaron en mi.

“TEN CUIDADO CON LO QUE SUEÑAS POR QUE UN DIA SE PUEDE CONVERTIR EN REALIDAD.”

INDICE:

INTRODUCCION

OBJETIVOS

1.- CONCEPTOS BASICOS

1.1 EL SOL	2
1.2 LA TIERRA	3
1.3 TEORÍA BÁSICA DEL CALOR	4
1.4 CONDUCCIÓN	7
1.5 CONVECCIÓN	8
1.6 RADIACIÓN	11
1.7 TERMOELECTRICIDAD	12
1.8 EXPRESIÓN SIMPLIFICADA DE LOS EFECTOS	
TERMOELECTRICOS	17
1.9 REFRIGERACIÓN	22
1.10 ELECTRICIDAD ELEMENTAL	25
1.11 TEMPERATURA	27

2.-LA RADIACION SOLAR

2.1 LA RADIACIÓN SOLAR	30
2.2 EL SOL	31
2.3 LA ATMOSFERA	31
2.4 EL CAMINO DE LAS ONDAS	33
2.5 ATENUACIÓN	34
2.6 ESPECTRO DE RADIACIÓN DEL SOL	34
2.7 FUNDAMENTOS DE LA RADIACIÓN SOLAR	38
2.8 EFECTOS DE LA RADIACIÓN	40
2.9 CONSTANTE SOLAR	41
2.10 UNIDADES DE MEDICIÓN	41
2.11 CONCEPTOS DE HORAS PICO	42
2.12 LA RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y GLOBAL	42
2.13 ÁNGULOS SOLARES BÁSICOS	43
2.14 ÁNGULOS SOLARES SECUNDARIOS	47
2.15 ÁNGULO DE AZIMUT	49
2.16 ÁNGULO DE INCIDENCIA	49
2.17 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL TIEMPO	50
2.18 ECUACIÓN DEL TIEMPO	51

3.-SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.1 LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS-----	54
3.2 CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO-----	57
3.3 CARACTERISTICAS DE EMPLEO-----	61

4.-FUNCIONAMIENTO DE LA CELULA PELTIER

4.1 LOS DISPOSITIVOS TERMOELECTRICOS-----	70
4.2 LOS SISTEMAS TERMOELECTRICOS-----	78

5.-DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION

5.1 FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA TERMOELECTRICA-----	95
5.2 LOS PARES TERMOELECTRICOS -----	99
5.3 DETERMINACIÓN DE LAS FÓRMULAS DE CALCULO EN LOS PARES TERMOELECTRICOS-----	100
5.4 PROPIEDADES TERMOELECTRICAS , FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA-----	105
5.5 CÁLCULO DE LA POTENCIA QUE SE DEBE APLICAR A LAS CELULAS TERMOELECTRICAS-----	116
5.6 FIGURA DE MÉRITO DE UNA CÉLULA TERMOELECTRICA-----	120
5.7 ANÁLISIS DEL TRANSITORIO DE UNA CÉLULA TERMOELECTRICA-----	121
5.8 CONEXIÓN DE CÉLULAS TERMOELECTRICAS EN SERIE O PARALELO-----	122
5.9 CÁLCULOS TEORICOS DEL SISTEMA-----	123
5.10 CONDUCCIÓN -----	123
5.11 FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN -----	124
5.12 RESISTENCIA TÉRMICA DEL MATERIAL-----	125
5.13 CONVECIÓN -----	125
5.14 CÁLCULO DENSIDAD DEL AIRE-----	126
5.15 DENSIDAD MEDIA DEL AIRE-----	127
5.16 ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN DEL VIENTO-----	128
5.17 BALANCE DE ENERGÍA-----	128
5.18 FORMULAS DEL MODULO FOTOVOLTAICO-----	128
5.19 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE LA BATERÍA-----	130

6.-ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AL SISTEMA PELTIER

6.1 CÁLCULOS PRACTICOS-----	134
6.2 VISTAS DEL SISTEMA-----	137

6.3 TABLA DE RESULTADOS Y GRAFICAS-----	144
7.-ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONOMICA Y APLICACIONES PRACTICAS	
7.1 ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONOMICA-----	149
RESUMEN-----	154
CONCLUSION-----	155
GLOSARIO-----	156
BIBLIOGRAFIA-----	165

INTODUCCION

La Termoelectricidad es una rama de la Física en la que se estudia la transformación directa de energía Térmica a Eléctrica o lo recíproco, de Eléctrica a calor. En otras palabras, la termoelectricidad se considera como la rama de la Termodinámica superpuesta a la electricidad donde se estudian fenómenos en los que intervienen el calor y la electricidad. Los termopares pueden tener dimensiones muy pequeñas, también permiten medir con precisión las temperaturas locales en un punto.

La corriente generada puede aumentarse empleando semiconductores en lugar de metales, y puede alcanzarse una potencia de unos pocos watts con eficiencias de hasta el 6%.

Cuando se hace pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales distintos cuyas uniones están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso. En este caso, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. Este fenómeno se conoce como Efecto Peltier, en honor al físico francés Jean Charles Peltier quien lo descubrió en 1834. Es posible usar sistemas de semiconductores basados en el efecto Peltier como refrigeradores para aplicaciones especiales.

Aunque se considera como descubridor del efecto termoeléctrico a Seebeck, al revisar los estudios de Alessandro Volta se ha constatado que en sus trabajos pioneros sobre electricidad midió diferencias de potencial debidas a la termoelectricidad al usar contactos entre diversos metales. Sin embargo no prestó demasiada atención a dicho efecto.

La primera teoría que engloba los efectos Seebeck y Peltier, sin embargo, fue dada por Lord Kelvin.

Kelvin desarrolló el trabajo realizado por James Prescott Joule sobre la interrelación del calor y la energía mecánica, y en 1852 ambos colaboraron para investigar el fenómeno al que se conoció como Efecto Joule - Thomson. En 1848 Kelvin estableció la escala absoluta de temperatura que sigue llevando su nombre. En 1854 analizó

los varios fenómenos termoeléctricos y estableció dos ecuaciones fundamentales que llevan su nombre. La primera se basa en la conservación de la energía y la segunda, que relaciona el potencial termoeléctrico de un termopar, se obtiene a partir de la primera y segunda leyes de la termodinámica suponiendo que los procesos son reversibles.

Más tarde, en 1909 L. Boltzmann trató de justificar las hipótesis de W. Thomson, algo que no se ha conseguido hasta la actualidad. A pesar de la falta de validez de dichas hipótesis, Onsager mostró que la segunda ecuación de Kelvin podía derivarse rigurosamente como consecuencia de la invarianza de las ecuaciones microscópicas del flujo termoeléctrico frente a la reversibilidad del tiempo. Las ecuaciones de Kelvin relacionan los tres efectos termoeléctricos (efecto Seebeck, efecto Peltier y efecto Thomson), aunque fue Onsager en 1931 quien con estudios de termodinámica de los procesos irreversibles, aclaró el fenómeno.

El enfriamiento termoeléctrico empezó a ser factible a partir de los estudios de Telkes en los años 30 y de Loffee, quien publicó un excelente libro en 1956. Los nuevos materiales semiconductores irrumpían en la escena produciendo rendimientos mucho más altos. Telkes utilizó pares o soldaduras de sulfuro de plomo PbS y antimonio de cinc ZnSb, y Loffee descubrió el uso del telurio de plomo PbTe y seleniuro de plomo PbSe han sido muy utilizados, y para la conversión de energía calorífica en eléctrica se alcanzan rendimientos aceptables.

Célula Peltier

Cuando aplicamos una diferencia de potencial a la célula, una de sus caras se enfría mientras que la otra se calienta. Esto provoca un movimiento de calor de la cara fría a la caliente. Este movimiento es fácilmente reversible, con sólo cambiar la polaridad de la alimentación de la célula se consigue que la cara caliente pase a ser la cara fría y viceversa.

OBJETIVOS

Comprobar que los sistemas termoeléctricos no dañan el medio ambiente.

Buscar nuevas alternativas que sean más amigables con la capa de ozono y que no sigan dañándola como lo hacen (CFC y HCFC).

Demostrar que los sistemas termoeléctricos ofrecen un excepcional ahorro de energía así como flexibilidad en el control e instalación.

Demostrar que el sistema es fiable, compacto , con capacidad de reserva, además los sistemas termoeléctricos no necesitan válvulas proporcionales ni mecanismos que trabajen en cascada.

Demostrar que Los sistemas modulares se pueden monitorizar localmente o desde un lugar remoto.

Comprobar que los sistemas termoeléctricos, tienen una gran fiabilidad, versatilidad, inocuidad y especialmente por su capacidad de ser regulados térmicamente con gran precisión .

Verificar que Los sistemas termoeléctricos pueden ser utilizados con fuentes de alimentación DC compatibles con cualquier unidad disponible de energía.

Por otro lado pueden ser empleados posteriormente al paso de un huracán o bien de un sismo.

O en cualquier región que carezca de suministro eléctrico

Capítulo I

Conceptos básicos

1.1 EL SOL

El sol es una estrella más entre millones de la galaxia conocida como la vía láctea, puede ser considerada por su temperatura, brillo y dimensiones una estrella "media". Para nuestro planeta, sin embargo, separada de él 150 millones de kilómetros, es la fuente fundamental de energía. El radio solar se estima de 7×10^5 Kilómetros y su fuerza gravitacional en 2.2×10^{27} Toneladas. El núcleo está formado por hidrógeno (50%), helio (40%) y metales pesados (10%); ahí la presión alcanza los 100 mil millones de atmósferas y la temperatura 16×10^6 °C su masa es de aproximadamente 332000 veces la de la Tierra. De las observaciones sobre los movimientos de las manchas solares se ha establecido, que el Sol gira sobre su propio eje una vez cada cuatro semanas, pero no como un cuerpo rígido. El periodo de rotación varía desde cerca de 25 días terrestres en su ecuador hasta cerca de treinta días en sus polos. Podemos considerar al Sol como un reactor continuo de fusión termonuclear que transforma al hidrógeno en helio y en energía de alta frecuencia; esta energía es producida en el núcleo solar a temperaturas de muchos miles de grados. Esta energía es transferida primeramente por procesos de radiación, en forma de rayos (γ) cuyas longitudes de onda crecen conforme cae la temperatura a lo largo de distancias radiales. Esta zona es denominada de radiación, después entra en la zona de convección, que es una región más fría y donde por medio de procesos convectivos la energía se transfiere hacia la superficie. La línea exterior de la zona de convección es llamada fotosfera que tiene aproximadamente un espesor de apenas 100 Km, casi toda la luz solar es emitida desde esta aparente superficie, es hasta cierto grado transparente y su temperatura es de 5000 K°.

Después de esta zona se extiende la cromósfera, que es un cerco brillante, visible únicamente un eclipse total de sol, la cual consiste en una tenue capa de gas de 10,000 Km de grosor, y es más caliente que la fotosfera. Las llamaradas que forman sus gases de hidrógeno, hierro, calcio, y helio, se elevan hasta alturas del orden de entre 500,000 Km a 831,000 Km y son protuberancias eruptivas más allá de la

cromósfera se extiende la corona , que también es sólo visible en un eclipse total de Sol ésta formado por un gas no identificado llamado corónium, el cual es de un halo resplandeciente y plateado que se extiende a unos 3 millones de Km, adopta la apariencia de plumas y rayos de luz.

1.2 LA TIERRA

El planeta Tierra es aproximadamente esférica con un diámetro de cerca de 12,713.47Km , efectúa una rotación alrededor de su eje cada 24 Horas y completa una revolución de 365.25 días , en promedio la densidad media de la Tierra es cerca de 5.52 veces la del agua , se cree que la Tierra tiene un núcleo central con un diámetro de 2,574.88 Km después de este núcleo está el manto el cual forma cerca del 70% de la masa de la Tierra y después está la corteza exterior, la cual forma cerca de 1% de la masa total.

La Tierra gira alrededor del Sol en una trayectoria considerada circular y guarda una media de 149,540,000 Km . El primero de enero , la Tierra está en su posición más cercana al Sol, mientras que el primero de julio se encuentra en su posición más remota, 3.3% del promedio. Puesto que la intensidad de la radiación varía inversamente con el cuadrado de la distancia , la Tierra recibe un 7% más de radiación en enero que en julio. El eje de rotación de la Tierra está inclinado 23.5° Con respecto a su órbita alrededor de el Sol , esto tiene un gran significado pues con la rotación diaria y la revolución anual gobierna la distribución de la radiación solar sobre su superficie, la longitud variable del día y de la noche y el cambio de estaciones

la posición de la tierra relativa a los rayos del Sol en la época del solsticio de invierno que es aproximadamente el 22 de diciembre , en éste periodo el polo norte está inclinado 23.5° alejándose del sol. Todos los puntos de la superficie por encima de los 66.5° de latitud norte están en total oscuridad mientras que todas las regiones dentro de 23.5° del polo sur reciben continuamente la luz del sol. En la época del

solsticio de verano, aproximadamente, 22 de junio, la situación se invierte. En la época de los equinoccios 22 de marzo y 22 de septiembre aproximadamente, ambos polos están a la misma distancia del Sol, y todos los puntos sobre la superficie de la Tierra tienen 12 Horas de día y 12 Horas de noche.

A causa de su eje inclinado, la superficie de la Tierra se ha dividido en 5 zonas. La zona tórrida incluye todos los lugares donde el Sol está en el cenit al menos una vez al año ésta zona se extiende desde los 23.5° a cada lado del ecuador. las zonas templadas incluyen todos los lugares donde el Sol aparece todos los días en el horizonte, pero nunca en el cenit, se extienden en latitudes de 23.5° A 66.5° Norte y Sur. Las zonas frías incluyen todos los lugares donde el sol permanece por debajo del horizonte o sobre el al menos un día completo cada año y se extiende 23.5° desde los polos

1.3 Teoría Básica del Calor

La *Termodinámica* estudia los intercambios energéticos entre sistemas o entre estos y el exterior, definiendo como sistema la porción del Universo que es objeto de estudio. En particular, la Termodinámica trata de la transformación de la energía calorífica en energía Mecánica y viceversa. Quedó configurada en el siglo XIX.

Posteriormente, gracias a los estudios de Mecánica Estadística se ha comprobado que la Termodinámica clásica no es sino una interpretación macroscópica de los fenómenos de transferencia de energía a nivel microscópico.

Cuando dos sistemas a diferente temperatura se hallan en contacto térmico, el calor fluye del sistema más caliente al más frío hasta que alcanzan el equilibrio a una temperatura común. Hacia 1700, **Galileo**, **Newton** y otros científicos apoyaban la teoría de los atomistas griegos, los cuales consideraban el calor como una manifestación del movimiento molecular. En la siguiente centuria, se descubrieron métodos para realizar medidas cuantitativas de la cantidad de calor que entra o sale de un cuerpo y se encontró que, cuando dos cuerpos se hallan en contacto térmico, la

cantidad de calor que sale de un cuerpo es igual a la cantidad de calor que entra en el otro. Entonces se elaboró una teoría aparentemente fructífera en la que se consideraba el calor como una sustancia material fluida, invisible y sin peso; esta sustancia que se llamó *calórico* y no podía ser creada ni destruida, pero sí transferida de un cuerpo a otro. La teoría del calórico sobre el calor servía bien para describir la transferencia de calor, pero se descartó al observar que el calórico se creaba por fricción y no había una desaparición correspondiente de calórico en ningún otro sitio. En otras palabras, se demostró como falso el principio de la conservación del calórico, que era el fundamento experimental de esta teoría.

Las primeras observaciones experimentales que demuestran la no conservación del calórico fueron realizadas por **Benjamín Thomson** a finales del siglo XVIII, un americano emigrado a Europa y nombrado director del Arsenal de Baviera (supervisó el torneado de los cañones de Baviera). A causa del calor generado por el taladro se utilizaba agua para refrigerar y había que reemplazarla continuamente, porque se evaporaba durante la operación. De acuerdo con la teoría del calórico, cuando el metal procedente del torneado se cortaba en trozos pequeños, su propiedad de retener calor disminuía. Por lo tanto se cedía calórico al agua, calentándola hasta la ebullición. Thomson observó, sin embargo, que aun cuando la broca no estuviese lo suficientemente afilada como para cortar el metal, el agua seguía evaporándose en tanto la broca giraba. Aparentemente el calórico se producía simplemente por fricción y podía producirse interminablemente. Así surgió que el calor no era una sustancia que se conservara, sino alguna forma del movimiento que era comunicada desde la broca al agua. Demostró que de hecho, el calor producido era aproximadamente proporcional al trabajo realizado durante la operación del taladro.

La teoría del calórico sobre el calor continuó siendo prestigiosa incluso cuarenta años después de realizado el trabajo de Thomson, pero fue gradualmente cayendo en desuso a medida que eran observados más ejemplos de la *no - conservación* del calor. Hasta 1840 no floreció la teoría mecánica moderna. Desde su punto de vista el calor es otra forma de energía, intercambiable con las diversas formas de energía mecánica.

Los experimentos más precisos y variados que demuestran esta teoría los realizó **James Joule** (1818-1889) hacia finales de 1830 y en su honor se dio su nombre a la unidad de energía en el sistema métrico. Joule demostró que la aparición o desaparición de una cantidad de calor va siempre acompañada de la aparición o desaparición de una cantidad equivalente de energía Mecánica.

El calor es pues, una energía que puede medirse solamente por los efectos que produce.

1.3.1 Transmisión del calor

Como se ha dicho en la introducción, si un cuerpo caliente se pone en contacto con otro frío la experiencia nos dice que el primero se enfría y el segundo se calienta hasta que ambos igualan sus temperaturas. Esto es debido a una transferencia de energía del cuerpo caliente al frío.

Esta energía transferida a través de los límites de un sistema en virtud de una diferencia de temperaturas, constituye el calor. Es decir, el calor es un fenómeno transitorio. Si consideramos el cuerpo caliente como un sistema y el frío como otro, se llega a la conclusión de que originalmente ni uno ni otro contienen calor (pero sí energía). Al poner ambos sistemas en comunicación térmica el calor se transfiere del primero al segundo hasta que se establece el equilibrio de temperatura. Ninguno de los sistemas contiene calor al final del proceso.

Existen tres formas pasivas distintas según las cuales el calor puede pasar de un cuerpo a otro: conducción, convección y radiación, y una forma activa que se expresa con la ecuación:

$$Q_{activa} = \frac{V^2}{R} = VI = I^2 R \quad \text{EC. 1.1}$$

Pongamos el ejemplo de un típico detector de infrarrojos de seleniuro de plomo PbSe que opera a 50V.y tiene una resistencia de 0.5 MW. Si aplicamos

la ecuación 2.4 la transmisión activa de calor será sólo de 5mW.

1.4 CONDUCCIÓN

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la *conducción*. Si se calienta un extremo de una varilla metálica de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. Cuando dos partes de un cuerpo están a temperatura distinta, la experiencia demuestra que existe entre ellas una distribución continua de temperatura.

No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica porqué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés **Barón Joseph Fourier** dio una expresión Matemática precisa que hoy se conoce como *Ley de Fourier de la conducción del calor*. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al *gradiente de temperatura* que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

$$Q_{cond} = \frac{kA\Delta T}{x} \quad \text{EC.1.2}$$

donde:

k es el factor de conductividad térmica del material (W/mK)

A es el área de intercambio térmico (m²)

ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la

Q_{cond} = superficie por la que hay conducción (K)

x es el espesor del material aislante (m)

Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas

elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes.

En Ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas Matemáticas muy complejas, sobre todo si el proceso varía con el tiempo; en este caso, se habla de conducción térmica transitoria. Con la ayuda de ordenadores analógicos y digitales estos problemas pueden resolverse en la actualidad incluso para cuerpos de geometría complicada.

Una buena definición para este fenómeno es: "El transporte de energía calorífica a través de elementos adyacentes pasando de molécula a molécula como consecuencia de su agitación cinética desde los puntos más calientes a los más fríos, recibe el nombre de *conducción térmica*".

1.5 CONVECCIÓN

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado *convección*. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no - uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina *convección natural*. La *convección forzada* se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la Mecánica de fluidos.

Supongamos por ejemplo, que calentamos desde abajo una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como

resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación.

El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba pierde parte de su calor por radiación y lo cede al aire situado por encima. De forma similar, en una cámara vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior que está más frío desciende, mientras que al aire cercano al panel interior más caliente asciende, lo que produce un movimiento de circulación.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación se dirija hacia el radiador. Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, los radiadores deben colocarse cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima.

De la misma forma, la convección natural es responsable de la ascensión del agua caliente y el vapor en las calderas de convección natural, y del tiro de las chimeneas. La convección también determina el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del Sol hasta su superficie.

El término convección se aplica a la propagación del calor de un lugar a otro por un movimiento real de la sustancia caliente. Así pues, existen en general dos tipos de convección, la convección natural y la convección forzada.

Convección Natural o Libre: en este caso existe a la vez un transporte de energía y de materia debido al concurso simultáneo de la gravedad y de los cambios de densidad (es típica de los líquidos y gases). Este tipo de transmisión calorífica no existe en ausencia de gravedad como ocurre en el interior de un satélite artificial. Si el movimiento de la sustancia caliente es debido al efecto de

gravitación, en virtud de las diferencias de densidad, se llama convección natural. La aparición de convección natural debida a la diferencia de temperatura con la altura viene determinada por el *Número de Rayleigh*, que es el parámetro dimensional relevante a la convección entre dos placas horizontales con una diferencia de temperatura entre ellas ΔT con el calentamiento por la parte inferior y separadas una distancia L . Equilibra la fuerza de ascensión producida por el empuje de Arquímedes y la viscosidad y la disipación térmica que tienden a frenar la ascensión del fluido más caliente.

Convección Forzada: si por el contrario el movimiento del fluido es producido por fuerzas exteriores, no conectadas con la temperatura del fluido, la convección es forzada. Es importante la velocidad v con la que el fluido pasa por la superficie a través de la cual existe un flujo de calor. El *Número de Reynolds* determina el paso de un fluido laminar a la turbulencia. En ambos tipos de convección se utiliza la relación entre el flujo de calor y la diferencia de temperatura:

$$Q_{conv} = hA\Delta T \quad \text{EC.1.3}$$

donde:

h es el coeficiente de transmisión por convección ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

A es el área de intercambio térmico (m^2)

ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la superficie por la que hay conducción (K)

Existen grandes dificultades en el cálculo del coeficiente de convección h , ya que no sólo depende del tipo de fluido, sino del régimen del flujo que produce la convección (laminar o turbulento) así como de otros factores. Normalmente se utilizan resultados experimentales en forma de parámetros o números adimensionales para calcular h . Además del Número de Reynolds, se usa el *Número de Nusselt* Nu , que relaciona las pérdidas caloríficas por convección de

una pared con las que se producirían por conducción a lo largo de un espesor.

Existe una ecuación que combina la transmisión de calor por convección y conducción y se utiliza para estimar las pérdidas en un sistema termoeléctrico debidas a estos fenómenos.

$$Q_{pasiva} = \frac{A\Delta T}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h}} \quad \text{EC.1.4}$$

1.6 RADIACION

La *radiación* presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la *Teoría Cuántica*.

En 1905, **Albert Einstein** sugirió que la radiación presenta a veces un comportamiento cuantizado: en el *efecto fotoeléctrico*, la radiación se comporta como minúsculos proyectiles llamados *fotones* y no como ondas. La naturaleza Cuántica de la energía radiante se había postulado antes de la aparición del artículo de Einstein, y en 1900 el físico alemán **Max Planck** empleó la teoría Cuántica y el formalismo Matemático de la Mecánica Estadística para derivar una ley fundamental de la radiación. La expresión Matemática de esta ley, llamada *Distribución de Planck*, relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada con la temperatura del cuerpo.

Para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de energía radiante. Sólo un cuerpo ideal (cuerpo negro) emite radiación ajustándose exactamente a la ley de Planck. Los cuerpos reales emiten con una intensidad algo menor.

La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo. Como puede demostrarse a partir de la ley de Planck, el poder emisor de una superficie es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. El factor de proporcionalidad se denomina *Constante de Stefan - Boltzmann* en honor a dos físicos austriacos, **Joseph Stefan** y **Ludwig Boltzmann**, que en 1879 y 1884 respectivamente, descubrieron esta proporcionalidad entre el poder emisor y la temperatura.

Según la ley de Planck, todas las sustancias emiten energía radiante sólo por tener una temperatura superior al cero absoluto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla. Por eso, aunque un cubito de hielo emite energía radiante de forma continua, se funde si se ilumina con una lámpara incandescente porque absorbe una cantidad de calor mayor de la que emite. Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; los que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizar la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos, de alta longitud de onda.

Una consecuencia de la distribución de Planck es que la longitud de onda a la que un

cuerpo emite la cantidad máxima de energía radiante disminuye con la temperatura. La *Ley de desplazamiento de Wien*, llamada así en honor al físico alemán **Wilhelm Wien**, es una expresión Matemática de esta observación, y afirma que la longitud de onda que corresponde a la máxima energía, multiplicada por la temperatura absoluta del cuerpo, es igual a una constante: 2.878 micrómetros - Kelvin. Este hecho, junto con las propiedades de transmisión del vidrio antes mencionadas, explica el calentamiento de los invernaderos. La energía radiante del Sol se transmite a través del vidrio y entra en el invernadero. En cambio, la energía emitida por los cuerpos del interior del invernadero, predominantemente de longitudes de onda mayores, correspondientes al infrarrojo, no se transmiten al exterior a través del vidrio. Así, aunque la temperatura del aire en el exterior del invernadero sea baja, la temperatura que hay dentro es mucho más alta porque se produce una considerable transferencia de calor neta hacia su interior.

Además de los procesos de transmisión de calor que aumentan o disminuyen las temperaturas de los cuerpos afectados, la transmisión de calor también puede producir cambios de fase, como la fusión del hielo o la ebullición del agua. En Ingeniería, los procesos de transferencia de calor suelen diseñarse de forma que aprovechen estos fenómenos. Por ejemplo, las cápsulas espaciales que regresan a la atmósfera de la Tierra a velocidades muy altas están dotadas de un escudo térmico que se funde de forma controlada en un proceso llamado *ablación* para impedir un sobrecalentamiento del interior de la cápsula. La mayoría del calor producido por el rozamiento con la atmósfera se emplea en fundir el escudo térmico y no en aumentar la temperatura de la cápsula.

La transmisión de la energía calorífica por radiación difiere de los procesos de conducción y convección en que tiene lugar independientemente de la existencia de materia. Así, el calor radiante puede transmitirse a través del vacío o a través de un medio material sin afectar la temperatura del medio.

Para prever las pérdidas en un sistema, raramente se evalúan las pérdidas por radiación, dado que el cálculo es muy complicado (hay muchos parámetros a tener en cuenta y depende mucho de cómo se esté montando el sistema). De todas formas, la siguiente ecuación sirve para expresar este tipo de pérdidas:

$$Q_{RAD} = \sigma Ax\varepsilon (T_c^4 - T_f^4) \quad \text{EC.1.5}$$

donde:

A es el área que separa el interior con el exterior (m^2)

σ es la constante de Stefan - Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$)

ε es la radioactividad de la superficie que separa el exterior del interior

x es el grosor de los aislantes (m)

1.7 TERMOELECTRICIDAD

La Termoelectricidad se considera como la rama de la Termodinámica superpuesta a la electricidad donde se estudian fenómenos en los que intervienen el calor y la electricidad, el fenómeno más conocido es el de electricidad generada por la aplicación de calor a la unión de dos materiales diferentes. Si se unen por ambos extremos dos alambres de distinto material (este circuito se denomina termopar), y una de las uniones se mantiene a una temperatura superior a la otra, surge una diferencia de tensión que hace fluir una corriente eléctrica entre las uniones caliente y fría. Este fenómeno fue observado por primera vez en 1821 por el físico alemán Thomas Seebeck, y se conoce como efecto Seebeck. Para una pareja de materiales determinada, la diferencia de tensión es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas. Esta relación puede emplearse para la medida precisa de temperaturas mediante un termopar en el que una de las uniones se mantiene a una temperatura de referencia conocida (por ejemplo, un baño de hielo) y la otra se coloca en el lugar cuya temperatura quiere medirse. A temperaturas moderadas (hasta unos $260 \text{ }^\circ\text{C}$) suelen emplearse combinaciones de hierro y cobre, (una aleación de cobre y níquel),

. A temperaturas mayores (hasta unos 1.650 °C) se utiliza platino y una aleación de platino y rodio. Como los alambres de los termopares pueden tener dimensiones muy pequeñas, también permiten medir con precisión las temperaturas locales en un punto. La corriente generada puede aumentarse empleando semiconductores en lugar de metales, y puede alcanzarse una potencia de unos pocos watts con eficiencias de hasta el 6%. Estos generadores Termoeléctricos, calentados con quemadores de queroseno, son muy utilizados en zonas remotas de Rusia para alimentar receptores de radio. Cuando se hace pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales distintos cuyas uniones están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso. En este caso, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. Este fenómeno se conoce como efecto Peltier, en honor al físico francés Jean Peltier quién lo descubrió en 1834. Es posible usar sistemas de semiconductores basados en el efecto Peltier como refrigeradores para aplicaciones especiales. Aunque se considera como descubridor del efecto Termoeléctrico a Seebeck, al revisar los estudios de A. Volta se ha constatado que en sus trabajos pioneros sobre electricidad midió diferencias de potencial debidas a la Termoelectricidad al usar contactos entre diversos metales, sin embargo no presto demasiada atención a dicho efecto. **NOTA HISTÓRICA** Volta, Alessandro (1745-1827), fue conde además de físico italiano, conocido por sus trabajos sobre la electricidad. Nació en Como y estudió allí, en la escuela pública. En 1774 fue profesor de Física en la Escuela Regia de Como y al año siguiente inventó el electróforo, un instrumento que producía cargas eléctricas. Durante 1776 y 1777 se dedicó a la Química, estudió la Electricidad atmosférica e ideó experimentos como la ignición de gases mediante una chispa Eléctrica en un recipiente cerrado. En 1779 fue profesor de Física en la Universidad de Pavia, cátedra que ocupó durante 25 años. Hacia 1800 había desarrollado la llamada pila de Volta, precursora de la batería eléctrica, que producía un flujo estable de Electricidad. Por su trabajo en el campo de la Electricidad, Napoleón le nombró conde en 1801. La unidad eléctrica conocida como voltio recibió ese nombre en su honor. La primera teoría que engloba

los efectos Seebeck y Peltier, sin embargo, fue dada por Lord Kelvin, de nombre William Thomson, a mediados del siglo XIX. NOTA HISTÓRICA Kelvin, Lord o Thomson, William (1824-1907) fue un Matemático y Físico británico, y uno de los principales físicos y más importantes profesores de su época. Nacido en Belfast el 26 de junio de 1824, estudió en las universidades de Glasgow y Cambridge. Desde 1846 hasta 1899 fue profesor de la Universidad de Glasgow. En el campo de la Termodinámica Kelvin desarrolló el trabajo realizado por James Prescott Joule sobre la interrelación del calor y la energía Mecánica, y en 1852 ambos colaboraron para investigar el fenómeno al que se conoció como efecto Joule-Thomson. En 1848 Kelvin estableció la escala absoluta de temperatura que sigue llevando su nombre. Su trabajo en el campo de la Electricidad tuvo aplicación en la telegrafía. Estudió la teoría Matemática de la Electroestática, llevó a cabo mejoras en la fabricación de cables e inventó el galvanómetro de imán móvil y el sifón registrador. Ejerció como asesor científico en el tendido de cables telegráficos del Atlántico en 1857, 1858, 1865 y 1866. Kelvin también contribuyó a la teoría de la elasticidad e investigó los circuitos oscilantes, las propiedades Electrodinámicas de los metales y el tratamiento matemático del magnetismo. Junto con el fisiólogo y físico alemán Hermann Ludwig von Helmholtz, hizo una estimación de la edad del Sol y calculó la energía irradiada desde su superficie. Entre los aparatos que inventó o mejoró se encuentran un dispositivo para predecir mareas, un analizador armónico y un aparato para grabar sonidos en aguas más o menos profundas. También mejoró aspectos de la brújula marina o compás náutico. Muchas de sus obras científicas se recopilaron en su Ponencias sobre Electricidad y Magnetismo (1872), Ponencias. Matemáticas y Físicas (1882, 1883, 1890) y Cursos y conferencias (1889-1894). Kelvin fue presidente de la Sociedad Real de Londres en 1890, y en 1902 recibió la Orden del Mérito. Murió el 17 de diciembre de 1907. El enfriamiento Termoelectrónico empezó a ser factible a partir de los estudios de Telkes en los años 30 y de Loffee, quien publicó un excelente libro en 1956, Los nuevos materiales semiconductores irrumpían en la escena produciendo rendimientos mucho más altos. Telkes utilizó pares o

soldaduras de sulfuro de plomo PbS y antimoniuro de cinc ZnSb y Loffee descubrió el uso de telurio de plomo PbTe y seleniuro de plomo PbSe. han sido muy utilizados, y para conversión de energía calorífica en eléctrica se alcanzan rendimientos aceptables.

1.8 EXPRESION SIMPLIFICADA DE LOS EFECTOS TERMOELECTRICOS

Como ya se mencionó en el apartado anterior, los dispositivos termoeléctricos están sometidos principalmente, a cuatro efectos físicos que varían con la temperatura: el Efecto Seebeck, el Efecto Peltier, el Efecto Thomson y el Efecto Joule.

- El *efecto Seebeck* es la fuerza electromotriz generada cuando dos lados de un módulo Termoeléctrico se mantienen a distinta temperatura.
- El *efecto Peltier* consiste en el calentamiento o enfriamiento producido cuando una corriente eléctrica pasa a través de dos uniones distintas.
- El *efecto Thomson* consiste en el calentamiento o enfriamiento producido cuando una corriente eléctrica pasa a través de un conductor homogéneo en la dirección del gradiente de temperatura.
- El *efecto Joule* consiste en el calentamiento producido cuando una corriente eléctrica pasa a través de un conductor. Éste es siempre proporcional al cuadrado de la intensidad, por lo que será el efecto que domine en procesos

de alta intensidad de la corriente eléctrica.

En el siguiente gráfico, podemos observar que al variar la tensión en el dispositivo Termoeléctrico, aumenta la temperatura en la cara caliente, pero no de forma lineal. De aquí a afirmar que las propiedades son función de la temperatura.

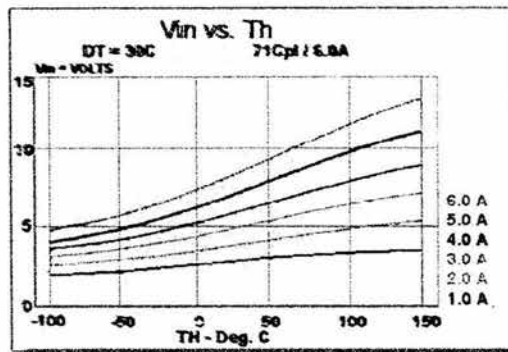


Fig. 1.1 Efectos de la variación de la temperatura en los dispositivos Termoeléctricos

El efecto Seebeck

Para explicar el efecto Seebeck utilizaremos un circuito con un simple termopar tal y como se muestra en la figura 1.2

El termopar está construido con dos metales diferentes que en la figura se denominan material X y material Y. En una aplicación de medida de temperatura el termopar A se utiliza como referencia por lo que se mantiene a una temperatura T_c . El termopar B se usa para medir la temperatura de interés T_h que en este ejemplo será superior a T_c . Con la temperatura a la que se halla sometido el termopar B aparece una diferencia de potencial entre los puntos T_1 y T_2 (salida del termopar: V_{ab}).

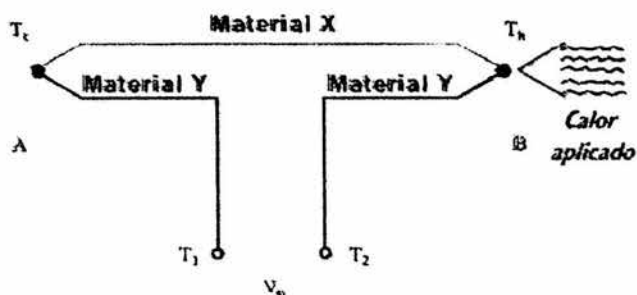


Fig. 1.2: Termopar para representar el efecto Seebeck

Esta tensión V_{ab} se conoce como fuerza electromotriz de Seebeck y se puede expresar como una serie de potencias de la diferencia de temperatura entre el foco caliente T_h y el foco frío T_c :

$$V_{ab} = C_1(T_h - T_c) + \frac{C_2}{2}(T_h - T_c)^2 + \frac{C_3}{3}(T_h - T_c)^3 \quad \text{EC.1.6}$$

El coeficiente de Seebeck se define en función de la variación del voltaje con la temperatura como:

$$\alpha_{ab} = \frac{\partial V_{ab}}{\partial T} = C_1 + C_2(T_h - T_c) + C_3(T_h - T_c)^2 \quad \text{EC.1.7}$$

Las unidades en el S.I. del coeficiente de Seebeck a son: V/K.

El efecto Peltier

Este efecto puede considerarse como el inverso del efecto Seebeck y consiste en que al hacer pasar corriente eléctrica a través de la unión de dos conductores distintos en

una determinada dirección produce enfriamiento, y al hacerla pasar en dirección contraria produce calentamiento en la unión. La potencia calorífica generada o absorbida es proporcional a la corriente eléctrica y también depende de la temperatura de la unión y se expresa como:

$$Q_p = \pi I \quad \text{EC.1.8}$$

donde:

Q_p es la potencia calorífica generada o absorbida debido al efecto Peltier

π es el coeficiente de Peltier

I es la intensidad de corriente que pasa a través de la unión

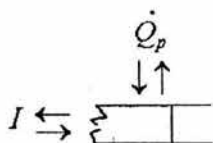


Fig. 1.3: Representación del efecto Peltier

Las unidades en el S.I. del coeficiente de Peltier o son: V.

Por la primera Relación de Kelvin tenemos:

$$\pi = \alpha T \quad \text{EC.1.8}$$

donde:

α es el coeficiente de Seebeck de dos conductores distintos

T es la temperatura absoluta en la unión (K)

Así pues, la ecuación (2.30) puede expresarse como:

$$Q_p = \alpha TI \quad \text{EC.1.9}$$

El efecto Thomson

Consiste en el calentamiento o enfriamiento producido en un conductor homogéneo al paso de la corriente eléctrica en la dirección del gradiente de temperatura. La potencia calorífica generada o absorbida por unidad de volumen debida al efecto Thomson se expresa como:

$$Q_t = \tau J \frac{dT}{dx} \quad \text{EC.1.10}$$

donde:

Q_t es la potencia calorífica generada o absorbida por unidad de volumen debida al efecto Thomson

T es el coeficiente de Thomson

J es la densidad de corriente eléctrica

dT/dx es el gradiente de temperatura

Las unidades en el S.I. del coeficiente de Thomson t son: W/AK.

El efecto Joule

Cuando una corriente eléctrica pasa a través de un conductor isotérmico hay una generación de calor. Este efecto ocurre en cualquier conductor por el que pasa una corriente eléctrica debido a la transferencia de energía eléctrica por un proceso análogo al rozamiento. Se tiene:

$$Q_j = \rho J^2 \quad \text{EC.1.11}$$

donde:

Q_j es la potencia calorífica generada por unidad de volumen debido al efecto Joule

q es la resistividad eléctrica

J es la densidad de corriente (a la que se alimenta)

El efecto Joule es un proceso irreversible a diferencia de los efectos Seebeck, Peltier y Thomson que son fenómenos reversibles. En las condiciones de trabajo de las placas Termoelectricas hay otro proceso irreversible, la conducción térmica.

1.9 REFRIGERACION

Refrigeración, es el proceso en el que se reduce la temperatura de un espacio determinado y se mantiene esta temperatura baja con el fin, por ejemplo, de enfriar alimentos, conservar determinadas sustancias o conseguir un ambiente agradable. El almacenamiento refrigerado de alimentos perecederos, pieles, productos farmacéuticos y otros se conoce como almacenamiento en frío. La refrigeración evita el crecimiento de bacterias e impide algunas reacciones químicas no deseadas que pueden tener lugar a temperatura ambiente. El uso de hielo de origen natural o artificial como refrigerante estaba muy extendido hasta poco antes de la Primera Guerra Mundial, cuando aparecieron los refrigeradores Mecánicos y eléctricos. La eficacia del hielo como refrigerante es debida a que tiene una temperatura de fusión de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para fundirse debe absorber una cantidad de calor equivalente a $333,1\text{ kJ/kg}$. La presencia de una sal en el hielo reduce en varios grados el punto de fusión del mismo. Los alimentos que se mantienen a esta temperatura o ligeramente por encima de ella pueden conservarse en buen estado durante más tiempo. El dióxido de carbono sólido, conocido como hielo seco o nieve carbónica, también se usa como refrigerante. A presión atmosférica normal no tiene fase líquida, y sublima directamente de la fase sólida a la gaseosa a una temperatura de $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La nieve carbónica es eficaz para conservar productos a bajas

temperaturas mientras dura su sublimación. En la refrigeración Mecánica se obtiene un enfriamiento constante mediante la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado, donde se evapora y se vuelve a condensar en un ciclo continuo. Si no existen pérdidas, el refrigerante sirve para toda la vida útil del sistema. Todo lo que se necesita para mantener el enfriamiento es un suministro continuo de energía y un método para disipar el calor. Los dos tipos principales de sistemas mecánicos de refrigeración son el sistema de compresión empleado en los refrigeradores domésticos grandes y en la mayoría de los aparatos de aire acondicionado, y el sistema de absorción, que en la actualidad se usa sobre todo en los acondicionadores de aire por calor, aunque en el pasado también se empleaba en refrigeradores domésticos por calor. Los sistemas de compresión emplean cuatro elementos en el ciclo de refrigeración: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. En el evaporador, el refrigerante se evapora y absorbe calor del espacio que está enfriando y de su contenido. A continuación, el vapor pasa a un compresor movido por un motor que incrementa su presión, lo que aumenta su temperatura. El gas sobrecalentado a alta presión se transforma posteriormente en líquido en un condensador refrigerado por aire o agua. Después del condensador, el líquido pasa por una válvula de expansión, donde su presión y temperatura se reducen hasta alcanzar las condiciones que existen en el evaporador. Refrigerantes

Para cada refrigerante existe una temperatura específica de vaporización asociada con cada presión, por lo que basta controlar la presión del evaporador para obtener la temperatura deseada. En el condensador existe una relación similar entre la presión y la temperatura. Durante muchos años, uno de los refrigerantes más utilizados fue el diclorodifluorometano, conocido como refrigerante-12. Este compuesto clorofluorocarbonado (CFC) sintético se transformaba en vapor a $-6,^{\circ}\text{C}$ a una presión de 246,2 kPa (kilopascales), y después de comprimirse a 909,2 kPa se condensaba a $37,8^{\circ}\text{C}$. En los refrigeradores pequeños empleados en las viviendas para almacenar comida, el calor del condensador se disipa a la habitación donde se sitúa. En los acondicionadores de aire, el calor del condensador debe disiparse al

exterior o directamente al agua de refrigeración. En un sistema doméstico de refrigeración, el evaporador siempre se sitúa en un espacio aislado térmicamente. A veces, este espacio constituye todo el refrigerador. El compresor suele tener una capacidad excesiva, de forma que si funcionara continuamente produciría temperaturas más bajas de las deseadas. Para mantener el refrigerador a la temperatura adecuada, el motor que impulsa el compresor está controlado por un termostato o regulador. Los congeladores para alimentos ultracongelados son similares a los anteriores, sólo que su compresor y motor tienen que tener la potencia y tamaño suficientes para manejar un mayor volumen de refrigerante con una presión menor en el evaporador. Por ejemplo, para mantener una temperatura de $-23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ con refrigerante-12 se necesitaría una presión de 132,3 kPa en el evaporador. El refrigerante-12 y otros dos CFC, el refrigerante-11 y el refrigerante-22, eran los principales compuestos empleados en los sistemas de enfriamiento y aislamiento de los refrigeradores domésticos. Sin embargo, se ha descubierto que los CFC suponen una grave amenaza para el medio ambiente del planeta por su papel en la destrucción de la capa de ozono. Según el Protocolo de Montreal, la fabricación de CFC debía finalizar al final de 1995. Los hidroclorofluorocarbonos, HCFC, y el metilbromuro no dañan la capa de ozono pero producen gases de efecto invernadero. Los HCFC se retirarán en el 2015 y el consumo de metilbromuro se limitó en un 25% en 1998. La industria de la refrigeración debería adoptar rápidamente otros compuestos alternativos no perjudiciales, como el metilcloroformo. Sistemas de absorción Algunos refrigeradores domésticos funcionan mediante el principio de absorción. En ellos, una llama de gas calienta una disolución concentrada de amoníaco en agua en un recipiente llamado generador, y el amoníaco se desprende en forma de vapor y pasa a un condensador. Allí se licúa y fluye hacia el evaporador, igual que en el sistema de compresión. Sin embargo, en lugar de pasar a un compresor al salir del evaporador, el amoníaco gaseoso se reabsorbe en la disolución diluida y parcialmente enfriada procedente del generador, para formar de nuevo una disolución concentrada de amoníaco. Este proceso de reabsorción se

produce en un recipiente llamado absorbedor, desde donde el líquido concentrado fluye de vuelta al generador para completar el ciclo. La refrigeración por absorción se usa cada vez más en refrigeradores para acondicionar el aire, en los que resultan adecuadas temperaturas de refrigerante entre 7 y 10 °C aproximadamente. En este rango de temperaturas puede emplearse agua como refrigerante, y una disolución acuosa de alguna sal, generalmente bromuro de litio, como material absorbente. El agua hierve a una temperatura muy baja en el evaporador porque la presión allí es muy reducida. El vapor frío se absorbe en la disolución salina concentrada. Después, esta disolución se bombea al generador donde, a temperatura elevada, se hace hervir el agua sobrante para aumentar la concentración de sal en la disolución; ésta, después de enfriarse, circula de vuelta al absorbedor para completar el ciclo. El sistema funciona con un vacío elevado: la presión del evaporador es aproximadamente de 1 kPa, y el generador y el condensador están a unos 10 kPa. Generalmente, estas unidades se calientan con llama directa o utilizan vapor generado en una caldera.

1.10 ELECTRICIDAD ELEMENTAL

Las unidades se emplean para medir cuantitativamente toda clase de fenómenos Electrostáticos y Electromagnéticos, así como las características electromagnéticas de los componentes de un circuito eléctrico. Las unidades eléctricas empleadas en técnica y ciencia se definen en el Sistema Internacional de unidades. Sin embargo, se siguen utilizando algunas unidades más antiguas. Unidades SI La unidad de intensidad de corriente en el Sistema Internacional de unidades es el amperio (Amper). La unidad de carga eléctrica es el culombio (Coulomb), que es la cantidad de electricidad que pasa en un segundo por cualquier punto de un circuito por el que fluye una corriente de 1 amperio. El voltio (Volt) es la unidad SI de diferencia de potencial y se define como la diferencia de potencial que existe entre dos puntos cuando es necesario realizar un trabajo de 1 julio (Joule) para mover una carga de 1 culombio de un punto a otro. La unidad de potencia eléctrica

es el vatio (Watt), y representa la generación o consumo de 1 julio de energía eléctrica por segundo. Un kilovatio es igual a 1.000 vatios. Las unidades también tienen las siguientes definiciones prácticas, empleadas para calibrar instrumentos: el amperio es la cantidad de electricidad que deposita 0,001118 gramos de plata por segundo en uno de los electrodos si se hace pasar a través de una solución de nitrato de plata; el voltio es la fuerza electromotriz necesaria para producir una corriente de 1 amperio a través de una resistencia de 1 ohmio, que a su vez se define como la resistencia eléctrica de una columna de mercurio de 106,3 cm de altura y 1 mm² de sección transversal a una temperatura de 0 °C. El voltio también se define a partir de una pila voltaica patrón, la denominada pila de Weston, con polos de amalgama de cadmio y sulfato de mercurio (I) y un electrolito de sulfato de cadmio. El voltio se define como 0,98203 veces el potencial de esta pila patrón a 20 °C. En todas las unidades eléctricas prácticas se emplean los prefijos convencionales del sistema métrico para indicar fracciones y múltiplos de las unidades básicas. Por ejemplo, un microamperio es una millonésima de amperio, un milivoltio es una milésima de voltio y 1 megaohmio es un millón de ohmios. Las Dimensiones y unidades características del Sistema Internacional son: Dimensión Longitud Masa Tiempo Temperatura Intensidad Luz Materia Símbolo L (m) M (Kg.) T (s) O (K) I (A) II(Cd) -- Unidad Metro Kilogramo Segundo ° Kelvin Amperio Candela Mol Resistencia, capacidad e inductancia Todos los componentes de un circuito eléctrico exhiben en mayor o menor medida una cierta resistencia, capacidad e inductancia. La unidad de resistencia comúnmente usada es el ohmio (Ohm), que es la resistencia de un conductor en el que una diferencia de potencial de 1 voltio produce una corriente de 1 amperio. La capacidad de un condensador se mide en faradios: un condensador de 1 faradio (Farad) tiene una diferencia de potencial entre sus placas de 1 voltio cuando éstas presentan una carga de 1 culombio. La unidad de inductancia es el henrio (Henry). Una bobina tiene una autoinductancia de 1 henrio cuando un cambio de 1 amperio / segundo en la corriente eléctrica que fluye a través de ella provoca una fuerza electromotriz opuesta de 1 voltio. Un transformador, o dos circuitos

cualesquiera magnéticamente acoplados, tienen una inductancia mutua de 1 henrio cuando un cambio de 1 amperio por segundo en la corriente del circuito primario induce una tensión de 1 voltio en el circuito secundario.

1.11 TEMPERATURA

La temperatura es una propiedad de la materia. Es una medida de nivel de presión Térmica de un cuerpo. Una temperatura alta indica un alto nivel de presión Térmica y se dice que el cuerpo está caliente. Así mismo, una temperatura baja indica un nivel bajo de la presión Térmica y se dice que el cuerpo es está frío. Se ha demostrado que la temperatura es una función de la energía cinética interna y, como tal, es un índice de velocidad molecular promedio.

TEMPERATURA ABSOLUTA las lecturas de temperatura obtenidas de cualquiera de las escalas Fahrenheit o Celsius están basadas en puntos cero seleccionados arbitrariamente , que como ya se ha indicado no coinciden en las dos escalas. Cuando sólo se desea conocer el cambio de temperatura de una sustancia en relación con algún punto de referencia conocido, estas lecturas son adecuadas. Sin embargo , cuando las lecturas de temperatura deben aplicarse a ecuaciones que relacionan ciertas leyes fundamentales, es necesario utilizar lecturas de temperatura cuyo punto de referencia sea el verdadero o la temperatura de cero absoluto. Algunos experimentos han indicado que tal punto, conocido como cero absoluto, existe aproximadamente -460°F ó -273°C .como se aprecia en la figura.1.4

A las lecturas de temperatura obtenidas a partir del cero absoluto se les designa con

el nombre de temperatura absoluta y pueden expresarse en grados Fahrenheit o Celsius. Una lectura de temperatura sobre la escala Fahrenheit puede convertirse a temperatura absoluta sumándole 460° A la lectura Fahrenheit. La temperatura resultante es Rankine R .

De igual manera las temperaturas Celsius pueden convertirse a temperaturas absolutas agregando 273° A ia lectura Celsius. La temperatura resultante es en grados kelvin K .

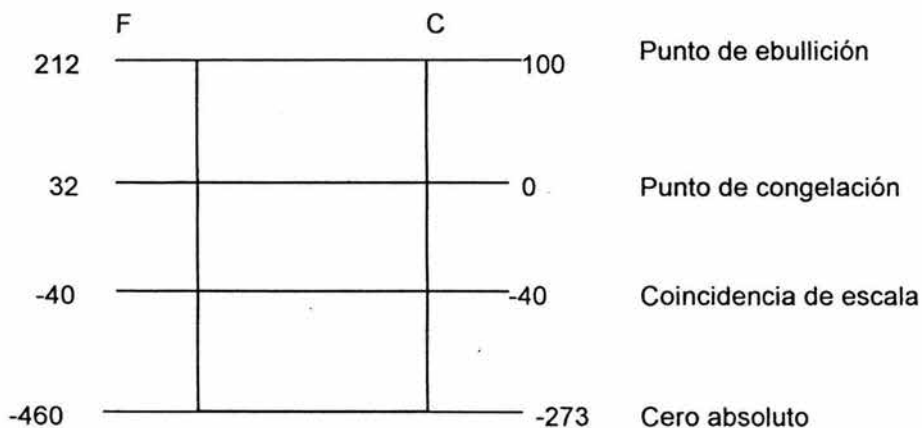


Fig. 1.4. Comparación de escalas Fahrenheit y Celsius.

Capítulo II

La radiación solar

2.1 LA RADIACION SOLAR

El estudio de los factores de la naturaleza que interviene en la difusión de las ondas de radio, se llama propagación. Las ondas de radio y de la luz son electromagnéticas por lo que tienen propiedades físicas comunes, por ejemplo la velocidad de propagación es de 300.000 km/s en el vacío y ambas pueden ser reflejadas o retractadas. Un emisor de radio, produce dos tipos de ondas: ondas de superficie y ondas ionosfericas. Según su frecuencia una emisión contiene mayor cantidad de uno u otro componente. Es decir que a mayor frecuencia el componente ionosferico también es mayor, por el contrario las frecuencias bajas son más ricas en ondas terrestres.

2.1.1 La onda terrestre se forma de tres componentes, las trataremos brevemente.

Onda Directa: es la onda que el receptor capta directamente desde el transmisor. Este tipo de onda solo se recibe dentro del horizonte visual.

2.1.2 La onda de Superficie: son ondas que se mueven paralelamente al piso. Sufren de absorción del suelo en forma proporcional a la distancia recorrida, esta absorción depende de la buena o mala conductibilidad del suelo, la absorción es mayor en tierra que en agua.

2.1.3 La onda Reflejada por la superficie: Algunas ondas llegan al suelo y son reflejadas por este, alcanzando luego en forma directa la antena receptora. su alcance es igual que en el primer caso y sufren de absorción como la onda de superficie.

La onda de superficie solo permite recepción a corta o media distancia, por lo que tiene poca influencia en la practica del diexismo. Analizaremos de aquí en más las condiciones que permiten la penetración de las ondas de radio a larga distancia, o sea a través de la Onda Ionosferica. Los elementos naturales que intervienen en el fenómeno de propagación ionosferica, son básicamente cuatro: el Sol, la Tierra, nuestra atmósfera y el campo magnético. Ellos, posibilitan, degradan y amplifican los distintos factores que actúan sobre una onda de radio en el camino transmisor -

receptor.

2.2 EL SOL

Es un cuerpo completamente gaseoso que emite luz y otras radiaciones. Las radiaciones que emite el Sol son: Luz, ondas de radio, rayos ultravioletas e infrarrojos, protones, electrones, iones. Salen de su superficie dependiendo de la temperatura y actividad magnética. La luz del Sol tarda en llegar a la Tierra, aproximadamente 8½ minutos. La luz blanca es el conjunto de 6 radiaciones que tienen distintas longitudes de onda entre el rojo y el violeta, entre esa gama se produce la radiación infrarroja y la ultravioleta, ambas son invisibles al ojo humano. La primera es responsable de la transmisión del calor y la ultravioleta ocasiona la ionización y ozonificación de la atmósfera. El Sol gira alrededor de su eje a una velocidad de 27 días para una revolución. Esto es muy importante saber, porque podemos esperar que los fenómenos persistentes se repitan cada 27 días. El sol es un enorme imán, su campo magnético cubre todo el sistema solar. Las llamadas Tormentas solares son corrientes magnéticas interiores que salen a la superficie, enfriándola localmente, esas áreas más frías se observan como manchas solares, siendo estas precisamente las responsables del fenómeno de propagación de ondas de radio, aquí en el planeta Tierra, debido a que a través de las manchas escapan del Sol mayor cantidad de rayos ultravioletas. Las tormentas solares y en consecuencia las manchas solares no es un fenómeno constante, sino que presenta picos máximos y mínimos, los cuales se dan cada 11 años. Este promedio se le conoce como ciclo de manchas solares, fue estudiado por primera vez por el astrónomo alemán Wolf en el siglo XVII y precisamente al número de manchas solares se le denomina como número de Wolf.

2.3 LA ATMOSFERA

no es homogénea, se diferencian en ella distintos estratos. En la Tropósfera es

donde se concentra la mayor cantidad de vapor de agua y anhídrido carbónico; según su altura la temperatura disminuye rápidamente, debido a estas características se producen los fenómenos meteorológicos. De esta capa provienen el "estático " o "ruido atmosférico" La Estratósfera llega hasta los 23 km de altura y su temperatura de $55^{\circ}C$ es constante. Entre los 25 y 50 Kms de altura se encuentra la Ozonósfera, tiene una temperatura constante de casi $90^{\circ}C$. provoca la formación de ozono al absorber los rayos ultravioletas que escaparon de la ionósfera. En la Termósfera se produce un efecto no beneficioso para las ondas de radio, conocido como Fading, o atenuación .

2.3.1 LA IONOSFERA: Es la capa más importante de la atmósfera, en lo referente a la propagación de las ondas de radio. se sitúa entre los 100 y 400 kms de altura. En esta capa el aire está tan rarificado que la radiación solar (rayos ultravioletas) puede fácilmente ionizarla. en dicho proceso los átomos del gas pierden electrones convirtiéndose en iones, La cantidad de iones libres es proporcional a la cantidad de radiación, por lo que es más fuerte en periodos de mayor cantidad de manchas solares y en verano al medio día. En la ionósfera se diferencian 3 capas con distinta densidad iónica, las que se comportan de manera diferente frente a las ondas de radio. A unos 60 kms se encuentra la capa D, posee un bajo grado de ionización y es fácilmente penetrada por las ondas cortas, debilitándolas con una ligera absorción, también es absorbente de las ondas medias limitando su alcance durante el día y reflejando las frecuencias más bajas. subsiste durante las horas diurnas cuando es sometida a la radiación directa del Sol. La capa E se encuentra a unos 120 kms. Aunque no desaparece al anochecer la concentración de electrones depende de la incidencia de la luz solar, y el periodo de luz diurna y altura del Sol depende de las estaciones. Esta capa es responsable de la propagación de las ondas medias. En ella se reflejan las ondas entre los 3 y 8 Mhz, absorbiendo parcialmente las ondas de alta frecuencia que la atraviesan. Por lo antes indicado, todo fenómeno de propagación en horas nocturnas, obedecerán a reflexiones en la capa F, esta capa tiene dos regiones de distinta densidad iónica: · La capa F1 tiene las mismas

características que la capa E, pero existe a una mayor altura. La importancia de esta capa no es muy grande, porque es penetrada por ondas que también atraviesan la capa E y porque solo se manifiesta durante el día. La capa F2 es la principal reflectora de las ondas de alta frecuencia. Su alta concentración de iones hacen reflejar las ondas hacia el suelo. se encuentra a unos 400 Kms, su altura es determinante, ya que la baja densidad atmosférica impide la rápida combinación de iones. Existen poca diferencia entre el día y la noche debido al lento decrecimiento de la ionización nocturna.

2.4 EL CAMINO DE LAS ONDAS

Las ondas electromagnéticas son refractadas al pasar a través de un medio ionizado, la refracción aumenta con el incremento de la densidad electrónica y disminuye al subir la frecuencia. Si la refracción es bastante grande, una onda que alcanza la ionosfera es rechazada y retorna a la Tierra permitiendo la recepción de la onda a una gran distancia del transmisor. La capa F2 es la más importante en este punto por su altura y su alta densidad electrónica. La máxima distancia que se puede alcanzar con un rebote en la capa F2 es de aproximadamente 4.000 kms pudiendo ocurrir múltiples saltos en una comunicación. Si la frecuencia es muy alta, la refracción de la onda no es suficiente como para retornar a la Tierra. La máxima frecuencia por la cual una onda se propagará entre dos puntos es llamada MUF, (Frecuencia máxima utilizable). Ondas con un bajo ángulo de radiación requieren menor refracción para regresar a la Tierra que ondas con un alto ángulo de radiación. Por lo tanto (para una punto fijo de reflexión) la MUF más alta se obtiene con saltos más largos porque los ángulos de la radiación son más bajos. La distancia más corta que se puede alcanzar por una onda refractada en una frecuencia dada se llama distancia del salto. Para alcanzar distancias cortas, se deben utilizar frecuencias bajas. La frecuencia más alta en la cual una onda será devuelta a la Tierra con una incidencia vertical (distancia de Tierra cero) se llama frecuencia crítica. En camino hacia o desde la capa F2, las ondas de radio deben pasar a través de la capa E. esta

capa es también reflectora de las señales de onda corta. Si la MUF de la capa E es muy alta, intercepta a las señales las corta o bloqueándolas. Las señales se pueden propagar entre dos puntos de la Tierra vía la capa E, de la misma manera que lo hacen en la capa F2, pero la máxima distancia que se alcanza con un rebote en esta capa es de aproximadamente 2.000 Kms, por lo que para tener un gran alcance se requiere un gran número de rebotes. Una radio onda pueda alcanzar otro punto del planeta con uno o más saltos en la capa F2 o un par de rebotes en la capa E o combinando saltos en ambas capas con reflexión en el suelo entre los rebotes. Estos tres tipos de configuración del salto, se refieren como modos de la capa F, modos de la capa E, y modos mezclados. Debido a la gran variabilidad que existe dentro de la ionosfera, la predicción de MUF no es absoluta, sino estimada. La MUF real en cualquier hora dada puede ser más alta o más baja que la MUF prevista.

2.5 ATENUACIÓN

debilitamiento de la señal se le llama fading, depende de la frecuencia, siendo más rápido en las frecuencias altas que en las bajas. El fading selectivo ocurre cuando una de las bandas laterales se desvanece más lentamente que la otra, provocando una distorsión del sonido, es padecido solamente por transmisores en AM (otra ventaja del ssb). El fading por interferencia es bastante general y es causado por señales que llegan al receptor en momentos ligeramente diferentes, debido a la diferencia de tiempo se amplifican o debilitan de distinta manera. El ruido atmosférico se debe principalmente a las descargas eléctricas durante tormentas, siendo más alto en ondas que atraviesan áreas terrestres tropicales.

2.6 ESPECTRO DE RADIACION DEL SOL

Espectro, serie de colores semejante a un arco iris -por este orden: violeta, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo- que se produce al dividir una luz compuesta como la luz blanca en sus colores constituyentes. El arco iris es un espectro natural

producido por fenómenos meteorológicos. Puede lograrse un efecto similar haciendo pasar luz solar a través de un prisma de vidrio. La primera explicación correcta de este fenómeno la dio en 1666 el Matemático y Físico británico Isaac Newton.

Cuando un rayo de luz pasa de un medio transparente como el aire a otro medio transparente, por ejemplo vidrio o agua, el rayo se desvía; al volver a salir al aire vuelve a desviarse. Esta desviación se denomina refracción; la magnitud de la refracción depende de la longitud de onda de la luz. La luz violeta, por ejemplo, se desvía más que la luz roja al pasar del aire al vidrio o del vidrio al aire. Así, una mezcla de luces roja y violeta se dispersa al pasar por un prisma en forma de cuña y se divide en dos colores.

Los aparatos para observar visualmente un espectro se denominan espectroscopios; los que sirven para observar y registrar un espectro fotográficamente se llaman espectrógrafos; los empleados para medir la intensidad de las diferentes partes del espectro se denominan espectrofotómetros. La ciencia que utiliza los espectroscopios, espectrógrafos y espectrofotómetros para estudiar los espectros se conoce como Espectroscopía. Para medidas espectroscópicas extremadamente precisas se emplean interferómetros. En el siglo XIX, los científicos descubrieron que más allá del extremo violeta del espectro podía detectarse una radiación invisible para el ojo humano pero con una marcada acción fotoquímica; se la denominó radiación ultravioleta. Igualmente, más allá del extremo rojo del espectro se detectó radiación infrarroja que aunque era invisible transmitía energía, como demostraba su capacidad para hacer subir un termómetro. Como consecuencia, se redefinió el término espectro para que abarcara esas radiaciones invisibles, y desde entonces se ha ampliado para incluir las ondas de radio más allá del infrarrojo y los rayos X y rayos Γ más allá del ultravioleta.

En la actualidad, el término espectro se aplica frecuentemente en un sentido más amplio a cualquier distribución ordenada producida por el análisis de un fenómeno complejo. Un sonido complejo, como por ejemplo un ruido, puede analizarse como un espectro acústico formado por tonos puros de diferentes frecuencias. Igualmente, una

mezcla compleja de elementos o isótopos con distinta masa atómica puede ser separada en una secuencia ordenada según su masa atómica y denominada espectro de masas.

La Espectroscopia no sólo ha proporcionado un método importante y sensible para el análisis químico, sino que ha sido el principal instrumento para descubrimientos en campos aparentemente no relacionados, como la astrofísica o la teoría atómica. En general, los cambios en el movimiento de los electrones exteriores de los átomos dan lugar a espectros en la región visible, infrarroja y ultravioleta. Los cambios en el movimiento de los electrones interiores de los átomos pesados producen espectros de rayos X. Los cambios en la configuración del núcleo de un átomo producen espectros de rayos gamma. Los cambios en la configuración de las moléculas producen espectros visibles e infrarrojos.

Los distintos colores de luz tienen en común el ser radiaciones electromagnéticas que se desplazan con la misma velocidad, aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo.

$$c = 300,000 \frac{Km}{seg} \quad \text{EC.2.1}$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Donde: f = frecuencia

c = velocidad de la luz

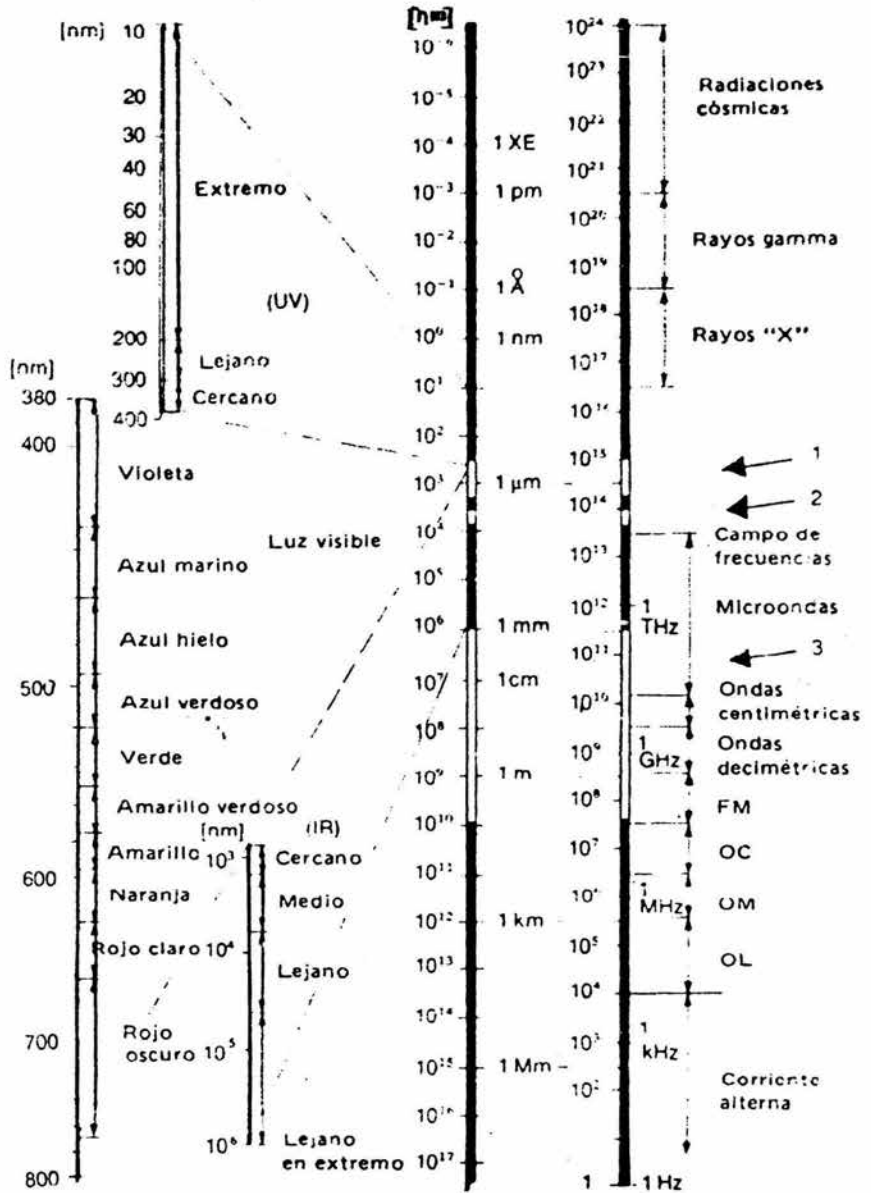
λ = longitud de onda

Se diferencian en su frecuencia y longitud de onda (la frecuencia es igual a la velocidad de la luz dividida entre la longitud de onda). Dos rayos de luz con la misma longitud de onda tienen la misma frecuencia y el mismo color. La longitud de onda de la luz es tan corta que suele expresarse en nanómetros (NM), que equivalen a una milmillonésima de metro, o una millonésima de milímetro. La longitud de onda de la luz violeta varía entre unos 400 y 450 NM, y la de la luz roja entre unos 620 y 760 NM.

Tabla 8.4.:

Espectro de ondas electromagnéticas

Longitud de las ondas en vacío (Hz) Zona



← Ventana atmosférica, se denomina al campo de radiación que, procedente del sol y del espacio, llega a la tierra sin pérdidas de radiación significativas. La ventana 1, resulta de un gran interés para el aprovechamiento de la energía solar.

2.7 FUNDAMENTOS DE LA RADIACION SOLAR

La energía solar es una radiación como ya lo habíamos mencionado electromagnética que está comprendida en un gran espectro de frecuencias que va del ultravioleta hasta el infrarrojo, encontrándose entre ellas un pequeño espacio de luz visible al ojo humano con todas las radiaciones electromagnéticas, la energía solar se trasmite a la velocidad de 300 000 kms, la radiación solar no necesita un medio para propagarse ya que puede hacerlo incluso en el vacío, siendo esta transmisión en todas las direcciones, ya hemos dicho que solamente una pequeña parte de la radiación solar es visible, estando ésta comprendida entre 0.33 micrómetros de longitud de onda de color violeta hasta 0.8 micrómetros del rojo, la máxima sensibilidad del ojo corresponde al color verde y tiene una longitud de onda de 0.525 micrómetros. Además, vemos que por debajo y por encima de esta zona hay un área importante de radiación.

El espectro de la célula de silicio está en una gran parte del infrarrojo, por lo que se deduce que es la más importante para la obtención de energía.

La energía producida por el Sol es tan grande que la intensidad por unida de superficie, es aproximadamente de 1353 watts por metro cuadrado. Fuera de la atmósfera.

Aunque la Tierra intercepta solamente una fracción minúscula de energía solar, la que incide en la alta atmósfera durante un período dado es equivalente a millones de veces las necesidades energéticas actuales para todo el mundo durante ese periodo. Sin embargo, no toda esta energía llega a la superficie de la Tierra debido a una serie de complejas interacciones con la atmósfera. En los niveles más altos, por encima de los 25 kms de superficie, se desarrolla un proceso en el cual se elimina prácticamente la radiación ultravioleta. Los fotones con longitud de onda dentro del espectro visible e infrarrojo, interaccionan con las moléculas gaseosas y partículas de polvo del aire sin poder producir la ruptura del enlace, por el contrario, lo que hacen es difundirse en todas direcciones, de manera más o menos uniforme, de modo que

parte de la radiación regresa de nuevo al espacio.

Las gotas de agua que se encuentran en el aire, también hacen que se disperse la radiación, y cuando la concentración es grande, como en las nubes densas, la dispersión múltiple puede hacer que hasta un 80% de los fotones incidentes vuelvan al espacio.

Como la cantidad media de nubes en la Tierra ocupa alrededor del 50% de superficie, este es un factor importante en la disminución de la energía solar.

Otra barrera que se interpone a la incidencia de los rayos es la absorción real que se produce en las moléculas de vapor de agua, bióxido de carbono y otros elementos.

Estas interacciones con la atmósfera reducen la intensidad de la radiación solar en la superficie de la Tierra a poco más de la mitad de su intensidad en la alta atmósfera.

Además, producen variaciones en la distribución espectral de la energía por absorción, y en la dirección en la que la energía llega a la superficie, por difusión.

Estos efectos dependen de la composición local de la atmósfera variando en una forma muy significativa de un lugar a otro. La contaminación en las proximidades de los centros de población, el alto contenido de vapor de agua cerca de la costa, y la variabilidad de la cubierta nubosa, son factores que dificultan la predicción de las intensidades energéticas. El factor más importante es seguramente la longitud del camino que recorre la radiación solar a través de la atmósfera hasta llegar a un lugar determinado. Esto determina las pérdidas por difusión y absorción.

En general la Tierra recibe permanentemente una radiación solar de 173 billones de watts, el 30% de esta radiación se refleja en las capas altas de la atmósfera y regresa al espacio, 47% se convierte en calor y el 23% interviene en la evaporación del agua proceso que representa indirectamente el origen de la energía hidráulica. Una parte de la radiación se convierte en energía Mecánica, energía que puede ser aprovechada por centrales eléctricas.

A pesar de su estructura tan compleja, es suficiente para aplicaciones en Ingeniería considerar que el Sol se comporta como un cuerpo negro a una temperatura efectiva de $5762 K^{\circ}$. Es importante observar que el Sol no emite calor, sino radiación. El

efecto de esta radiación es el calentamiento de los cuerpos donde la misma incide.

2.8 EFECTOS DE LA RADIACION

La radiación es la dispersión de alguna forma de la materia o de la energía. Las pequeñas porciones de materia que se encuentra en movimiento se denominan partículas, las formas en movimiento de la energía son las ondas. Así, los electrones que emanan de los minerales radiactivos se conocerán como partículas, mientras que la luz, y el sonido son ejemplos de las ondas.

La Física moderna ha demostrado que en algunos casos es más conveniente considerar la emisión como una combinación de onda partícula.

Se comprende mejor actualmente, como se producen las acciones recíprocas entre la radiación y la materia, si suponemos que la radiación existe en forma de partículas discretas, llamadas fotones, cada una lleva una cantidad fija de energía o cuanto.

Cuando la radiación pasa dentro o a través de la materia, ocurre interacciones que por lo general provocan un cambio tanto en la radiación como en el medio material. A la Óptica ordinaria pertenece el estudio de los efectos de la radiación sea la absorción, reflexión, refracción, interferencia, dispersión, difracción, polarización.

Otro efecto importante es el calentamiento. Así las ondas de alta frecuencia de radio o de sonido pueden dirigirse dentro de una porción de el cuerpo humano para calentarla, tal como en los tratamientos de terapia. La radiación infrarroja comúnmente se emplea como medio de calentamiento industrial. Siempre que el material radioactivo se encuentre presente habrá calentamiento debido a la absorción de la radiación emitida, la radiación ultravioleta provoca en el silicio que los electrones periféricos de los átomos sean excitados por los cuantos de luz o radiación ultravioleta transfiriéndoles energía provocando con esto que los electrones que se liberan de los átomos para producir una corriente eléctrica por tanto la explotación de sus manifestaciones directas no ocasionan problemas derivados de la combustión, puesto que queman nada, solo extraen el contenido energético de la materia

2.9 CONSTANTE SOLAR

La constante solar ICS se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo que recibe del sol una superficie de área unitaria perpendicular a la radiación, en el espacio, y a la distancia media del Sol a la Tierra, se han realizado diversas mediciones directas e indirectas de la constante solar. El valor normal propuesto por Thekaekara y Brummond es de 1353 W/m^2 O equivalente. A la radiación presente en la superficie terrestre, y que incluye el espectro de $0.25 \mu\text{m}$ A $100 \mu\text{m}$ Se le conoce como radiación total, que a su vez se divide en: radiación solar $0.25 \mu\text{m}$ A $4.5 \mu\text{m}$ Y radiación extraterreno de 4.5 a $10^3 \mu\text{m}$ El espectro solar fuera de la atmósfera, las longitudes de onda más cortas representan un mayor grado de energía la totalidad de la radiación solar puede convertirse en calor pero únicamente los componentes de onda corta y gran energía podrán producir un efecto fotoeléctrico.

2.10 UNIDADES DE MEDICION

Dado que la radiación solar es una forma de energía, se mide en unidades de energía.

EL VALOR INSTANTANEO SE MIDE EN $\frac{KW}{M^2}$

EL VALOR ACUMULADO SE MIDE EN $\frac{KW - H}{M^2}$

Generalmente se reporta el valor acumulado durante un día dado como :

$$\frac{KW - H}{M^2 - DIA}$$

Otra forma de expresar el valor acumulado es el langley $\frac{cal}{cm^2 - día}$

$$1 \text{ langley} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 - \text{día}} = 0.0116 \frac{\text{KW} - \text{H}}{\text{M}^2}$$

En un día despejado con el sol en incidencia perpendicular la potencia solar es de

$$1 \frac{\text{KW}}{\text{M}^2} \quad \text{Aproximadamente.}$$

2.11 CONCEPTO DE HORAS PICO

En un día despejado de verano la energía acumulada durante todo el día es de

$7.5 \frac{\text{KW} - \text{H}}{\text{M}^2}$. Observar que la energía acumulada durante todo un día equivale a tener 7.5 horas de el Sol al máximo. Estas horas se denominan Horas Pico.

Las horas pico corresponden al periodo en que el sol debería haber estado al máximo para acumular la energía de un día dado, las horas pico son un concepto de equivalencia, no significa que el Sol vaya a salir tal número de horas. En un día

nublado la radiación puede ser tan baja como $1.6 \frac{\text{KW} - \text{H}}{\text{M}^2}$, Es decir, equivalente a 1.6 horas pico, aún cuando en realidad el Sol no haya estado al máximo.

2.12 LA RADIACION DIRECTA DIFUSA Y GLOBAL

Radiación directa. Es aquella que recibe una superficie directamente del Sol, sin desviarse de su trayectoria.

Radiación difusa. Es aquella que recibe del Sol una superficie por refracción y reflexión de la luz del sol en su paso por la atmósfera, en un día nublado, la radiación solar captada por un módulo, es difusa únicamente, ya que la radiación directa está obstruida por las nubes.

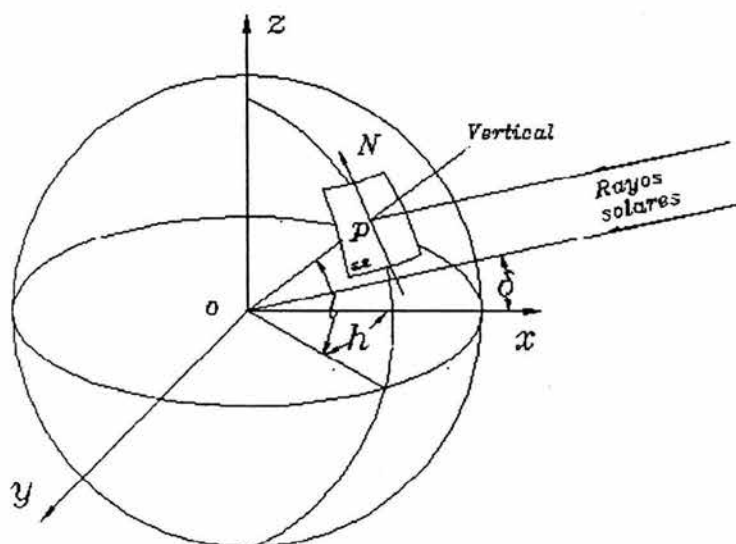
Radiación global. Es la energía solar total recibida por una superficie dada por la suma de la radiación directa y la radiación difusa. Como referencia, se presentan dos datos

Radiación día despejado : $1 \frac{KW}{M^2}$ Máxima

Radiación día nublado: $0.10 \frac{KW}{M^2}$ Típica.

Lo anterior resulta en que mientras en un día despejado se obtiene hasta 7.5 horas-pico, en un día nublado total es difícil tener más de 1.8 horas pico

2.13 ÁNGULOS SOLARES BASICOS



Ángulos Solares Básicos
(latitud, ángulo horario y declinación)

Fig. 2.1 ángulos : latitud, horario, declinación

LATITUD ϕ ángulo formado entre el vector OP que une el centro de la Tierra con cualquier punto sobre la superficie de la Tierra y la proyección de este vector en dirección meridional sobre el plano ecuatorial de 0 a + 90 norte o de 0 a - 90 sur geográfico

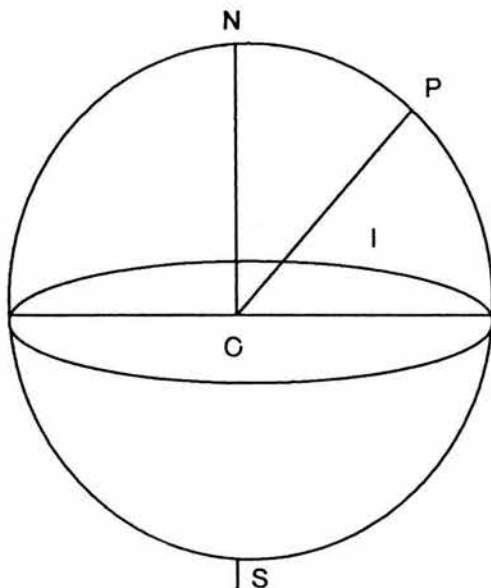


Fig. 2.2 latitud

Ángulo horario: h formado sobre el plano ecuatorial entre las proyecciones del vector OP y la proyección del rayo incidente en dirección meridional y nos representa el tiempo que falta para llegar al medio día solar o después del mismo.

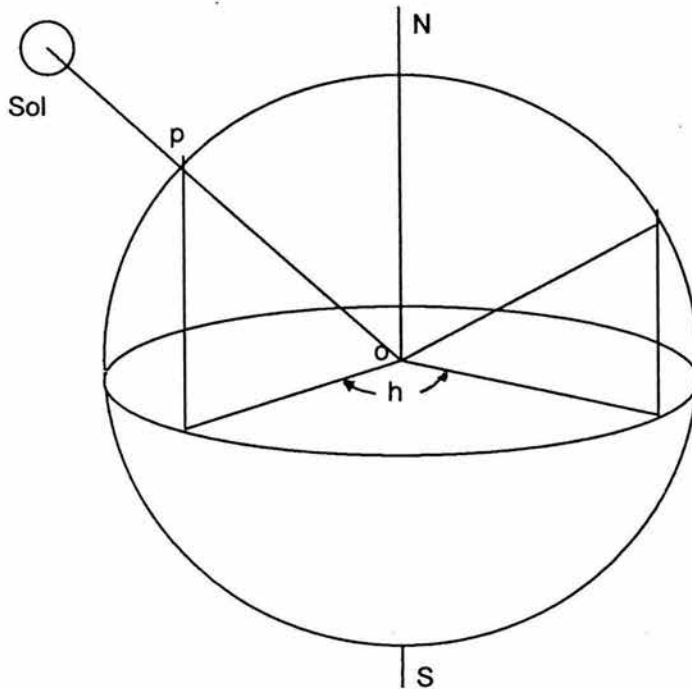


Fig. 2.3. Ángulo horario

DECLINACIÓN SOLAR : δ La declinación del Sol es la distancia angular de los rayos del norte o sur al ecuador. Es el ángulo entre una línea trazada desde el centro del Sol al centro de la Tierra y la proyección de esta línea sobre el plano ecuatorial de la Tierra en dirección meridional .

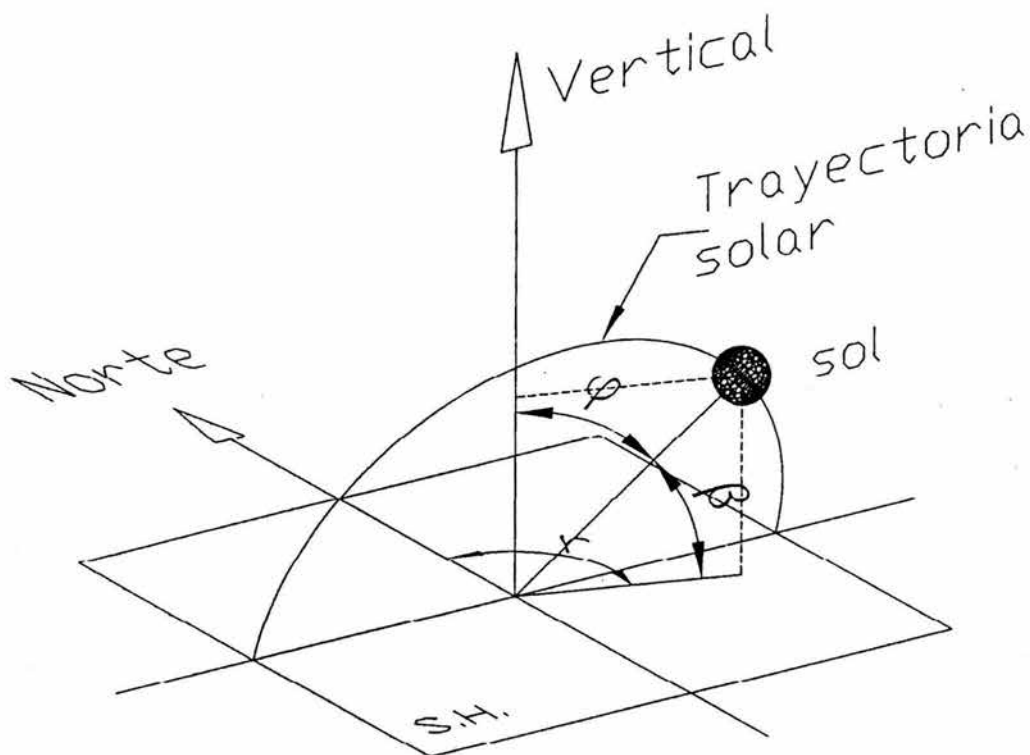


Fig. 2.4 trayectoria solar

En los equinoccios, la declinación es cero de forma que el Sol sale y se pone exactamente en la línea este oeste la declinación solar en otras épocas del año se obtiene mejor por medio de tablas, aunque para la mayoría de los casos es posible hacer un cálculo aproximado. Si la época del año la medimos en días N a partir del 1 de enero, la declinación es aproximadamente

$$\delta = 23.45 \text{sen}[360(284 + N/ 365)]$$

EC. 2.1

Además de los tres ángulos básicos: latitud, horario y declinación del Sol, tienen utilidad otros ángulos en cálculos de radiación solar. Tales ángulos incluyen al cenit

Ψ , altitud y el azimut γ . Para una superficie de una orientación particular se puede definir el ángulo de incidencia θ . El ángulo azimut sol- pared τ . Todos estos ángulos

2.14 ÁNGULOS SOLARES SECUNDARIOS

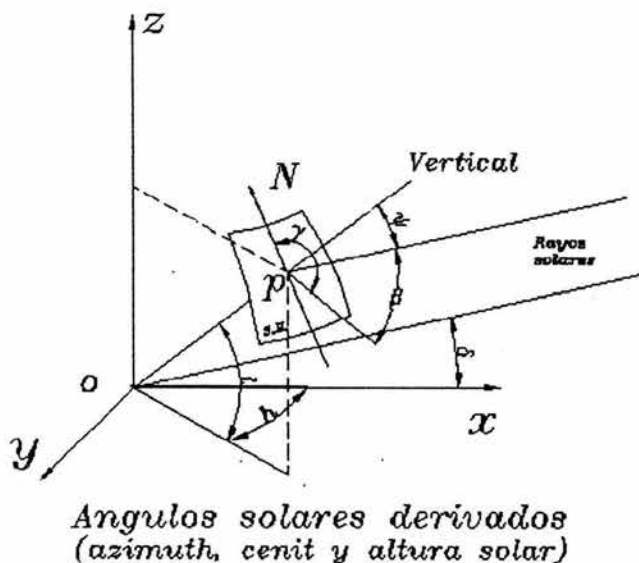


Fig.2.5 ejemplo gráfico

β Altura solar: ángulo formado entre el rayo incidente y la proyección horizontal del rayo.

ψ Ángulo cenit : es el ángulo formado entre el rayo incidente y la vertical de la superficie horizontal ambos están formados en un plano vertical! son complementarios entre si

$$\beta + \psi = 90^\circ \quad \text{EC.2.2}$$

Para deducir ψ : sabemos que ($\beta = \psi - 90^\circ$) EC.2.3

Sean los cosenos directores del rayo incidente l a_1, b_1, c_1 ; y los cosenos directores de del vector OP a_2, b_2, c_2 , en el sistema de coordenadas cartesianas x, y, z respectivamente por lo que tenemos $\cos\psi = a_1 * a_2 + b_1 * b_2 + c_1 * c_2$ EC.2.4

Coseno director i $a_1 = i \cos\delta$ EC.2.5 Pero $i = l$ EC.2.6

$$b_1 = 0 \quad \text{EC.2.7}$$

$$c_1 = \text{sen}\delta \quad \text{EC.2.8}$$

Cosenos directores op

$$a_2 = \cos l * \cosh \quad \text{EC.2.9}$$

$$\text{Para } op = 1 \quad \text{EC.2.10}$$

$$b_2 = \cos l * \text{sen}h \quad \text{EC.2.11}$$

$$c_2 = \text{sen}l \quad \text{EC.2.12}$$

Por lo tanto

$$\cos\psi = (\cos\delta)(\cos l * \cosh) + 0 + (\text{sen}\delta)(\text{sen}l) \quad \text{EC.2.13}$$

$$\cos\psi = \text{sen}\beta \quad \text{EC.2.14}$$

2.15 ÁNGULO DE AZIMUT γ

El ángulo de azimuth γ es el ángulo en el plano horizontal medido entre el sur y la proyección horizontal de los rayos del Sol así entonces: sean los cosenos directores de la proyección horizontal del rayo incidente (I_{SH}) a_3, b_3, c_3 y los cosenos directores de el vector NS a_4, b_4, c_4 en el mismo sistema, por lo que

$$\cos \gamma = (a_3 * a_4) + (b_3 * b_4) + (c_3 * c_4) \quad \text{EC.2.15}$$

Coseno director (I_{SH})

$$a_3 = ar \cos \beta * \cos \delta \quad \text{EC.2.16}$$

$$b_3 = 0 \quad \text{EC.2.17}$$

$$c_3 = ar \cos \beta * \text{sen} \delta \quad \text{EC.2.18}$$

Cosenos directores NS

$$a_4 = -\text{sen} l \cosh \quad \text{EC.2.19}$$

$$b_4 = 0 \quad \text{EC.2.20}$$

$$c_4 = \cos l \quad \text{EC.2.21}$$

Por lo tanto

$$\cos \gamma = ar \cos \beta * \cos \delta * (-\text{sen} l) * \cosh + 0 + ar \cos \beta * \text{sen} \delta * \cos l \quad \text{EC.2.22}$$

2.16 Ángulo de incidencia θ

Para superficies enfrentadas hacia el sur o inclinadas de la horizontal un ángulo p

El ángulo de incidencia θ , es el ángulo formado entre el rayo incidente (I) y la normal a la superficie en estudio (N).

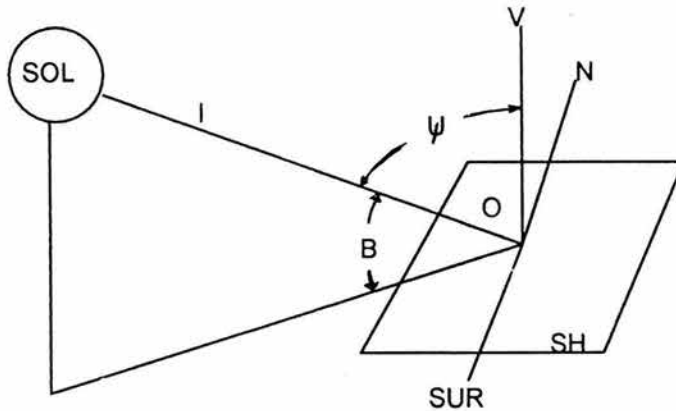


Fig. 2.6 ángulo de incidencia

2.17 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL TIEMPO

2.17.1 Tiempo solar del amanecer

Cuando el Sol se encuentra sobre el horizonte, la altura solar $\beta = 0^\circ$. De la ecuación de $\cos \psi = \text{sen} \beta$

$$\text{Tenemos que} \quad \text{sen} 0^\circ = 0 = (\cos \delta)(\cos t)(\cosh) + (\text{sen} \delta)(\text{sen} t) \quad \text{EC.2.23}$$

$$\text{Por lo tanto} \quad \cosh = \frac{-(\text{sen} \delta * \text{sen} t)}{(\cos \delta * \cos t)} = -\tan t * \tan \delta \quad \text{EC.2.24}$$

2.17.2 ÁNGULO HORARIO DEL AMANECER

$$hs = \ar \cos(-\tan t * \tan \delta) \quad \text{EC.2.25}$$

Sabemos que hs es el número de horas en grados que faltan desde el amanecer o

anochecer con respecto del medio día solar, como es simétrico desde el amanecer hasta el medio día o a partir de éste hasta el anochecer, lo que dura el día en grados es: 2hs en horas $2\text{hs} \cdot 1\text{hr}/15 = 2/15\text{hs}$

2.18 ECUACIÓN DEL TIEMPO

$$T_s = T_{of} - ET - LA(\text{Hrs})$$

Donde:

T_s = tiempo solar

T_{of} = tiempo oficial

ET = ecuación del tiempo = corrección por translación y rotación de la Tierra en su órbita elíptica.

LA = corrección por longitudes entre la longitud del tiempo oficial con respecto a la longitud del punto de estudio

$$ET = 0.1236 \sin x - 0.0043 \cos x + .01538 \sin 2x + 0.0608 \cos 2x \quad \text{EC.2.26}$$

Donde x es una función que depende del día del año.

$$x = \frac{(360^\circ \cdot (n - 1))}{365.242} \quad \text{EC.2.27}$$

365.242 = un año completo

LA = (longitud local - longitud de el meridiano del Tof local) $/ 15^\circ$

Falta página

N° 52

Capítulo III

Sistema fotovoltaico

3.1 LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Las celdas fotovoltaicas son elementos que producen electricidad al incidir la luz sobre su superficie. La fuente de luz utilizada generalmente es el Sol, considerando su costo marginal nulo. Estas celdas son también conocidas como baterías solares, fotopilas o generadores heliovoltáicos. Dado que cada elemento puede generar una cantidad reducida de electricidad, en sus orígenes se destinaron a alimentar consumos pequeños con requerimientos particulares, como los de la exploración espacial. Con el avance tecnológico éste campo se fue ampliando, como se puede ver en detalle en la bibliografía sugerida al final. Generalmente se las agrupa en disposiciones serie-paralelo, formando paneles solares para aumentar la potencia generada.

La fiabilidad de las celdas solares es muy grande y no necesitan mantenimiento. Son bastante insensibles a las variaciones climáticas y a los agentes atmosféricos, salvo, como es lógico, los que impiden la llegada de la luz.

Su desarrollo empezó en el año 1839 cuando Becquerel descubrió que si se ilumina uno de dos electrodos sumergidos en un electrolito, aparece entre ambos una diferencia de potencial, dando lugar al efecto fotovoltaico. En 1876, mientras Adams y Day se hallaban experimentando con la conductividad de unas varillas de selenio amorfo embebidas en hierro, descubrieron que se creaba una diferencia de potencial cuando sus aparatos eran iluminados.

Por otra parte, en el año 1873, W. Smith observó una variación de la capacidad de conducción del selenio por efecto de la luz. A partir de ese descubrimiento, denominado efecto fotoconductor, Siemens construyó un fotómetro, que contribuyó a la divulgación del nuevo fenómeno.

En 1887, investigando la descarga eléctrica entre dos electrodos usada como fuente de ondas electromagnéticas, Hertz descubrió el efecto fotoeléctrico externo o fotoemisión, observando que la intensidad de la descarga aumentaba si radiaba el electrodo positivo con luz ultravioleta, lo que sugirió que las superficies iluminadas

emitían más electrones. En 1888 Hallwachs analizó este efecto en profundidad y además descubrió que si radiaba un electrodo negativo no se observaba ninguna variación. Cabe señalar en en aquel entonces se utilizaban superficies metálicas pulidas de selenio policristalino de alto grado de pureza y doce años después Hallwachs observó el mismo fenómeno en un semiconductor compuesto por cobre y óxido cuproso.

Las experiencias posteriores demostraron que la emisión electrónica aumenta cuando se aumenta la intensidad de la radiación que incide sobre la superficie del metal, ya que hay más energía disponible para liberar electrones; pero también se observa que depende en forma característica de la frecuencia de la radiación incidente y que hay una frecuencia límite por debajo de la cual no se emiten fotoelectrones por más que se aumente la intensidad de la radiación.

Por su parte, en el año 1900 Planck desarrolló la teoría cuántica, que le permitió a Einstein explicar la fotoemisión en 1905. De manera simplificada, esta explicación indica:

1 - La luz recibida se debe considerar como una lluvia de partículas cuánticas (fotones) que transmiten su energía a los electrones del metal irradiado. Si la energía que suministran es suficientemente grande como para que los electrones adquieran una energía superior a la energía de ligazón de la red cristalina, se liberan electrones de la estructura atómica, los que éstos salen de la superficie del metal.

2 - La energía cuántica depende directamente de la frecuencia de las ondas luminosas (a través de la constante de Planck). La intensidad de la luz determina sólo la cantidad de electrones que se pueden liberar si los fotones suministran la energía mínima necesaria para la salida de los electrones.

3 - La carga eléctrica de la placa metálica expuesta a la radiación luminosa puede facilitar la salida de los electrones con carga negativa, o dificultar su salida con carga positiva.

La carga positiva aumenta la atracción entre los electrones y por lo tanto se necesita una mayor energía para romper la estructura atómica, mientras que la carga negativa produce el efecto contrario.

La explicación del efecto fotoeléctrico externo permitió también explicar el efecto fotoconductor y el efecto fotovoltaico. En 1920 Gudden y Pohl indicaron que en el efecto fotoconductor, los electrones excitados permanecen dentro del metal, ocupando las órbitas externas de los átomos y gozando de mayor libertad, provocándose así un aumento en la capacidad de conducción. Por su parte, en el efecto fotovoltaico los electrones son desplazados a través de una barrera en el sólido, produciéndose así una diferencia de potencial.

Elster y Geitel crearon la primera célula fotoeléctrica basada en el efecto fotoeléctrico externo, que se utilizó en las cámaras de televisión, entre otras aplicaciones. En cambio, el funcionamiento de los lucímetros, fotómetros y células solares se basan en los efectos fotoeléctricos internos.

Los fotoelementos de selenio se fabricaron en la década de 1940, alcanzando un rendimiento del 1%. En el año 1948 se produjo un notable avance con el invento del transistor de germanio y posteriormente el de silicio, que resulta menos sensible a los cambios de temperatura.

Finalmente en el año 1954 se inventó la celda fotovoltaica de silicio, en la que los electrones que se liberan en el interior de una juntura semiconductor N-P iluminada dan lugar a una fuerza electromotriz en la misma.

Los avances tecnológicos más recientes estuvieron orientados a reducir los costos de las celdas mediante el uso de distintos materiales como el silicio monocristalino, policristalino o amorfo, el arseniuro de galio y muchos otros; y mediante la reducción del volumen de material necesario, utilizando celdas de capa delgada (0,02 mm - 50

milimicras); que como son muy elásticas pueden ser enrolladas o plegadas, pero su rendimiento es menor, como puede verse en detalle en la bibliografía sugerida al final.

3.2 CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

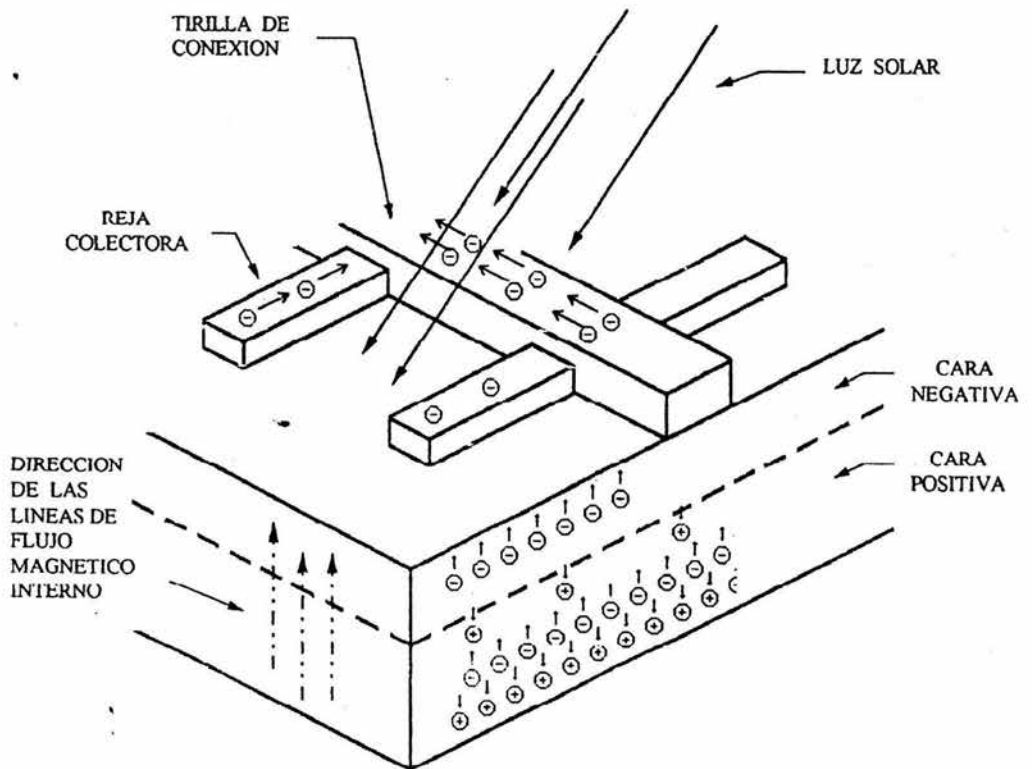


Fig. 3.1 vista esquemática de la celda fotovoltaica

Las celdas fotovoltaicas modernas están formadas generalmente por una juntura semiconductor P-N de silicio de gran superficie y reducido espesor (típico: 0,3 mm), similar a la utilizada en los diodos de estado sólido; pero cuando la unión P-N se emplea como generador fotovoltaico, el sentido del flujo de los electrones es opuesto al que se observa cuando se lo usa como rectificador

En la transición entre las capas P y N (capas con dopaje positivo y negativo respectivamente) se forma por difusión una capa límite en la que se establece una barrera de potencial. Para lograr un buen rendimiento energético, la capa límite deberá encontrarse lo más cerca posible de la superficie expuesta a la luz.

La celda se completa mediante los contactos óhmicos (no rectificadores) en las capas P y N, de reducida resistencia eléctrica para no provocar caídas de tensión adicionales. Se fabrican celdas solares circulares y rectangulares de cerca de 100 mm de lado. Estas últimas se emplean cuando se requiere un óptimo aprovechamiento del espacio, como en los satélites artificiales; resultando algo mas caras que las circulares. Al incidir la luz sobre la juntura, una parte de la luz se refleja (energía perdida) y la otra penetra en el semiconductor. Los fotones que ingresan con energía suficiente liberan cada uno un par electrón-hueco. Los portadores de carga liberados se propagan por el cristal mediante difusión o bajo la influencia de un campo eléctrico. Los electrones pueden recombinarse durante su recorrido, pero si un portador minoritario (electrón en la zona P, hueco en la zona N) alcanza la capa límite de la barrera de potencial, queda atraído por el campo eléctrico de esa capa y penetra en la región en que son mayoritarios los portadores de igual signo. Por otro lado, el campo de la capa límite retiene los portadores mayoritarios en la región en que han sido liberados. De este modo, cualquiera que sea la región en que queda absorbido el fotón y liberados los portadores de carga, el efecto fotovoltaico produce un desplazamiento de portadores que da lugar a una diferencia de potencial aprovechable de alrededor de 0,5 V entre los electrodos a circuito abierto. La barrera de potencial impide que el proceso se revierta, aunque puede existir una pequeña corriente de fuga. En circuito cerrado la corriente pasa por la carga del borne P al N, por el exterior de la célula.

Desde el punto de vista eléctrico, las celdas fotovoltaicas pueden compararse con los diodos de silicio normales.

En una celda determinada, el rendimiento energético es función del reparto espectral de los fotones, lo que equivale a decir que, con radiaciones de determinadas longitudes de onda (colores) proporciona más energía eléctrica que con otras.

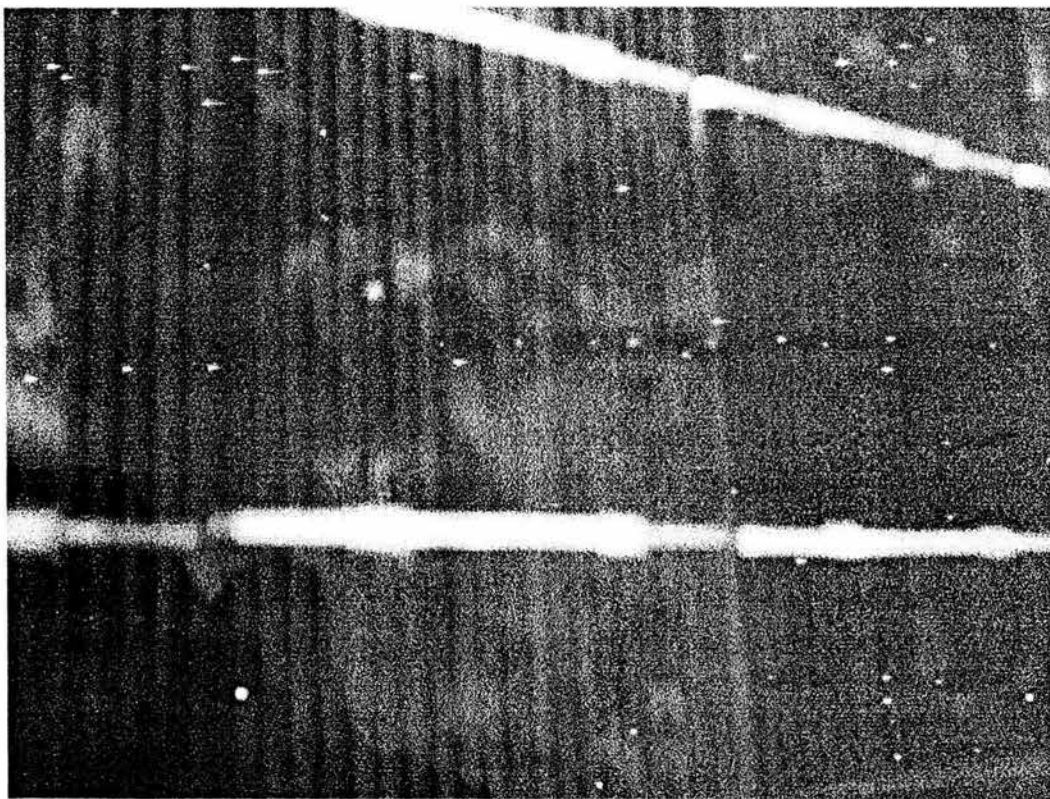


Fig. 3.2 celda fotovoltaica

Si una de las celdas conectadas en serie queda oscurecida, aunque sea parcialmente, de forma que sólo recibe una parte de la energía solar que llega a las que la rodean, sólo podrá generar una corriente limitada.

Si la carga aplicada al panel solar es tal que demanda una corriente superior a dicha corriente limitada, la celda afectada funcionará en sentido inverso, lo que provoca su calentamiento y acarrea un riesgo de ruptura.

Para solucionar este inconveniente, se limita la tensión inversa máxima que puede producirse añadiendo diodos en paralelo, situados habitualmente en la caja de conexiones, para proteger a las celdas del sobrecalentamiento debido a sombras parciales en la superficie del panel. Análogamente, si una de las celdas conectadas en paralelo queda oscurecida, aunque sea parcialmente, de forma que sólo recibe una parte de la energía solar que llega a las que la rodean, sólo podrá generar una tensión limitada, menor a las restantes en paralelo. Entonces la celda afectada funcionará como receptor si la tensión de funcionamiento se hace superior a la suya a circuito abierto; lo que también provoca su calentamiento y acarrea un riesgo de ruptura. Para solucionar este inconveniente, se añaden diodos anti-retorno, situados habitualmente en la caja de conexiones, para proteger a las celdas del sobrecalentamiento debido a sombras parciales en la superficie del panel. Por todo lo anterior, resulta evidente que es muy importante que los paneles no reciban sombras de obstáculos cercanos, ni hacerse sombra mutuamente en cualquier horario y época del año.

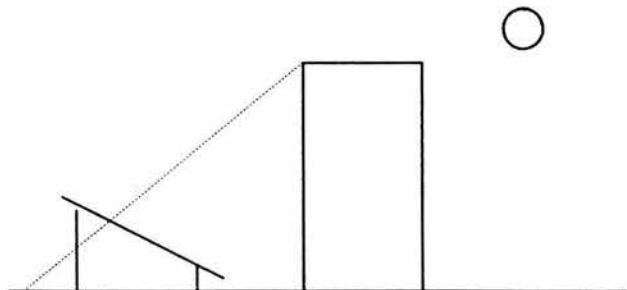


Fig. 3.4 sombra no deseada

3.3 CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Cuando se deseen utilizar celdas fotovoltaicas en instalaciones prácticas, deberán tenerse en cuenta las siguientes características:

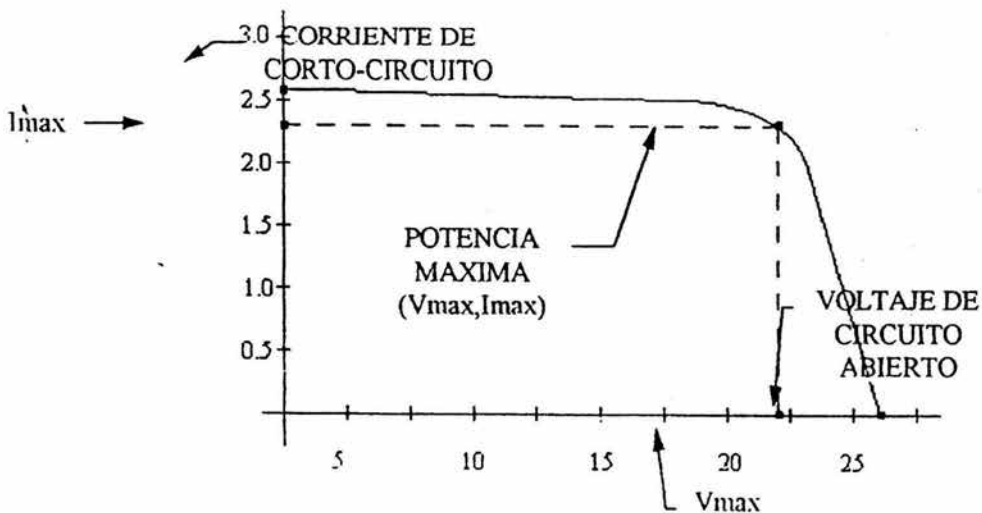


Fig. 3.5 curva corriente voltaje en un módulo solar

a) Corriente de cortocircuito I_{cc} : Esta magnitud es la intensidad que circula con la celda en cortocircuito, con una iluminación determinada y fija. Su valor es directamente proporcional a la energía solar recibida, y por lo tanto a la superficie total y al nivel de iluminación. Fig. 3.5

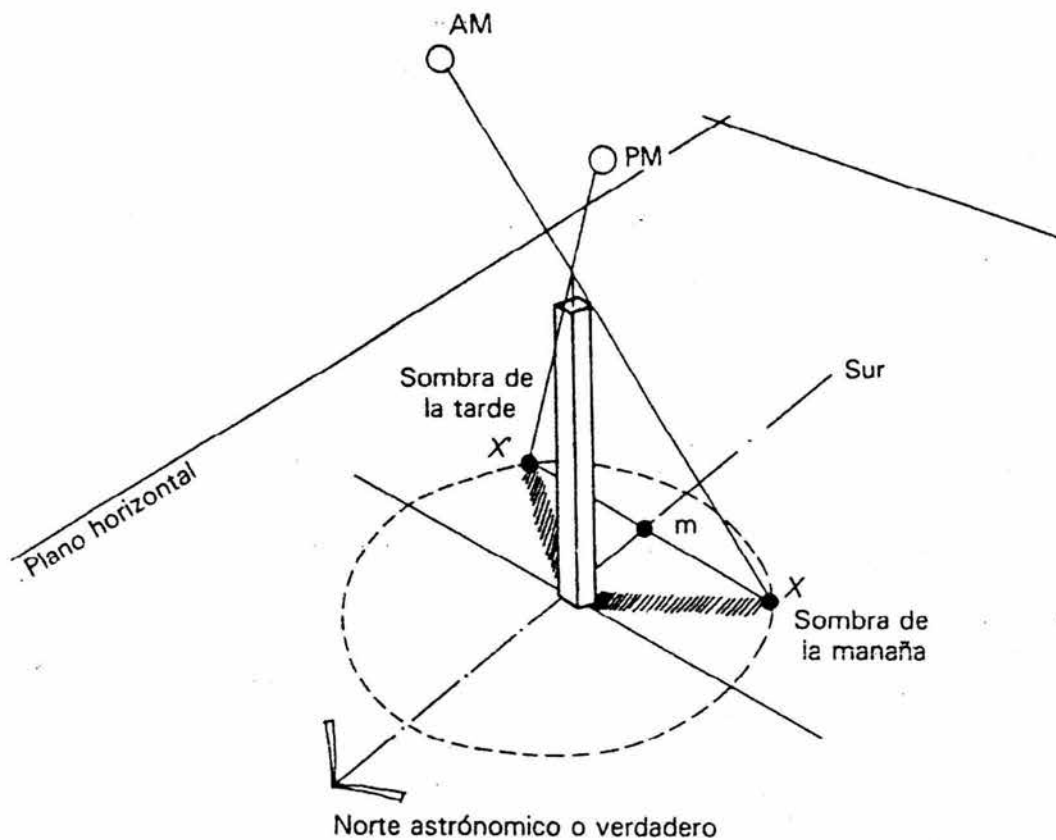
b) Tensión de vacío V_{co} : Esta magnitud es la diferencia de potencial entre los bornes de la celda en ausencia de consumo, con una iluminación fija y a una temperatura determinada. Su valor depende de la juntura utilizada y varía muy poco con la intensidad luminosa.

- c) Corriente óptima I_m : Esta magnitud es la intensidad que circula por la celda en el punto de funcionamiento óptimo, teniendo aplicada una carga R_m de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.
- d) Tensión óptima V_m : Esta magnitud es la tensión que origina la corriente óptima, al ser aplicada sobre una carga R_m de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.
- e) Temperatura límite de funcionamiento: Esta magnitud ronda los 100 grados centígrados.
- f) Rendimiento η : Esta magnitud es la relación entre la energía eléctrica entregada y la energía luminosa recibida. Su valor ronda el 18 %, según la tecnología constructiva de la celda.

Este bajo rendimiento se explica porque aproximadamente el 57 % de la energía luminosa se refleja o se transforma en calor; y del 43 % restante, gran parte se cede nuevamente en forma de calor.

Para una aplicación específica, deben consultarse los gráficos característicos de las celdas a utilizar, que vienen dados como distintas familias de curvas en función de la temperatura y de la iluminación recibida. El examen de estas curvas permite efectuar una selección adecuada.

Estas curvas muestran que el calentamiento de las celdas provoca una disminución de su rendimiento, por lo que se deben instalar radiadores de aletas para reducir su temperatura de trabajo.



Determinación práctica del norte astronómico o verdadero.

Fig. 3.6 Norte verdadero

La potencia máxima de la celda se obtiene cuando la luz incide perpendicularmente a su superficie, por lo que si incide con un ángulo que no sea recto, la superficie útil disminuirá en una cantidad proporcional al coseno del ángulo correspondiente. Por lo tanto resulta importante la correcta orientación de los paneles, considerando la posición del Sol en las distintas estaciones del año, de acuerdo a la latitud de la instalación

El esquema equivalente de una celda solar tiene en paralelo con el generador ideal una resistencia R_p que representa la fuga de corriente en la juntura y también un diodo. En serie tiene una resistencia R_s que representa las pérdidas internas de la celda.

Si bien la energía solar no cuesta nada, su aprovechamiento presenta algunos inconvenientes, de los cuales los más importantes son:

- I) La transformación de energía solar en eléctrica todavía es muy cara.
- II) Las instalaciones de energía solar ocupan grandes superficies de terreno.
- III) La energía de radiación recibida es reducida, salvo en las regiones tropicales (depende de la latitud).
- IV) Durante la noche y cuando está nublado, los rayos solares quedan anulados o atenuados.

Por lo tanto, las instalaciones generadoras requieren que las celdas solares vayan acompañadas de acumuladores, para cubrir la demanda durante los períodos de ausencia de Sol. En general, una instalación de generación solar típica tiene los siguientes componentes:

- 1) Paneles solares.
- 2) Reguladores de tensión.
- 3) Desconectores de descarga.
- 4) Acumuladores.
- 5) Convertidores CC/CA.
- 6) Concentradores luminosos.
- 7) Accesorios.

Los paneles solares están formados por una gran cantidad de celdas fotovoltaicas conectadas en serie-paralelo para aumentar la tensión y la corriente que pueden

entregar, encapsuladas con polímeros resistentes a la radiación ultravioleta y montadas tras una superficie de vidrio especial que brinda protección contra la polución ambiental y contra los cambios bruscos del clima (heladas, lluvias, granizo, etcétera). Generalmente, la cara posterior de los módulos está construida con un material de reconocida resistencia a las condiciones climáticas más adversas, como por ejemplo aluminio anodizado, y se sella con silicona para trabajar adecuadamente a la intemperie.

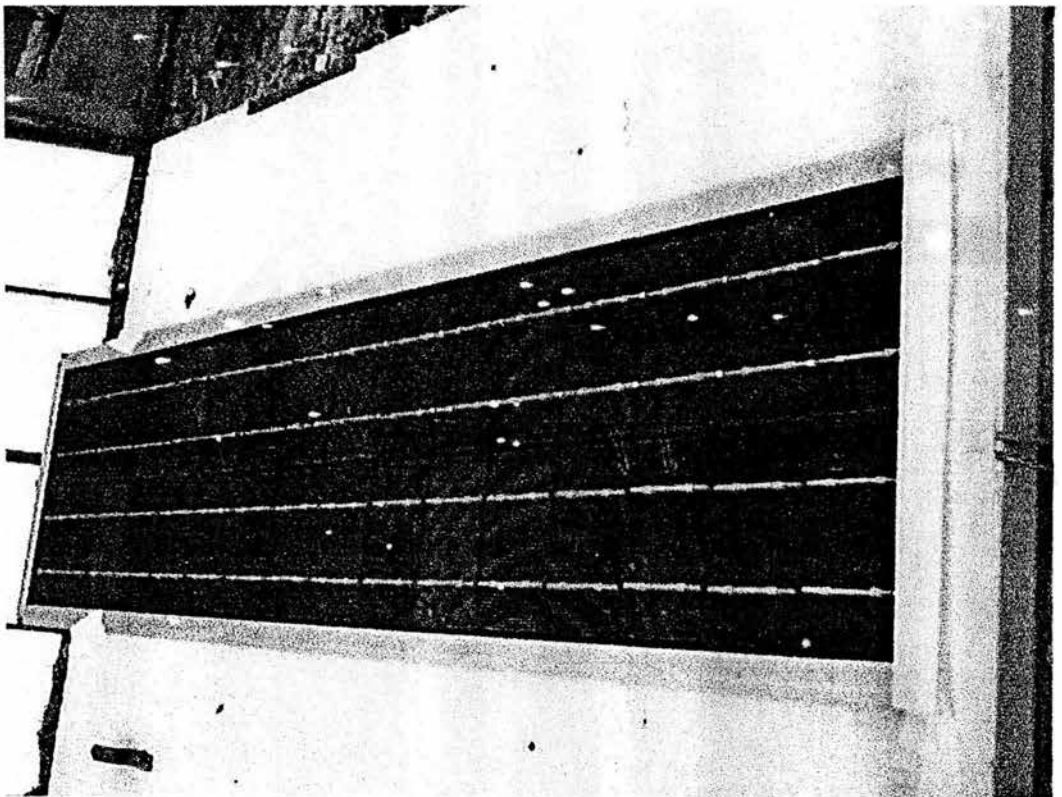


Fig.3.7 Módulo solar

Los reguladores de tensión son aparatos diseñados para la regulación y control de la carga de los acumuladores, a los que protegen automáticamente contra las sobrecargas



Fig.3.8. Control de carga fotovoltaico

Los Desconectores de descarga son aparatos que sirven para controlar el estado de descarga de los acumuladores, ya que una excesiva descarga puede provocar daños irreparables al equipo, en lo que atañe a su vida útil.

Los acumuladores generalmente son del tipo alcalino, resultando muy sensibles a la carga excesiva y su vida depende de las condiciones del mantenimiento.

Los convertidores CC/CA se emplean cuando resulta necesario transformar la corriente continua generada por las celdas fotovoltaicas en corriente alterna para los consumos que utilizan ese tipo de suministro.

Los concentradores luminosos dirigen la energía solar hacia la superficie activa de los paneles. Los mismos utilizan lentes y espejos, y en muchos casos cuentan con sistemas automáticos para seguir el desplazamiento de la orientación del sol. Esta

concentración mejora el rendimiento de las celdas, pues permite la utilización de superficies sensibles menores que las que se necesitarían sin su instalación, para obtener la misma potencia eléctrica.; pero también debe tenerse en cuenta que todo sistema óptico produce una pérdida de luz.

Los accesorios habituales son los compensadores de temperatura, los voltímetros y los amperímetros

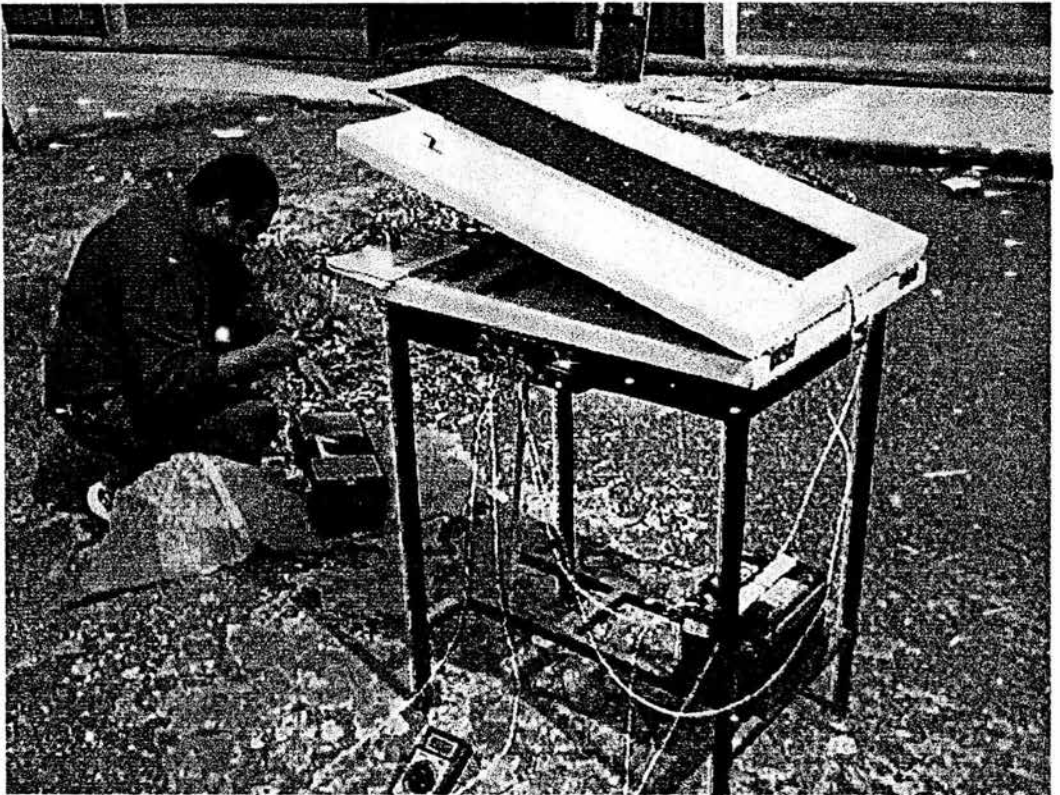


Fig. 3.9 Equipo empleado en fesc

En cuanto a la normalización de estos sistemas, digamos que el Comité Técnico 82 (Solar Photovoltaic Energy Systems) del IEC tuvo su última reunión en Tempe, Arizona, durante mayo de 2000, desarrollando normas para celdas de silicio comunes y de película delgada, módulos concentradores, dispositivos de almacenamiento de

energía, certificación de productos y laboratorios, balance de sistemas, reguladores de tensión, etcétera.



Fig. 3.10 Equipo

Capítulo IV

Funcionamiento de la célula peltier

4.1.- LOS DISPOSITIVOS TERMOELÉCTRICOS

En este apartado se dan especificaciones técnicas y de fabricación de estos.

Previamente, remarcar que hablar de dispositivos termoeléctricos es lo mismo que hablar de células Peltier, células termoeléctricas, placas Peltier, ETE y TEC (Thermoelectric Cooler).

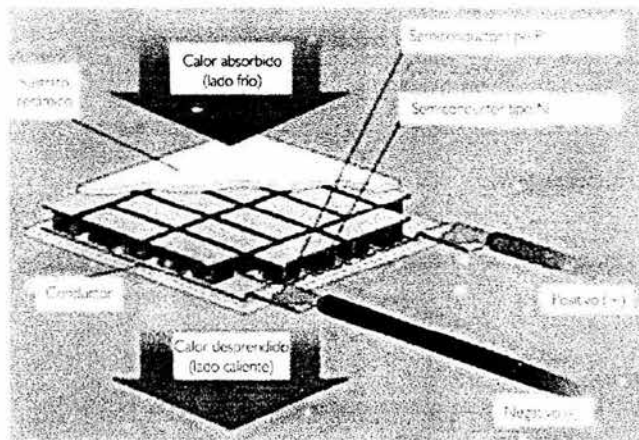


Fig. 4.1: Células Peltier

Para formar una célula Peltier se unen varias parejas termoeléctricas de dos semiconductores diferentes, uno de tipo P y el otro de tipo N. Para que funcione se aplica tensión (corriente) eléctrica sobre ella y mientras una cara se calienta la otra se enfría (su funcionamiento se basa en el efecto Peltier). Sus únicas conexiones eléctricas son dos hilos conductores, positivo y negativo, que permiten alimentarla; dependiendo del sentido de la corriente la cara fría será una o la otra. Se puede describir como una “bomba de calor”: bombeará, utilizando electricidad, el calor de una cara a la otra (las caras son placas de cerámica o aluminio, materiales que son muy buenos conductores térmicos). Realizando un símil muy “doméstico”, podríamos ver el

TEC como un aspirador que extrae el calor de una cara y lo envía hacia la otra cara. Este proceso tendría un rendimiento muy elevado si una parte del calor no volviese por fuera del supuesto aspirador hacia el punto de aspiración (efecto de conducción), añadido a que en la zona de aspiración se va creando más calor que dificulta la tarea de absorción del calor (efecto Joule).

La diferencia de temperaturas entre la cara caliente y la cara fría está cerca de los 70°C, aunque en algunas Peltiers de alto rendimiento con dos o más niveles se llegan a alcanzar hasta los 120°C de diferencia.

4.1.1- Proceso de elaboración de una célula Peltier

Primero se tienen que construir los lingotes de semiconductor; para ello se tienen que elegir los materiales y tratarlos mediante un sistema de calentamiento. Éste consiste en depositar en tubos de vidrio los materiales seleccionados previamente troceados y fundirlos cuando los tubos pasen por un anillo térmico que estará a una temperatura de 600°C. De esta forma se consiguen los lingotes de aproximadamente 25 mm de diámetro que se cortarán en discos de unos 5 mm de sección y que posteriormente es de donde se van a obtener los elementos N y P para fabricar los módulos termoeléctricos. Existen dos tipos de lingotes, unos de tipo P y otros de tipo N. Una vez conseguidos estos elementos se procede a incorporarlos en unos moldes de goma de forma alternada, uno P otro N, formando una cadena de parejas N-P. A continuación se tienen que soldar eléctricamente en serie, cerrando el circuito de todos ellos.

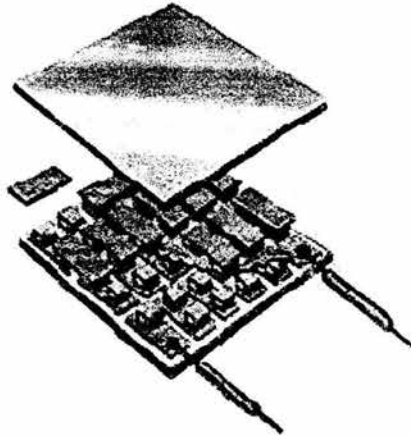


Fig. 4.2: Proceso de elaboración

Con respecto al diseño es muy importante partir del intervalo de temperaturas de trabajo, de ellas dependerán los semiconductores. Los más empleados son los compuestos a base de telururos (el Te_3Bi_2 y el TePb) que pueden emplearse hasta 500°C . El número de elementos P y N conviene que sea elevado, por lo que serán de pequeña dimensión, del orden del milímetro, de sección cuadrada y alturas del mismo orden. En pastillas que no llegan a los 4×4 cm con dichas dimensiones y con separaciones entre semiconductores similares al tamaño de estos, se pueden alcanzar unos 127 pares de elementos, alimentados como ya se ha dicho eléctricamente en serie. Con intensidades de unos amperios su resistencia eléctrica total no sobrepasa unos ohmios. El principal problema que presenta el aumentar el número de elementos por unidad de área es la disipación del calor. Habrá por tanto que llegar a un compromiso entre el tamaño, número de elementos y sistemas de disipación del calor.

Después, para dar mayor rigidez a la célula, se ponen dos placas de cerámica o de aluminio; en una estarán en contacto todos los elementos tipo P y en la otra los de tipo N.

Ésta es una breve explicación del proceso básico de fabricación de una célula, aunque en E.U.A. se utilizan métodos más sofisticados para la obtención de los semiconductores tipo N y tipo P.

Después de la fabricación hay una comprobación de funcionamiento y rendimiento de la célula

4.1.2.- Tipos de células Peltier

Placas de efecto Seebeck y de efecto Peltier:

Existen en el mercado dos tipos de placas que aprovechan los efectos termoeléctricos; las llamadas de efecto Peltier, que “transforman” la energía eléctrica en frío - calor, y las llamadas de efecto Seebeck, que transforman el calor en intensidad eléctrica.

Las placas de efecto Peltier son las más utilizadas debido a que su costo es menor y sus aplicaciones para el mercado del consumo se incrementan día a día. Las placas de efecto Seebeck son células de alto costo que prometen ser importantes en un futuro no muy lejano. Sus aplicaciones son cada vez más atractivas ya que permiten recuperar energía de focos calientes como por ejemplo el de los tubos de escape en los automóviles o simples velas.

Placas de un solo nivel:

Se entiende por placas de un solo nivel aquellas que están formadas por una serie de semiconductores N - P (el número de pares puede ser de 7, 17, 31,71 ó 127 elementos). Según el número de semiconductores que haya en su interior serán de mayores o menores dimensiones; incluso, se pueden encontrar placas circulares en vez de cuadradas.

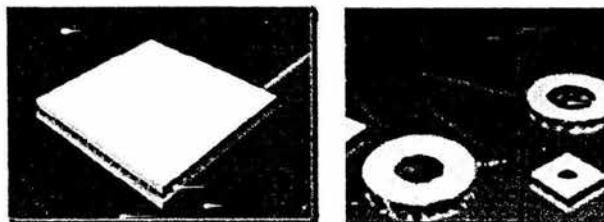


Fig. 4.3: Células Peltier de un solo nivel

Las placas están provistas de dos caras de cerámica (buen aislante eléctrico). Otras, además llevan una fina capa metalizada encima de la superficie cerámica y así se pueden soldar al sistema termoeléctrico (aumentando el contacto térmico). Este tipo de placas se usan en aplicaciones láser o en diodos que disponen de muy poco espacio para la fijación de tornillos.

Dependiendo de la eficiencia de los semiconductores, el salto entre las caras puede llegar a ser de 70°C, teniendo en cuenta (como ya se ha aclarado en el apartado anterior) que este salto es el óptimo y sólo se consigue al refrigerar el lado caliente con nitrógeno y haciendo el vacío en la cara fría. En condiciones normales de trabajo esta diferencia máxima llega a ser de unos 60°C dependiendo del disipador. Los semiconductores en placas de uno o más niveles se sueldan (normalmente) a 138°C o a 193°C, por lo que no es aconsejable trabajar a temperaturas muy cercanas a estos valores.

Para saber por ejemplo cuantas células de este tipo harían falta en un sistema termoeléctrico:

$$Q = mc\Delta T \quad \text{EC.4.1}$$

donde:

Q es la potencia que nos hace falta para enfriar un habitáculo

m es la masa (peso de la masa en gramos)

c es el calor específico de la masa (Agua = 1= 4.18 Joules, Aire = 0.24 cal/gr.°C)

ΔT es la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura que se desea obtener dentro del habitáculo

Una vez conocida la potencia nominal Q , se puede determinar la potencia efectiva necesaria para enfriar, teniendo en cuenta que aún faltan los cálculos para saber las pérdidas que tiene el sistema por conducción, convección y radiación.

Si como resultado obtenemos una potencia necesaria de $Q = 100W$, dividimos este valor por la potencia efectiva de la placa. Por ejemplo, una placa de $53W$ y para un ΔT de $25^{\circ}C$ va a trabajar al 40% de su capacidad, eso significa que cada placa nos aportará $21.2W$. Dividiendo $100/21.2 = 4.71$ placas; con ello sabremos que nos hacen falta 5 placas de $53W$ de potencia.

Placas multinivel:

Una célula multinivel está formada por una serie de células de un solo nivel colocadas unas encima de las otras y pueden llegar a tener hasta 6 niveles. De esta manera lo que se consigue es que el salto térmico entre las caras sea mucho mayor. Por ejemplo, una célula de 6 niveles podría llegar a una diferencia de temperatura entre caras de $130^{\circ}C$, aunque en una superficie muy pequeña.

La razón por la que las células conectadas en varios niveles tienen un tamaño diferente a medida que suben de nivel es porque una de ellas debe ser capaz de bombear el calor propio más el generado por la otra célula, por lo que para que se pueda tener la capacidad de bombear el calor desde las células de la base (las más grandes) se tiene que reducir el tamaño de estas a medida que sube de nivel.

El principio de funcionamiento se basa en refrigerar las caras calientes de las células con las caras frías. Es decir, la cara fría de una célula enfría la cara caliente de su célula adyacente. A medida que aumenta el número de niveles, disminuye la potencia que puede entregar la célula y de esta forma aumenta la diferencia de temperaturas entre caras. Las ventajas de poder refrigerar puntualmente son muy grandes.

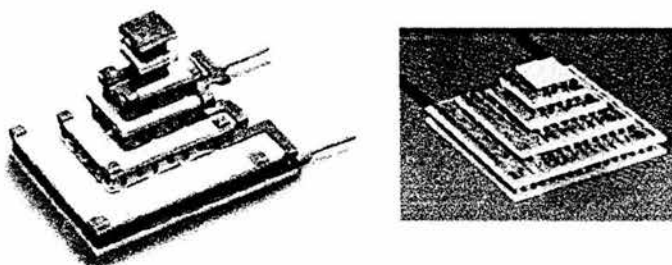


Fig. 4.4: Células Peltier multinivel

¿Cuándo realmente hemos de recurrir a aplicaciones mixtas (usando placas de un solo nivel y multinivel)? La respuesta es muy sencilla, cuando el salto térmico que se requiere es importante frente a la temperatura ambiente y la potencia a extraer es grande. Para una primera fase de frío podemos utilizar un motor compresor con el que podemos alcanzar una temperatura de -20°C , a partir de este punto y una vez definida la potencia necesaria, podremos construir una segunda fase con placas de uno, dos o más niveles, según la temperatura deseada. Por ejemplo: las cámaras climáticas.

4.1.3.- Vida útil de las células Peltier

La célula Peltier por si sola dura mucho tiempo; de hecho hay personas que las han estado utilizando durante años sin problemas. Sin embargo, en sistemas de refrigeración que para "refrescar" la célula utilizan ventiladores, el ventilador puede dejar de funcionar y esto es un gran problema.

4.1.4.- Características de las células Peltier

Los parámetros característicos de una célula y que encontramos en cualquier catálogo son los siguientes:

- $T_{\text{máx}}$: temperatura máxima que soportan las soldaduras del ETE; si se supera este

valor, se puede fundir la placa termoelectrica. Esta temperatura máxima se mide cuando la cara caliente está refrigerada con nitrógeno y la cara fría en el vacío, sino el rendimiento es de un 20% menos de lo especificado.

- DT_{\max} : máxima diferencia de temperatura entre las dos caras de la placa, que se obtiene cuando el calor aplicado a la cara fría es nulo ($Q_f = 0$).

$$DT_{\max} = \frac{\alpha^2 T_f^2}{2R_m} \quad \text{EC.4.2}$$

- I_{\max} : corriente máxima o óptima con la cual se obtiene, para cada valor de DT , la máxima potencia de enfriamiento (la Q_f más elevada). En otras palabras, es la corriente que consigue máxima absorción de calor en la cara fría.

$$I_{\max} = \frac{\alpha T_f}{R_m} \quad \text{EC.4.3}$$

NOTA: Si la corriente es superior a la I_{\max} , la potencia disipada por la Peltier es muy grande y esto hace que la capacidad de absorber calor de la cara fría disminuya rápidamente y ocasione un descenso del enfriamiento; ya no enfría tanto.

- V_{\max} : tensión máxima para conseguir I_{\max} .
- $Q_{f \max}$: calor máximo absorbido para eliminar la diferencia de temperatura entre las dos caras cuando la corriente que circula por la Peltier es I_{\max} . La cantidad de calor absorbido es proporcional a la corriente y al número de parejas termoelectricas. En otras palabras, es la máxima capacidad de calor absorbido por la cara fría para mantener la $DT = 0$ haciendo circular por la placa I_{\max} .

$$Q_{\max} = \frac{\alpha^2 T_f^2}{2R_m K_m} \quad \text{EC.4.4}$$

- P_{dis} : La potencia disipada es proporcional al cuadrado de la corriente.

4.2.- Los sistemas termoeléctricos

Como ya se ha dado a entender a lo largo de este capítulo, para poder refrigerar, calentar o mantener la temperatura mediante células Peltier es necesario implementar un sistema termoeléctrico.

Para ello, es posible tener que utilizar varias células conectadas eléctricamente en paralelo según las dimensiones del sistema. Es necesario tener en cuenta que por el hecho de conectar varias células en paralelo no se conseguirá más frío; para ello deben utilizarse células de más niveles. Con varias células se consigue poder refrigerar, calentar o mantener una cavidad de mayores dimensiones o refrigerar con mayor rapidez cavidades menores.

En un sistema termoeléctrico también son necesarios los aislantes (de los que se hablará más adelante), así como algún tipo de resina para aumentar el contacto de la célula con el elemento a refrigerar o calentar y poder transmitir mejor el frío o el calor.

En general, la cara fría del TEC no se unirá directamente al sólido, líquido o gas que se desea refrigerar, sino que dispondremos de algún elemento físico capaz de canalizar las calorías de la zona a enfriar hacia el TEC. Entre la cara caliente del TEC y la pieza a calentar o el ambiente, se debe disponer también de otro elemento que canalice el calor.

A estas piezas que canalizan o disipan el calor del TEC (igual que el de muchos otros elementos), se les denomina disipador (y normalmente son un radiador). Es importante conocer que a pesar de que insertamos los radiadores para rebajar la temperatura del TEC, siguen existiendo diferencias de temperatura entre el ambiente y el radiador, y el radiador y el TEC, que deben tenerse en cuenta en el cálculo. Hemos hablado de radiadores porque hasta hace poco eran los elementos usados por excelencia en sistemas termoeléctricos para disipar el calor. Estos pueden ir acompañados por ventiladores y por circuitos de agua (en el caso de querer disipar lo más rápido posible

el calor de la cara caliente de la célula). Pero para esta función dan mejores resultados (si están bien dimensionados) los termosifones o heat pipes.

Un factor poco estudiado es la inercia térmica de los sistemas, en particular del disipador de calor. Está claro que conviene que sea grande pues permite no alcanzar una elevada temperatura en la puesta en régimen, lo que podría llevar a un desequilibrio irreversible.

La variación de la resistencia eléctrica con la temperatura en los semiconductores es muy grande, de tipo exponencial por lo que considerarla constante, como se hace en muchos estudios teóricos, entraña una gran fuente de error, sobre todo cuando se diseña un prototipo. La misma Ley de Ohm es cuestionable en estos materiales, por lo cual, la optimización de la tensión debe realizarse por vía experimental, preferentemente con fuentes que se han desarrollado para estas aplicaciones, con limitación de la intensidad y posibilidad de que se pueda ajustar las acciones y ser éstas controladas por temperatura.

Por último y lo más importante, se debe llegar a un sistema que sea estable en el tiempo y de costo competitivo, incluyendo todos los elementos y sus accesorios, así como el costo de su desarrollo y comercialización. Por el momento, el elemento más costoso es la pastilla, pero se cree que con el tiempo irán bajando de precio.

Remarcar finalmente que en sistemas termoelectricos vale la pena tener un conocimiento aproximado previo antes de ponerse a trabajar con ellos; esto puede disminuir tiempo y costo en el desarrollo, pero no evita el ensayo experimental definitivo, que muchas veces puede variar del análisis teórico.

4.2.1.- Instalación de las células Peltier en sistemas termoelectricos

Antes de la instalación de una célula Peltier en un sistema que requiera refrigeración se han de tener en cuenta una serie de factores. A continuación se exponen los más importantes:

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

- No pueden ser situadas en sistemas en los que actúe como soporte de una estructura mecánica debido a su pequeña resistencia.
- Para minimizar la resistencia térmica todas las superficies que estén en contacto con el TEC deben de ser totalmente llanas, paralelas y estar limpias.
- Los lados frío y caliente deben ser fácilmente reconocidos, así como los cables terminales de alimentación.
- El objeto a refrigerar debe aislarse lo máximo de las otras partes del circuito, si no pueden haber pérdidas por convección y conducción.

Para realizar la instalación de una célula Peltier en un sistema que se quiera refrigerar, se suele utilizar alguno de los cuatro métodos siguientes:

Sujeción con resina EPOXY:

Antes de aplicar esta sustancia la superficie del TEC tiene que estar limpia. La capa de resina no debe superar los 0.05 mm y se recomienda tener a mano algún disolvente y algodón para poder retirar un exceso de este producto. Cuando la placa ya está situada sobre la superficie a la que va a ser pegada debe ejercerse una presión no superior a los $689,465 \text{ N/m}^2$ y a continuación dejarla a 65°C durante dos horas para maximizar las propiedades térmicas y físicas de la resina. Finalmente remarcar que la resina EPOXY es altamente tóxica por lo que debe evitarse todo contacto directo y trabajar en un espacio bien ventilado.

Soldadura:

Como ya se ha comentado, existen células que tienen una pequeña capa de aluminio encima de las caras de cerámica. Esto permite poder soldarlas.

Compresión con el compuesto térmico MI Blue Goo (pads de silicona):

Estos materiales se utilizan de interficie entre integrados electrónicos y sus radiadores. No acostumbran a ofrecer un buen rendimiento en dispositivos termoeléctricos debido a su excesiva resistencia térmica, por lo que se desaconseja su uso.

Método mordaza:

Es el método más utilizado y consigue un ajuste perfecto entre la parte fría, la célula y la parte caliente mediante el uso de tornillos.

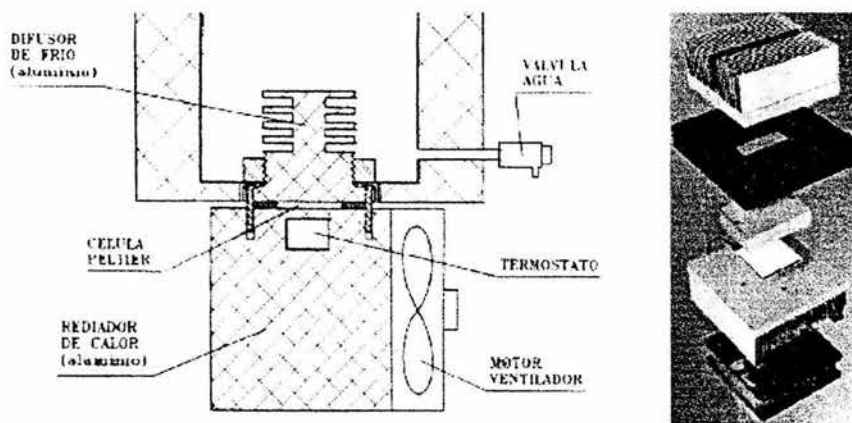


Fig. 4.5: Ejemplos del método mordaza

Primero, debemos asegurarnos que la superficie en contacto con el TEC será perfectamente plana (con un desnivel máximo de 1mm/m). Los tornillos tienen que ponerse de forma simétrica para procurar una presión uniforme y lo más cerca posible del TEC. Para minimizar las pérdidas a través de ellos deben ser lo más pequeños posible.

También se recomienda el uso de una arandela para absorber las pequeñas variaciones de tamaño debidas a contracciones y dilataciones. Deben untarse las caras del TEC con un gel o grasa conductora con un movimiento circular. A continuación debe unirse todo el conjunto e ir apretando progresivamente de forma que no quede ningún tornillo más apretado que el otro.

Los dos primeros métodos son para células con lados inferiores a 1,9 cm y los dos últimos para Peltiers de mayores dimensiones. En cualquiera de los cuatro métodos, la superficie del TEC debe estar muy limpia y debe comprobarse que un posible desnivel entre puntos de una misma cara no supere los 0.05 mm. Esto último podría provocar

una pérdida de contacto de la célula con el resto del sistema, por lo que su rendimiento bajaría mucho.

Otro problema similar es en el uso de varias placas en un mismo sistema termoeléctrico. Algunos fabricantes están vendiendo placas a menor costo que los precios típicos en el mercado; son células que funcionan bien pero tienen el gran inconveniente de que el grosor entre ellas varía considerablemente y muchas veces dan problemas al usarlas todas en un mismo sistema porque no todas quedan en buen contacto con la superficie.

Otro punto importante es el hecho de que se están comercializando placas sin sellar con silicona (un buen aislante). Estas son las placas que al mirarlas de perfil se pueden ver los semiconductores. Estos TEC son más baratos, pero en sistemas que deben estar perfectamente aislados los diferentes módulos, dan muchas pérdidas por conducción que se pueden evitar sellándolas.

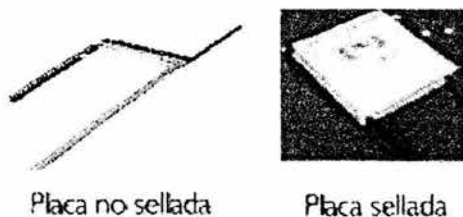


Fig. 4.6: Placas selladas con silicona

4.2.2.- Regulación de la temperatura en un sistema termoeléctrico

Los módulos termoeléctricos necesitan potencia continua (DC), que puede ser suministrada por una batería, una fuente de corriente sencilla o bien un sofisticado sistema de control basado en la medida de una determinada temperatura en lazo cerrado.

El TEC no deja de ser un componente semiconductor de baja impedancia que varía en forma de coeficiente positivo de resistencia de aproximadamente el 0.5% por °C. Para muchas aplicaciones se consigue un buen control de la temperatura con una fuente de

poco rizado y un potenciómetro. Controlando la corriente que llega a la célula podemos conseguir niveles de precisión de la décima de grado con lazos cerrados que incluyan sensores de temperatura.

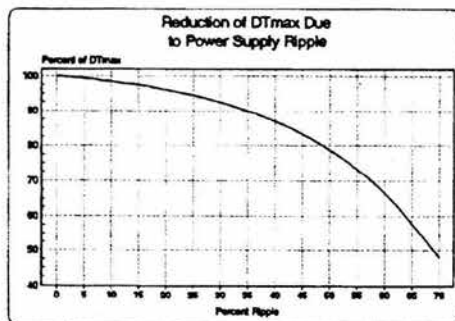


Fig. 4.7: Reducción de ΔT_{max} debido al rizado de la alimentación

Aunque el rizado de la tensión de alimentación afecta menos que en otros dispositivos electrónicos, no es recomendable sobrepasar el 10%.

En caso de trabajar con placas multinivel se recomienda no tener más del 2% de rizado, si no disminuye demasiado el valor del salto térmico.

Existen tres métodos básicos para regular la célula Peltier y realizar un buen control sobre la misma.

Regulación ON - OFF:

También denominada Por corte. Esta regulación no es muy aconsejable por lo comentado antes, la corriente que le llegue a la Peltier ha de aumentar o disminuir progresivamente y no de forma brusca como en este sistema de regulación que consiste en el paso o no de corriente: o pasa (conducción) o no pasa (corte). Hay células que están diseñadas para ser utilizadas con esta regulación y no ven disminuido su tiempo de funcionamiento.

PWM (PULSE WIDTH MODULATION):

Es una técnica de conversión que transforma la tensión alterna de la línea en una

señal DC de potencial menor. PWM controla esencialmente el "duty cycle" así como la frecuencia de la potencia que se aplica a la célula.

Regulación mediante ventiladores:

Es el sistema más económico pero no el más preciso. La célula está continuamente conectada a la potencia máxima y los que se regulan son los ventiladores mediante un sistema por ON-OFF dependiendo de la temperatura ambiente. En cada momento podremos conocer la temperatura deseada aproximada, siempre en función del ambiente, gracias a que controlamos la temperatura del radiador caliente, conocido el gradiente se conoce también la temperatura interior.

Regulación en rampa:

La mayoría de los fabricantes recomiendan que la corriente que llegue a las células se incremente o disminuya de forma progresiva; así se les alarga el tiempo de vida. Esto se consigue con la regulación en rampa que consiste en regular la célula mediante un Sistema P o también denominado Control Proporcional, debido a que la acción que realiza es proporcional: la señal de salida del control es proporcional al error a su entrada.

- Control proporcional integral (PI Control): es una variante del anterior. Es capaz de eliminar el error residual al tener un integrador. Este tipo de control es muy útil en sistemas en los que tanto el interior del sistema como el exterior (la temperatura ambiente) varían.
- Control proporcional integral - derivativo (PID Control): es una variante del anterior. Es el control más complejo y el menos común. Éste añade un derivador que mejora la respuesta transitoria del PI Control. Se utiliza cuando sistemas de grandes dimensiones tienen que estar rápidamente controlados.

4.2.3.- Los aislantes en un sistema termoeléctrico

Se podría pensar que en un recinto a refrigerar, para conseguir la máxima "protección" térmica, o sea, intentar que se pierda el mínimo frío posible de su interior, una solución podría ser aumentar el espesor del aislante que hay en las paredes, y podría pensarse también que cuanto más aislante se ponga de mayor calidad será el sistema. Esa afirmación es errónea, y se pretende demostrar en este apartado que existe un límite en el espesor del aislante por encima del cual no se modifican las propiedades térmicas de éste. También se pretende hallar el espesor óptimo para diferentes tipos de materiales aislantes y para diferentes condiciones térmicas.

Si recordamos la ecuación que define la transferencia de calor mediante conducción a

través de una pared plana: $q_{COND} = \frac{K}{L}(T_c - T_f)$ EC.4.5

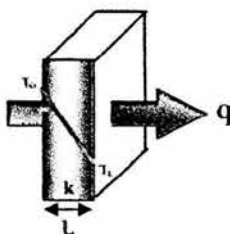


Fig. 4.8: Conducción del calor a través de una pared plana

A continuación, se muestra una tabla de aislantes comerciales y caseros ordenados de mayor capacidad aislante a menor.

Aislante	Conductividad t�mica 'k' W/(m�K)
Poliestireno rígido (a 240�K)	0.023
Poliuretano, espuma rígida (a 300�K)	0.026
Poliestireno rígido (a 300�K)	0.028
Fibra de vidrio (a 300�K)	0.035
Relleno holgado de pulpa de papel (a 300�K)	0.039
Corcho (a 300�K)	0.043
Lana (a 300�K)	0.05
algodón (a 300�K)	0.06
Papel (a 300�K)	0.13
Caucho duro (a 270�K)	0.15

Fig. 4.9: Conductividad t mica de aislantes comerciales y caseros

Se han elegido dos aislantes de la tabla para hacer un estudio de su comportamiento el *poliuretano rígido* y la *lana*. Se utilizan dos temperaturas ambientes, 32 C y 43 C, y una temperatura interior de 0 C.

32 �C:		
	Poliuretano rígido:	$q_{COND} = \frac{0,026}{L} \cdot 32 = \frac{0,832}{L}$
	Lana:	$q_{COND} = \frac{0,05}{L} \cdot 32 = \frac{1,6}{L}$
43 �C:		
	Poliuretano rígido:	$q_{COND} = \frac{0,026}{L} \cdot 43 = \frac{1,118}{L}$
	Lana:	$q_{COND} = \frac{0,05}{L} \cdot 43 = \frac{2,15}{L}$

Y si representamos gráficamente los resultados anteriores

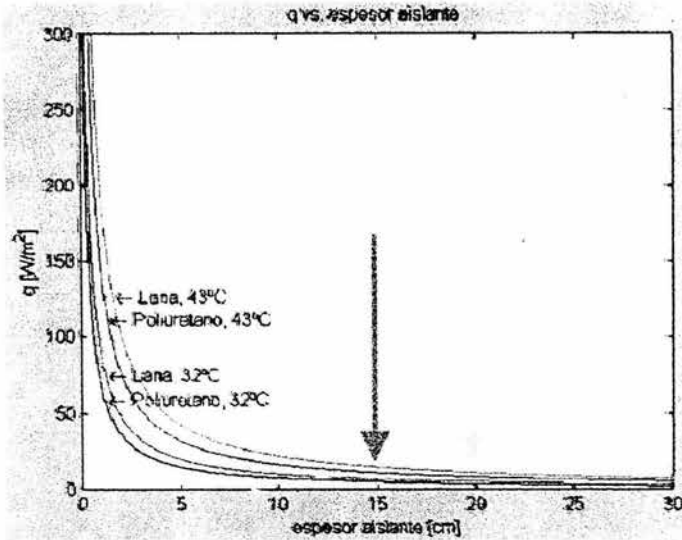


Fig. 4.10: Conducción del calor del poliuretano y de la lana

Se puede observar en la figura 4.10 como a partir de unos 15 centímetros de aislante la reducción del calor que atraviesa la pared por unidad de superficie se hace cada vez más insignificante, pudiéndose deducir que para cualquier tipo de aislante y temperatura el espesor óptimo está entre los 15 cm. (para aislantes buenos o condiciones normales de temperatura) y los 20 o 25 cm. (para casos peores).

4.2.4.- Aplicaciones de los sistemas termoeléctricos

Como se verá a continuación, la mayoría de aplicaciones que usan células Peltier son para refrigerar un líquido, sólido o gas (bajar su temperatura por debajo de la del ambiente). Estos dispositivos también permiten calentar o mantener temperaturas constantes de objetos sometidos a variaciones ambientales importantes; aun así este trabajo se centrará en el uso de células Peltier en sistemas termoeléctricos para refrigeración.

Los TEC se utilizan en aplicaciones que requieren la extracción desde mW hasta centenares de W. Las aplicaciones actuales más comunes de las células Peltier son

en sistemas cuyo problema de refrigeración sea puntual y localizado o de poco volumen. Sus características como el poco peso, poco espacio y facilidad de control de temperatura, las hacen muy atractivas para implementar aplicaciones como:

MILITAR / AEROESPACIAL:

- Equipos de visión nocturna
- Municiones "Smart"
- Equipos de enfriamiento electrónico
- Amplificadores paramétricos
- Refrigeradores portátiles

PRODUCTOS CONSUMIBLES:

- Refrigeradores de vino
- Refrigeradores de insulina
- Refrigeradores para coches
- Expositores para tapas, chocolates...
- Pequeños refrigeradores domésticos

EQUIPOS DE LABORATORIO:

- Detectores de infrarrojos
- Fuentes de calibración para infrarrojos
- Enfriadores de diodos láser
- Analizadores de contaminación del aire
- Cámaras frías
- Refrigeración de amplificadores
- Estabilización de integrados y microcontroladores

CONTROL DE TEMPERATURA INDUSTRIAL:

Control fino de temperatura
Microprocesadores de PC
Cámaras refrigeradas
Planchas frías
Referencia del punto de hielo
Baños de temperatura controlada
Deshumidificadores
Calorímetros

ELECTROMEDICINA:

Mantas de Hipotermia
Refrigeradores para farmacia (portátiles o estáticos)
Analizadores de sangre
Incubadoras
Refrigeración cutánea

Hay muchas más aplicaciones; aquí se han comentado algunas de las más curiosas e interesantes para poder ver los diferentes campos en los que pueden intervenir y ofrecer más calidad de vida reduciendo en muchos casos la contaminación sin perder prestaciones, algo tan importante en estos días.

Las aplicaciones industriales con sistemas termoeléctricos son muy recientes, su uso empezó unos 10 años atrás. Una de las mayores aplicaciones ha sido la refrigeración de cuadros eléctricos, los hornos bacteriológicos, los chalecos refrigerados para los soldados, las incubadoras para aves, estando aún en estudio el aire acondicionado

para automóviles.

En Francia, el aire acondicionado de los trenes funciona con este sistema, así también el submarino Dolphin en E.U.A., las máquinas de triturar carne, los expositores de chocolates y quesos, en fin, un sinnúmero de aplicaciones se llevan a cabo en otros países y es muy posible que en un futuro no muy lejano, las industrias Mexicanas también tengan su lugar en este mercado.

4.2.5.- Las ventajas de la refrigeración termoeléctrica

El uso de dispositivos termoeléctricos da solución, y a menudo la única solución posible, a difíciles problemas para hacer desaparecer cantidades pequeñas o moderadas de calor. Los motivos que hacen recomendable la refrigeración termoeléctrica son:

Refrigeración « verde »

Hablamos de refrigeración sin presencia de CFC u otros productos que son nocivos para el medioambiente.

Tamaño y peso reducidos

Si comparamos los sistemas termoeléctricos con otros métodos mecánicos vemos que tienen ventajas en estos aspectos y además sus componentes pueden adaptarse a las necesidades geométricas del cuerpo a refrigerar.

Posibilidad de refrigerar por debajo de la temperatura ambiente

Los sistemas implementados sólo con radiadores, pueden como mucho, aproximar la temperatura del cuerpo refrigerado a la del ambiente y siempre por encima de ella.

Posibilidad de refrigerar o calentar con el mismo dispositivo

Con sólo cambiar la polaridad del dispositivo conseguimos que la cara de la célula que generaba calor pase a generar frío.

Control preciso de temperatura

Utilizando el óptimo lazo cerrado de control podemos obtener un control de la temperatura del orden de décima de grado centígrado.

Refrigeración puntual

Con una célula se puede refrigerar un componente o área concreta sin necesidad de refrigerar el resto del espacio.

Alta fiabilidad

Debido a su constitución en estado sólido, la fiabilidad de estos dispositivos, aunque depende del sistema, llega a las 200.000 horas de funcionamiento.

Funcionamiento silencioso

No sólo acústicamente, sino que también electromagnéticamente. Los TEC no generan interferencias y pueden actuar junto a componentes sensibles a estas emisiones.

4.2.6.- Problemas en sistemas termoeléctricos

En este apartado se quiere explicar los posibles problemas que se pueden tener al utilizar células Peltier para refrigerar.

Bajo rendimiento y poco frío

Si comparamos las células Peltier con los compresores (que veremos en el capítulo 5 de esta memoria) sí que producen menos frío y su rendimiento es menor. En realidad no es fallo de las células; éstas sí son capaces de producir mucho frío, pero los fabricantes de sistemas termoeléctricos están utilizando aislantes inadecuados. Esto está ocurriendo por dos factores: muchos de los empresarios desconocen la necesidad de tener que aislar perfectamente el sistema y además, los mejores aislantes que encontramos en el mercado son muy caros. Al no utilizar los aislantes necesarios, los sistemas que utilizan células Peltier tienen pérdidas, lo que ocasiona que la potencia refrigeradora disminuya y produce una falta de confianza en los consumidores y empresarios a la hora de utilizarlos en vez de los compresores. Se supone que a medida que se vaya aumentando su uso, los precios del mercado tendrán que ser más competitivos y se podrá comprar los aislantes necesarios a precios razonables.

Condensación

Uno de los problemas relacionados con las células Peltier es la condensación del aire. El hecho de que haya condensación en un sistema termoeléctrico (esté refrescado por ventiladores o no), depende de tres factores: la temperatura ambiente, la humedad del aire y la temperatura interior del objeto refrescado. Cuanto más caliente y más húmedo sea el aire de dentro del sistema a refrigerar, más probable es que ocurra la condensación.

En la siguiente tabla se expresa la temperatura máxima a la que podría estar el interior del objeto refrescado en función de la temperatura ambiente y la humedad relativa, para que no haya condensación.

Temp	Humedad Relativa													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	
30C°	12.3	12.9	14.9	16.8	18.4	20	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	
29C°	9.7	12	14	15.9	17.5	19	20.4	21.7	23	24.1	25.2	26.2	27.2	
28C°	8.8	11.1	13.1	15	16.6	18.1	19.5	20.8	22	23.2	24.2	25.2	26.2	
27C°	8	10.2	12.2	14.1	15.7	17.2	18.6	19.9	21.1	22.2	23.3	24.3	25.2	
26C°	7.1	9.4	11.4	13.2	14.8	16.3	17.6	18.9	20.1	21.2	22.3	23.2	24.2	
25C°	6.2	8.5	10.5	12.2	13.9	15.3	16.7	18	19.1	20.3	21.3	22.3	23.2	
24C°	5.4	7.6	9.6	11.3	12.9	14.4	15.8	17	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3	
23C°	4.5	6.7	8.7	10.4	12	13.5	14.9	16.1	17.2	18.3	19.4	20.3	21.3	
22C°	3.6	5.8	7.8	9.5	11.1	12.5	13.9	15.1	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3	
21C°	2.8	5.0	6.9	8.6	10.2	11.6	12.9	14.2	15.3	16.4	17.4	18.4	19.3	
20C°	1.9	4.1	6.0	7.7	9.3	10.7	12.0	13.2	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3	
19C°	1.0	3.2	5.1	6.8	8.3	9.8	11.1	12.3	13.4	14.5	15.5	16.4	17.3	
18C°	0.2	2.3	4.2	5.9	7.4	8.9	10.1	11.3	12.5	13.5	14.5	15.4	16.3	
17C°	-0.6	1.4	3.3	5.0	6.5	7.9	9.2	10.4	11.5	12.5	13.5	14.5	15.3	
16C°	-1.4	0.5	2.4	4.1	5.6	7.0	8.2	9.4	10.5	11.6	12.6	13.5	14.4	
15C°	-2.2	-0.3	1.5	3.2	4.7	6.1	7.3	8.5	9.6	10.6	11.6	12.5	13.4	
14C°	-2.9	-1.0	0.8	2.3	3.7	5.1	6.4	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.4	
13C°	-3.7	-1.8	-0.1	1.3	2.8	4.2	5.5	6.6	7.7	8.7	9.6	10.5	11.4	
12C°	-4.5	-2.6	-1.0	0.4	1.9	3.2	4.5	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.4	
11C°	-5.2	-3.4	-1.8	-0.4	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	6.7	7.7	8.6	9.4	
10C°	-6.0	-4.2	-2.6	-1.2	0.1	1.4	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	

Fig. 4.11: Temperatura máxima sin condensación

Problemas de rizado

La alimentación utilizada para el control de la célula tiene que ser estable, su rizado no puede sobrepasar el 5%. Si sobrepasa este valor el rendimiento de la célula disminuye y con ello la potencia refrigeradora.

Capítulo V

Diseño del sistema de refrigeración

5.1.- Fundamentos de la Teoría Termoeléctrica

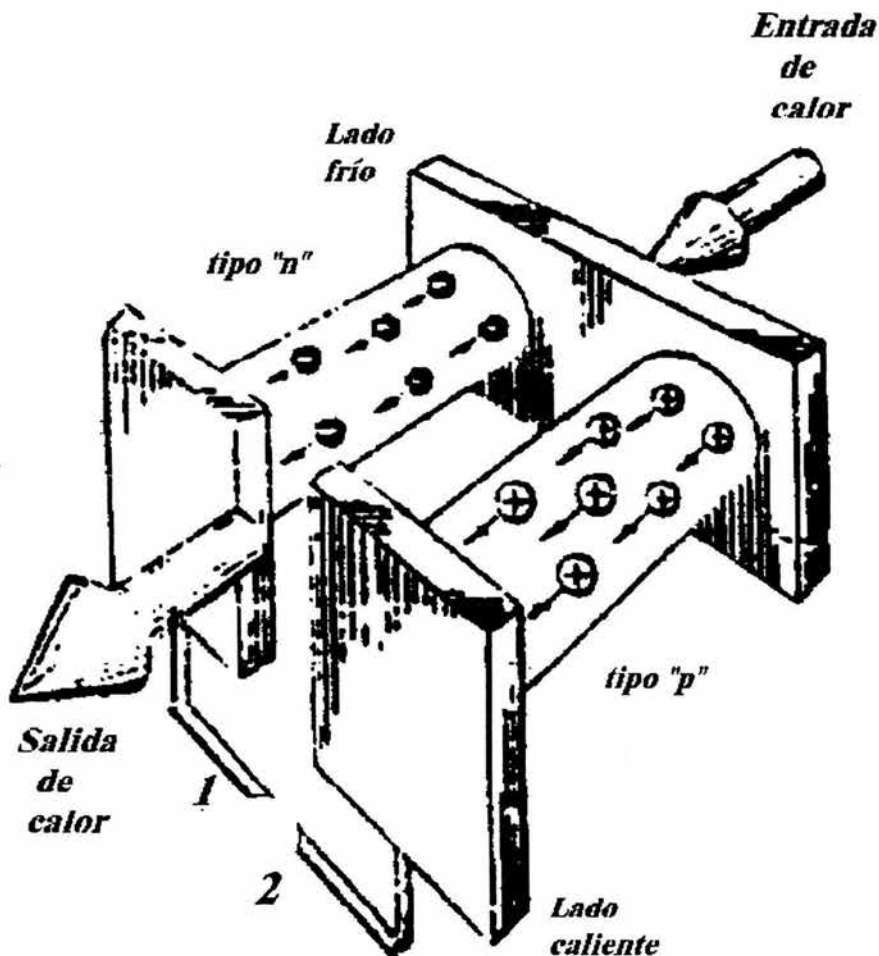


Fig. 5,1: Representación de un elemento termoeléctrico

se hace, de forma muy simplificada, un breve resumen de la teoría de los dispositivos termoeléctricos, comenzando por la expresión de los coeficientes termoeléctricos.

La diferencia de potencial V entre los bornes 1 y 2 de un convertidor termoeléctrico, tal como se indica en la figura 5.1, puede escribirse a partir de la definición de un potencial en función de la fuerza que representa:

$$F = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad (5.1)$$

Definimos V como:

$$V = \int^2 E dx \quad (5.2)$$

que en general, teniendo en cuenta el efecto termoeléctrico sobre el campo eléctrico $E = qV$, puede ponerse como:

$$V = \frac{1}{q} \int^2 \frac{\partial \phi}{\partial x} dx - \int_1^2 J(\rho_1 + \rho_2) dx + \frac{1}{q} \int_{T_f}^{T_c} (S_c - S_f) dT \quad (5.3)$$

Al estar los bornes 1 y 2 a la misma temperatura, las dos primeras integrales se anulan:

$$V = \frac{1}{q} \int_{T_f}^{T_c} (S_c - S_f) dT \quad (5.4)$$

definiendo el coeficiente Seebeck como:

$$\alpha = \frac{S}{q} \quad (5.5)$$

El calor absorbido por unidad de volumen ($A dx$) por el circuito cuando pasa por él una corriente eléctrica de densidad J es:

$$w = (TS + \phi)J - k\Delta T \quad (5.6)$$

Y viene dado por:

$$Q = \frac{dw}{dx} \quad (5.7)$$

Derivando la ecuación (5.6) se puede escribir como:

$$Q = -T \frac{J}{q} \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{J^2}{\sigma} - \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (5.8)$$

El primer término engloba el calentamiento por los efectos Peltier y Thomson; el efecto Peltier sólo se da de una forma apreciable entre los puntos de contacto entre conductores y su coeficiente relaciona el calor absorbido con la intensidad de la corriente I de densidad J . El segundo término corresponde al calor generado por efecto Joule y el tercero representa la conducción térmica.

El coeficiente Peltier se puede definir como la razón entre el flujo de calor y la intensidad eléctrica:

$$\pi = \frac{Q_p}{I} \quad (5.9)$$

Integrando en una soldadura el primer término de la ecuación (5.8) (porque el efecto Peltier sólo se da de una forma apreciable entre los puntos de contacto entre conductores), tenemos:

$$Q_p = -T \frac{J_p}{q} (S_c - S_f) \quad (5.10)$$

y si sustituimos la ecuación (5.10) en la (5.9), sabiendo que en una soldadura, la densidad de corriente J_p coincide con la intensidad de corriente I :

$$\pi_{cf} = \frac{T}{q} (S_c - S_f) \quad (5.11)$$

Por otro lado, el efecto Thomson refleja el hecho de que a un gradiente de temperatura aplicado a lo largo de un material por donde pasa una corriente I , le corresponde una absorción o una emisión de calor. Así, se define el coeficiente Thomson como:

$$\tau = \frac{\frac{dQ}{dx}}{I \frac{\partial T}{\partial x}} \quad (5.12)$$

Si diferenciamos el primer término de la ecuación (5.6), porque hemos dicho que éste engloba el calentamiento por los efectos Peltier (ya estudiado) y Thomson, obtenemos:

$$\frac{dQ}{dx} = -I \frac{\partial T}{\partial x} \left(\frac{T}{q} \frac{\partial S}{\partial T} \right) \quad (5.12)$$

y si añadimos la anterior expresión a la ecuación (5.10), se llega a:

$$\tau = -\frac{T}{q} \frac{\partial S}{\partial T} \quad (5.13)$$

Usando estas definiciones hallaremos a continuación las Relaciones de Kelvin.

Aplicando el primer principio de la termodinámica a un fenómeno termoeléctrico:

$$dU = dQ - dW = 0 \quad (5.14)$$

El calor, producido por los efectos Peltier y Thomson es:

$$dQ = \Delta\pi + \int_{T_j}^{T_c} \Delta\tau dT \quad (5.15)$$

y el trabajo, producido por el efecto Seebeck:

$$dW = dq \int \Delta \alpha dT \quad (5.16)$$

Aplicando también el segundo principio de la termodinámica de procesos reversibles, que expresa que la variación de la Entropía es nula ($dS = 0$), obtenemos las Relaciones de Kelvin:

$$\alpha_{cf} = \frac{\pi_{cf}}{T} \quad (5.17)$$

y

$$T \frac{\partial \alpha_{cf}}{\partial T} = \tau_f - \tau_c \quad (5.18)$$

Estas relaciones, así como las características termoeléctricas de cada par de materiales utilizados en los generadores termoeléctricos por efecto Seebeck y en los refrigeradores por efecto Peltier, se utilizan para optimizar el diseño. Cada material de la unión que forma el termopar tiene su propio coeficiente Thomson, Seebeck y Peltier (que acabamos de ver que están relacionados mediante la Primera Relación de Kelvin).

5.2.- Los pares termoeléctricos

En este apartado se hace una presentación de los métodos de cálculo de parámetros y características termoeléctricas en las células Peltier. Para ello se empieza por el estudio de los procesos que ocurren en un par termoeléctrico (sabiendo que un dispositivo termoeléctrico está integrado por un gran número de pares termoeléctricos) y después se aplican a una célula termoeléctrica. En el capítulo 4 se habla de las características, propiedades, procesos de fabricación, aplicaciones, etcétera, de los dispositivos termoeléctricos.

5.3.- Determinación de las fórmulas de cálculo en los pares termoeléctricos

En este apartado se desarrolla el cálculo de la potencia calorífica en pares termoeléctricos utilizando propiedades de transporte promediadas. Se va a suponer que en el funcionamiento de las células termoeléctricas sólo hay flujo de calor en la dirección de las x , o sea sólo hay flujo de calor a través de los pares termoeléctricos. Además, todo el flujo de calor pasa por las placas metálicas entre las que están los pares termoeléctricos. Se va a considerar uno de estos pares termoeléctricos para encontrar una fórmula que dé tanto el calor extraído del foco frío por una célula termoeléctrica, como el calor suministrado al foco caliente.

Un par termoeléctrico está formado por dos semiconductores de distinta naturaleza, dispuestos según se ve en la figura 5.5, sometido a los cuatro efectos anteriormente expuestos.

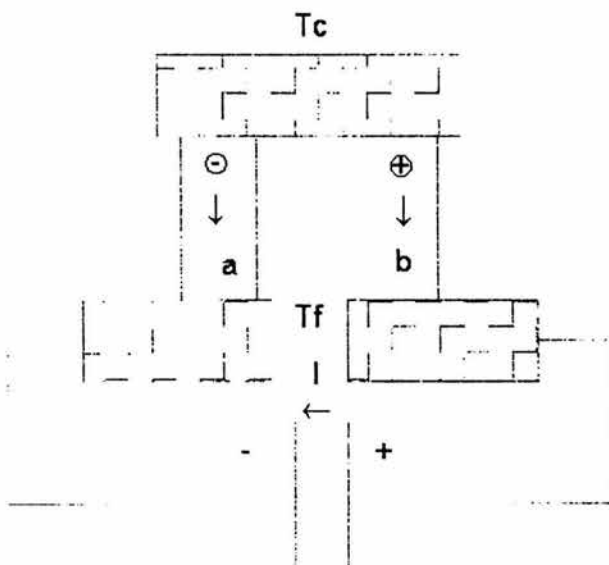


Fig. 5.2: Par termoeléctrico

Una placa termoeléctrica normalmente está compuesta por un número elevado e impar de pares termoeléctricos que forman uniones entre los semiconductores de tipo n y p, tales como el telururo de bismuto y seleniuro de antimonio.

Según se puede apreciar en la figura 5.2, la corriente eléctrica se desplaza del semiconductor de tipo n al semiconductor de tipo p. Las propiedades en ambos semiconductores son muy distintas, por lo que haciendo uso de estas diferencias podemos deducir la ecuación del flujo de calor a lo largo de una barra. Si consideramos una barra a través de la cual circula corriente eléctrica con los extremos a diferentes temperaturas, en estado estacionario la ecuación diferencial para el flujo de calor por unidad de volumen se expresa como:

$$TJ \frac{d\alpha}{dx} + zJ \frac{dT}{dx} - RJ^2 - \frac{d}{dx} \left(K \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad (5.19)$$

Para evitar una mayor complejidad, para resolver esta ecuación se utilizan propiedades medias del material a lo largo de toda la barra. Así pues, para la barra de semiconductor de tipo n del par termoeléctrico y con propiedades medias para toda la barra, la ecuación (5.19) se expresa de la siguiente forma:

$$TJ \frac{d\alpha}{dx} + K_n \frac{d^2T}{dx^2} - \tau_n J \frac{dT}{dx} + R_n J^2 = 0 \quad (5.20)$$

donde:

K_n , R_n y τ_n son propiedades medias para toda la barra de semiconductor de tipo n (también se expresan con la letra y una línea encima)

Para la barra de semiconductor de tipo p se aplica la misma ecuación pero con la corriente eléctrica en dirección contraria. Se obtiene así, la ecuación del flujo de calor en la unión de dos semiconductores distintos.

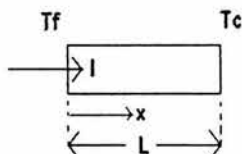


Fig. 5.3: Convenio para los signos

A partir de la ecuación general se tiene que la potencia calorífica que un par termoeléctrico extrae del lado frío es:

$$Q_f = \alpha T_f I + \frac{1}{2} \bar{\tau} I \Delta T - \frac{1}{2} I^2 \bar{R} - \bar{k} \Delta T \quad (5.21)$$

También, a partir de la ecuación general se tiene que la potencia calorífica que un par termoeléctrico bombea al lado caliente es:

$$Q_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2} \bar{\tau} I \Delta T + \frac{1}{2} I^2 \bar{R} - \bar{k} \Delta T \quad (5.22)$$

donde:

$$\Delta T = T_c - T_f$$

T_c y T_f son respectivamente las temperaturas en la cara fría y en la caliente
 a es la constante de Seebeck

\bar{R} es la resistencia del par termoeléctrico que está en un intervalo de temperaturas entre T_c y T_f

\bar{k} es la conductancia del par termoeléctrico que está en un intervalo de temperaturas entre T_c y T_f

$\bar{\tau}$ es el coeficiente de Thomson medio del par termoeléctrico que está en un intervalo de temperaturas entre T_c y T_f

La ecuación (5.20) se puede expresar de la siguiente forma:

$$Q_f = Q_{pf} + \frac{1}{2}Q_i - \frac{1}{2}Q_j - Q_{cond} \quad (5.23)$$

y la ecuación (5.21) se puede expresar como:

$$Q_c = Q_{pc} - \frac{1}{2}Q_i + \frac{1}{2}Q_j - Q_{cond} \quad (5.24)$$

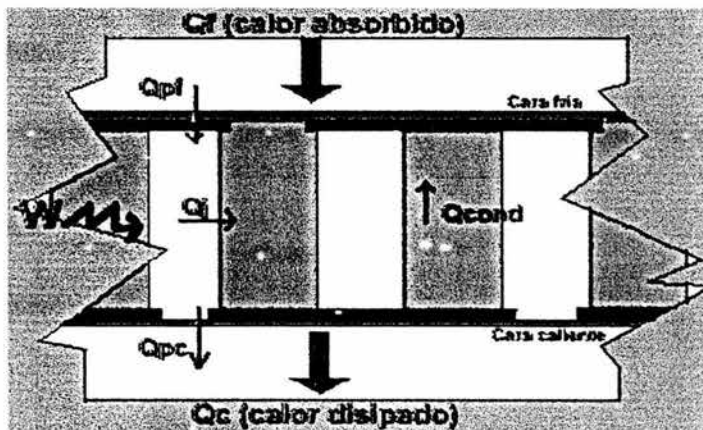


Fig. 5.4: Representación gráfica de las ecuaciones (5.23) y (5.24)

(W representa la energía eléctrica absorbida)

A continuación se explican los signos de los sumandos de las ecuaciones (5.23) y (5.24) teniendo en cuenta el convenio que aparece en la anterior figura.

- Término debido al efecto Peltier Q_p

En el lado caliente supone un aumento de temperatura y en el lado frío un enfriamiento; por esto el signo positivo en cada una de las fórmulas anteriores.

- Término debido al efecto Thomson Q_t

Este término considera el efecto neto de las ramas n y p de los semiconductores que forman el par. El gradiente térmico es positivo hacia el foco caliente, mientras que la intensidad tiene signos distintos en cada semiconductor. El efecto Thomson neto para los materiales típicos de las células termoeléctricas es de producir un enfriamiento interno neto, Q_t considerando todo el volumen del par, como suma de las ramas p y n. Se hace la hipótesis de que esta potencia calorífica absorbida o enfriamiento es absorbido por el par termoeléctrico en las mismas cantidades desde el foco caliente y el frío. Este enfriamiento tiene signo positivo cuando se calcula Q_t ya que contribuye al enfriamiento del lado frío y tiene signo negativo cuando se calcula Q_c ya que disminuye la emisión térmica al lado caliente. Aun así, en los cálculos se prescinde muchas veces de este término, dado que su valor es muy inferior.

- Término debido al efecto Joule Q_j

Se hace la hipótesis de que el calor generado por efecto Joule en el par termoeléctrico es evacuado simétricamente por ambos lados, al igual que en el estudio del efecto Thomson, es decir, por el foco caliente y por el foco frío. Esto no es estrictamente cierto, pero puede considerarse una buena aproximación.

- Término debido a la conducción térmica Q_{cond}

En cuanto a la potencia calorífica por conducción térmica siempre va del foco caliente al foco frío produciendo un transporte neto en contra del efecto Peltier.

5.4.- Propiedades termoeléctricas función de la temperatura

las propiedades termoeléctricas son función de la temperatura. Con métodos experimentales se pueden hallar estos valores variantes con la temperatura, y después calcular los siguientes polinomios:

$$\alpha_m = \alpha_1 + \alpha_2 T + \alpha_3 T^2 + \alpha_4 T^3 + \alpha_5 T^4 \quad (5.25)$$

$$R_m = r_1 + r_2 T + r_3 T^2 + r_4 T^3 + r_5 T^4 \quad (5.26)$$

$$k_m = k_1 + k_2 T + k_3 T^2 + k_4 T^3 + k_5 T^4 \quad (5.27)$$

Por ejemplo, para una placa de 71 parejas de pares y que funcione a 6A, experimentalmente se obtiene:

$a_1=1,33450 \cdot 10^{-2}$	$r_1=2,08317$	$k_1=4,76218 \cdot 10^{-1}$
$a_2=-5,37574 \cdot 10^{-5}$	$r_2=-1,98763 \cdot 10^{-2}$	$k_2=-3,89821 \cdot 10^{-6}$
$a_3=7,42731 \cdot 10^{-7}$	$r_3=8,53832 \cdot 10^{-5}$	$k_3=-8,64864 \cdot 10^{-6}$
$a_4=-1,27141 \cdot 10^{-9}$	$r_4=-9,03143 \cdot 10^{-8}$	$k_4=2,20868 \cdot 10^{-8}$

Fig. 5.9: Tabla con valores experimentales de las constantes que aparecen en las ecuaciones (5.25, 5.26 y 5.27)

5.4.1.- Determinación de las fórmulas de cálculo en las células termoeléctricas

Como ya se ha dicho, una célula termoeléctrica está formada por varios pares termoeléctricos conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. Si la célula está formada por n pares termoeléctricos, la potencia calorífica extraída del foco frío por toda la célula se calcula a partir de la ecuación:

$$(Q_f)_{cel} = n(\alpha T_f I + \frac{1}{2} \bar{\tau} I \Delta T - \frac{1}{2} I^2 \bar{R} - \bar{k} \Delta T) \quad (5.28)$$

donde:

n es el número de pares termoeléctricos conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo.

La ecuación (5.28) se puede transformar en:

$$(Q_f)_{cel} = \alpha_f T_f I + \frac{1}{2} \tau_m I \Delta T - \frac{1}{2} I^2 R_m - k_m \Delta T \quad (5.29)$$

donde:

$\alpha_f = n\alpha$ es la constante de Seebeck a la temperatura T_f

$\tau_m = n\tau$ es la constante de Thomson media para el conjunto de la célula en el intervalo de temperaturas entre T_f y T_c

$R_m = nR$ es la resistencia eléctrica media para el conjunto de la célula en el intervalo entre T_f y T_c

$k_m = nk$ es la conductancia térmica media para el conjunto de la célula en el intervalo entre T_f y T_c

De forma parecida, la potencia calorífica suministrada al foco caliente por toda la célula se calcula a partir de la ecuación:

$$(Q_c)_{cel} = n(\alpha T_c I - \frac{1}{2} \bar{\tau} I \Delta T + \frac{1}{2} I^2 \bar{R} - \bar{k} \Delta T) \quad (5.30)$$

y se puede transformar a:

$$(Q_c)_{cel} = \alpha_c T_c I - \frac{1}{2} \tau_m I \Delta T + \frac{1}{2} I^2 R_m - k_m \Delta T \quad (5.31)$$

donde:

$\alpha_c = n \alpha$ es la constante de Seebeck a la temperatura T_c .

Para terminar este apartado, puntualizar dos ideas que deben quedar muy claras:

- Dependencia con la intensidad: la cara fría del TEC absorbe calor del exterior y lo bombea hacia la cara caliente quien lo disipa. Este efecto de bombeo de calor (efecto Peltier) depende proporcionalmente de la intensidad eléctrica, mientras que el efecto perjudicial a nuestros intereses si queremos es refrigerar (efecto Joule), depende del cuadrado de la corriente. Ello implica que el calentamiento general del TEC crecerá mucho más rápido que el enfriamiento parcial, y por tanto habrá un momento a partir del cual la cara fría del TEC se calentará, desapareciendo el buscado efecto de bomba de calor. No obstante, antes de que desaparezca este efecto, ya se habrá observado una fuerte reducción del rendimiento

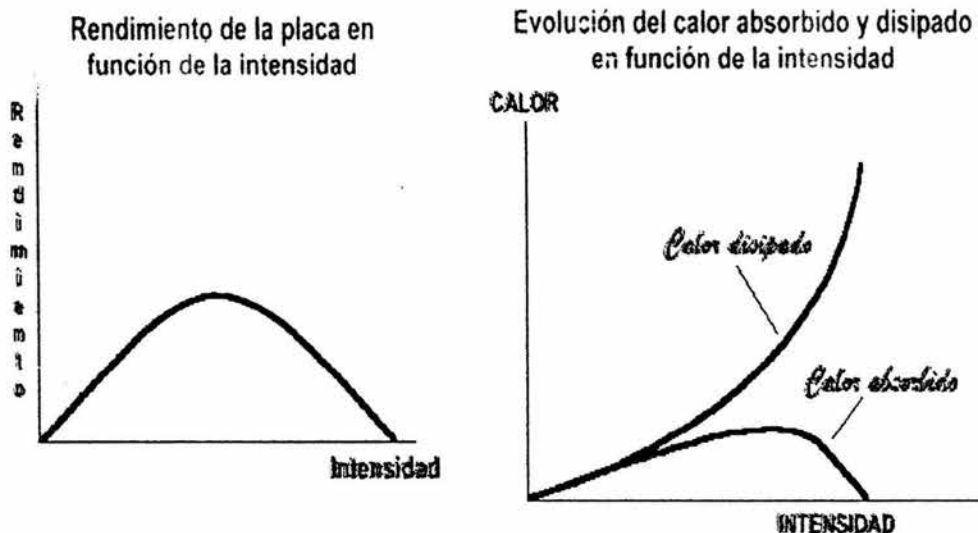


Fig. 5.5: Dependencia con la intensidad

- Dependencia con la temperatura: el efecto Peltier depende poco de la diferencia de temperatura entre caras, mientras que el retorno de calor por conducción depende proporcionalmente de esta diferencia. Por lo tanto, existirá un valor de temperatura en el que todo el calor bombeado regresará al punto de partida y las caras del TEC no se enfriarán ni calentarán más. Esta diferencia de temperaturas se sitúa alrededor de los 50°C en placas de un solo nivel. Cuanto más nos acerquemos a estos valores, menor será el rendimiento del TEC.

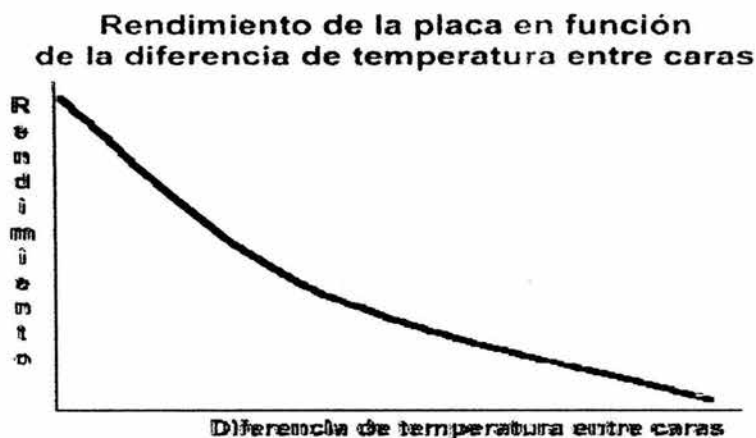


Fig. 5.6: Dependencia con la temperatura

5.4.2.- Analogía de las células Peltier con parámetros eléctricos

Se estudia la analogía entre las variables térmicas y eléctricas como base para la propuesta de un modelo eléctrico de las células Peltier que contenga tanto los efectos eléctricos como los térmicos. Todo ello está orientado a conseguir modelos ajustados que permitan afinar el proceso de diseño de circuitos de control mediante el uso de programas de simulación de circuitos tales como PSPICE.

En un circuito térmico trabajamos fundamentalmente con el flujo de energía (calor) y con las diferencias de temperatura. El flujo de energía se expresa en vatios (W) y la temperatura en grados kelvin (K). Tradicionalmente, se considera que estas variables son análogas al flujo de corriente dado en amperios (A) y la diferencia de potencial expresada en voltios (V) de los circuitos eléctricos. Teniendo en cuenta esta analogía obtendremos el equivalente eléctrico de cada fenómeno de conducción de calor. Nos interesan en particular el fenómeno de conducción térmica y la inercia térmica.

a tabla que viene a continuación contiene un resumen de analogías entre variables térmicas y eléctricas que más adelante detallaremos individualmente.

Variable térmica	Analogía eléctrica
Flujo de calor: $P(t)=dW/dt$	Flujo de carga: $I(t)=dq/dt$
Diferencia de temperatura	Diferencia de potencial DV
DT Pérdidas térmicas Inercia	Resistencia eléctrica
térmica	Capacidad eléctrica

Fig. 5.12: Analogía entre las variables térmicas y eléctricas

5.4.3.- Fuentes de calor

Las fuentes de calor proporcionan un flujo de energía $P(t)$. Se considera que la fuente es independiente si el flujo no depende de la diferencia de temperatura entre sus extremos, en caso contrario diremos que la fuente es dependiente. El equivalente eléctrico es una fuente de corriente de valor $P(t)$. En la siguiente figura se muestran los símbolos con los que se representan.

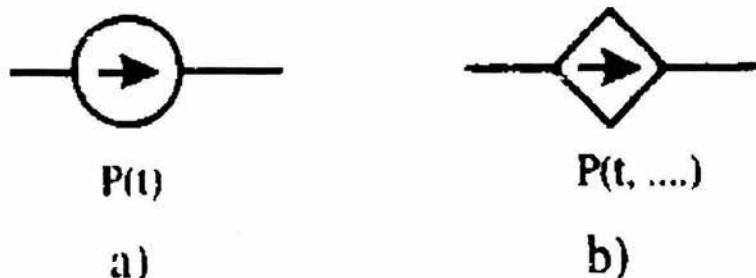


Fig. 5.7: Fuentes de calor: a) independiente y b) dependiente

5.4.4.- Fuentes de temperatura

Las fuentes de temperatura proporcionan una diferencia de temperatura $\Delta T(t)$ entre sus terminales. Se considera que la fuente es independiente si la temperatura no depende del flujo de calor a través de ella, en caso contrario la fuente es dependiente. El equivalente eléctrico es una fuente de tensión de valor $\Delta T(t)$. En la siguiente figura se muestran los símbolos con los que se representan.

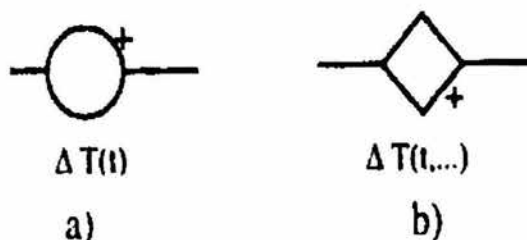


Fig. 5.8: Fuentes de temperatura: a) independiente y b) dependiente

5.4.5.- Conductividad térmica

La conductividad térmica se puede modelar con una resistencia eléctrica según vemos en la siguiente figura.

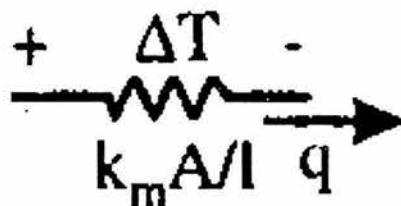


Fig. 5.9: Analogía eléctrica de la conductividad térmica

La diferencia de potencial en la resistencia es DT , la cantidad de corriente es Q_{COND} y el valor de la resistencia es $K.A/L$.

5.4.6.- inercia térmica

La inercia térmica o capacidad calorífica es útil durante la evaluación del tiempo de calentamiento o refrigeración de un componente. Dada la capacidad calorífica c de un material homogéneo, la variación de la energía calorífica acumulada en el material en función del tiempo se puede expresar según:

$$q(t) = \frac{dE}{dt} = mc \frac{d\Delta T}{dt} \quad (5.32)$$

donde:

m es la masa del material (kg)

E es la energía acumulada en el material (KJ)

Este comportamiento se puede modelar por un condensador de capacidad mc por el que circula una corriente dq/dt y que tiene entre sus terminales una tensión DT .

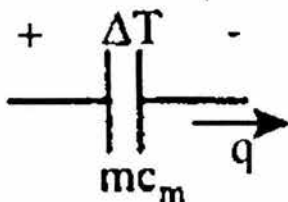


Fig. 5.10: Analogía eléctrica de la inercia térmica

MODELO ELÉCTRICO DE UNA CÉLULA PELTIER

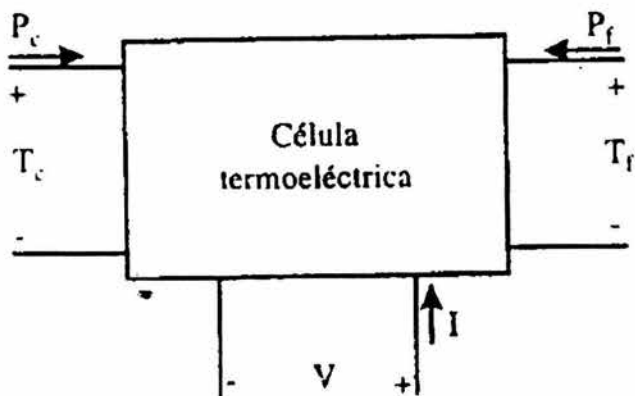


Fig. 5.11: Esquema de los puertos del modelo de una célula Peltier

Una placa se puede modelar por un tri - puerto donde dos de los puertos son térmicos y el tercero es eléctrico. Cada puerto eléctrico se caracteriza por una diferencia de temperatura y un flujo de calor.

La interacción entre la parte térmica y la eléctrica se modela mediante fuentes de corriente, o tensión, controladas por las variables en cuestión.

5.4.7.- Puertos térmicos

El modelo eléctrico de una célula Peltier se deduce a partir de lo anterior sin tener en cuenta el efecto Thomson. Dos representaciones posibles se muestran en la siguiente figura.

En la primera se ha tenido en cuenta las contribuciones de cada cara por separado.

En la segunda, se utilizan dos fuentes de corrientes que modelan el calor extraído de la cara fría y la potencia eléctrica suministrada al elemento Peltier que se traduce en calor.

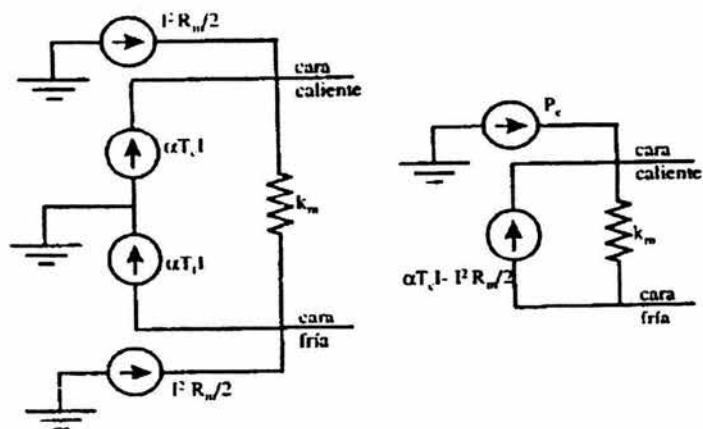


Fig. 5.12: Modelo térmico de una célula Peltier

Las masas de cada una de las caras del elemento refrigerador se modelan mediante dos condensadores, que se ve en la siguiente figura. En la cara caliente tenemos el condensador C_c y en la cara fría el condensador C_f . Estos elementos capacitivos tendrán un valor muy pequeño, del orden de 2 J/K en relación a la capacidad asociada a la masa de aluminio, del orden de 300 J/K.

5.4.8.- Puerto eléctrico

Desde el puerto eléctrico se han de tener en cuenta dos influencias; el efecto Joule y el efecto Seebeck (fuerza contra - electromotriz generada por la diferencia de temperaturas).

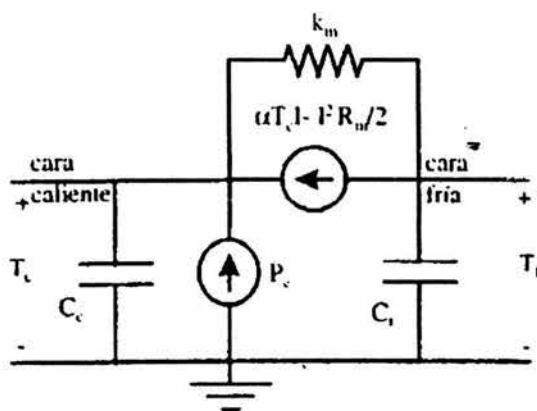


Fig. 5.13: Efecto de las masas de las caras en el modelo térmico

En concreto, la potencia eléctrica disipada por el elemento Peltier nos lleva a modelar el elemento como una resistencia en serie con una fuente de tensión controlada por la diferencia de temperaturas entre la cara caliente y la cara fría.

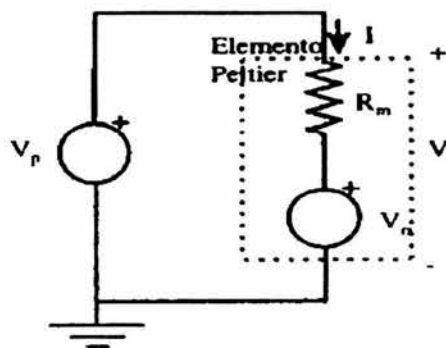


Fig. 5.14: Circuito equivalente visto desde el puerto eléctrico (zona punteada)

Circuito eléctrico equivalente

El modelo global de la célula Peltier debería incluir los tres puertos comentados anteriormente.

En la siguiente figura se presenta el modelo final que proponemos. El símbolo de las fuentes de corriente y tensión se ha cambiado de forma, de circular a romboidal, para denotar que se tratan de fuentes dependientes controladas por otras magnitudes presentes en el circuito.

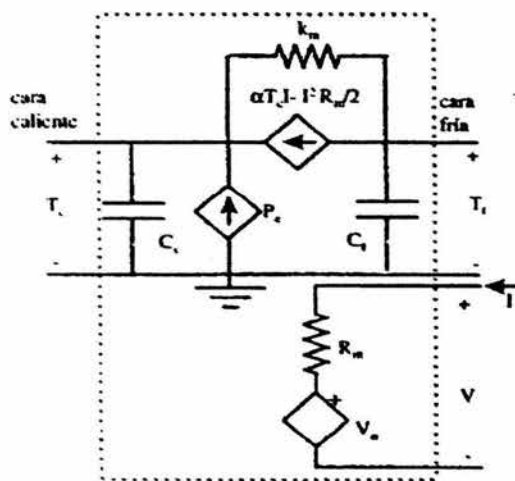


Fig. 5.15: Modelo eléctrico de una célula Peltier

5.5.- Cálculo de la potencia que se debe aplicar a las células termoeléctricas

Para producir un flujo de calor de un cuerpo frío a un cuerpo caliente se necesita aplicar potencia a la bomba de calor, en este caso a la célula termoeléctrica. Esta potencia aplicada a la célula termoeléctrica viene determinada por la temperatura de la célula, la corriente que pasa a través de ella y el gradiente térmico.

Así pues, la potencia aplicada a la célula termoeléctrica se puede calcular basándose en la energía suministrada a ésta:

$$P = VI \quad 5.33$$

O bien, aplicando del principio de conservación de la energía (Primera Ley de la Termodinámica):

$$P = (Q_c)_{cel} - (Q_f)_{cel} = \alpha_c T_c I - \alpha_f T_f I - \tau_m I \Delta T + I^2 R_m \quad 5.34$$

En otras palabras, la energía disipada en la cara caliente es la suma de la energía absorbida en la cara fría más la energía eléctrica consumida.

5.3.6.- COP de una célula termoeléctrica

Para que el sistema termoeléctrico funcione a máximo rendimiento (COEFICIENT OF PERFORMANCE - COP), es necesario minimizar el cociente entre el calor neto transportado y la potencia eléctrica necesaria para producir este flujo de calor. Así que para calcular el punto de rendimiento máximo, sólo hay que encontrar el punto máximo del COP respecto a la intensidad mediante la derivación del COP e igualación a cero. El valor del COP se define como:

$$COP = \frac{Q_f}{P} \quad 5.35$$

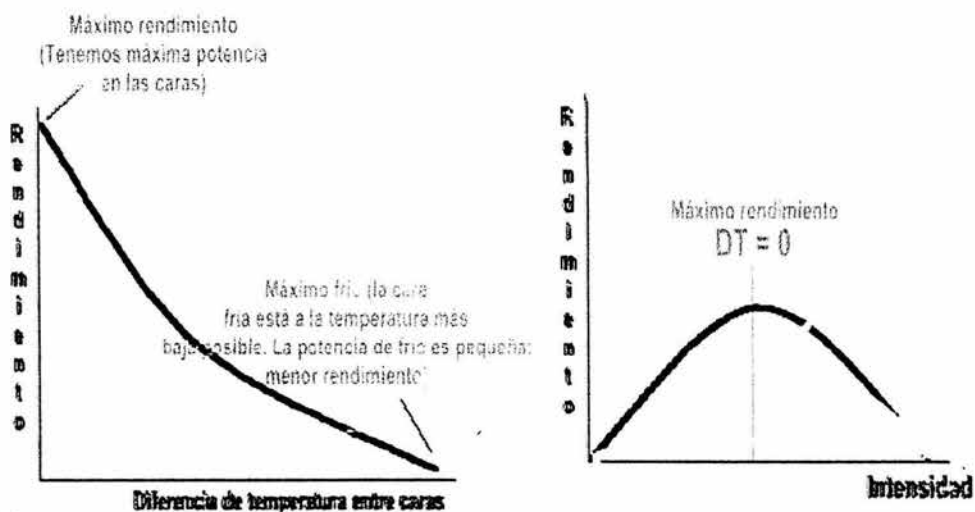
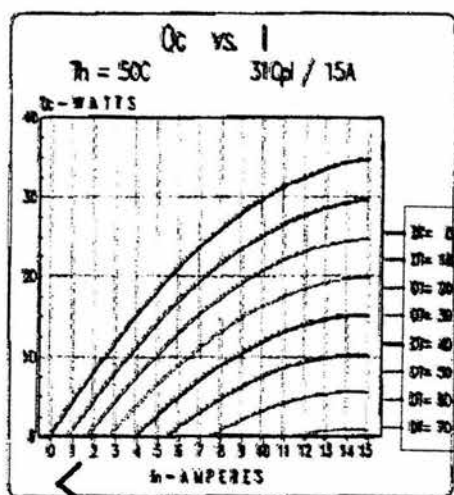


Fig. 5.16: Máximo rendimiento vs. máximo enfriamiento

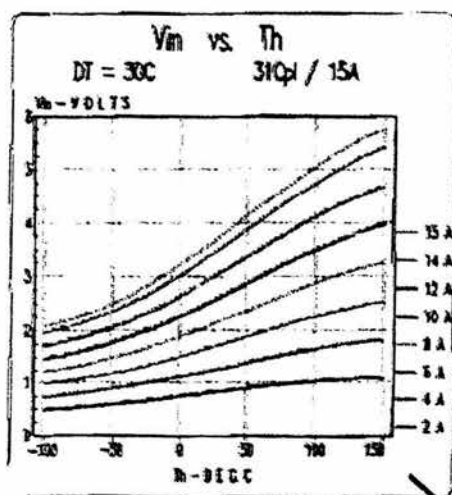
Estos cálculos son de suma importancia para el correcto funcionamiento del sistema termoeléctrico, ya que se puede diseñar para que trabaje a máximo COP (máximo rendimiento o potencia) o a máxima refrigeración (máximo frío), teniéndose que realizar un ajuste de las intensidades para conseguir que se trabaje en un estado u otro.

La forma más cómoda de obtener estos datos es empíricamente, ya que por mucho que se consulten gráficos teóricos del funcionamiento de la placa en cuestión, existen muchos otros factores que deben conocerse y tenerse en cuenta. El más importante de ellos es el conocimiento del disipador que se utilice en la cara caliente de la placa; según su eficacia, el salto de temperatura entre caras será mayor o menor. Estos conceptos se irán aclarando en los tres próximos capítulos.



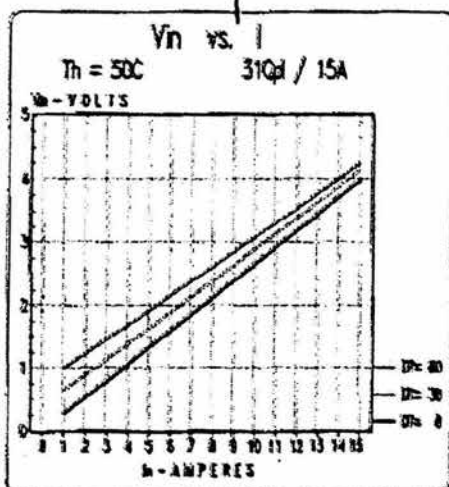
Potencia generada en la cara fría vs. intensidad para distintos DT

La mayoría de los fabricantes adjuntan estos gráficos en sus catálogos. Vemos que en cada uno de ellos hay los resultados para diferentes valores de DT (diferencia de temperatura entre caras). Estos datos son necesarios porque los sistemas termoeléctricos están condicionados por muchos factores: el más importante de ellos, el disipador.



Tensión vs. temperatura en la cara caliente para distintos DT

Tensión vs. corriente para distintos DT



COP vs. corriente para distintos DT

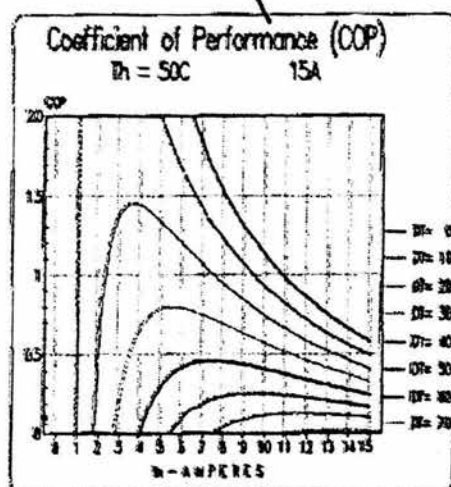


Fig. 5.17: Características de las placas para varios valores de DT

(la mayoría de los fabricantes adjuntan estos gráficos en sus catálogos)

5.6.- Figura de mérito de una célula termoeléctrica

Se define como el cociente entre el coeficiente de Seebeck, la resistencia eléctrica y el coeficiente de conductividad térmica. Da una idea de la calidad de cada ETE (o placa termoeléctrica), ya que cuando mayor sea el valor de Seebeck, mayor calor bombeará y por lo tanto mayor será la figura de mérito. En cambio, a valores mayores de la conductividad térmica o de la resistencia eléctrica, a la práctica se obtienen menores resultados que se ven indicados en valores menores de la figura de mérito (Z):

$$Z = \frac{\alpha^2}{R_m K_m} \quad (5.36)$$

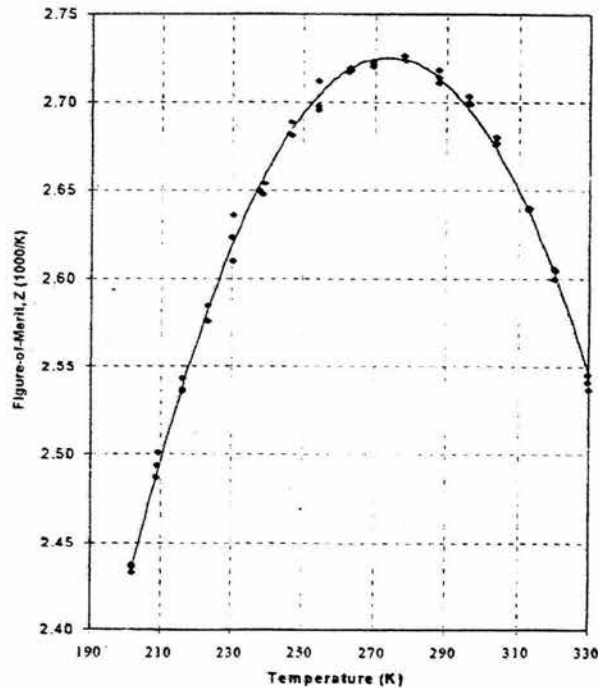


Fig. 5.18: Figura de mérito

5.7.-Análisis del transitorio de una célula termoeléctrica

En los apartados anteriores se ha realizado un análisis o modelado de una célula termoeléctrica sin considerar las cargas térmicas o energías acumuladas en el dispositivo que pueden llegar a resultados transitorios.

Hay que tener en cuenta que las placas termoeléctricas son de reducido tamaño, y por lo tanto de volumen demasiado pequeño como para poder ser una masa térmica significativa. De esta manera, y a modo pedagógico (aunque nunca se emplean en un diseño) se presentan a continuación dos nuevas expresiones de calor que tienen en cuenta el tiempo:

$$Q'_c - Q_c = mC_p \frac{dT_c}{dt} \quad (5.37)$$

$$Q'_f - Q_f = mC_p \frac{dT_f}{dt} \quad (5.38)$$

donde:

Q'_c es el calor neto absorbido por la cara caliente considerando el paso del tiempo (W)

Q'_f es el calor neto cedido por la cara fría considerando el paso del tiempo (W)

m es la masa de las placas de cerámica (aislante eléctrico) de cada cara (Kg)

C_p es el calor específico de la cerámica (J/kg.K)

5.8.- Conexión de células termoeléctricas en serie o en paralelo

Es posible realizar conexiones de células de mismas características en paralelo o en serie, según sean las necesidades a cubrir y la energía eléctrica de suministro.

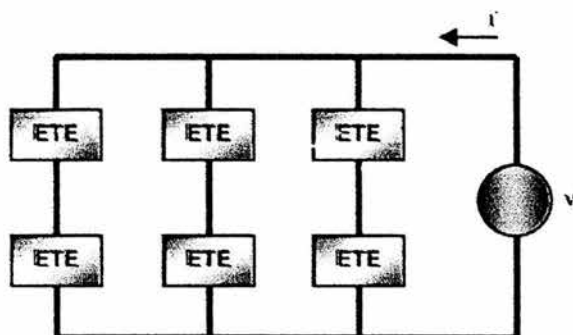


Fig. 5.19: Conexión en serie y en paralelo de células termoeléctricas (ETE)

Para tener en cuenta este conexionado en el diseño de un sistema termoeléctrico, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$I' = \frac{I}{N_p} \quad (5.39)$$

$$V' = \frac{V}{N_s} \quad (5.40)$$

$$Q_{CTOTAL} = Q_c N_p N_s \quad (5.41)$$

$$Q_{FTOTAL} = Q_f N_p N_s \quad (5.42)$$

donde:

I' es la intensidad total suministrada a la matriz de células (A)

I es la intensidad que recibe cada célula (A)

V' es la tensión total suministrada a la matriz de células (V)

V es la tensión de cada célula (V)

N_S es el número de células conectadas en serie en cada bifurcación

N_P es el número de bifurcaciones conectadas en paralelo

$Q_{C\ TOTAL}$ es el calor total cedido por la matriz de células (W)

$Q_{f\ TOTAL}$ es el calor total absorbido por la matriz de células (W)

El uso de las ecuaciones, que han ido apareciendo a lo largo de este capítulo, es necesario para el desarrollo de aplicaciones termoeléctricas donde las placas Básicas sean específicas.

5.9.- Cálculos teóricos del sistema

Datos	TENSIÓN 12 V DC
	CORRIENTE 5.25 Amp
	POTENCIA 63 W
	FRENTE 38 cm
	FONDO 53 cm
	ALTO 42 cm
	ESPESOR 5 cm
	AREA 0.1204 m^2

5.10.- Conducción

$$A1 = (28)[\text{cm}](43)[\text{cm}] = A1 = 0.1204 \text{ m}^2 ; \quad \text{EC 5.43}$$

$$A2 = (32)[\text{cm}](43)[\text{cm}] = A2 = 0.1376 \text{ m}^2 \quad \text{EC 5.44}$$

$$A_3=(28)[\text{cm}](32)[\text{cm}]=A_3=0.0846 \text{ m}^2 \quad \text{EC 5.45}$$

$$\text{Lado izquierdo} = \text{Lado derecho en } \text{ÁREA}(53)[\text{cm}](42)[\text{cm}]=0.2226 \text{ m}^2 \quad \text{EC 5.46}$$

$$\text{Lado posterior } (42)[\text{cm}](38)[\text{cm}]=0.1596 \text{ m}^2 \quad \text{EC 5.47}$$

$$\text{Lado superior} = \text{Lado inferior } (53)[\text{cm}](38)[\text{cm}]=0.2014 \text{ m}^2 \quad \text{EC 5.48}$$

Temperatura externa para la FESC hora 16:00 mes de MAYO

A las 16:00 se alcanza la máxima temperatura de el día en cualquier día del año

$$\text{TEMP. EXT. } 32 \text{ C}^0 \quad \text{TEMP. INT. } 6.11 \text{ C}^0 \quad \text{DIF. TEMP. } 26.85 \text{ C}^0$$

$$\text{POLIESTIRENO RIGIDO} \quad k = 0.028 \left[\frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{c}^0} \right]$$

$$\text{Conductancia del poliestireno rígido} \quad c = \frac{k}{b}$$

C = conductividad ; k = conductividad del material , b = espesor

$$c = \frac{0.028 \left[\frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{c}^0} \right]}{0.05 \text{ m}} \quad C = 0.56 \left[\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \cdot \text{c}^0} \right] \quad \text{EC 5.50}$$

En base ha normas de la red de frío el rango de temperatura de las vacunas debe ser

$$4.44 \text{ C}^0 \quad \text{A } 7.22 \text{ C}^0$$

5.11.- Flujo de calor por conducción

$$Qc = Ac\Delta t \quad \text{EC 5.51} \quad \sum_1 A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \quad \text{EC 5.52}$$

Como nuestra hielera es simétrica tenemos

$$\sum At = (0.2226 + 0.1596 + 0.2014) * 2 \quad \text{EC 5.53}$$

$$\sum At = 1.1672 \text{ m}^2$$

Sabemos que $t_1 = \text{Temp. Ext.}$; $t_2 = \text{Temp. Int.}$

$$\Delta t = 32 \text{ C}^0 - 6.11 \text{ C}^0 ; \Delta t = 25.89 \text{ C}^0 \quad \text{EC 5.54}$$

$$Q_c = [1.1672 (m^2)] * \left[0.56 \left(\frac{w}{m^2 \cdot c^{\circ}} \right) \right] * [25.89 C^{\circ}]$$

EC 5.55

$Q_c = 16.9225[w]$ flujo de calor conducción

Velocidad del viento en la FESC:

$$V = \left[54.7 \left(\frac{Km}{D} \right) \right] * \left[\frac{1000m}{1Km} \right] * \left[\frac{1D}{24H} \right] * \left[\frac{1H}{3600S} \right] = 0.6331 \left(\frac{m}{s} \right)$$

EC 5.56

Velocidad promedio del viento a 30 cm altura

$$15 [mph] \left[0.6213 \left(\frac{Km}{h \cdot mph} \right) \right] = 24.14016 \left[\frac{Km}{h} \right] = 6.7056 \left[\frac{m}{s} \right]$$

EC 5.57

$$7.5 [mph] * \left[0.6213 \left(\frac{Km}{h \cdot mph} \right) \right] = 12.0700 \left[\frac{Km}{h} \right] = 3.3528 \frac{m}{s}$$

EC 5.58

5.12 Resistencia térmica de material

$$c = \frac{1}{1.65} + \frac{1}{0.56} + \frac{0.56}{0.05} = 11.2$$

EC 5.59

$$Rt = \frac{1}{c} = \frac{1}{11.2} = 0.08995$$

EC 5.60

5.13 Convección

$Q_v =$ ENERGIA CALORIFICA POR CONVECCIÓN

$Q_v = hc A \Delta t$ $\Delta t =$ diferencia de temperatura en la superficie del aire

$A =$ Área superficial Y por ultimo $hc =$ coeficiente de convección

5.14 Cálculo densidad del aire

$QC = [NC]$; $Q = Mcp \Delta t$; $(\rho v)(Cp)(\Delta t)$ Además $t_1 - t_2$

DONDE

ρ = densidad del aire

V = volumen aire interno

C_p = capacidad calorífica a presión constante

Supóniendose cambios de volumen

$Q = P$ calculo densidad del aire , de acuerdo a la ley general de los gases ideales se tiene que $PV = RT$; DONDE:

P = presión absoluta del aire

R = constante particular del aire

T = temperatura absoluta del aire

V = volumen específico del aire

La C_p para UK es $0.2375 \left[\frac{BTU}{LB^\circ F} \right]$; y en SI la C_p $[Jg^\circ K]$

Sabemos que la densidad del es el inverso del volumen específico , es decir

$$\rho = \frac{1}{v} \quad \text{EC 5.61} \quad \text{De aquí que ;} \quad \rho = \frac{P}{RT_{max}} \quad ; \quad \text{EC 5.62}$$

para la FESC se tiene una media en el barómetro de mercurio 585 mmhg por lo que la presión barométrica es ; $\rho = \gamma h$ EC 5.63

donde

P = presión barométrica local

γ = Peso específico del mercurio

h = columna d mercurio

$$\left(13600 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \right) \left(9.80665 \left[\frac{N}{Kg} \right] \right) = 133370.44 \frac{N}{m^3}$$

EC 5.64

$$P = \left(133370.44 \left[\frac{N}{m^3} \right] \right) (0.585 [m]) = 78021.7074 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

EC 5.65

$$P = \frac{78021.7074 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{\left(287 \left[\frac{N \cdot m}{Kg^{\circ} K} \right] \right) (292.2^{\circ} K_{med})} = 0.93036 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

EC 5.66

$$\rho_{med} = 0.93036 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

5.15 Densidad media del aire

$$Q_v = \left(0.93036 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \right) (0.03250 [m^3]) \left(1 \left[\frac{KJ}{Kg^{\circ} K} \right] * 5 \right) (25.89^{\circ} [K]) = 3.9141 [KJ]$$

EC 5.67

$$\Delta t = (305.15^{\circ} K - 279.26^{\circ} K) = 25.89^{\circ} K$$

EC 5.68

Si los cambios se realizan en 8 hrs tenemos que

$$\frac{Q_v}{t} = \dot{Q} = \frac{3914.1 [J]}{8 Hr} = 0.1359 \left[\frac{J}{s} \right] = 0.1359 \left[\frac{N \cdot m}{s} \right]$$

EC 5.69

Por lo tanto el calor ganado es:

$$\frac{Q_v}{t} = 0.1359 [Watts]$$

5.16 Estimación de la presión del viento

$$P_v = 0.612V^2 \quad ; \quad V = \text{velocidad del viento} \quad 0.6331 \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{EC 5.70}$$

$$P_v = \left[0.612 \left[0.6331 \left(\frac{m}{s} \right) \right]^2 \right] = 0.2472 [Pa] \quad \text{Área de apertura} = 0.1162 m^2$$

$$V_e = 0.827 \left(0.1162 [m^2] \right) \left(\sqrt{0.2472 \left[\frac{m}{s} \right]} \right) = 0.04777 \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{EC 6.71}$$

5.17 Balance de energía

donde

Qs = Ganancia solar

Qi = Ganancia interna

Qc = Ganancia por conducción

Qv = Ganancia por convección

Qm = Ganancia por sistemas mecánicos

Qe = Ganancia por enfriamiento evaporativo

$$Q_s + Q_i + 16.9225w + 0.1359w + Q_m + Q_e = 17.0584 w \quad \text{EC 5.73}$$

5.18.- Formulas del modulo fotovoltaico

$$M = \frac{(Ec)(Fs)}{(Im)(Vm)(HrP)(\eta_{BAT})} \quad \text{EC 5.74}$$

M : numero de módulos que se requieren

Ec: energía consumida diariamente por el sistema $\frac{w-h}{dia}$

Fs: factor de sobre dimensionamiento del sistema

I_m : corriente del módulo solar a máxima insolación al voltaje de la carga de batería incluyendo caídas en el cable, y a la temperatura de operación de la celda

V_m : voltaje promedio de operación del módulo solar una vez conectado al banco de baterías

$H_r P$: insolación de la localidad en el mes de menor insolación, expresada como el equivalente de horas diarias de máxima insolación (horas pico)

η_{inv} = Eficiencia del inversor cd/ca (como trabaja en cd es 1)

DATOS

Tensión 12v

Corriente 5.25 amp

Potencia 63w

$$E_c = P * t; \quad E_c = 63 [w] * 0.5 [Hr] = 31.5 \left[\frac{w - Hr}{día} \right] \quad EC 5.75$$

$$F_s = 10\%, 20\%; 10\% = 1.1; 20\% = 1.2 \quad EC 5.76$$

5.18.1.- CÁLCULO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

$$M = \frac{(E_c)(f_s)}{(I_m)(V_m)(H_r P)(\eta_{BAT})}$$

donde

EC 5.77

M = numero de módulos que se requieren

E_c = energía consumida por el sistema

F_s = factor de sobre dimensionamiento del sistema

I_m = corriente del módulo solar a máxima insolación al voltaje de carga de batería

V_m = voltaje promedio d-operación del modulo solar una vez conectado al banco de baterías

$H_r P$ = insolación de la localidad en el mes de menor insolación, expresado como el equivalente de horas diarias de máxima insolación (Horas pico)

η_{inv} = Eficiencia del inversos cd/ca si opera en cd es 1

η_{bat} = Eficiencia de batería

$$M = \frac{31.5 \left[\frac{W - H}{Día} \right] (1.2)}{[3 * 14.98 * 4 * 0.87]} = 0.2417 \quad \text{EC 5.77}$$

M= 0.2417 módulos

ENERGIA ELECTRICA REQUERIDA POR CELDA EERC

$$EERC = P * t * fs \quad \text{EC 5.78}$$

$$EERC = [63(W)5(t_{rob})1.2] = 37.8 \frac{w - h}{Día}$$

ENERGIA ELECTRICA SUMINISTRADA POR 1 MÓDULO EN CD

$$EESM = I_{OP} * V_M * HrP * 1 \quad \text{EC 5.79}$$

I_{op} = corriente de operación

V_m= voltaje promedio

HrP= horas pico

$$EESM = [2.9[Amp][14.98[Vm][4[hr]]] = 173.768 \left[\frac{w - hr}{Día} \right] \quad \text{EC 5.79}$$

5.19.-Cálculo de la capacidad de la batería

$$C_B = \frac{(Au)(Ec)}{(V_B * Fu * Fi * \eta_{inv})} \quad \text{EC 5.80}$$

CB = capacidad del banco de baterías (Amp- Hr)

EC = energía consumida diariamente por la carga (w-hr)

Au = autonomía deseada en el banco de baterías (días)

VB = voltaje nominal al cual trabajara el banco de baterías

FU= fracción de la vida útil de la batería

FI= factor de incremento

η_{inv} = En cd es 1 si opera en cd

$$C_b = \frac{(3[\text{Días}] \left(37.8 \left[\frac{w-h}{\text{Día}} \right] \right))}{(12[\text{v}](0.8)(1.35)(1))} = 8.75[\text{Amp} - \text{Hr}]$$

Capacidad de la batería (8.75Amp-Hr)(12v)= 105 w-h

EC 5.81

Agregamos un 20% para no trabajar al limite 130 w-h

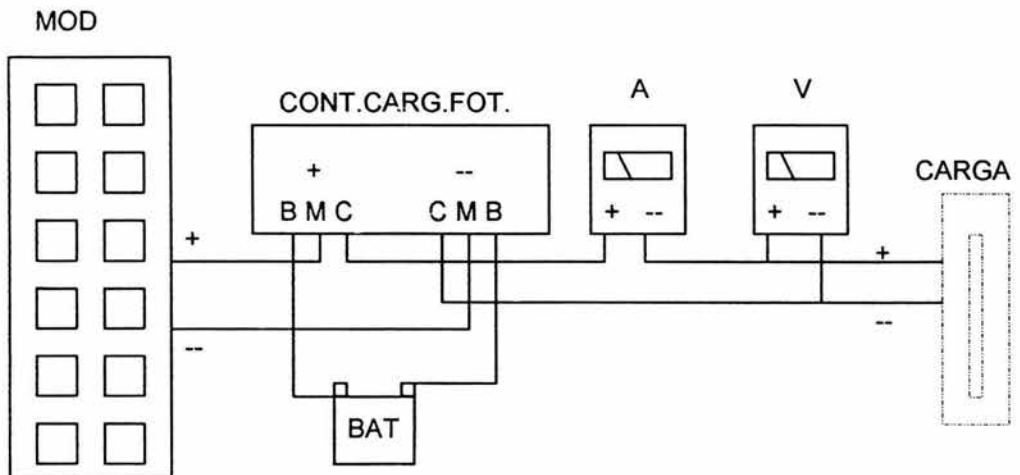
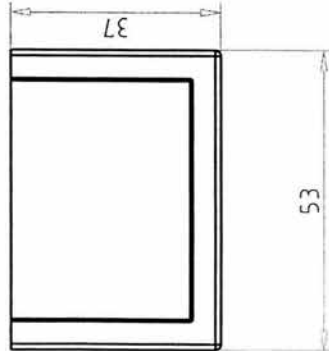
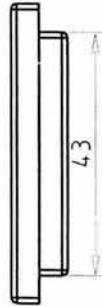
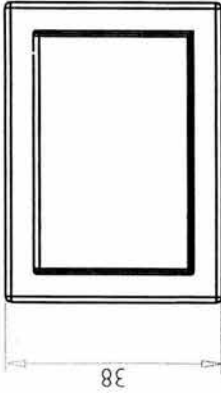
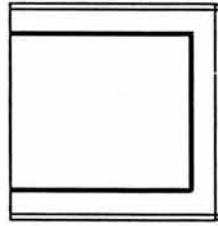
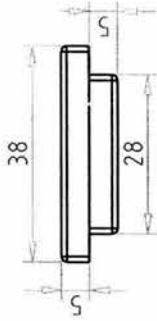
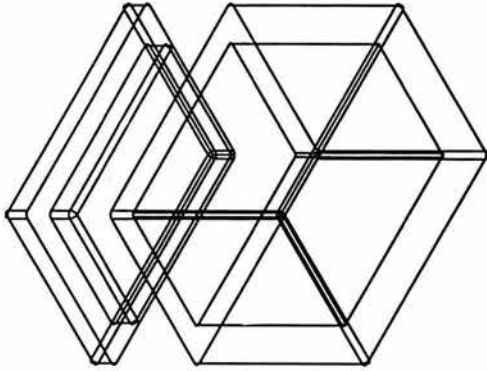


Fig. 5.20 diagrama de conexión

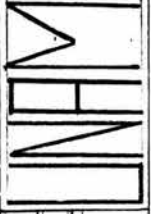


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CAMPUS CUAUTITLANIACOT.COM

DIBUJO: José A. Sánchez G.

PLANOS DE TALLER



Capítulo VI

Acoplamiento del sistema peltier al sistema fotovoltaico, pruebas y resultados

6.1.- Cálculos prácticos

Datos reales

$$\text{Temperatura de entrada } t_1 = 15.5C^\circ \quad \text{EC 6.1}$$

$$\text{Temperatura de salida } t_2 = 12C^\circ \quad \text{EC 6.2}$$

$$\text{VOLTAJE } 13.8$$

$$\text{CORRIENTE } 4.53$$

$$\text{POTENCIA } = (13.8)(4.53) = 62.514 \text{ Watts} \quad \text{EC 6.3}$$

6.1.1.- velocidad del aire

$$V = \sqrt{\frac{(\gamma_{H_2O} \Delta h) - (\gamma_{AIRE} \Delta h)}{\gamma_{AIRE}}} \quad \text{EC 6.4}$$

$$V = \sqrt{(2g\Delta h) - \frac{(\gamma_{AIRE} - \gamma_{H_2O})}{\gamma_{AIRE}}} \quad \text{EC 6.5}$$

$$\text{Peso específico del agua } \gamma_{H_2O} \approx 9810 \frac{N}{m^3} \quad \text{EC 6.6}$$

$$PV = RT \quad \text{EC 6.7}$$

Donde

P = presión absoluta del aire

V = volumen específico

R = CST particular del aire

T = temperatura absoluta del aire

6.1.2.-temperatura absoluta

$$t_2 = t_2 + 273.15 = K^\circ \quad \text{EC 6.8}$$

$$t_2 = 12 + 273.15 = 285.15K^\circ \quad \text{EC 6.9}$$

6.1.3.-presión barométrica

$$P = \gamma_{Hg} h_{Hg} \quad \text{EC 6.10}$$

$$P = (13600 \frac{KgF}{m^3})(0.585 m) = 7956 \left[\frac{KgF}{m^2} \right] \quad \text{EC 6.11}$$

$$P = (7956 \left[\frac{KgF}{m^2} \right])(9.81 \left[\frac{N}{KgF} \right]) = 78048.36 \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad \text{EC 6.12}$$

6.1.3.-densidad del aire

$$\text{CST particular del aire} \quad R' = 287 \left[\frac{N \cdot m}{KgK^\circ} \right]$$

$$\rho_{AIRE} = \frac{1}{V} = \frac{\rho}{R'T} \quad \text{EC 6.13}$$

$$\rho_{AIRE} = \frac{78048.36 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{(287 \left[\frac{N \cdot m}{KgK^\circ} \right])(285.15 K^\circ)} = 0.9536 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \quad \text{EC 6.14}$$

6.1.4.-peso especifico del aire

$$\gamma_{AIRE} = \rho_{AIRE} g \quad \text{EC 6.15}$$

$$\gamma_{AIRE} = 0.9536 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 9.3557 \frac{N}{m^3} \quad \text{EC 6.16}$$

Por lo que la velocidad del flujo es

$$V = \sqrt{2(9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right])(0.0025 m) \left(\frac{9810 \left[\frac{N}{m^3} \right] - 9.3557 \left[\frac{N}{m^3} \right]}{9.3557 \left[\frac{N}{m^3} \right]} \right)} = 7.1681 \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{EC 6.17}$$

6.1.5.- Flujo volumétrico

$$Q = VA \quad \text{EC 6.18}$$

$$Q = \left(7.1681 \left[\frac{m}{s} \right] \right) (0.026 m)(0.09 m) = 0.01677 \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{EC 6.19}$$

6.1.6.- Flujo másico

$$\dot{m} = \rho_{AIRE} Q \quad \text{EC 6.20}$$

$$\dot{m} = (0.9536 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]) (0.01677 \left[\frac{m^3}{s} \right]) = 0.01599 \left[\frac{Kg}{s} \right] \quad \text{EC 6.21}$$

El calor retirado por la celda peltier por ese punto y el flujo de calor retirado por la celda es

6.1.7.-calor retirado

$$\dot{q} = \dot{m} C_p \Delta T \quad \text{EC 6.22} \quad C_p = 1.036 \left[\frac{KJ}{KgK^\circ} \right]$$

$$\dot{q} = \left(1.036 \left[\frac{Kj}{KgK^\circ} \right] \right) (3.5 K^\circ) \left(0.01599 \left[\frac{Kg}{s} \right] \right) = 0.05797 \left[\frac{Kj}{s} \right] \quad \text{EC 6.23}$$

$$\dot{q} = 0.05797 \left[\frac{KJ}{S} \right] = 57.97 \left[\frac{N \cdot m}{s} \right] = 57.97 [W] \quad \text{EC 6.24}$$

6.1.8.-Eficiencia total de la celda peltier

$$\eta = \frac{\dot{q}}{P_w} \times 100\% \quad \text{EC 6.25}$$

$$\eta = \frac{\dot{q}}{P_w} \times 100\% = \frac{57.97 [W]}{62.514 [W]} \times 100\% = 92.73\% \quad \text{EC 6.26}$$

6.2 VISTA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN



Fig. 6.1 frigorífico

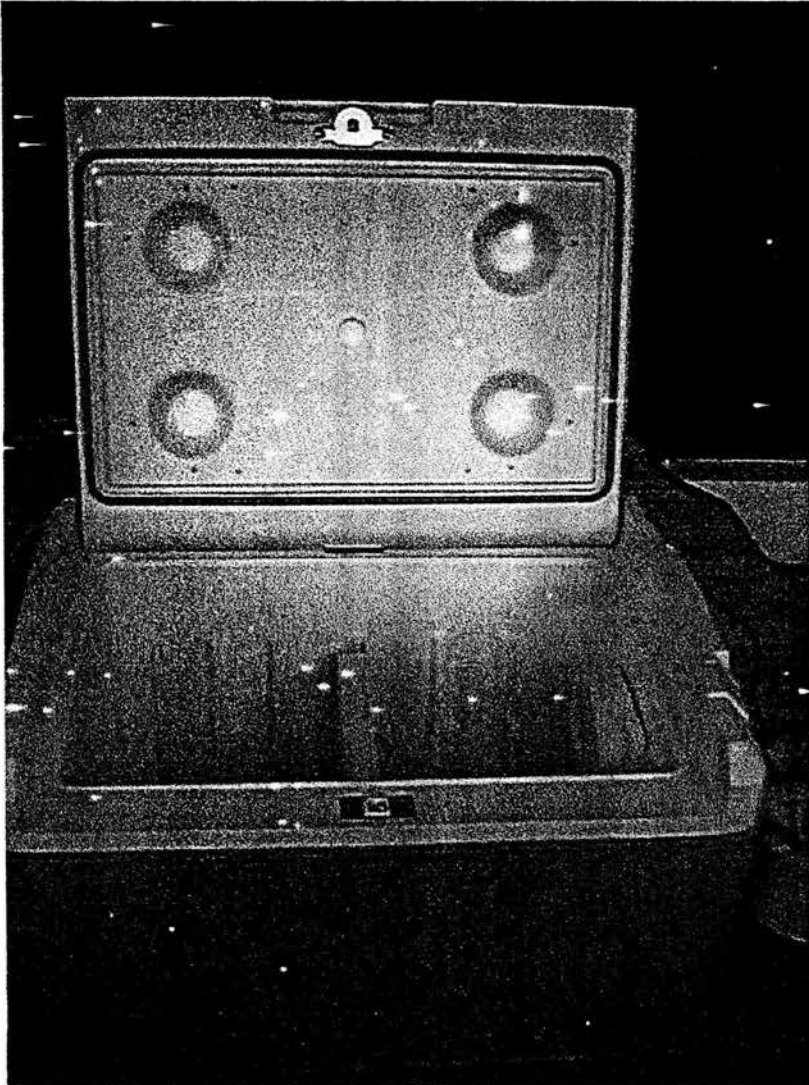


Fig. 6.2 interior

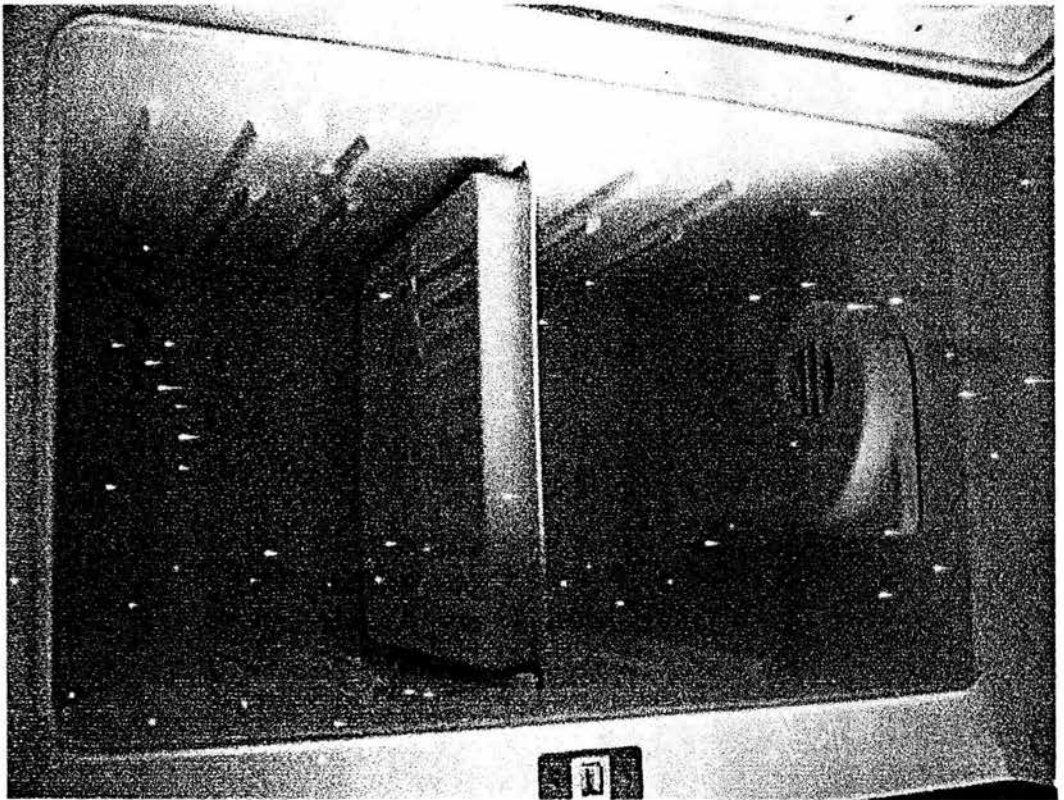


Fig. 6.3 detalles interior

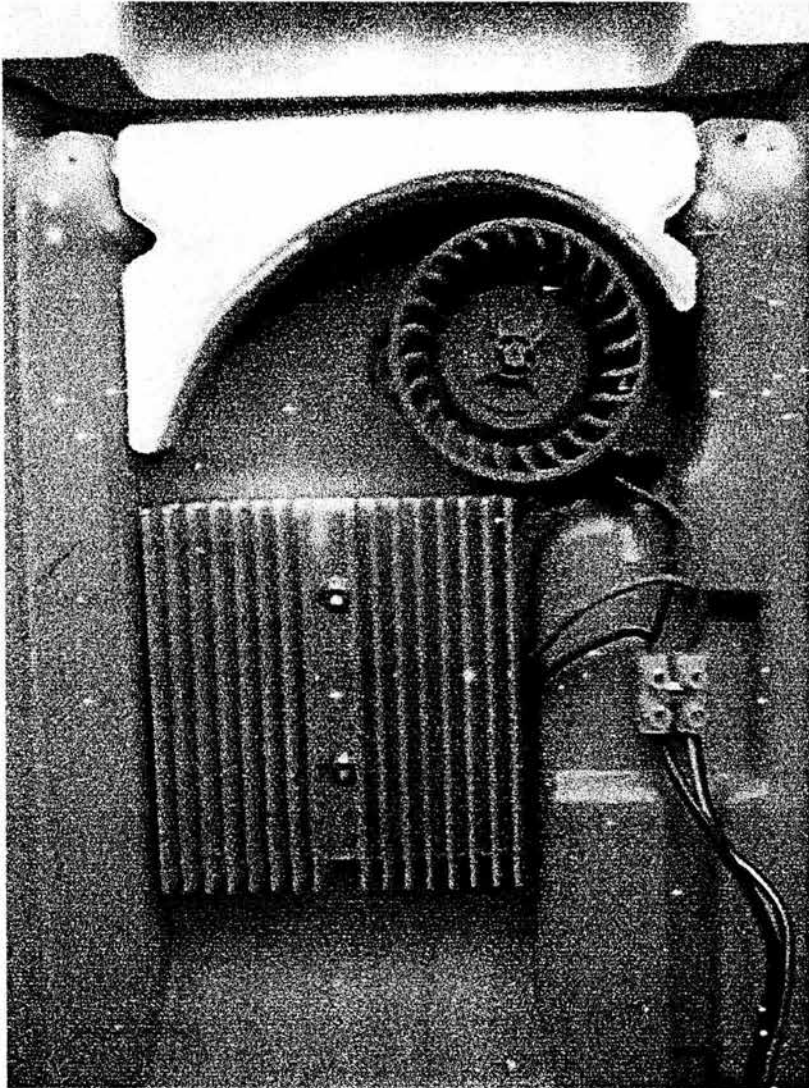


Fig. 6.4 vista del sistema de ventilación

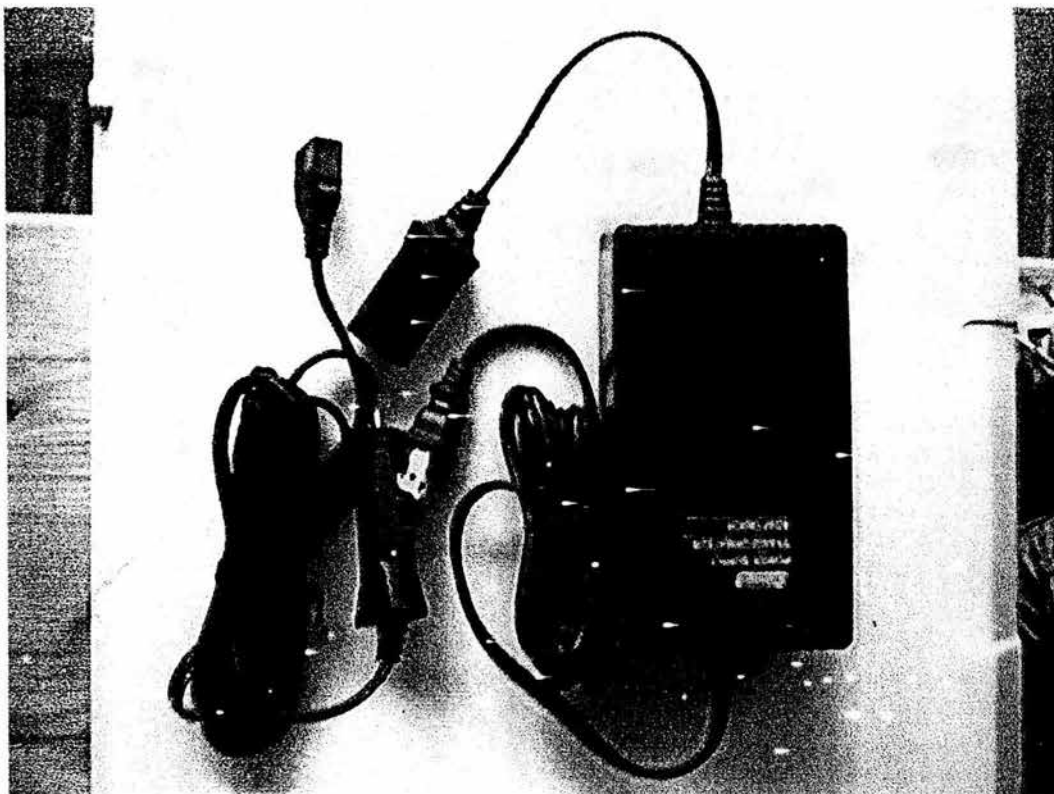


Fig. 6.5 convertidor CA /CD



Fig. 6.6 control de carga

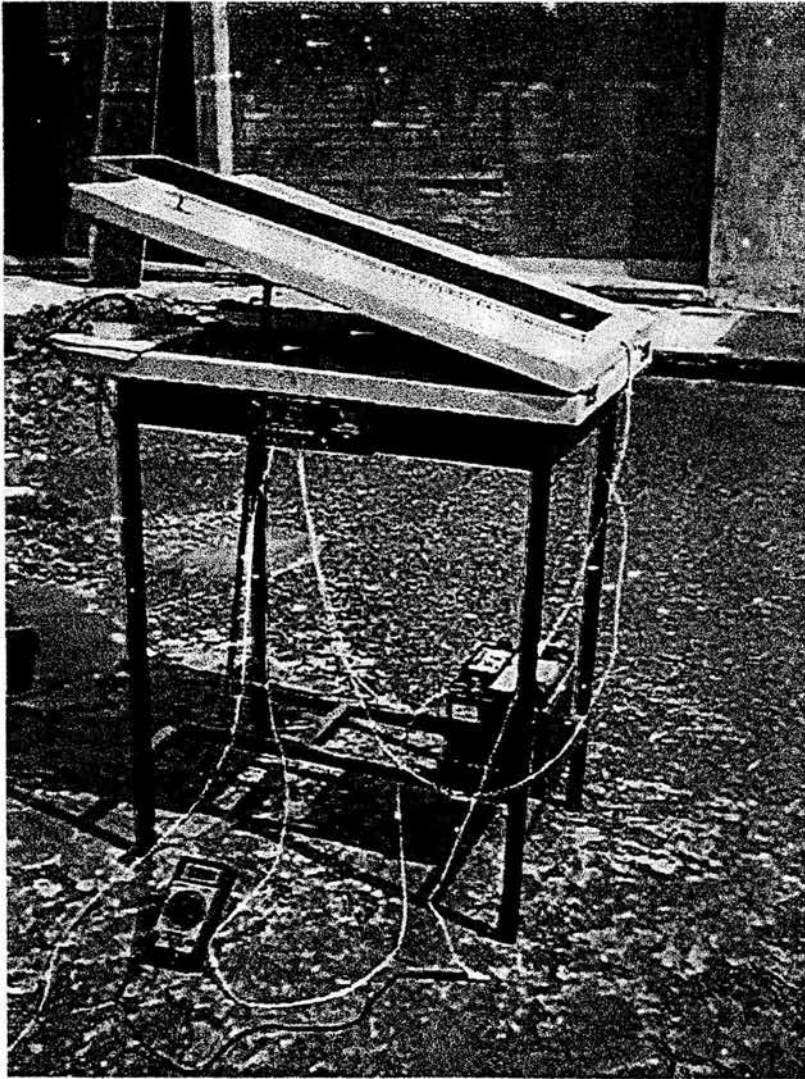


Fig. 6.7 alimentación del sistema

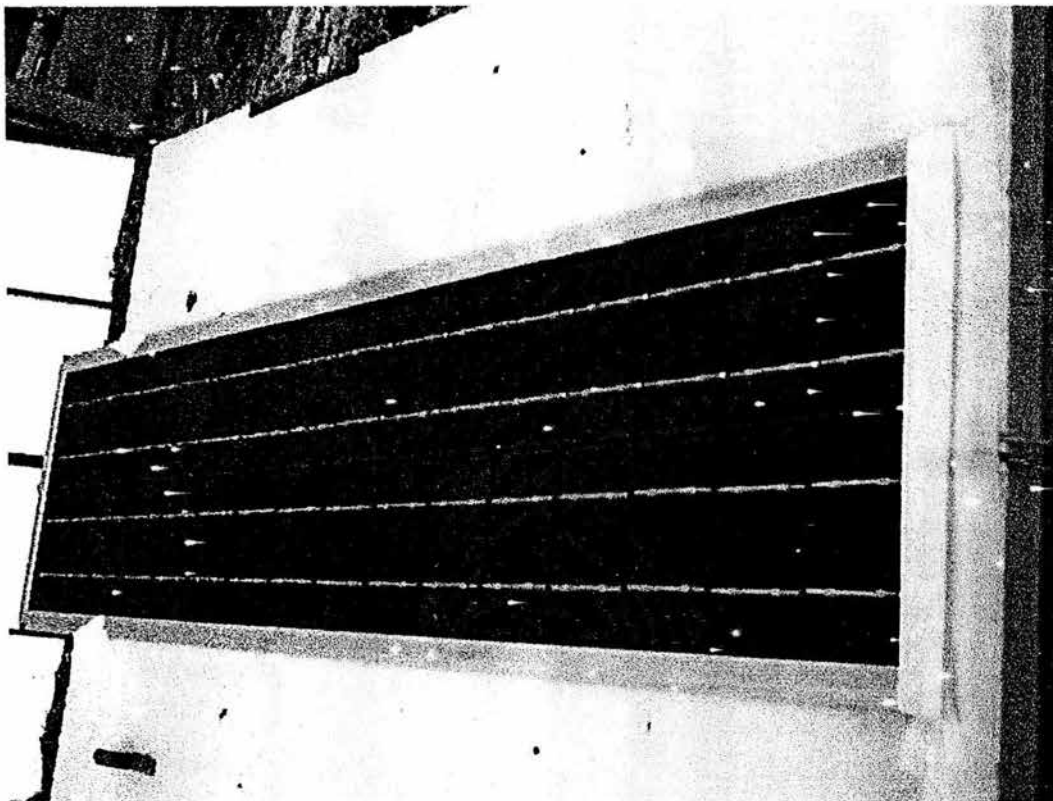
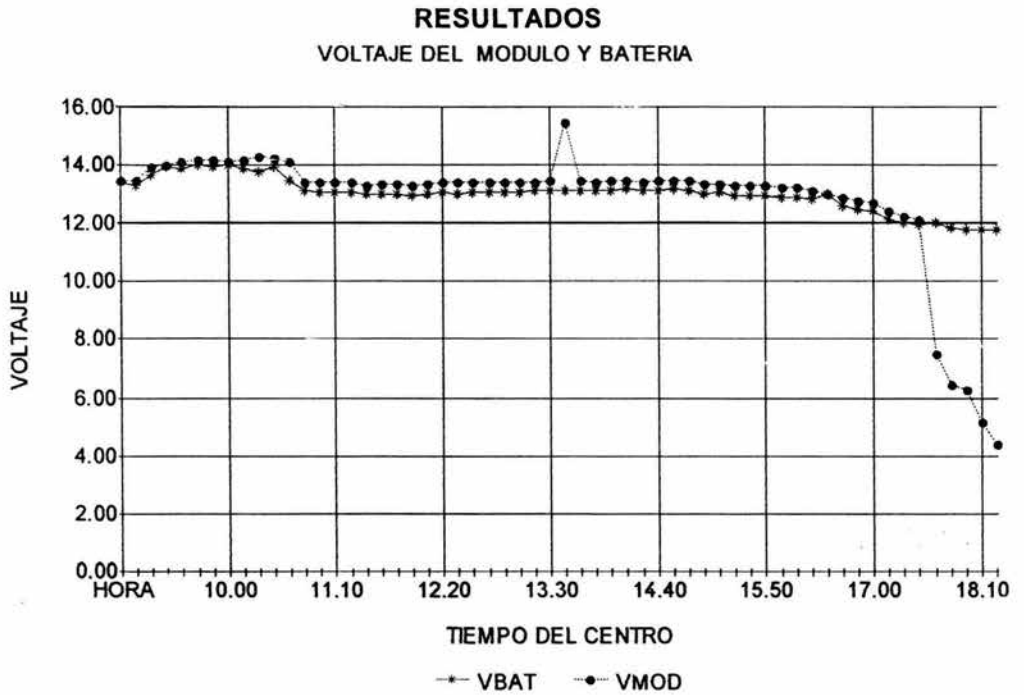


Fig. 6.8 modulo fotovoltaico

TABLA DE RESULTADOS			
VBAT	VMOD	AMPERAJE	POT.MOD
13.40	13.50	0.350	4.720
13.30	13.50	0.330	4.450
13.65	13.95	0.400	5.580
13.95	14.00	0.440	6.160
13.91	14.10	0.420	5.920
14.01	14.18	0.450	6.380
13.94	14.20	0.490	6.950
14.00	14.11	0.510	7.140
13.88	14.17	0.520	7.360

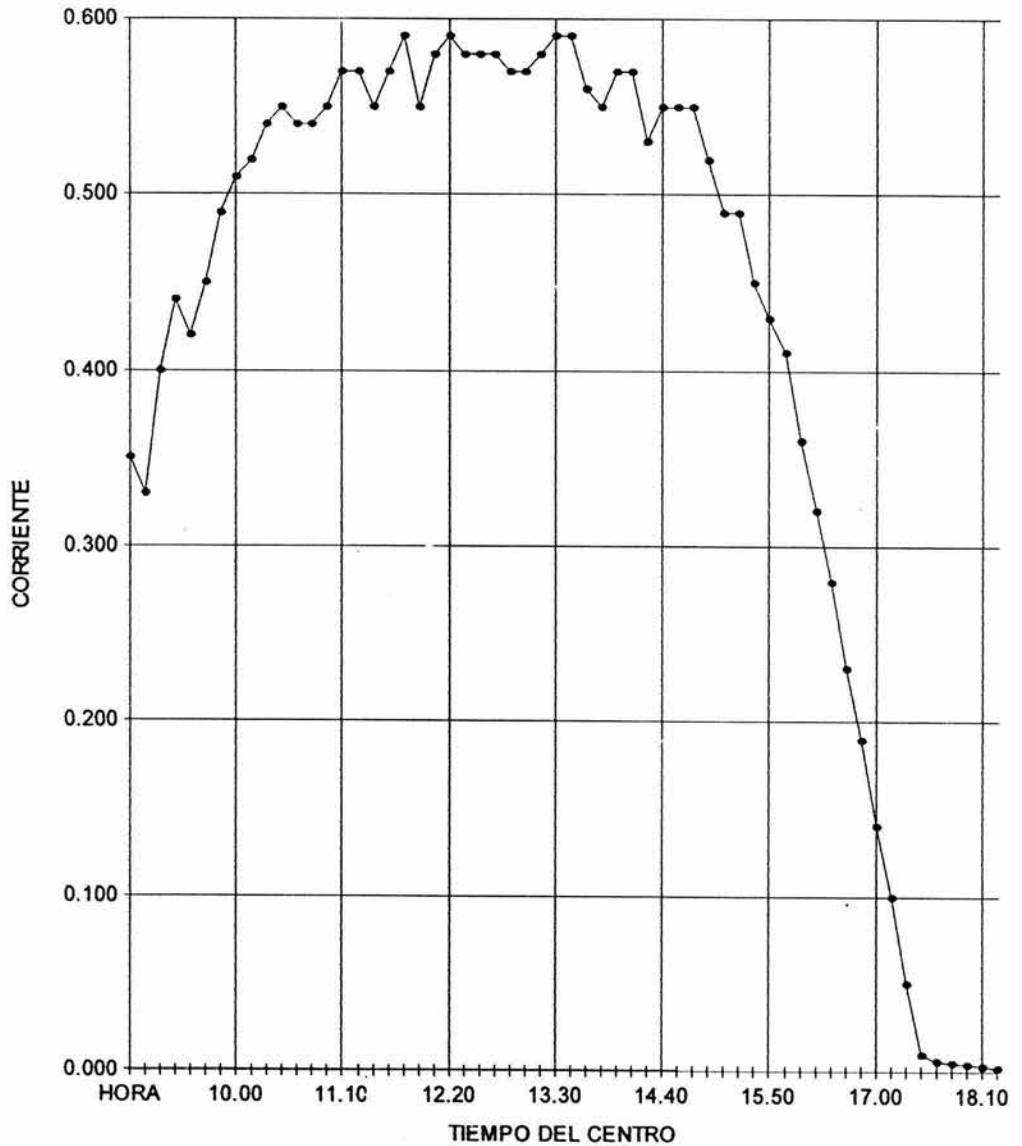
TABLA DE RESULTADOS

VBAT	VMOD	AMPERAJE	POT.MOD
13.80	14.29	0.540	7.710
13.92	14.23	0.550	7.820
13.50	14.15	0.540	7.640
13.10	13.41	0.540	7.240
13.08	13.42	0.550	7.380
13.08	13.44	0.570	7.660
13.08	13.42	0.570	7.640
12.99	13.33	0.550	7.330
13.01	13.35	0.570	7.600
13.01	13.35	0.590	7.870
12.96	13.30	0.550	7.310
13.01	13.35	0.580	7.740
13.05	13.40	0.590	7.900
13.04	13.40	0.580	7.770
13.08	13.42	0.580	7.780
13.08	13.40	0.580	7.770
13.08	13.44	0.570	7.660
13.09	13.43	0.570	7.650
13.12	13.45	0.580	7.800
13.14	13.49	0.590	7.950
13.15	15.49	0.590	7.950
13.13	13.46	0.560	7.530
13.11	13.44	0.550	7.390
13.13	13.47	0.570	7.670
13.16	13.49	0.570	7.680
13.11	13.44	0.530	7.110
13.15	13.49	0.550	7.410
13.16	13.49	0.550	7.410
13.14	13.46	0.550	7.400
13.04	13.36	0.520	6.910
13.06	13.39	0.490	6.560
12.98	13.31	0.490	6.520
12.95	13.28	0.450	5.970
12.96	13.28	0.430	5.710
12.92	13.24	0.410	5.420
12.89	13.23	0.360	4.760
12.81	13.12	0.320	4.190
12.99	13.03	0.280	3.640
12.58	12.89	0.230	2.960
12.51	12.80	0.190	2.430
12.45	12.72	0.140	1.780
12.13	12.43	0.100	1.240
12.00	12.26	0.050	0.610
11.95	12.16	0.010	0.120
12.00	7.48	0.006	0.040
11.85	6.46	0.005	0.030
11.80	6.27	0.004	0.020
11.80	5.18	0.003	0.010
11.80	4.38	0.002	0.008



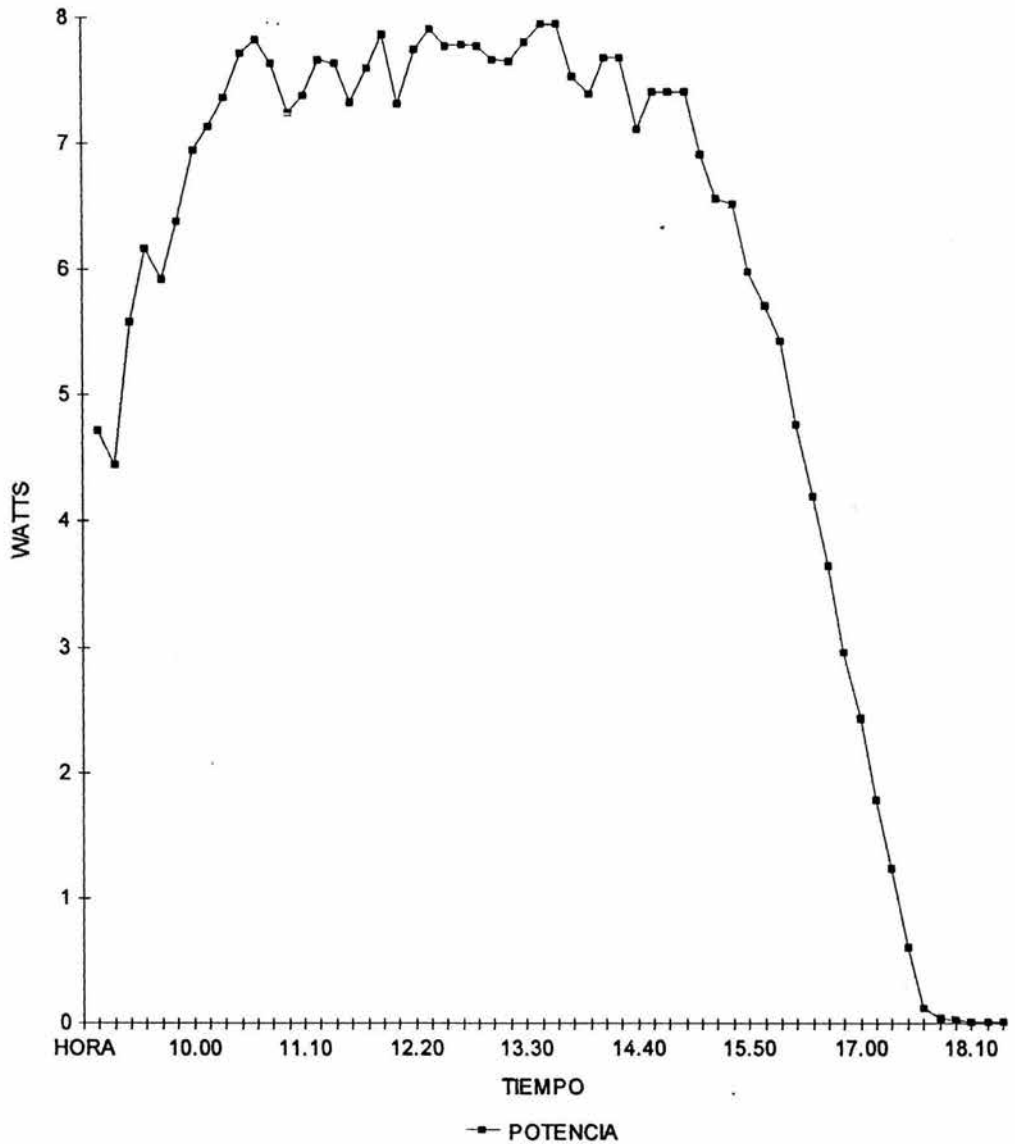
Grafica 6.1 comparación del voltaje proporcionado por la batería y el modulo

TABLA DE RESULTADOS
AMPERAJE



Graf. 6.2 variación de la corriente con respecto del sol

TABLA DE RESULTADOS
GRAFICA DE POTENCIA



Graf. 6.3 Potencia vs tiempo civil

Capítulo VII

Estudio de viabilidad económica

7.1.-ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONOMICA

Por todos es sabido el grave perjuicio que los componentes *fluorocarbonados* e *hidrofluorocarbonados* (CFC y HCFC) están causando a la capa de ozono y, en busca de nuevas alternativas es sin duda la **Termoelectricidad la energía más limpia y prometedora en este sector. Como se ha visto en capítulos anteriores, el** enfriamiento termoeléctrico empezó a ser factible a partir de los estudios de Telkes en los años 30 y de Ioffe en 1956. Los nuevos materiales semiconductores irrumpían en la escena produciendo rendimientos mucho más altos.

Actualmente la termoelectricidad garantiza las siguientes características:

- 1 Los sistemas termoeléctricos son compactos, su diseño nos permite disponer de un sistema de reserva de energía, y pueden suministrar hasta un 180% de capacidad de refrigeración con tan sólo incrementar la potencia de entrada. Este excepcional diseño elimina la necesidad de disponer de otras unidades de apoyo en refrigeración, que sí son necesarias por ejemplo, en los sistemas con compresor.
 - Los sistemas termoeléctricos no necesitan válvulas proporcionales ni mecanismos que trabajen en cascada.
 - Los sistemas modulares se pueden monitorizar localmente o desde un lugar remoto, utilizando simplemente medidores de resistencias.
 - A un módulo dañado se le puede aplicar un «by-pass» eléctrico, o bien hidráulico, dependiendo de la naturaleza de la avería, sin que ello vaya en detrimento de su capacidad. El tiempo de vida es muy elevado.
 - Es necesario resaltar los sistemas termoeléctricos por su gran fiabilidad,

versatilidad, inocuidad y especialmente por su capacidad de ser regulados térmicamente con gran precisión (de hasta 0,001°C dependiendo de las aplicaciones).

- Los sistemas termoeléctricos pueden utilizar fuentes de alimentación DC compatibles con cualquier unidad disponible de energía.
- Se pueden utilizar varias series puestas en paralelo, con ello podemos aprovechar la instalación de un gran número de módulos.
- Con sólo cambiar la polaridad el mismo sistema es capaz de calentar.
- Los sistemas termoeléctricos ofrecen a largo plazo ventajas económicas si se comparan con los sistemas convencionales:

Los costos de instalación son un 25% más bajos.

Bajo las condiciones de operatividad en un circuito electrónico, requieren baja potencia, lo que aumenta significativamente el ahorro de energía.

La producción masiva automatizada reducirá los costos del sistema termoeléctrico (aislantes, dispositivos termoeléctricos, termosifones...) frente a un sistema absolutamente mecánico.

Al ser una unidad compacta ofrece la posibilidad de un bonito diseño y al ser modular un ahorro de costos, peso y espacio.

Si hacemos un análisis de mantenimiento, se observa que bajo un ciclo de vida, el costo de mantenimiento de un sistema termoeléctrico es mucho más

bajo que el de un sistema mecánico.

Las aplicaciones actuales se limitan a sectores cuyo problema de refrigeración ha de ser puntual, localizado, o bien de poco volumen. Uno de estos sectores y que cada vez tiene mayor demanda es el sector del «gran consumo», así podemos observar en el mercado nacional las convencionales neveras portátiles (con radiador convencional) que se pueden conectar al coche y cuyo objetivo principal es el de conservación.

Otro de los sectores que van adquiriendo relevancia dentro de las aplicaciones es el de la electromedicina, especialmente en la estabilización de la temperatura de los fotómetros, refrigeración cutánea, o bien para medir la sensibilidad de la piel. Aplicaciones industriales como hornos bacteriológicos, cámaras refrigeradas, incubadoras, refrigeración de discos Petri, baños estabilizados, refrigeración de tubos de ensayo, planchas frías, refrigeración de armarios eléctricos, expositores para tapas, expositores para quesos, y un largo etcétera, son sectores en las cuales las placas termoeléctricas tienen un gran porvenir. Hoy por hoy, ya se están fabricando diversos aparatos industriales con esta tecnología.

El punto crítico en esta nueva opción está en el precio; en la mayoría de las aplicaciones el uso de heat pipes puede llegar a suponer un incremento del costo de una cuarta parte. Por lo tanto, dependerá del tipo de aplicación que salga rentable su uso o bien, que la compra en grandes cantidades pueda reducir su precio. De todas formas se ha demostrado también que en aplicaciones en las que la potencia concentrada a disipar sea menor a 75 W, el uso de los radiadores convencionales sigue siendo satisfactorio.

Aun así, todo lo que se ha ido comentando anteriormente carece de valor si los aislantes utilizados son malos; se ha estimado que en un sistema termoeléctrico la previsión de pérdida por convección y conducción no debe superar el 10% de la

potencia eléctrica inyectada al sistema. Por lo que la clave para diseñar un sistema termoeléctrico está en el conocimiento y estudio de los aislantes.

Actualmente el consumo medio de todas las aplicaciones termoeléctricas (con radiadores convencionales) para refrigerar habitáculos de unos 70 litros está un 25% por encima del consumo que ofrecen los compresores. Este margen está aceptado en el mercado, pero en aplicaciones de mayor tamaño se dispara mucho más, por lo que actualmente no existe aún ninguna aplicación que sobrepase las dimensiones. Por otro lado, es importante resaltar que el precio de estas aplicaciones será competitivo al 100% con los actuales sistemas de refrigeración y como ya se ha comentado pueden incluso suponer un ahorro en mantenimiento y un aumento en su tiempo de vida.

Para concluir, realmente creo que el futuro para aplicar esta energía está muy cerca; me atrevo a predecir incluso, que el sector del automóvil será el que inicialmente se beneficie y promueva esta energía de futuro, con el consiguiente abaratamiento de la materia prima, que en buena cuenta será en beneficio de todos. Sería interesante que esta conclusión sirviera para que se siguiese investigando a fondo esta tecnología.

RESUMEN

Con el nuevo milenio hemos podido ver que lejos de estancarnos con las tecnologías tradicionales ha ocurrido todo lo contrario estamos viviendo una nueva era de posibilidades que por peculiares que parezcan no lo han sido siempre más bien ha ocurrido que como en el caso del fax fue un invento que se adelanto a su tiempo.

En el estudio de aplicaciones que pueden usar la refrigeración termoeléctrica, así como la elaboración de diferentes equipos de refrigeración que satisfagan las necesidades actuales en este campo, hay que tener en cuenta que la refrigeración por métodos termoeléctricos podría sustituir en bastantes casos a los sistemas de refrigeración actuales, eliminando así el uso de los CFC (gases contaminantes que destruyen la capa de ozono). Además de ésta, la refrigeración termoeléctrica posee diversas ventajas, entre las que se pueden destacar:

- Producción de frío y calor indistintamente simplemente invirtiendo la polaridad de la tensión aplicada.
- Es totalmente silenciosa y no produce vibraciones.
- Fácil variación de la potencia refrigerante actuando sobre la tensión de alimentación.
- No necesita mantenimiento.
- No posee elementos móviles.
- Asegura la estanqueidad del elemento a refrigerar.
- Puede funcionar en cualquier posición.

En función de las anteriores características, el campo de estudio y aplicación de este tipo de refrigeración es muy amplio. Como ya se ha dicho, es posible el estudio de aplicaciones concretas tales como: refrigeración de cuadros eléctricos, refrigeración de frigoríficos portátiles, refrigeración de aires acondicionados para habitáculos reducidos, refrigeración en medicina...

CONCLUSIONES

Todo este proyecto que podría parecer muy ambicioso, no lo es tanto, ¿pero porque? lo pienso así, es simple ver que durante una catástrofe es difícil que haya algún suministro de energía, disponible normalmente durante un huracán las vías de comunicación quedan dañadas, las poblaciones pueden y de hecho quedan incomunicadas por algunas semanas, dentro de este marco siniestrado con carencias de agua, luz, teléfono, gasolina, gas, difícilmente puede ser abastecido por tierra, pero tenemos la vía aérea donde por medio de un helicóptero se puede acceder a las clínicas donde se encuentren las vacunas que sino se mantienen por debajo de los 7 Celsius se pueden degradar y quedar inservibles, normalmente este tipo de antibióticos no se producen en el país, es por ello que un sistema de refrigeración portátil y autosuficiente resultaría formidable para ocuparse posterior al la embestida de un huracán, de todas formas aun cuando se encontrara todavía nublado el sistema fotovoltaico captaría la energía suficiente para mantener una dotación de vacunas adecuadas, para salvaguardar algún poblado afectado, al multiplicar este tipo de brigadas se puede brindar mayor atención a diferentes regiones del país que se sabe acaecen de huracanes, sismos, inundaciones, y eventualmente erupciones volcánicas, la instalación del sistema puede ser muy versátil puesto que se puede adaptar a ambulancias, helicópteros, puestos improvisados de auxilio, y mejor aun se le puede proporcionar al ejercito para coadyuvar a la ejecución del plan DN3 de ayuda a la población, realmente su uso no es muy complejo basta con apuntar el módulo al sol y listo desde luego requiere de una que otra conexión pero nada que un curso no pueda cubrir, ahora bien la capacitación puede ir dirigida al sector salud, rescatistas, bomberos, el ejercito, brigadas independientes, y aun cuando el costo pudiera parecer alto no lo es si consideramos las vidas potenciales que pueden ser salvadas.

Glosario de conceptos fundamentales

Se dará en este apartado algunas definiciones de términos que se utilizarán posteriormente en el desarrollo de este trabajo.

- SISTEMA TERMODINÁMICO:

Es la porción del Universo físico objeto del estudio termodinámico. Al resto del Universo que no pertenece al sistema termodinámico lo llamaremos medio exterior. Los sistemas termodinámicos se llaman *abiertos* en el caso en que a través de la superficie que los limita hay pérdidas o transferencia e intercambio de energía y de materia. Se llaman *cerrados* cuando no hay pérdidas de materia al medio exterior, la transferencia sólo puede ser de energía, en forma de calor o de trabajo. Se dice que un sistema está aislado cuando no hay ninguna interacción entre él y el medio exterior. Un sistema cerrado tiene un número de partículas constantes ya que no intercambia masa con el exterior. Un sistema aislado no tiene interacciones con el exterior, no existe intercambio térmico ni de masa.

Ejemplo: La Tierra, separada de la atmósfera, es un sistema abierto; pero la Tierra y la atmósfera, consideradas globalmente, constituyen un sistema cerrado.

- ESTADO DE UN SISTEMA, VARIABLES DE ESTADO, ECUACIÓN DE ESTADO:

Denominaremos *estado de un sistema* a los valores tomados por cada una de las propiedades de este sistema. Por ejemplo: consideremos que nuestro sistema es un gas perfecto (ideal) contenido en una vasija de volumen V . Las propiedades de este sistema son, entre otras, el volumen, la masa, la presión, la temperatura, la energía, etc.

Es evidente que necesitamos introducir una serie de propiedades mínimas tal que conocidas éstas, conozcamos todas. A estas propiedades fundamentales se las conoce con el nombre de *variables de estado*. Su número depende del problema (sistema) considerado. En el ejemplo anterior serían tres: el número total de moléculas n , la presión p y la temperatura T . Cualquier relación que ligue a las variables de estado entre sí, se conoce con el nombre de *ecuación de estado*.

Las propiedades o magnitudes que caracterizan un sistema se dice que son intensivas cuando no dependen de la cantidad de materia del sistema, o sea que son magnitudes por unidad de masa. Las propiedades se consideran extensivas cuando dependen directamente de la cantidad de materia del sistema.

- SISTEMAS HOMOGÉNEOS Y HETEROGÉNEOS:

Un sistema se dice que es *homogéneo* cuando sus propiedades intensivas no varían de uno a otro de sus puntos y *heterogéneo* en caso contrario. Muchos sistemas heterogéneos de interés práctico están formados por varios sistemas homogéneos (ej. una vasija cerrada en la que un líquido y su vapor coexisten); a cada uno de estos sistemas homogéneos se le llama fase.

- EQUILIBRIO, PROCESO Y CICLO:

Cuando el estado de un sistema permanece constante con el tiempo (y en consecuencia, las variables de estado), se dice que éste es un *estado de equilibrio*. Cuando un sistema termodinámico, partiendo de un estado de equilibrio inicial, evoluciona a un estado de equilibrio final, se dice que ha sufrido una *transformación* o *proceso*. Si después de la transformación el estado de equilibrio final coincide con el inicial se dice que el sistema ha descrito un *ciclo*.

GLOSARIO DE CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Un proceso ideal en el cual el sistema va pasando por infinitos estados de equilibrio infinitamente próximos se dice que es un proceso *casi - estático*. Un proceso de este tipo se consigue dando variaciones infinitesimales a las variables de estado que definen el sistema y por tanto será un proceso infinitamente lento. En la práctica, y en pleno rigor, no existen tales procesos (toda transformación real es forzosamente irreversible), pero en gran cantidad de problemas prácticos es una aproximación muy buena suponer un proceso *casi - estático*.

PROCESO REVERSIBLE:

Se dice que un proceso es reversible cuando se realiza de tal forma que una vez finalizado puede recorrerse en sentido contrario, volviendo al estado inicial tanto el sistema como el medio exterior.

Los procesos *casi - estáticos* son reversibles si no se produce en ellos disipación de energía. Un proceso se dice que es irreversible cuando no cumple estas condiciones.

PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA. LA TEMPERATURA:

Una pared que delimita a un sistema se dice que es un aislante térmico cuando desde el exterior es imposible modificar el estado térmico del sistema. Por el contrario, los conductores térmicos permiten la influencia térmica del medio exterior sobre el sistema que delimitan.

Diremos que dos sistemas están en contacto térmico cuando alguna zona de la separación entre ambos está formada por conductores térmicos. Dos sistemas en contacto térmico, que no ejerzan influencia mutua, se dice que están en equilibrio térmico.

Podemos definir el Principio Cero de la Termodinámica de la siguiente manera “*Si dos sistemas están en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí*”. Cuando dos cuerpos estén en equilibrio térmico entre sí diremos que tienen la misma temperatura.

CAPACIDAD CALORÍFICA Y CALOR ESPECÍFICO:

A pesar de que no necesitamos unidades especiales para el calor, una vez reconocido que es una forma de la energía medible en Joules, electronvolts o cualquier otra unidad de energía, se sigue utilizando la unidad histórica del calor, es decir la *caloría*. La *caloría* se definió originalmente como la cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius. Una medida cuidadosa demuestra que esta energía depende levemente de la temperatura del agua; por ello la *caloría* se definió más exactamente como la cantidad de agua necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua desde 14,5 °C a 15,5 °C.

La cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un objeto un grado Celsius se llama *capacidad calorífica C* del objeto. La capacidad calorífica de un gramo de agua a 15 °C es por definición 1 cal/°C. La capacidad calorífica de un objeto es proporcional a su masa según:

$$c = \frac{C}{m} \quad \text{EC.1}$$

donde:

c es el *calor específico*.

Se ha determinado y tabulado el calor específico y la capacidad calorífica de muchas sustancias. La *energía térmica Q* que interviene en una *variación de temperatura* ΔT de un sistema de *masa m* vale:

$$Q = C\Delta T = mc\Delta T \quad \text{EC.2}$$

La *variación de temperatura* es positiva para el calor que entra en el sistema y

negativa para el calor que sale del mismo.

CALOR LATENTE:

En la mayoría de los casos, cuando se suministra calor a un cuerpo a presión constante, el resultado es un incremento de temperatura del cuerpo. De todas formas, a veces, un cuerpo puede absorber grandes cantidades de calor sin variar su temperatura. Esto ocurre cuando la condición física, o fase del material está variando de una forma a otra, por ejemplo, de líquido a gas, de sólido a líquido, o de una forma cristalina a otra. Por lo tanto, el calor no sólo produce una variación en la temperatura de un cuerpo, sino que a veces da lugar a un cambio de fase sin que haya variación de temperatura.

Estos fenómenos se comprenden fácilmente en función de la teoría mecánica o molecular del calor. Cuando la temperatura de un cuerpo aumenta por causa de un calor suministrado, se origina un aumento de la energía cinética del movimiento de las moléculas. Cuando un material pasa de la forma líquida a la forma gaseosa, las moléculas, que por causa de sus atracciones naturales se mantenían originalmente en contacto, se alejan unas de las otras. Esto requiere que se realice un trabajo en contra de las fuerzas de atracción, es decir, hace falta que se suministre una energía a las moléculas para separarlas, aun cuando no aumenten sus energías cinéticas (y temperatura) en el proceso. De este modelo podemos deducir que un cambio de fase de líquido a gas requiere calor aun cuando no se produzca una elevación de la temperatura. Igualmente, otros cambios, como por ejemplo, de sólido a líquido, o de una forma sólida a otra, son consecuencia de una nueva ordenación de las moléculas y de un trabajo en contra de las fuerzas que las mantienen unidas. Es lógico pensar que la energía térmica se invierte en estas reordenaciones y que la temperatura se mantiene constante. Para sustancias puras, los cambios de fase se dan a cualquier presión, pero sólo a unas temperaturas determinadas. Por ejemplo, el agua pura a

presión atmosférica cambia de sólido a líquido a 0 °C (punto de fusión) y de líquido a gas a 100 °C (punto de ebullición). Para sustancias puras se requiere una cantidad de calor determinada para cambiar la fase de una cantidad de sustancia dada.

Este calor es proporcional a la masa de sustancia según :

$$Q = mL \qquad \text{EC.3}$$

donde:

L es una constante característica de la sustancia y del cambio de fase que se trate.

Si el cambio de fase es de sólido a líquido se llama *calor latente de fusión* y si el cambio es de líquido a gas es el *calor latente de vaporización*. Para agua a presión atmosférica, el calor latente de vaporización vale 540 cal/g.

EL TRABAJO EN TERMODINÁMICA:

En termodinámica las cantidades de calor y de trabajo no están asociadas a un sistema sino al proceso de interacción del sistema con su ambiente. Durante el proceso de interacción el sistema puede recibir calor del exterior o cederlo al ambiente. Lo mismo ocurre con el trabajo. Es necesario fijar por convenio los signos del transporte de energía de un sistema con el entorno; los dos tipos de intercambio energético que se producen en termodinámica son el calor y el trabajo.

- Criterio de signos para el calor: El calor es positivo si el sistema lo recibe del ambiente. El sistema gana calor. El calor es negativo si el sistema cede calor al ambiente. El sistema pierde calor.

- Criterio de signos para el trabajo: El trabajo es positivo si lo realiza el sistema contra el ambiente. El sistema se expande. El trabajo es negativo si el

ambiente realiza trabajo sobre el sistema. El sistema se contrae.

Hay que tener en cuenta que tanto el calor como el trabajo son sólo dos manifestaciones de la energía ; históricamente el trabajo ha sido estudiado por la mecánica y consiste en la aplicación de una fuerza durante un desplazamiento. La energía que llamamos calor sería la asociada a la composición microscópica de la materia (históricamente a través del sentido del tacto como calor).

PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA:

El primer principio de la termodinámica es consecuencia de la observación de que aparentemente (para el observador humano) existen dos formas de energía y de que existe un balance entre ellas. Realmente es una expresión del principio de conservación de la energía y se puede expresar de la siguiente forma: *"La energía absorbida por un sistema en forma de calor es igual a la suma del trabajo realizado por el sistema y la variación de energía interna del mismo"*, o de una forma equivalente: *"La variación de la energía interna de un sistema es igual al calor absorbido por el sistema ($Q > 0$) menos el trabajo realizado por el sistema ($W > 0$)"*.

El primer principio nos indica que precisamente lo que varíe en calor Q un sistema durante una transformación debida a la forma de la misma, debe compensarse exactamente por la variación del trabajo realizado para que la energía interna sólo dependa de los estados inicial y final.

La primera ley de la termodinámica es simplemente la ley de la conservación de la energía generalizada para incluir al calor como una forma de energía. Esta ley sólo afirma que un aumento en una forma de la energía debe venir acompañada por una disminución en alguna otra forma de la misma. La primera ley no impone restricción alguna sobre los tipos de conversión de la energía que puedan ocurrir. Además, no

hace distinción alguna entre calor y trabajo. Según la primera ley, la energía interna de un cuerpo puede incrementarse agregándole calor, o bien realizando trabajo sobre él. Pero existe una diferencia importante entre calor y trabajo que no es evidente a partir de esta primera ley. Por ejemplo, es posible convertir por completo trabajo en calor pero, en la práctica, es imposible convertir por completo calor en trabajo, sin modificar el entorno.

- ENTALPÍA DE UN SISTEMA:

Se define la entalpía de un sistema H , como la función de estado (o sea que sólo depende de los estados inicial y final) de la siguiente manera $H = U + p V$ (como se ve tanto la energía interna U , como la presión p y el volumen V , son funciones de estado y por tanto, su combinación también lo será). La utilidad de la entalpía, para procesos a presión constante, es que permite expresar el calor (que no es función de estado) como variaciones de la entalpía del sistema (que sí es función de estado y basta con definir los estados inicial y final).

SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA:

La segunda ley de la termodinámica establece los procesos de la naturaleza que pueden ocurrir o no. De todos los procesos contemplados por la primera ley, únicamente ciertos tipos de conversión de energía pueden llevarse a cabo. Por ejemplo, cuando dos objetos que están a temperaturas diferentes se colocan en contacto térmico entre sí el calor fluye del objeto más caliente al más frío, pero nunca del más frío al más caliente. En la naturaleza, los procesos tienden a hacerse en una dirección determinada. Desde el punto de la Ingeniería, la segunda ley establece el rendimiento limitado de las máquinas térmicas, es decir, afirma que no es posible construir una máquina capaz de convertir por completo, de manera continua, la energía térmica en otras formas de energía (como la mecánica o eléctrica). Por

GLOSARIO DE CONCEPTOS FUNDAMENTALES

ejemplo los motores de combustión interna y los diesel, que impulsan automóviles y aviones, extraen calor de un combustible que se quema y convierten una fracción de esta energía en energía mecánica.

Hay dos formas equivalentes de enunciar el segundo principio, que son las siguientes:

- Enunciado de Kelvin - Planck: *"No puede existir un motor que funcionando cíclicamente produzca trabajo intercambiando calor con un solo foco térmico".*

- Enunciado de Clausius: *"No puede existir una máquina frigorífica de funcionamiento cíclico que haga pasar calor de un foco a otro de mayor temperatura sin aporte de trabajo exterior. Afirma la imposibilidad de una máquina frigorífica de eficiencia infinita."*

ENTROPÍA:

La entropía es una nueva variable termodinámica relacionada con el calor y la temperatura, útil porque es función de estado. Bajo una interpretación estadística mide el grado de desorden en un sistema.

TERCER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA:

Se enuncia también un tercer principio que confirma la imposibilidad de alcanzar el cero absoluto, expresando que el límite de la entropía es cero cuando la temperatura tiende a cero (que equivale a confirmar la inaccesibilidad del cero absoluto).

BIBLIOGRAFIA.

1.- Energía solar aplicaciones practicas

Hans rau
Ed. Marcombo

2.- Energía solar fundamentos y aplicaciones foto térmicas

José Antonio Manrrique
Ed Harla

3.- La energía solar el hombre y la agricultura.

José Juan García
Ed servicio de publicaciones agrarias.

4.- Energía solar fotovoltaica

José Mompin Poblete
Ed Marcombo

5.- Energía renovable técnicas de punta para utilizar otras fuentes de energía

Jenifer Carless
Ed Estado de México

6.- Energías alternativas y tradicionales

Antonio Lucena Bonny
Ed Talasa.

7.- Energía solar bases y aplicaciones.

CC Cobarg.
Ed Paraninfo.

8.- Procesos foto térmicos y energía .

José Antonio Manrrique.
Ed Harla.

9.- Solar engienering of thermal processes.

John A. Duffie.
Ed Wiley Interscience Publications.

10.-Fundamentals of solar energy conversion.

Edward Anderson
Ed Addison Wesley

11.- Thermoelectric Material

López Martín

Mechanical Alloying Solid States Communications vol 108

12.- Cooling Performance of integrated thermoelectric micro cooler

MIN GAO

Solid State Electronic no.43

13.- Thermoelectric coolers take the heat out of today 's hot chips

ROBERT

Electron prod.

14.- Symbiotic application of thermoelectric conversion for fluid

Rowe D. M

Energy Conversion vol 43

15.- Handbook of thermoelectric

Slack

D.M CRC

16.- Thermoelectric power generation system recovering heat

Kajikawa

JAPAN

17.- Transferencia de calor

Holman,j,p

McGraw Hill,

18.- Manual de la arquitectura solar

Ferreiro Héctor

Limusa

19.- Manual de procedimientos técnicos , cadena de frio

Programa de atención a la salud del niño

Salud 2000

20.- Análisis introductorio de circuitos

Boylestad

Pearsón Educación

21.-Electrónica teoría de circuitos

Louis Nashelsky

Prentice Hall

22.-Manual de formulas técnicas

Kurt Gieck

Alfaomega

23.-Los sistemas fotovoltaicos, curso de introducción

División energías alternas

Condumex, MÉXICO

24.- Principios de electrónica

Malvino

McGraw-hill

25.-Transferencia de calor por radiación

F. Kreith

CECSA, MÉXICO

26.-Aplicaciones de energía solar

Meniel

Reverte, MÉXICO

27.-Electricidad solar

W,Palz

Reverte MÉXICO

28.-Uso directo de la energía solar

D, Farrington

Blume. Madrid

29.-Reconversión Solar

D. Rief

Limusa

30.-Circuitos y dispositivos electrónicos

R.J.Tocci

Iberoamericana, MÉXICO

31.-Ingeniería del ámbito termico

James I threlkeld

Prentice hall

32.-Principles of solar engineering

Kreith f. & Kreider

Mc Graw Hill

33.-Solar thermal energy

Sprinher , verlong

ED. German studies thecnology