

211



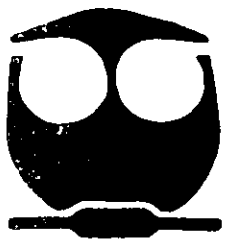
# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

## EVALUACION DE AMBIENTES TERMICOS EN LA INDUSTRIA

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA QUIMICA  
PRESENTA  
DULCE MAYGEL SUASTE GARCIA



MEXICO, D. F.

EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

2001

293503



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.



Jurado asignado:

Presidente	Prof. JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ
Vocal	Prof. JESÚS ARTURO BUTRON SILVA
Secretario	Prof. RAMON E. DOMINGUEZ BETANCOURT
1 <sup>er</sup> sup.	Prof. JOSE LUIS LOPEZ MARTINEZ
2 <sup>do</sup> sup.	Prof. BALDOMERO PEREZ GABRIEL

Sitio donde se desarrollo el tema: Instituto Nacional de Control Total de Perjuicios INCTP

Prof. Ramón E. Dominguez Betancourt

Ing. Genaro Escobar Márquez

C. Dulce Maygel Suaste García



*Agradezco a mis padres por el apoyo que me han brindado durante mis diferentes etapas como estudiante.*

*A mi madre Leticia García Hernández por haber inculcado en mi fortaleza, firmeza, perseverancia y paciencia..*

*A mi padre Francisco Duaste Barcenas por su apoyo y esfuerzo para que pudiera alcanzar cada una de mis metas.*

*A mis hermanas Linda,, Valeri y Sandy quienes han compartido mis éxitos.*

---



*A mis amigos y compañeros de la Facultad en especial a Marianet, Carmen, Ibet, Dinah quienes estuvieron siempre a mi lado durante la carrera.*

*A mi amiga Ana por la amistad que nos une desde hace muchos años*

*A Bob quien me apoyo durante mi carrera y me oriento al igual que la Profesora Elisa Urriarte.*

*A la familia Sánchez que me abrió sus puertas para brindarme su apoyo cuando lo solicite.*

---



*Agradezco a la UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO el haberme  
brindado la oportunidad de formar parte de  
cultivarme en sus aulas, y con orgullo repetir su  
lema "Por mi Raza hablará el Espíritu"*



*Agradezco a mi asesor el apoyo brindado Profesor  
Ramón Domínguez Betancourt*

*Al Ing. Genaro Escobar Márquez por apoyarme  
en la parte técnica*

*Al profesor Faustino Vega y al profesor Luis  
Arriaga Gutiérrez por haber inculcado en mí  
perseverancia y disciplina.*

---



## INDICE

CAPITULO I	
	Pag.
Introducción	1
Objetivos	4
CAPITULO II	
METABOLISMO HUMANO Y REGULACIÓN DE CALOR	
Metabolismo	6
Acoplamiento del Anabolismo y el Catabolismo por el ATP	7
Producción de Energía	
Reacciones de oxido reducción	9
Síntesis de ATP	12
Catabolismo de la glucosa	13
Glucólisis	
Formación de Acetil Coenzima A	16
Ciclo de Krebs	19
Cadena de transporte electrónico y cadena respiratoria	23
Energética de transporte de electrones	26
Fosforilación oxidativa	29
Respiración celular aeróbica	31
Regulación de la velocidad de respiración	33
HOMEOSTASIS DE LA REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL	
Regulación de la temperatura	42
Receptor de la temperatura	42
Termostato hipotalámico	43
Mecanismos de producción de calor	44
Mecanismos de pérdida de calor	46
CAPITULO III	
TRANSFERENCIA DE CALOR	
Conducción	51
Convección	52
	53





Radiación	
Evaporación	54
Transferencia de masa	55

## CAPITULO IV

### AMBIENTES TERMICOS

Transferencia de calor entre el hombre y el ambiente	58
Antecedentes fisiológicos	59
Parámetros que determinan el balance térmico	60
Ambientes fríos	62
Ambientes calientes	63
Evaluación de las variables que definen el ambiente térmico	
Medida de la temperatura seca del aire	64
Termómetro de bulbo	65
Termopares	66
Termorresistencias y termistores	67
Medida de la humedad del aire	67
Presión parcial de vapor	68
Humedad absoluta	68
Humedad relativa	69
Punto de rocío	69
Temperatura húmeda	69
Termómetro húmedo	70
Célula higroscópica	71
Medida de la velocidad del aire	
Anemómetro mecánico	71
Termoanemómetros	72
Medida de la Temperatura Radiante Media	72

## CAPITULO V

### CARGA TÉRMICA

Metabolismo basal	75
Métodos para el metabolismo basal	76
Cálculo del metabolismo basal	77
Cálculo de la carga térmica de trabajo	84



## CAPITULO VI

### INDICES DE STRESS TERMICO

Índices para la evaluación de calor	95
Índice de Temperatura Efectiva	96
Índice de Temperatura Efectiva Corregida	99
Índice PMV-PPD	100
Índice de Tensión Térmica	104
Índice para la evaluación del frío	109
Índice de Tensión Térmica	110
Índice de stress Térmico	111
Valoración subjetiva del Ambiente Térmico	111

## CAPITULO VII

### INDICE DE TEMPERATURA DE GLOBO BULBO HUMEDO

Índice WBGT	115
Criterios ACGHI	116
Criterios OSHA	118
Criterios ISO 7243	119

## CAPITULO VIII

### NOM-015-STPS-1994

#### Norma Oficial Mexicana NOM-015-STPS-1994

Relativa a la exposición laboral de las condiciones térmicas elevadas o abatidas en el trabajo

Requerimientos para el patrón y los trabajadores	122
Requisitos	123
Definiciones	124
Métodos de Evaluación Ambiental	142
Métodos para evaluar la Temperatura de Bulbo Húmedo en el Ambiente Laboral	144



CAPITULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	152
recomendaciones	154
Anexo A	159
Bibliografía	163

# I

# INTRODUCCIÓN

---

Hoy día en el marco legal lo contempla es que las industrias cumplan con la medidas de seguridad e higiene protegiendo la salud física y mental de los trabajadores, pues ninguna vida humana jamás podrá ser remplazada como el equipo industrial.

Entonces la Higiene Industrial es una disciplina que se encarga de la detección, evaluación y control de los factores físicos, químicos, biológicos y ergonómicos, es importante mencionar que sólo estudiaremos los factores físicos.

Un antiguo proverbio “ Primero ser, después la manera de ser” debe cumplirse cuando se trata de trabajo. En efecto un trabajador en malas condiciones orgánico funcionales nunca podrá desempeñar en forma amplia su trabajo, así se trate de aquel que posea vastos conocimientos sobre su especialidad.

No basta que el trabajador física y mentalmente se encuentre bien, sino que el lugar donde realiza sus actividades debe ser completamente confortable el Ambiente de trabajo y garantizarlo, en este caso el nivel térmico ya sea elevado o abatido, tiene una especificidad propia en el campo de la Higiene Industrial debido a una serie de factores en la que cabe destacar la asociación de calor y frío como agentes susceptibles de provocar riesgos profesionales, con los problemas de confort térmico.



Es necesario que exista un equilibrio térmico en el cuerpo humano, gracias a que este cuenta con un sistema de termorregulación (homeostasis) puede mantener una temperatura interna constante, no importa si en el ambiente existe una temperatura elevada o baja, claro ayudado con ropa adecuada para cualquiera de estas dos condiciones.

En el caso de ambientes térmicos de temperatura abatida el sistema nervioso recibe una serie de señales para evitar disipar el calor por vasoconstricción y exponiendo la menor área del cuerpo al frío.

Para ambientes térmicos elevados independiente de este, el cuerpo humano cuando realiza trabajos genera una carga térmica, entonces para evitar la acumulación excesiva de calor en el cuerpo que es necesario disipar mediante los mecanismos de sudoración y empleando la transferencia de calor por conducción, convección y radiación.

Se deben considerar los factores que constituyen el ambiente de trabajo, tales como la humedad relativa del aire, temperaturas de bulbo húmedo y seco, velocidad del aire y la carga térmica ya que son esenciales para determinar si un ambiente de trabajo es confortable o no.

Debido a que la transferencia de calor se da de manera interactiva se debe considerar tanto las características del cuerpo humano así como los factores del ambiente en el que se desarrollan sus actividades.

Para determinar si el ambiente es o no confortable podemos evaluarlos con los Índices de Estrés Térmico, ya que consideran cada uno de los factores antes mencionados.

Este trabajo parte de la situación actual en las diferentes industrias en México, toma como base para su evaluación la NOM-015-STPS-1994 relativa a la exposición laboral de las condiciones térmicas elevadas o abatidas en los centros de trabajo.



Por último es importante que los empresarios tomen conciencia de la importancia del bienestar de sus trabajadores, dándoles capacitación y entrenamiento estando estos preparados para auxiliar a las personas que los requieran cuando estas sean afectadas por condiciones ambientales extremas abatidas o elevadas.

Este trabajo pretende ser el inicio de toda una serie de estudios que contribuyan a la disminución de riesgos a la salud por la exposición a condiciones ambientales térmicas.

Las sugerencias que de este trabajo emanen, esperamos sean de utilidad para quienes están abocados a la Seguridad e Higiene Industrial en los centros de trabajo.



## OBJETIVOS

Conocer los parámetros y equipos con los que podemos evaluar un ambiente térmico.

Conocer las enfermedades profesionales y accidentes de trabajo causados por trabajar en ambientes térmicos elevados o abatidos.

Este trabajo nos permitirá conocer los índices de stress térmico, cuales son y que podemos evaluar con cada uno de estos índices para determinar si es apropiado para que los trabajadores realicen sus actividades.

Conocer de la NOM-015-STPS cual es el índice en el que se basa para determinar si un ambiente térmico es o no confortable, así como las obligaciones del patrón y las responsabilidades de los trabajadores.

Con este cúmulo de conocimientos brindar la protección adecuada al trabajador y las condiciones apropiadas para el ambiente laboral.

Con todo lo anterior se pretende una llamada de atención sobre las precauciones y evaluación adecuada, así como establecer la importancia que tiene la Higiene y Seguridad Industrial, no sólo desde el punto de vista técnico, sino también el aspecto social y humano.

## II

# METABOLISMO HUMANO Y REGULACION DE CALOR

---

Los organismos vivos se pueden clasificar en dos grandes grupos: autótrofos (que se auto alimentan) y heterótrofos (que se alimentan de otros). Debido a que el hombre pertenece al 2º grupo necesita consumir alimentos los cuales constituyen una fuente de energía para realizar trabajos biológicos tales como la síntesis de proteínas, la contracción muscular, la mitosis y el transporte activo entre otras, por esta razón estudiaremos el metabolismo, o sea el proceso químico que hace posible la vida en las células. Sin embargo no es propósito de esta sección presentar los detalles químicos de todas las diferentes reacciones celulares sólo revisaremos los principales procesos químicos que ocurren en la célula.

Cuando hablamos de vida en los organismos, en este caso el ser humano, tenemos que hacer referencia al control, porque ningún ser vivo puede existir sin mecanismos precisos que controlen sus diversas actividades. Un ejemplo de los sistemas de control en organismos vivos, es la regulación de la temperatura en el cuerpo humano.

Los animales se pueden clasificar en homeotermos y poiquilotermos. Los animales homeotermos son capaces de mantener su temperatura corporal casi constante independientemente de la temperatura del ambiente, dentro de este grupo están las aves y los mamíferos incluyendo el hombre. Mientras que los poiquilotermos tienen una temperatura que se modifica de acuerdo a la temperatura del medio, como sucede en los peces, reptiles, etc.





## **METABOLISMO**

[24][8]E] el metabolismo es el conjunto de las reacciones químicas del objeto biológico. Debido a que las reacciones químicas requieren o liberan energía, se puede considerar el metabolismo corporal como un equilibrio energético entre las reacciones anabólicas (síntesis) y catabólicas (degradación). Con frecuencia, las reacciones catabólicas se producen en un compartimiento de la célula, por ejemplo las mitocondrias, mientras que las reacciones anabólicas tienen lugar en otro compartimiento, por ejemplo el citosol. Las moléculas, una vez sintetizadas, tienen un período de vida limitado. Con pocas excepciones se degradarán y los átomos que las componen serán reciclados en otras moléculas o excretadas del cuerpo. El reciclado es un proceso continuo en los tejidos vivos, que sucede rápidamente en algunos y muy lentamente en otros. Cada célula puede ser renovada molécula a molécula, y todo un tejido puede ser reconstruido célula a célula.

### **Anabolismo**

Las reacciones químicas que combinan sustancias simples en moléculas más complejas reciben en conjunto el nombre de anabolismo (ana=hacia arriba). Los procesos anabólicos con frecuencia incluyen reacciones de síntesis que requieren energía para formar nuevos enlaces químicos. Un ejemplo de proceso anabólico es la formación de enlaces peptídicos entre aminoácidos, que se unen para formar proteínas. Además, los ácidos grasos junto con la glucosa se polimerizan para formar glucógeno (o almidón muscular), mediante reacciones anabólicas.



## **Catabolismo**

Las reacciones químicas que descomponen compuestos orgánicos complejos en compuestos más sencillos reciben en conjunto el nombre de catabolismo (cata=hacia abajo). Las reacciones catabólicas generalmente son reacciones de hidrólisis que liberan la energía química disponible en las moléculas orgánicas. Un ejemplo de reacción catabólica es la digestión química en la que la ruptura de enlaces de las moléculas de los alimentos libera energía. Otro ejemplo es la respiración celular, en la que se degradan nutrientes y se libera energía entre otros.

## **ACOPLAMIENTO DEL ANABOLISMO Y EL CATABOLISMO POR EL ATP**

Las reacciones químicas de los sistemas vivos dependen de la transferencia eficaz de cantidades de energía (12000 cal) de una molécula a otra. Además, esta transferencia debe realizarse sin generar una cantidad muy grande de calor. La molécula que participa en la mayoría de los intercambios de energía de las células vivas es el ATP (adenosintrifosfato). El ATP es la <<moneda de energía>> de las células vivas. Al igual que el dinero, está rápidamente disponible para <<comprar>> actividades celulares; se gasta y se vuelve a fabricar continuamente. En general, una molécula de ATP tarda menos de un minuto en ser utilizada. Por consiguiente no constituye una forma de almacenamiento a largo plazo del dinero, sino dinero en efectivo muy adecuado para transacciones instantáneas.

Las reacciones catabólicas proporcionan la energía necesaria para la mayoría de las reacciones anabólicas. El acoplamiento de las reacciones que requieren energía y que liberan energía se realiza a través del ATP. La molécula de ATP es un miembro de la familia de compuestos denominados nucleótidos. Los nucleótidos contienen una base nitrogenada que puede ser un derivado de la purina o de la pirimidina, un



azúcar de cinco átomos de carbono y uno o más grupos fosfato. Así el ATP contiene adenina, el 6-amino derivado de la purina, el azúcar de cinco átomos de carbono D-ribosa que está unido a la adenina a través de un enlace glicosídico y un grupo fosfato unido mediante un enlace éster a la posición 5' de la ribosa. La estructura de la molécula de ATP se muestra en la figura 2.1.

Cuando se separa del ATP el grupo fosfato terminal se forman adenosínfosfato (ADP) y un grupo fosfato (representado como P). La energía liberada se utiliza para dirigir reacciones anabólicas ( $ATP \rightarrow ADP + P + \text{energía}$ ). A continuación la energía liberada por las reacciones catabólicas se utiliza para combinar ADP y un grupo fosfato para sintetizar ATP ( $ADP + P + \text{energía} \rightarrow ATP$ ).

Sólo una pequeña parte de la energía liberada en el catabolismo queda disponible para las funciones celulares. La mayor parte de la energía se pierde en el medio como calor. Así, existe una necesidad continua de nuevas fuentes externas de energía para que las células sintetizen una cantidad suficiente de ATP para mantener la vida.

## PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

[24] Las moléculas de nutrientes, al igual que todas las moléculas, poseen energía almacenada en los enlaces entre átomos. Varias reacciones de las rutas metabólicas, se tratarán dos aspectos importantes de la producción de energía: las reacciones de oxidación-reducción y los mecanismos de síntesis de ATP.

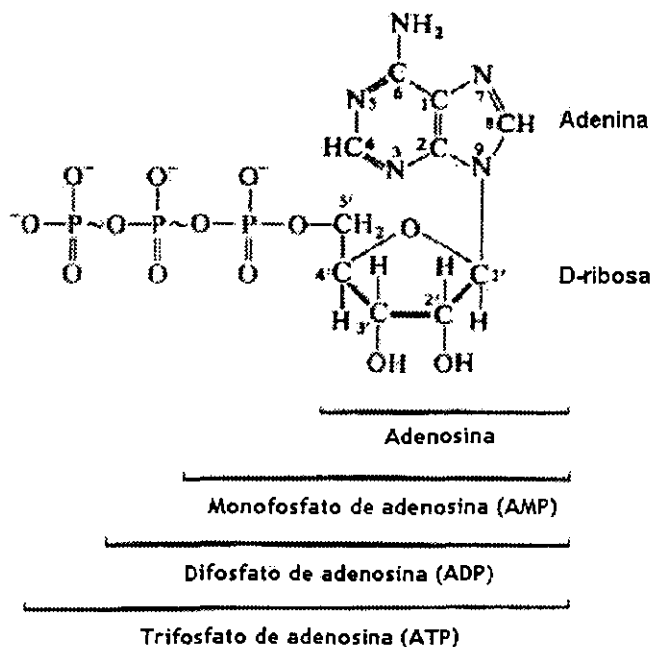


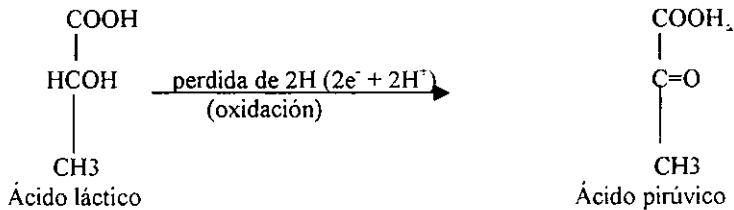
Fig. 2.1 Estructura del ATP. El símbolo ~ se utiliza para designar a los enlaces de alta energía.

### Reacciones de oxido reducción

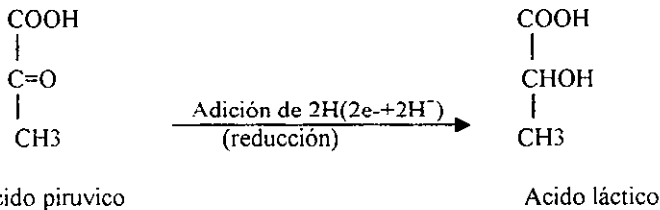
La oxidación de la pérdida de electrones de una molécula, y da lugar a una disminución del contenido energético de la molécula. En muchas oxidaciones celulares se pierden dos electrones y dos  $H^+$  al mismo tiempo; esto equivale a eliminar dos átomos de hidrogeno ( $2e^- + 2H^+ = 2H$ ). Debido a que en la mayoría de las oxidaciones biológicas se produce una pérdida de átomos de hidrogeno, estas



reacciones reciben el nombre de deshidrogenación. Un ejemplo es la conversión de ácido láctico en ácido pirúvico.

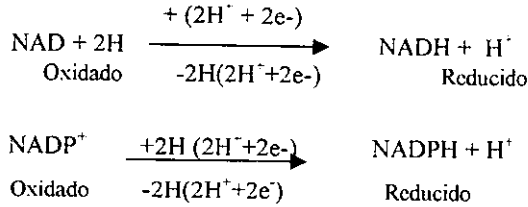


La reducción es lo contrario a la oxidación, es decir, la adición de electrones a una molécula. Un ejemplo de reducción es la conversión de ácido pirúvico en ácido láctico.



Dentro de una célula, las reacciones de oxidación y reducción siempre están acopladas reciben el nombre de reacciones de oxidación-reducción (redox).

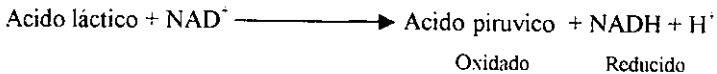
Cuando una sustancia se oxida, los átomos de hidrogeno liberados no permanecen libres en la célula, sino que se transfieren inmediatamente a otros compuestos mediante coenzimas. Las células vivas utilizan habitualmente tres coenzimas para transferir átomos de hidrogeno. Dos son el dinucleotido de nicotinamida y adenina ( $\text{NAD}^+$ ) y el fosfato de dinucleotido de nicotinamida y adenina ( $\text{NADP}^+$ ), las cuales se derivan de la vitamina B niacina. La tercera es el dinucleotido de flavina y adenina (FAD). El FAD al igual que el  $\text{NAD}^+$ , contiene dos nucleotidos de adenina, pero deriva de la vitamina  $\text{B}_2$ (riboflavina). Los estados de oxidación y reducción del  $\text{NAD}^+$  y  $\text{NADP}^+$  pueden representarse de la siguiente forma:



En las anteriores ecuaciones,  $2\text{H}(2\text{H}^+ + 2\text{e}^-)$  implica que dos átomos de hidrogeno neutro(2H) equivalen a dos iones de hidrogeno ( $2\text{H}^+$ ) más dos electrones ( $2\text{e}^-$ ). Cuando el  $\text{NAD}^+$  se reduce a  $\text{NADH} + \text{H}^+$ , el  $\text{NAD}^+$  capta dos iones de ( $2\text{H}^+$ ) y dos electrones ( $2\text{e}^-$ ). La adición de un ion  $\text{H}^+$  y  $2\text{e}^-$  al  $\text{NAD}^+$  neutraliza la carga eléctrica del  $\text{NAD}^+$  y añade un átomo de hidrogeno de manera que la forma reducida es  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . Igualmente sucede en la reducción de  $\text{NADP}^+$  a  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ .

Por otro lado cuando el  $\text{NADH} + \text{H}^+$  se oxida a  $\text{NAD}^+$ , el  $\text{NADH} + \text{H}^+$  pierde dos iones de hidrogeno ( $2\text{H}^+$ ) y dos electrones ( $2\text{e}^-$ ). Así, la perdida de un ion  $\text{H}^+$  y  $2\text{e}^-$  por parte del  $\text{NADH} + \text{H}^+$  da lugar a un átomo de hidrogeno menos y una carga positiva mas, siendo la forma oxidada  $\text{NAD}^+$ . El  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  se oxida a  $\text{NADP}^+$  por el mismo mecanismo.

Cuando el ácido láctico se oxida para formar ácido piruvico, los átomos de hidrogeno liberados en la reacción se utilizan para reducir NAD. Esta reacción acoplada de oxidación-reducción puede representarse de la siguiente forma:

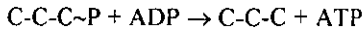


Un importante aspecto a recordar sobre las reacciones de oxidación-reducción es que la reacción suele ser una reacción de libera energía. Las células degradan nutrientes que sirven como fuente de energía en muchos pasos bioquímicos desde





el citosol. El siguiente ejemplo muestra sólo el esqueleto de carbono y el grupo fosfato del compuesto metabólico:



2. En la fosforilación oxidativa se liberan electrones a partir de compuestos orgánicos (generalmente mediante el  $\text{NAD}^+$ ) y pasan a través de una serie de aceptores de electrones hasta moléculas de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) u otras moléculas inorgánicas. Este proceso tiene lugar en la membrana mitocondrial interna a las células humanas. El conjunto de aceptores de electrones utilizados en la fosforilación oxidativa reciben el nombre de cadena de transporte electrónico. La transferencia de electrones de un aceptor de electrones al siguiente libera energía, la cual se utiliza para sintetizar ATP a partir de ADP y P, forman no sólo una sino tres moléculas de ATP.
3. El tercer mecanismo de fosforilación, la fosforilación fotosintética, no se comentará en este capítulo, ya que sólo se produce en células fotosintéticas que contienen un pigmento captador de luz como clorofila.

## CATABOLISMO DE LA GLUCOSA

[24][4][5]La oxidación de la glucosa recibe el nombre de respiración celular. Aunque el metabolismo involucra el metabolismo de los hidratos de carbono, metabolismo de los lípidos y metabolismo de las proteínas, serán mencionadas a manera de resumen en el cuadro 2-2. Por lo que en este capítulo estudiaremos, en primer lugar, cómo se preparan las moléculas de los principales nutrientes para la entrada a las vías oxidativas de las células aeróbicas. Analizando las tres fases principales de las oxidaciones biológicas: el ciclo de Krebs, el transporte de electrones y la recuperación de la energía oxidativa en forma de ATP, en el proceso llamado fosforilación oxidativa.





Comprende la glucólisis, la formación de acetil coenzima A, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte electrónico. Esta es la parte que nos interesa para los fines de este capítulo. La glucólisis tiene lugar en la mayoría de las células del organismo. Libera dos moléculas de ATP por cada glucosa utilizada y no requiere oxígeno.

Por ello es una forma de sintetizar ATP de forma anaeróbica (sin oxígeno) y recibe el nombre de respiración celular anaeróbica. Sin embargo, la glucólisis es el paso previo al ciclo de Krebs y a la cadena de transporte electrónico, procesos que requieren oxígeno y que proporcionan hasta 34 a 36 moléculas de ATP por molécula de glucosa estas reacciones de síntesis de ATP constituyen la respiración celular aeróbica.

### **Glucólisis**

[7][8] El término glucólisis (glyco=azúcar; lysis=rotura) hace referencia a una serie de reacciones químicas que suceden en el citosol celular y que descomponen una molécula de glucosa con seis átomos de carbono en dos moléculas de ácido pirúvico con tres átomos de carbono.

Pasos de la glucólisis. Mostrada en la figura 2.2. Cada una de las 10 reacciones de glucólisis utilizan dos moléculas de ATP, pero producen cuatro, con una ganancia neta de dos. Las características esenciales del proceso son:

Pasos 1, 2 y 3. Las tres primeras reacciones comprenden la adición de un grupo fosfato (fosforilación) a la glucosa, su conversión en fructuosa y la adición de otro grupo fosfato a la fructuosa. Este proceso requiere un aporte de energía en el que dos moléculas de ATP se transforman en ADP. La enzima que cataliza el paso 3 es el regulador clave de la velocidad de la glucólisis. Cuando la concentración de ADP es alta, esta enzima posee gran actividad. Así, se sintetizan rápidamente ácido pirúvico



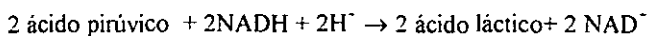
y ATP. Por otro lado, cuando la cantidad de ATP es abundante, la actividad enzimática es baja, y la mayor parte de la glucosa 6-fosfato se transforma en glucógeno para su almacenamiento en lugar de ser catabolizada para producir ATP.

Pasos 4 y 5. La molécula de fructuosa doblemente fosforilada se divide en dos compuestos de tres átomos de carbono: gliceraldehído 3-fosfato (G 3-P) y dihidroxiacetona fosfato. Estos dos compuestos son interconvertibles, pero es mayor la cantidad de G 3-P que se transforma a través de varias reacciones en ácido pirúvico.

Paso 6. Se produce una reacción de oxidación en la que dos moléculas de  $\text{NAD}^+$  captan dos pares de electrones y de iones de hidrógeno a partir de dos moléculas de G 3-P, formando dos moléculas de NADH y dos moléculas de ácido 1,3-bifosfoglicérico (BPG) anteriormente, el BPG recibía el nombre de ácido difosfoglicérico (DGP).

Paso 7 a 10. Estas reacciones generan cuatro moléculas de ATP y producen ácido pirúvico (piruvato).

Destino del ácido pirúvico. El destino del ácido pirúvico depende de la disponibilidad de oxígeno. Por ejemplo, si la cantidad de oxígeno en las fibras musculares esqueléticas durante el ejercicio intenso es escasa (condiciones anaeróbicas), el ácido pirúvico se reduce mediante la adición de dos átomos de hidrógeno para formar ácido láctico. La reacción es:



Esta reacción regenera el  $\text{NAD}^+$  utilizado anteriormente en la oxidación del gliceraldehído 3-fosfato (paso 6 de la glucólisis), permitiendo que continúe la



glucólisis. El ácido láctico puede entrar en la sangre y ser transportado hasta el hígado, donde puede ser transformado de nuevo en ácido pirúvico. O puede permanecer en las células hasta que se restablezcan las condiciones aeróbicas, momento en que se transformará en ácido pirúvico.

Cuando la cantidad de oxígeno es abundante (condiciones aeróbicas), el ácido pirúvico se transforma en acetil coenzima A. Esta molécula conecta la glucólisis, que tiene lugar en el citosol y el ciclo de Krebs, que ocurre en la matriz mitocondrial. En general, las únicas moléculas que pueden atravesar la membrana mitocondrial interna son aquellas para las que existen proteínas transportadoras específicas. El ácido pirúvico entra en las mitocondrias mediante este mecanismo. Los eritrocitos, al carecer de mitocondrias, sólo pueden producir ATP a través de la respiración celular anaeróbica.

### Formación de acetil coenzima A

[24]Cada paso de la oxidación de la glucosa requiere una enzima diferente y, a menudo, también una coenzima. En este momento sólo nos interesa una coenzima: la coenzima A (CoA). Esta importante coenzima deriva del ácido pangónico, otra vitamina B. Durante el paso de transición entre la glucólisis y el ciclo de Krebs, el ácido pirúvico es preparado para entrar en el ciclo. Es transformado en un fragmento de dos átomos de carbono por la pérdida de una molécula.

La pérdida de una molécula de  $\text{CO}_2$  por parte de una sustancia recibe el nombre de descarboxilación. El fragmento de dos carbonos, un grupo acetilo, se une a la coenzima A formando el complejo acetil coenzima A (acetil CoA). Durante esta reacción, el  $\text{NAD}^+$  es reducido a  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . Recuerde que la oxidación de una molécula de glucosa produce dos moléculas de ácido pirúvico, de tal forma que por cada molécula de glucosa se pierden dos moléculas de dióxido de carbono y se



forman cuatro  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . Cada molécula de  $\text{NADH}$  producirá posteriormente tres moléculas de  $\text{ATP}$  en la cadena de transporte electrónico.

Una vez que el ácido pirúvico ha sufrido la descarboxilación y que su derivado (el grupo acetilo) se ha unido a la  $\text{CoA}$ , el compuesto resultante (acetil  $\text{CoA}$ ) está preparado para incorporarse al ciclo de Krebs.

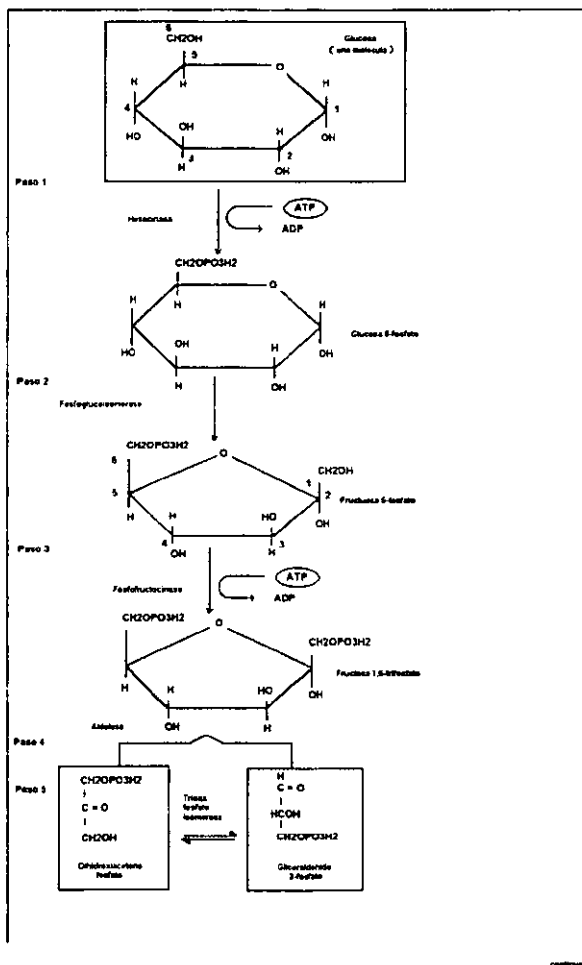
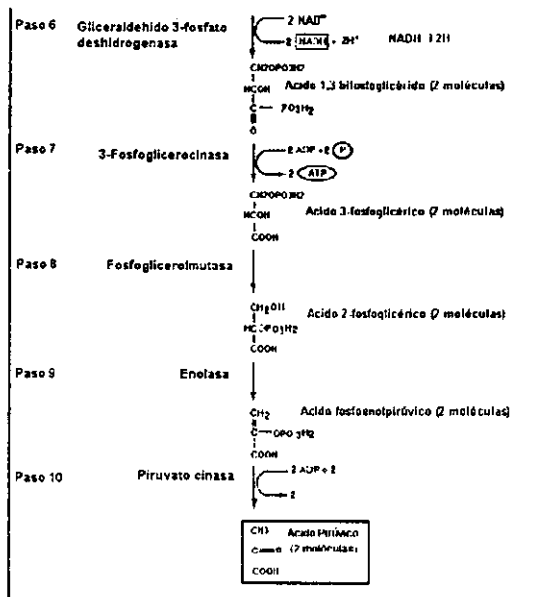
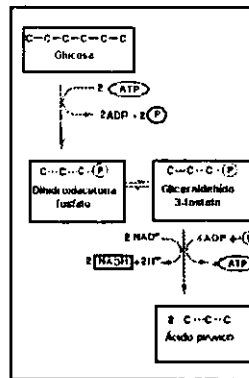


Fig. 2.2 Glucólisis. Como resultado de la glucólisis se produce una ganancia neta de dos moléculas de  $\text{ATP}$ .



a) Versión detallada



b) Versión simplificada



### Ciclo de Krebs (del ácido cítrico)

[24]El ciclo de Krebs también recibe los nombres de ciclo del ácido cítrico y ciclo de los ácidos tricarboxílicos (ATC). Se trata de una serie de reacciones bioquímicas que tienen lugar en la matriz mitocondrial. La gran cantidad de energía química potencial almacenada en las sustancias intermediarias derivadas del ácido pirúvico se libera de forma escalonada. En este ciclo una serie de oxidaciones y reducciones transfiere la energía química, en forma de electrones, a diversas coenzimas. Los derivados del ácido pirúvico se oxidan y las coenzimas se reducen.

La coenzima A actúa como molécula transportadora para incorporar la unidad acetilo de dos carbonos al ciclo de Krebs. Esta secuencia de reacciones químicas es denominada <<ciclo>> porque la sustancia que la inicia (ácido oxolacético) vuelve a formarse al final. El grupo acetilo se une al ácido oxolacético para formar ácido cítrico. A partir de este punto, el ciclo del ácido cítrico consta principalmente de una serie de reacciones de descarboxilación y oxidación-reducción, controlada cada una por una enzima diferente.

Estudiemos en primer lugar las reacciones de descarboxilación. En la preparación para incorporarse al ciclo de Krebs el ácido pirúvico es descarboxilado para formar un grupo acetilo. En el ciclo, el ácido isocítrico, un compuesto de seis carbonos, pierde una molécula de  $\text{CO}_2$  para formar un compuesto de cinco átomos de carbono, el ácido  $\alpha$ -ceto-glutárico (paso 4).

A continuación, el ácido  $\alpha$ -ceto-glutárico es descarboxilado y capta una molécula de CoA, formando succinil CoA, un compuesto de cuatro carbonos (paso 5). Así cada vez que el ácido pirúvico entra al ciclo de Krebs se liberan tres moléculas de  $\text{CO}_2$  por descarboxilación (fig 2.3b). Por consiguiente, por cada molécula original de glucosa catabolizada a través de esta ruta se liberan seis moléculas de  $\text{CO}_2$ .

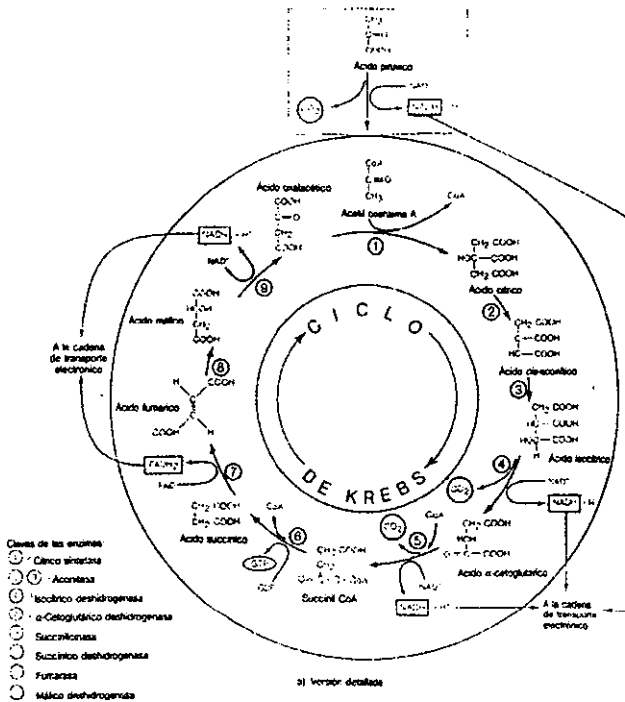


Las moléculas de  $\text{CO}_2$  salen de la mitocondria, se difunden através del citosol hasta la membrana plasmática y llegan hasta la sangre. Finalmente, el  $\text{CO}_2$  es transportado por la sangre hasta los pulmones y allí es aspirado.

A continuación estudiaremos las reacciones de oxido-reducción ver fig 2.3a. Recuerde que cuando se oxida una molécula se pierden átomos de hidrógeno (electrones e iones de hidrógeno), mientras que cuando se reduce una molécula se ganan átomos de hidrógeno (electrones e iones de hidrógeno). Cada oxidación está acoplada a una reducción. En la transformación de ácido pirúvico en acetil A, cada ácido pirúvico pierde un átomo de hidrógeno; esto es, se oxida. Los átomos de hidrógeno son captados por la coenzima  $\text{NAD}^+$ , que se reduce y se representa como  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . El ácido isocítrico se oxida formando ácido  $\alpha$ -ceto-glutárico, y el  $\text{NAD}^+$  a  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (paso 4). El ácido  $\alpha$ -ceto-glutárico se oxida en la conversión a succinil CoA, y de nuevo el  $\text{NAD}^+$  se reduce a  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (paso 5).

El ácido succínico se oxida a ácido fumárico. En esta reacción, la coenzima que capta los dos átomos de hidrógeno es el dinucleótido de flavina y adenina (FAD; paso 7). El ácido málico se oxida ácido oxalacético, y el  $\text{NAD}^+$  se reduce a  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (paso 9).

Si consideramos el ciclo de Krebs en conjunto, observamos que por cada dos moléculas de acetil CoA que se incorporan al ciclo se liberan cuatro moléculas de dióxido de carbono por descarboxilación, se producen  $6 \text{NADH} + 6\text{H}^+$  y  $2 \text{FADH}_2$  por reacciones de oxido-reducción y se generan dos moléculas de guanosintrifosfato (GTP, el equivalente al ATP) por fosforilación a nivel de sustrato. Muchas de las sustancias medias del ciclo de Krebs también participan en otras rutas, especialmente en la biosíntesis de aminoácidos.



Ciclo de Krebs. Los resultados netos del ciclo de Krebs son la producción de coenzimas reducidas ( $\text{NADH} + \text{H}^+$  y  $\text{FADH}_2$ ), que contienen energía almacenada: la síntesis de GTP, un compuesto de alta energía que se utiliza para producir ATP, y la formación de  $\text{CO}_2$  que se transporta a los pulmones para su respiración.

[5] En la cadena de transporte electrónico, los 6  $\text{NADH} + 6\text{H}^+$  producirán posteriormente un máximo de 18 moléculas de ATP, y los 2  $\text{FADH}_2$  un máximo de cuatro moléculas de ATP. Las coenzimas reducidas ( $\text{NADH} + \text{H}^+$  y  $\text{FADH}_2$ ) son el resultado más importante del ciclo de Krebs debido a que contienen la energía originalmente almacenada en la glucosa y posteriormente en el ácido pirúvico. Durante la siguiente fase de la respiración aeróbica, una serie de reducciones transfieren la energía almacenada en las coenzimas de  $\text{ADP} + \text{P}$  formando ATP.





Estas reacciones incluyen la cadena de transporte electrónico y tiene lugar en las crestas de la mitocondria.

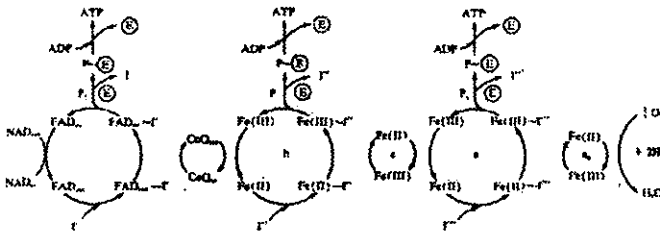
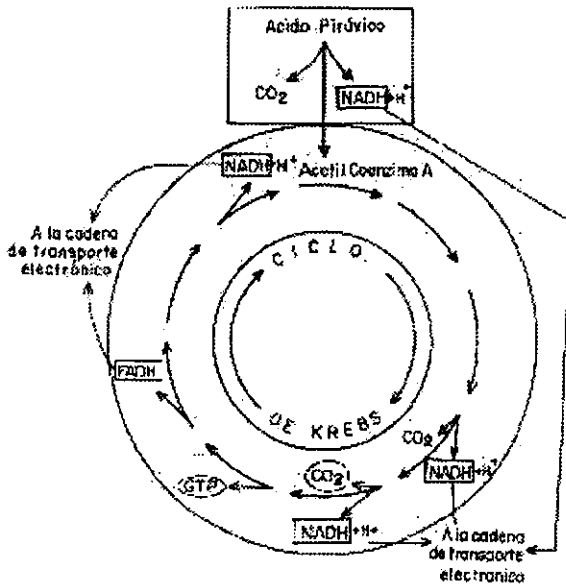


Figura 2.4 a Hipótesis del acoplamiento químico para la fosforilación oxidativa. Los componentes I' I'' a I'''' son factores acopladores y E es una enzima transferida de fosfato. El ATP se forma en una secuencia de reacciones con intermediarios comunes a expensas de los intermediarios de alta energía  $FAD_{ox} \sim I'(Fe(II)) \sim I''$  y  $Fe(II) \sim I''''$



### **Cadena de transporte electrónico y cadena respiratoria**

[5]En la cadena de transporte electrónico interviene una secuencia de moléculas transportadoras de electrones de la membrana mitocondrial interna que son capaces de realizar reacciones de oxidación y reducción. A medida que los electrones atraviesan la cadena se produce una liberación escalonada de energía para la síntesis de ATP. En la respiración celular aeróbica, el último aceptor de electrones de la cadena es el oxígeno molecular ( $O_2$ ). La energía es liberada cuando los electrones pasan de un transportador al siguiente, y se utiliza para bombear  $H^+$  (protones) desde la matriz mitocondrial al espacio existente entre las membranas mitocondriales interna y externa. La síntesis de ATP se produce cuando los  $H^+$  se difunden de nuevo a la matriz mitocondrial a través de un tipo especial de canal (poro) de  $H^+$  en la membrana interna. Este mecanismo de síntesis de ATP recibe el nombre de quimiósmosis. Estudiaremos en primer lugar los transportadores de electrones y posteriormente describiremos la quimiósmosis.

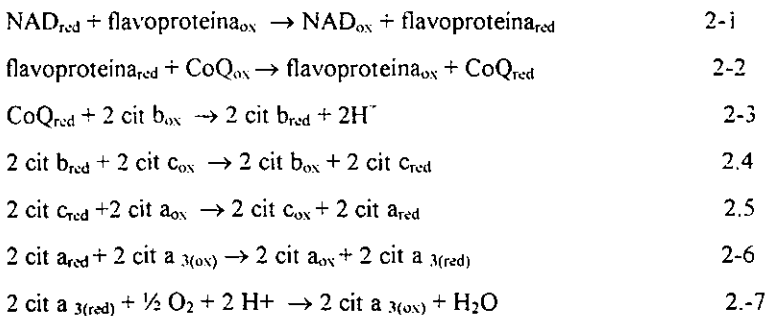
La cadena respiratoria es la ruta común final por la cual fluyen todos los electrones procedentes de diferentes combustibles de la célula, hacia el oxígeno oxidante o aceptor de electrones final de las células aeróbicas. El transporte de electrones a lo largo de esta cadena constituye realmente el objetivo final de todas las oxidaciones celulares, porque los electrones que entran en la cadena respiratoria tienen un contenido energético relativamente alto. Sin embargo, a medida que fluyen a lo largo de la cadena, pierden gran parte de su energía, una fracción de la cual, como veremos ahora, se conserva en forma de ATP.

Parece cierto que los electrones del  $NAD_{red}$  y del  $FAD_{red}$  son canalizados por medio del aceptor común, coenzima Q, pasando entonces por una serie de citocromos, moléculas que transfieren electrones y que contienen grupos activos llamados hemo, compuestos de porfirina y hierro.



Los citocromos son de color rojo y se asemejan estructuralmente a la hemoglobina, pigmento transportador de oxígeno de los glóbulos rojos. El átomo de hierro de cada molécula de citocromo puede existir en la forma Fe(II), o forma ferrosa, así como en la forma Fe(III), o férrica. De esta manera, cada citocromo en su forma Fe(III) puede aceptar un electrón y reducirse a la forma Fe(II). Está, a su vez, puede dar su electrón al siguiente transportador que se encuentra en su forma oxidada, y así sucesivamente. Los citocromos difieren algo desde el punto de vista químico y en su peso molecular; cada uno puede ser reconocido por su espectro de absorción característico. Solamente el último de ellos, citocromo  $a_3$  o citocromo oxidasa, puede dar sus electrones directamente al oxígeno molecular.

La transferencia de electrones a través de la cadena respiratoria puede escribirse como una serie de reacciones consecutivas conectadas entre sí por intermediarios comunes. Para la cadena desde el  $NAD_{red}$  hasta el oxígeno, podemos escribir



Los citocromos sólo pueden transportar un electrón cada vez, mientras que el NAD y la flavoproteína pueden hacerlo de dos en dos electrones. Por esta razón, cada citocromo figura en proporción molar doble. La reacción global para la oxidación del  $NAD_{red}$  por el oxígeno molecular es, pues, la suma de las reacciones 2-2 a 2-7, es decir,  $NAD_{red} + \frac{1}{2} O_2 + 2H^+ \rightarrow NAD_{ox} + 2 H_2O$



Así, por cada par de átomos de hidrogeno que se separan en cada uno de los cuatro pasos de deshidrogenacion del ciclo de Krebs y se convierte en un par de iones  $H^+$ , entra en la cadena respiratoria un par de electrones, reduciendo posteriormente a un átomo de oxígeno para formar agua.

Se ha encontrado que el transporte enzimático de electrones al oxígeno puede ser inhibido por ciertos venenos. Por ejemplo el cianuro, en concentraciones muy bajas, inhibe completamente la transferencia de electrones al oxígeno por el citocromo a, pues bloquea todas las oxidaciones biológicas del organismo porque envenena el último paso de la cadena respiratoria. Otros inhibidores característicos del transporte de electrones son la rotenona, una sustancia tóxica que se encuentra en la naturaleza y que se utiliza como insecticida, y la antimicina A, un antibiótico.

[4][5][24]Mecanismo quimiosmótico de síntesis de ATP. En la membrana mitocondrial interna, los transportadores de la cadena de transporte electrónico se agrupan en tres complejos. Cada complejo actúa como una bomba de protones que expulsa  $H^+$  de la matriz mitocondrial y contribuye a crear un gradiente electroquímico de  $H^+$ . Cada bomba de protones incluye tres o más transportadores de electrones.

1. El complejo NADH deshidrogenasa contiene mononucleótido de flavina (FMN) y al menos cinco centros de hierro-azufre. Su nombre deriva de su acción, que libera hidrógeno del NADH.
2. El complejo citocromo b-c<sub>1</sub> contiene los citocromos b y c<sub>1</sub> y un centro Fe-S.
3. El complejo citocromo oxidasa contiene los citocromos a y a<sub>3</sub> y dos átomos de cobre.

Un transportador de electrones (Q) transfiere electrones desde el primero al segundo complejo, y un segundo transportador de electrones (citocromo c) transfiere electrones desde el segundo al tercero. En resumen existen tres complejos de



transportadores de electrones que bombean protones ( $H^+$ ): el complejo NADH deshidrogenasa, el complejo citocromo b-c<sub>1</sub> y el complejo citocromo oxidasa.

Debido a que la membrana mitocondrial interna es prácticamente impermeable a los  $H^+$ , el bombeo de hidrogeno  $H^+$  origina un gradiente de concentración de protones y un gradiente eléctrico. La acumulación de  $H^+$  a un lado de la membrana confiere una carga positiva, mientras que el líquido al otro lado queda con una carga negativa. Este gradiente de protones posee energía potencial, y recibe el nombre de fuerza matriz de protones. En las regiones donde existen canales específicos de  $H^+$ , los  $H^+$  pueden difundir a través de la membrana dirigidos por la fuerza motriz de protones. Cuando tiene lugar este movimiento se genera ATP debido a que los canales de  $H^+$  también contienen una enzima denominada ATP sintetasa. La enzima utiliza la fuerza motriz de protones para sintetizar ATP a partir de ADP y P.

Este proceso recibe el nombre de Síntesis quimiósmotica de ATP y es el responsable de la mayor parte del ATP producido durante la realización de la respiración celular.

### **Energética del transporte de electrones**

[4][5] Siempre que hay una transferencia de electrones de un compuesto a otro, se produce una reacción de oxidación-reducción. Cada dador de electrones o agente reductor muestra una presión electrónica característica y cada aceptor de electrones oxidante, una afinidad electrónica, también característica. Tales presiones o agente de electrones o afinidades se pueden medir en términos de una fuerza electromotriz o potencial. Cada dador de electrones en condiciones estándar de reducción característica, simbolizado por  $E_0$ . Por consiguiente los dadores de electrones se pueden ordenar en una serie termodinámica de presiones electrónicas decrecientes, del mismo modo que los fosfatos se puedan ordenar en una serie de potenciales de transferencia de fosfato decreciente. En tales series, la tendencia de los electrones



será fluir desde el compuesto más negativo, es decir, aquel que posee la presión electrónica más alta, a los compuestos más positivos que le siguen en la escala figura 2.5.

En la figura 2.5 aparece la escala vertical de potenciales estándar de reducción de cada uno de los transportadores electrónicos de la cadena respiratoria. Los electrones tenderán a pasar desde el transportador más negativo NAD a los transportadores más positivos que se encuentran por debajo de él. Los transportadores electrónicos de la cadena respiratoria permiten así un flujo escalonado de electrones hacia aceptores crecientemente más positivos, hasta que, finalmente, encuentran el oxígeno, el aceptor más electropositivo que, de este modo, se reduce a agua.

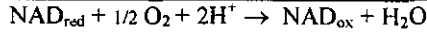
El descenso de energía libre en cada transferencia de electrones está directamente relacionado con la magnitud de descenso de la presión electrónica según la ecuación

$$\Delta G = -nF\Delta E'_o$$

Donde  $\Delta G$  es la variación de energía estándar,  $n$  es el número de electrones,  $F$  es el factor de Faraday y  $\Delta E'_o$  es la diferencia entre los potenciales estándar de reducción de los transportadores reaccionantes. La ecuación se convierte en

$$\Delta G'_o = -RT \ln K_{eq}$$

El descenso de energía libre se produce cuando un par de electrones se mueve desde cada transportador de la cadena respiratoria al siguiente. Se observa que hay tres caídas de potencial relativamente grandes y dos relativamente pequeñas. Por el momento, nos limitaremos a la magnitud del cambio de energía libre que tienen lugar cuando un par de electrones recorre toda la cadena, desde el NAD al oxígeno, en la reacción global



Esta reacción ocasiona un descenso de energía libre extremadamente grande, de hecho se libera suficiente energía para sintetizar varias moléculas de ATP a partir de ADP y fosfato

Si sumamos todos los pasos de deshidrogenación, vemos que, en conjunto, doce pares de electrones atraviesan la cadena respiratoria hasta el oxígeno durante la oxidación completa de una molécula de glucosa a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . De este modo, el proceso de electrones desde el  $\text{NAD}_{\text{red}}$  al oxígeno puede dar alrededor de  $12 \times 52 = -624$  kcal/mol de glucosa oxidada.

Si recordamos que la energía libre de combustión de la glucosa es de - 686 kcal/mol, es evidente que casi todo el descenso de energía libre de la oxidación biológica de la glucosa tiene lugar durante el transporte enzimático de electrones a lo largo de la cadena respiratoria desde el primer aceptor electrónico hasta el oxígeno molecular.

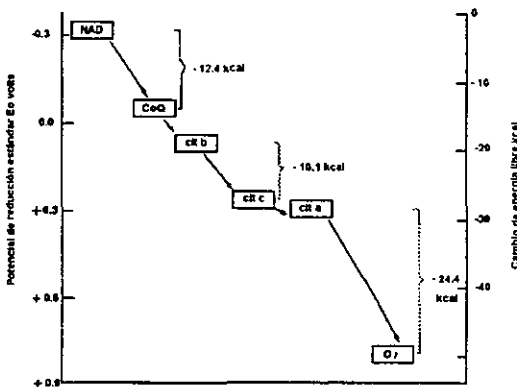


Figura 2.5 Liberación de energía asociada con el flujo de electrones desde el  $\text{NAD}_{\text{red}}$

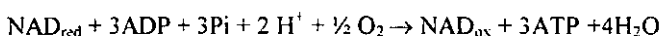


## FOSFORILACIÓN OXIDATIVA

[4][5]Estudios cuantitativos del transporte de electrones en mitocondrias aisladas intactas, en las cuales tienen lugar todas las reacciones enzimáticas del ciclo de Krebs y del transporte de electrones, han revelado que tanto el fosfato como el ADP son componentes necesarios para que se alcancen las velocidades máximas del transporte de electrones. Además, ambos compuestos se utilizan en el proceso y se forma ATP a partir de ellos.

De hecho, en 1951 se halló, que cuando una pareja de electrones viaja desde el  $\text{NAD}_{\text{red}}$  al oxígeno, a lo largo de la cadena, se forman no sólo una, sino tres moléculas de ATP a partir de ADP y fosfato. Tal fosforilación oxidativa o fosforilación de la cadena respiratoria. Debemos concluir, pues, que la verdadera ecuación del transporte de electrones en la mitocondria intacta no es  $\text{NAD}_{\text{red}} + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{NAD}_{\text{ox}} + \text{H}_2\text{O}$

sino más bien la siguiente



Ya que la formación de tres moléculas de ATP necesita un aporte de al menos  $3 \times 7.3 = 21.9$  kcal y puesto que la oxidación del  $\text{NAD}_{\text{red}}$  libera 52 kcal, podemos deducir que la fosforilación oxidativa de tres moles de ADP conserva el  $(21.9/52)100 = 42$  por 100 de la energía total liberada cuando una molécula de  $\text{NAD}_{\text{red}}$  es oxidada por el oxígeno. La fosforilación oxidativa es por lo tanto, el mecanismo principal para la conservación de las grandes cantidades de energía útil, liberadas durante la fase aeróbica de la oxidación de la glucosa.





Si volvemos a la figura 2.5. Veremos que hay tres segmentos de la cadena en los cuales existe un descenso relativamente grande de la energía: desde el NAD a la coenzima Q, desde el citocromo b al citocromo c, y desde el citocromo a al oxígeno.

En estos puntos de la cadena respiratoria se originan intermediarios o estados de alta energía durante el transporte de electrones. Dichos intermediarios pueden posteriormente dar grupos fosfato de alta energía al ADP para producir ATP. Podemos ahora entender porque es una necesidad biológica para la cadena respiratoria tener muchos miembros actuando en serie, en lugar de tener solamente uno o dos.

La oxidación del  $\text{NAD}_{\text{red}}$  por el oxígeno tiene lugar con un descenso muy grande de energía libre (unas 52 kcal) mientras que la moneda de energía biológica estándar está en forma de paquetes de 7.3 kcal, equivalentes a la energía libre estándar de formación del ATP a partir del ADP y fosfato. La cadena respiratoria es así un dispositivo molecular cuyo objeto es liberar energía de una serie de pequeños paquetes, tres de los cuales son energéticamente suficientes para la síntesis de ATP.

Esto es posible mediante el descenso gradual de energía de los electrones en una serie de pequeños pasos, como se ve en la figura 2.5.

La fosforilación de la cadena respiratoria puede ser inhibida por ciertos venenos, de tal modo que el transporte de electrones continúe todavía, pero no así la fosforilación asociada del ADP a ATP. EN estas condiciones, la energía de oxidación de la glucosa se disipa completamente como calor y no se recupera nada en forma de ATP. Tales venenos reciben el nombre de desacopladores, un ejemplo es el 2,4-dinitrofenol fig. 2.6:

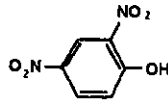


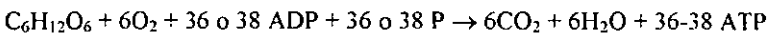
Figura 2.6 Estructura de 2,4-dinitrofenol

### Respiración celular aeróbica

[24] Los diversos transportadores de electrones de la cadena de transporte electrónico generan un máximo de 32 a 34 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa oxidada: 28 o 30 a partir de las 10 moléculas de  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . Y 2 a partir de cada una de las dos moléculas de  $\text{FADH}_2$  (4 en total).

Así durante la respiración aeróbica, a partir de una molécula de glucosa se puede generar un máximo teórico de 36 a 38 moléculas de ATP. Cuatro de estos ATP provienen de la fosforilación a nivel de sustrato de la glucólisis y del ciclo de Krebs.

La reacción global de la respiración aeróbica es:



Aproximadamente el 40% de la energía original de la glucosa es aceptada por el ATP; el resto se libera en forma de calor. Como se comentó anteriormente, la producción real de ATP puede ser inferior a 36 o 38 ATP por glucosa. En la figura 2.7 se muestra un resumen de las diversas fases de la respiración aeróbica. Una incertidumbre es el número exacto de  $\text{H}^+$  que deben bombearse al exterior para generar un ATP durante la quimiosíntesis.

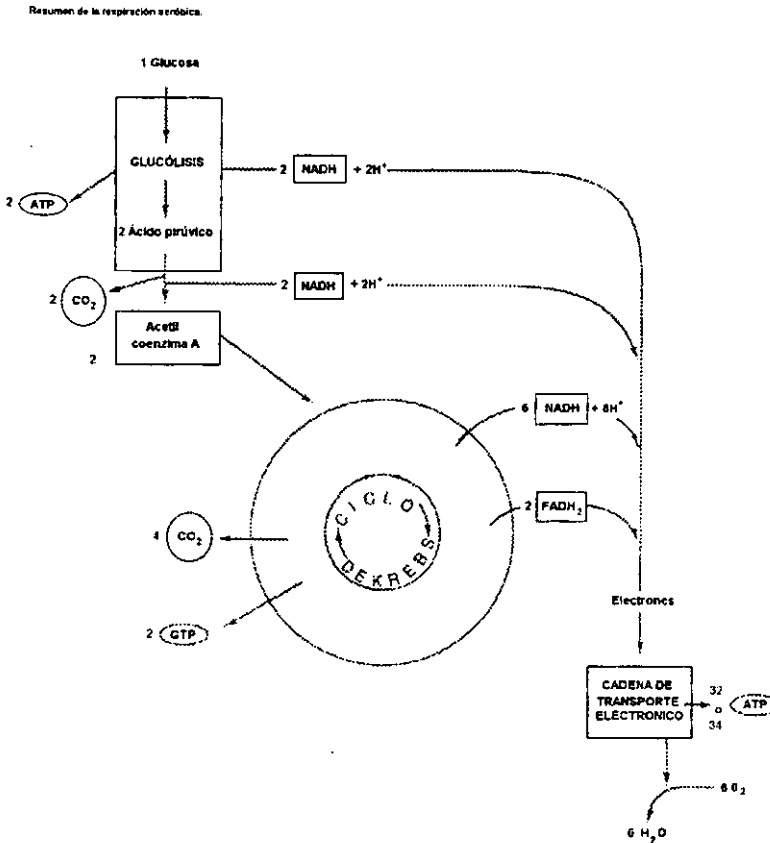


Figura 2.7 Respiración aeróbica

Además el ATP generado en las mitocondrias debe ser transportado fuera de estas organelas en el citoplasma para su utilización en otros lugares de la célula. Este proceso utiliza una parte de la fuerza motriz de protones para sacar ATP en intercambio con la entrada del ADP formado a partir de reacciones metabólicas del citosol.

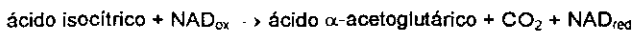


La glucólisis, el ciclo de Krebs y, especialmente, la cadena de transporte electrónico proporcionan todo el ATP para las actividades celulares. Debido a que el ciclo de Krebs y la cadena de transporte electrónico son procesos aeróbicos, las células no pueden llevar a cabo sus actividades mucho tiempo sin una cantidad de oxígeno suficiente.

### Regulación de la velocidad de respiración

[5] Hemos visto ya las concentraciones relativas de ADP y ATP en la célula, regulan la velocidad de la glucólisis mediante su capacidad para actuar como moduladores positivos y negativos, respectivamente, de la actividad de la enzima reguladora fosfofructoquinasa. Debemos preguntarnos ahora cómo se regula la respiración, fase aeróbica de la degradación de la glucosa. Además, debemos también plantearnos otra cuestión vital ¿ cómo se regulan entre sí las velocidades de la glucólisis y la respiración, de modo que la glucólisis sólo produzca la cantidad suficiente de ácido pirúvico para mantener un nivel acorde con la velocidad de su utilización en el ciclo del ácido tricarbóxico?

Así como la secuencia glucolítica tienen una reacción controlada que está regulada por la fosfofructoquinasa, el ciclo del ácido tricarbóxico tiene también una reacción que limita la velocidad, catalizada por una enzima reguladora. Dicha regulación es la deshidrogenación del ácido isocítrico a ácido  $\alpha$ -cetoglutarico, catalizado por la isocítrico deshidrogenasa.



La velocidad de la reacción isocítrico deshidrogenasa está regulada por el ADP y el ATP, ninguno de los cuales es sustrato o producto de la reacción catalizada por la enzima. El ADP es un modulador positivo y acelera la reacción isocítrico deshidrogenasa;



El ATP es un modulador negativo y la inhibe. Así cuando la concentración de ATP en las células es relativamente elevada y la de ADP es baja, tanto la secuencia glucolítica como la secuencia del ácido tricarbóxico disminuyen su velocidad. En cambio cuando la concentración de ATP es baja y la del ADP es elevada, ambas se aceleran.

Por otra parte, la figura 2.8 muestra como se integra entre sí la velocidad de la glucólisis y la velocidad del ciclo del ácido tricarbóxico. Hemos visto que la fosfofructoquinasa está regulada por el ATP y el ADP. Pero posee otro modulador, el ácido cítrico, un intermediario del ciclo del ácido tricarbóxico, que funciona como modulador negativo. Cuando la concentración de citrato en la célula sobrepasa un cierto límite, lo que indica que está produciendo citrato en exceso, disminuye la velocidad de la reacción fosfofructoquinasa pasa a su forma inactiva.

Las observaciones espectroscópicas de mitocondrias intactas durante la respiración, han demostrado que las moléculas de los transportadores de la cadena de electrones de la cadena respiratoria, participan en un estado estacionario dinámico perfectamente compensado, y que responde también a la relación entre el ADP y el ATP. Normalmente, los transportadores de electrones más próximos al sustrato dador de electrones, están relativamente reducidos, y los que están más próximos al oxígeno están relativamente oxidados, o vacíos de electrones; los transportadores intermediarios se encuentran en un estado de reducción que disminuye de un extremo a otro, formando un gradiente de reducción, como se ve en el modelo hidráulico.

Este estado estacionario de los transportadores respiratorios está de tal modo "sintonizado" con la concentración de ADP y ATP y con la relación entre ambos, que cuando existe un exceso de ADP, el transporte de electrones se acelera, aumentando el estado de reducción de los transportadores por el contrario, cuando la concentración de



ADP es baja, el transporte de electrones se hace más lento, aumentando el estado de oxidación de los transportadores.

Por lo tanto, la secuencia glucolítica, el ciclo del ácido tricarbóxico y la cadena respiratoria tienen mecanismos de auto-ajuste y auto-regulación, de tal modo que la velocidad global del proceso de la respiración está acoplada a las necesidades celulares de ATP.

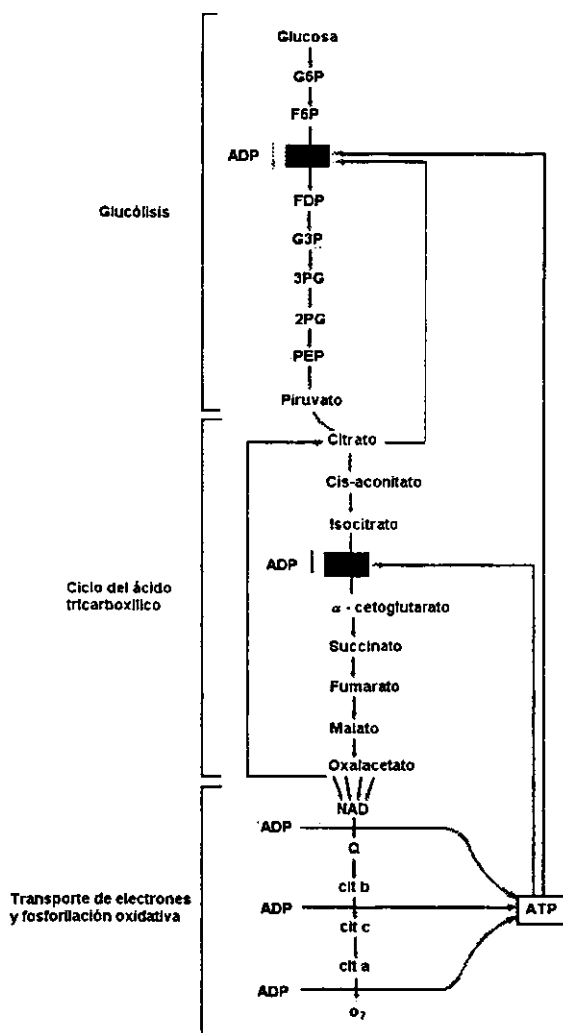


Figura 2.7



**Cuadro 2-1**  
**Resumen del ATP producido**  
**Durante la respiración**  
**Aeróbica de una molécula de glucosa**

Fuente	ATP producido (método)
<b>GLUCÓLISIS</b> 1. Oxidación de glucosa a ácido pirúvico  Producción de $2 \text{ NADH} + 2\text{H}^+$	2 ATP (fosforilización a nivel sustrato) 4 o 6 (fosforilización oxidativa en la cadena de transporte electrónico).
<b>FORMACION DE ACETIL CoA</b>  $2 \text{ NADH} + 2\text{H}^+$	6 ATP (fosforilización oxidativa en la cadena de transporte electrónico)
<b>CICLO DE KREBS</b>  1. Oxidación de succinil CoA a Acido succinico  2. Producción de $6 \text{ NADH} + 6 \text{H}^+$  3. Producción de $2 \text{ FADH}_2$	2 GTP (equivalente del ATP; fosforilización a nivel de sustrato)  18 ATP (fosforilización oxidativa en la cadena de transporte electrónico)  4 ATP (fosforilización oxidativa en la cadena de transporte electrónico)
<b>Total:</b>	<b>36 a38 ATP (máximo teórico)</b>





**Cuadro 2-2  
METABOLISMO**

Proceso	Comentario
<b>METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO</b>  CATABOLISMO DE LA GLUCOSA  Glucólisis  Ciclo de Krebs  Cadena de transporte electrónico	<p>La conversión de la glucosa, denominada también respiración celular, es la conversión fuente de ATP de las células. Este proceso requiere la conversión, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte electrónico. La conversión completa de una molécula de glucosa produce un máximo de 36 o 38 moléculas de ATP.</p> <p>La conversión de glucosa en ácido pirúvico produce una cierta cantidad de ATP. Las reacciones no requieren oxígeno (respiración celular anaeróbica).</p> <p>El ciclo consiste en una serie de reacciones de conversión-reducción en las que las diversas coenzimas (NAD<sup>+</sup> y FAD) captan átomos de conversión de ácidos orgánicos oxidados, produciéndose una cierta cantidad de ATP. Los productos finales son CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Las reacciones requieren oxígeno son aeróbicas.</p> <p>El tercer conjunto de reacciones de catabolismo de la glucosa es otra serie de reacciones de conversión-reducción en las que se transfieren conversión de un transportador al siguiente, produciéndose la mayor parte de ATP. Las reacciones requieren de oxígeno (respiración celular aeróbica).</p>
ANABOLISMO DE LA GLUCOSA	Parte de la glucosa se convierte en glucógeno (glucogénesis) para su almacenamiento si no necesita de forma inmediata para la conversión de ATP. El glucógeno puede convertirse en glucosa (glucogénesis). La conversión de aminoácidos, glicerol y ácido láctico en glucosa recibe el nombre de gluconeogénesis.



<b>METABOLISMO DE LOS LÍPIDOS</b>	
CATABOLISMO	El glicerol puede convertirse en glucosa (gluconogénesis) o catabolizarse por glucólisis. Los ácidos grasos son catabolizados mediante beta-oxidación en acetil CoA, que puede incorporarse al ciclo de Krebs para la síntesis de ATP o transformarse en cuerpos cetónicos (cetogénesis).
ANABOLISMO	La síntesis de lípidos a partir de glucosa y ácidos grasos recibe el nombre de lipogénesis. Los triglicéridos se almacenan en el tejido adiposo.
<b>METABOLISMO DE LAS PROTEINAS</b>	
CATABOLISMO	Los aminoácidos se oxidan en el ciclo de Krebs después de su transformación por procesos tales como la desaminación. El amoníaco que resulta de las transformaciones se convierte en urea en el hígado y se excreta en la orina. Los aminoácidos pueden convertirse en glucosa (gluconogénesis), ácidos grasos o cuerpos cetónicos.
ANABOLISMO	La síntesis proteica esta dirigida por el ADN y utiliza el ARN y los ribosomas de las células.



## HOMEÓSTASIS DE LA REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL

[24][7][8] Aunque existen grandes fluctuaciones en la temperatura ambiental, los mecanismos homeostáticos pueden mantener un rango normal de la temperatura corporal interna. Si la producción de calor es similar a la pérdida de calor, se mantiene una temperatura interna constante próxima a 36°C. La temperatura interna es la temperatura corporal en las estructuras situadas por debajo de la piel y del tejido subcutáneo.

Para que un hombre pueda permanecer vivo, necesita que sus órganos internos se mantengan a una temperatura constante de aproximadamente 36° C, mientras que la temperatura de la piel varía dependiendo de la temperatura del medio ambiente.

Los 36° C de que se habla anteriormente se refieren a un individuo en condiciones normales y en reposo, y no varían más de  $\pm 0.5^\circ$  C.

La temperatura del ser humano se puede medir en varias partes del cuerpo, por ejemplo, en la boca ó en el recto, la temperatura oral tiene un promedio aproximado de 0.5° C menos que la del recto; así pues la temperatura no es igual en las diferentes partes del cuerpo.

La variación máxima se mantiene dentro de cierto rango ( $\pm 4^\circ$  C), fuera de la cual la persona puede sufrir convulsiones e inclusive morir.

### Sistemas vivos de control

[7][8][9][31] La regulación de la temperatura en el cuerpo humano, es un ejemplo clásico de los sistemas de control biológico.



Un sistema de control es un conjunto de componentes interconectados que funciona para mantener relativamente constante una o varias variables de interés en un cuerpo.

Enseguida se explican cada uno de los componentes de un sistema de control biológico.

Un estímulo se define como una variación que se detecta en el ambiente. Un receptor es el componente que recibe el estímulo, esto es, detecta los cambios ambientales. El estímulo actúa en el receptor para alterar la señal que éste último emite a la caja de control o centro integrador. La vía entre el receptor y el centro integrador se denomina vía aferente.

El centro integrador recibe generalmente la entrada de muchos receptores, por lo tanto la salida de éste refleja el efecto neto de la entrada aferente total, esto es, representa la integración de la información enviada por los diferentes receptores.

La salida del centro integrador es enviada al efector, componente cuyo cambio de actividad constituye la respuesta general del sistema. La información que va del centro integrador al efector es una orden impartida a éste para que cambie su actividad. La vía que se transmite tal información se denomina vía eferente.

Como resultado de la respuesta del efector, el estímulo original (cambio ambiental) que desencadenó es la secuencia de eventos puede ser contrarrestado sino totalmente, al menos en parte. Al disminuirse el estímulo por la respuesta del efector, se reduce la actividad del receptor de manera tal que el flujo de la información del receptor al centro integrador vuelve a su nivel original, y a su vez, la actividad del efector es devuelta a su ritmo anterior. La vía que transmite tal información se denomina vía eferente.



Como resultado de la respuesta del efector, el estímulo original (cambio ambiental) que desencadenó esta secuencia de eventos puede ser contrarrestado si no totalmente, al menos en parte. Al disminuirse el estímulo por la respuesta del efector, se reduce la actividad del receptor de manera tal que el flujo de información del receptor al centro integrador vuelve a su nivel original, y a su vez, la actividad del efector es devuelta a su ritmo anterior. La reducción del estímulo por la respuesta del efector constituye la realimentación negativa.

### **Regulación de la temperatura**

[4][5][24] El equilibrio entre la producción y la pérdida de calor resulta perturbado continuamente, entonces para poderlo mantener, el cuerpo humano posee un mecanismo de regulación muy preciso, el cual puede aumentar o disminuir la temperatura dependiendo de las condiciones tanto externas como internas que se presenten.

El hipotálamo constituye el centro integrador de la regulación térmica, ya que controla los mecanismos de pérdida, producción y conservación de calor.

### **Receptores de Temperatura**

Es obvio que para mantener la temperatura casi constante se requieren receptores capaces de detectar los cambios producidos en la temperatura del cuerpo.

Hay dos grupos de receptores, uno de la piel (termorreceptores periféricos) y otro en ciertas partes del cuerpo humano de mayor profundidad (termorreceptores centrales).



Los termorreceptores periféricos, son terminaciones nerviosas que se encuentran en la piel y en ciertas mucosas. Se clasifican regularmente como receptores fríos y calientes por lo que hay receptores que son más sensibles a las temperaturas bajas y otros a las altas.

La información procedente de estos receptores se transmite a través de los nervios aferentes al hipotálamo, el cual responde con una salida eferente apropiada: así al haber frío se estimulan los mecanismos de producción de calor, y al haber calor se estimulan los mecanismos de pérdida de calor.

Los termorreceptores de la piel no regulan la temperatura corporal, por la simple razón que es la temperatura interna y no la de la piel la que realmente se regula. La localización de los termorreceptores centrales ha sido un tema de discusión por mucho tiempo, de ellos se sabe que se encuentran en el hipotálamo y que quizá en otras zonas del interior del cuerpo, pero exactamente en donde, no. La respuesta del hipotálamo a la información procedente de los termorreceptores centrales es similar a la de los termorreceptores.

### **Termostato hipotalámico**

[24]La temperatura corporal está regulada por mecanismos que intentan mantener el equilibrio de la producción y la pérdida de calor. En el hipotálamo existe un centro de control de estos mecanismos de naturaleza refleja, en un grupo de neuronas de la porción anterior denominada área preóptica. Esta área recibe aferencias de los termorreceptores de la piel y las mucosas (termorreceptores periféricos) y de las estructuras internas (termorreceptores centrales), incluido el hipotálamo.

Si se eleva la temperatura de la sangre, las neuronas del área preóptica descargan impulsos nerviosos con mayor rapidez. Si algo causa una disminución de la



temperatura de la sangre, estas neuronas descargan sus impulsos con mayor lentitud.

El área preóptica está adaptada para mantener la temperatura corporal normal, actuando así como termostato corporal.

Los termorreceptores de la piel son poco eficientes para regular la temperatura corporal, por la simple razón de que es la temperatura interna y no la de la piel la que realmente se regula.

Los impulsos nerviosos procedentes del área preóptica son enviados a otras regiones del hipotálamo conocidos como centro de pérdida de calor y centro de producción de calor. El centro de pérdida de calor, cuando es estimulado por el área preóptica, pone en funcionamiento una serie de respuestas que descienden la temperatura corporal.

El centro de producción de calor, cuando es estimulado por el área preóptica, pone en juego una serie de respuestas que elevan la temperatura corporal. El centro de pérdida de calor es una función principalmente parasimpática; en tanto que el centro de producción de calor es de carácter principalmente simpático.

## **MECANISMOS DE PRODUCCIÓN DE CALOR**

[7][6][8][24]Supongamos que la temperatura ambiental es baja o que algunos factores producen una disminución de la temperatura sanguínea. Esto causa una disminución de la temperatura corporal (condición controlada) por debajo del límite normal.



Ambas situaciones de estrés estimulan los termorreceptores (receptores) que envían impulsos nerviosos (aférensia) al área preóptica (centro de control). El área preóptica, a su vez, activa el centro de producción de calor (centro de control).

En respuesta, el centro de producción de calor descarga impulsos nerviosos (aférensia) a los efectores, que automáticamente ponen en funcionamiento varias respuestas cuyo objetivo es aumentar la temperatura corporal normal.

Este ciclo es un sistema de retroalimentación negativa que intenta elevar la temperatura corporal hasta el valor normal.

Vasoconstricción. Los impulsos nerviosos procedentes del centro de producción de calor estimulan los nervios del sistema simpático que causan la constricción de los vasos sanguíneos de la piel. El efecto neto de la vasoconstricción es la disminución del flujo de sangre caliente desde los órganos internos a la piel, disminuyendo así la transferencia de calor en esta dirección. Esta reducción de la pérdida de calor contribuye a elevar la temperatura corporal interna.

Estimulación simpática. Otra respuesta desencadenada por el centro de producción de calor es la estimulación simpática del metabolismo. El centro de producción de calor estimula los nervios simpáticos que inervan la médula suprarrenal. Esta estimulación origina la secreción por parte de la médula suprarrenal de adrenalina y noradrenalina (NA) a la sangre.

Estas hormonas, a su vez, producen un aumento del metabolismo celular, una reacción que también eleva la producción de calor. Este efecto recibe el nombre de termogénesis química.





Músculos esqueléticos. La producción de calor también aumenta por las respuestas de los músculos esqueléticos. Por ejemplo, la estimulación del centro de producción de calor causa la estimulación de regiones del cerebro que aumentan el tono muscular, la distensión del músculo agonista inicia el reflejo de estiramiento y el músculo se contrae. Esta contracción causa la distensión del músculo antagonista, que desarrolla un reflejo de estiramiento.

El ciclo repetitivo denominado estremecimiento (termogénesis involuntaria) aumenta la tasa de producción de calor. Durante el estremecimiento máximo, la producción de calor puede elevarse hasta cuatro veces el valor normal en sólo unos minutos.

Hormonas tiroideas. Otra respuesta corporal que aumenta la producción de calor es el aumento de la síntesis de hormonas tiroideas (T3 y T4). Una temperatura ambiental fría aumenta la secreción de hormona liberadora de tirotropina (TRH) en el hipotálamo. La TRH, a su vez, estimula la secreción de hormona estimulante del tiroides (TSH) en la adenohipofisis, que causa la liberación de hormonas tiroideas a la sangre por el tiroides. Debido a que el aumento de los niveles de hormonas tiroideas eleva la tasa metabólica, la temperatura corporal asciende.

### **Mecanismos de pérdida de calor**

[6][7][8]La superficie del cuerpo intercambia calor con el ambiente externo por radiación, conducción y convección los cuales serán mencionados en el siguiente capítulo, mencionaremos el mecanismo por evaporación del agua.

El calor producido por el organismo se mantiene casi en su totalidad en el interior del cuerpo por medio de un sistema aislante constituido por la piel, el tejido subcutáneo y principalmente por la grasa de los tejidos subcutáneos. Obviamente este aislante no es perfecto, y parte del calor se pierde al exterior.



La conductividad térmica del aislante puede variar mediante el cambio del flujo sanguíneo que controla el hipotálamo (vasoconstricción y vasodilatación).

Cuando un individuo se expone al calor, ocurre la vasodilatación, en ella los vasos sanguíneos subcutáneos que transportan sangre del interior a la superficie se dilatan, aumentando la conducción de calor hacia la superficie de la piel para permitir la pérdida de calor. A temperaturas ambientales altas, ni aún la vasodilatación máxima basta para eliminar el calor tan pronto se produce.

La evaporación del agua por medio de la piel constituye un proceso importante para la pérdida de calor corporal. Se pierde calor en la evaporación ya que se debe transmitir energía térmica para transformar el agua, del estado líquido al estado gaseoso. Así cuando se evapora el agua de la superficie del cuerpo, el calor requerido para impulsar el proceso es absorbido de la superficie, refrescándola de esta manera.

Aún faltando el sudor, hay pérdida de agua a través de la piel, la cual no es completamente permeable. En condiciones normales y en reposo, una persona pierde por evaporación insensible unos 600 ml de agua al día, y representa una parte importante de la pérdida de calor.

A diferencia de esta pérdida pasiva de agua, la sudoración requiere la secreción activa del líquido por parte de las glándulas del sudor y su expulsión a través de conductos, que lo llevan a la superficie de la piel. El sudor es una solución diluida que contiene ante todo cloruro de sodio.

Se ha calculado que en el cuerpo humano existen más de 2.5 millones de glándulas sudoríparas y se han registrado tasas de producción de más de 4 L/h. Es importante tener en cuenta que el sudor debe evaporarse a fin de ejercer su efecto de refrescamiento.



El principal factor que determina la evaporación es la humedad del aire. La incomodidad que se experimenta en los días húmedos es debido a la falta de evaporación de las glándulas sudoríparas siguen secretando, pero el sudor permanece en la piel. Cuando la temperatura es superior a la del cuerpo, se gana calor por radiación, conducción y convección, por lo que la evaporación constituye el único mecanismo para la pérdida de calor.

La capacidad del hombre para sobrevivir a temperaturas altas está determinada por la humedad del aire y por la tasa máxima de sudoración de cada individuo. Por ejemplo el hombre tolera temperaturas más altas cuando el aire está completamente seco, que cuando el aire está muy húmedo.

### **Pérdida de calor**

[6][7][8][24]La mayor parte del calor producido por el cuerpo se genera en los órganos profundos, especialmente en el hígado, el cerebro, el corazón y los músculos esqueléticos durante el ejercicio. Después este calor se transfiere desde los órganos y tejidos más profundos a la piel, donde se pierde al aire y a otros elementos circundantes.

Por lo tanto, la intensidad con que se pierde el calor viene determinada casi completamente por dos factores: lo rápidamente que el calor se puede conducir desde donde se produce en el centro del cuerpo a la piel y lo rápidamente que el calor se puede transferir desde la piel al entorno. Empecemos exponiendo el sistema que aísla el centro de la superficie cutánea.



### Sistema aislante del cuerpo

[8]La piel, los tejidos subcutáneos y especialmente la grasa de los tejidos subcutáneos son un aislante del calor para el cuerpo. La grasa es importante porque conduce el calor con una rapidez que se sólo una tercera parte de la de los otros tejidos. Cuando no fluye sangre desde los órganos internos calentados a la piel, las propiedades aislantes del cuerpo masculino normal son iguales aproximadamente a las tres cuartas partes de las propiedades aislantes de un traje habitual. En las mujeres, este aislamiento es todavía mejor. El aislante debajo de la piel es un medio eficaz para mantener una temperatura central interna normal, aunque permite que la temperatura de la piel se aproxime a la temperatura del entorno.

# TRANSFERENCIA DE CALOR

El cuerpo humano genera calor cuando realiza un esfuerzo físico para realizar alguna tarea o como resultado de la ingesta de alimentos mediante el metabolismo, el exceso de calor generado necesita ser disipado para mantener constante la temperatura del cuerpo mediante la radiación de calor o enfriamiento de la superficie de la piel, si está disipación se hace de manera rápida el cuerpo se enfría y si se lleva a cabo lentamente el cuerpo tiende a elevar su temperatura.

La velocidad de la transferencia de calor entre el cuerpo y los alrededores se llevará a cabo mediante los mecanismos de transferencia de calor

Así la transferencia de calor es una parte de los fenómenos de transporte que se encarga de estudiar la transferencia de energía .

Definimos la energía como todo aquello que es capaz de realizar trabajo o provocar movimiento en contra de una resistencia. Todas las cosas y toda la materia tienen energía, siendo ésta por lo tanto una propiedad de la materia que puede tomar muchas formas: calorífica, eléctrica, luminosa, nuclear y química,

Entonces, por la Segunda Ley de la Termodinámica, el calor es una forma degradada de la energía , puesto que al realizar un trabajo el calor usado no se aprovecha al cien por ciento.

La física estudia el comportamiento de la energía a través de las leyes de la termodinámica las cuales mencionaremos a continuación.



Primera Ley de la termodinámica

La materia no puede crearse ni destruirse.

Segunda Ley de la termodinámica

“El calor fluye sólo de un cuerpo caliente a uno más frío”.

Tercera Ley de la termodinámica (o principio de Calor de Nerst)

Entropía es la medida de desorden en el universo.

Puesto que estamos hablando del movimiento de las moléculas describiremos los tres tipos fundamentales de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

**CONDUCCIÓN**

[12][19][27][35] Si calentamos una barra metálica por uno de los extremos las moléculas dentro de la barra comenzaran a vibrar transmitiendo su energía interna a las otras moléculas de esta manera se calentará la barra, llamamos a este mecanismo de transferencia de calor conducción.

“La Ley de Fourier de conducción establece que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente de temperatura”. La ley de Fourier es la ecuación diferencial fundamental para la transferencia del calor por conducción:

$$dQ/d\theta = -kA (dt/dx) \dots\dots\dots 3-1$$



en donde  $dQ/d\Theta$  (cantidad por unidad de tiempo) es la velocidad de flujo de calor,  $A$  es el área en el ángulo recto con la dirección en la que fluye el calor, y  $-dt/dx$  es la velocidad de

cambio de temperatura con la distancia, en la dirección de flujo de calor, o sea, el gradiente de temperatura. El factor  $k$  se denomina conductividad térmica; es una propiedad característica del material por el que fluye calor y varía con la temperatura.

Conductividad es la propiedad de los materiales para transmitir energía y es característica de cada material.

La conductividad térmica varía con la temperatura: pero no siempre en la misma dirección. La conductividad térmica para muchos materiales, es función de la temperatura.

### CONVECCIÓN

[28][33][34][35]La convección es el movimiento de moléculas fluyendo a través de diferentes densidades.

El fenómeno de transmisión de calor por convección es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido por diferencia de densidades.

La ley de Newton de enfriamiento establece que el flujo de calor por unidad de área es proporcional a la diferencia total de temperaturas entre la de la superficie del sistema y la del fluido es decir

$$q_c = hA(t_w - t) \dots\dots\dots 3-2$$



donde  $h_m$  es el coeficiente de transmisión calorífica de la superficie al fluido, excluida toda la energía radiada,  $A$  es el área de la superficie,  $t_w$  es la temperatura de la superficie, y  $t$  la temperatura media del fluido.

Se verá que  $h_m$  depende no sólo de las unidades empleadas, sino también de ciertas propiedades físicas del fluido, de las dimensiones del aparato, de la velocidad del fluido más allá de la superficie, de si el fluido está o no cambiando de fase y, frecuentemente, del incremento de temperatura  $\Delta t$ .

### RADIACIÓN

[12][27][33][34]La radiación es la transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas, no necesita de un medio, de esta manera puede ser transmitido en el vacío absoluto.

La ecuación fundamental que rige la radiación total desde un radiador ideal fue descubierta empíricamente por Stefan-Boltzman

$$dq_r = \sigma dAT^4 \dots\dots\dots 3-4$$

donde  $q_r$  representa el calor transferido por radiación desde un lado elemento negro de área  $dA$ ,  $T_w$  es la temperatura absoluta de la superficie y  $\sigma$  la constante adquiere un valor de  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  en el sistema internacional de unidades, dimensional, de Stefan-Boltzman, cuyo valor sólo depende de las unidades empleadas.





## EVAPORACIÓN

[7][8][12][18]La evaporación es el cambio de fase líquida a vapor. La presión de vapor es una propiedad de los líquidos para lograr que se de este fenómeno.

Tomaremos como ejemplo un vaso con agua tapado con un vidrio de reloj, puesto que hay un equilibrio las moléculas de agua que se evaporan se condensan, así la masa contenida en el vaso es la misma siempre.

Ahora bien explicaremos que pasa con el cuerpo humano al incrementarse la temperatura del medio ambiente el cuerpo incrementa su calor corporal, así que miles de glándulas sudoríparas entran en acción generando pequeñas gotas de sudor.

El incremento de calor interno logrará dar el cambio de fase manteniendo la temperatura constante a este calor se le conoce como calor latente. Al desprenderse este calor el cuerpo tiene una sensación de frescura.

El medio ambiente juega un papel importante pues las condiciones ayudaran a que este proceso ocurra de manera rápida o lenta. Pues el aire alrededor del cuerpo arrastrará las moléculas de vapor próximas a el o que se encuentren en la interfase líquido vapor mediante una transferencia convectiva.

También influye el área expuesta , pues entre mayor sea está mayor será la evaporación del cuerpo. Por el contrario cuando el porcentaje de humedad contenido en el cuerpo es alta , las moléculas que no pueden desprenderse de la interfase se condensarán sobre la piel.

Sin embargo aunque ninguna de estas condiciones estén presentes el fenómeno de evaporación se llevará a cabo de manera lenta.



## TRANSFERENCIA DE MASA

[12][19][27]La transferencia de masa es consecuencia de la evaporación. La transferencia de masa es el movimiento de las moléculas.

La transferencia de masa generalmente ocurre junto con la transferencia de calor, pues regresando al cuerpo humano al desprenderse las moléculas de vapor hay una pérdida de masa , pues este sistema no esta en equilibrio, y las moléculas simplemente se pierden, incluso en el momento de respirar hay una pérdida de masa.

Es conveniente mencionar que la difusión de masa también puede ser el resultado de un gradiente de temperatura en un sistema, a esto se le denomina difusión térmica mencionaremos a continuación la Ley de Fick.

### Ley de difusión de Fick

Considérese el sistema que se muestra en la figura 3-1 . Una división delgada separa los gases A y B. Cuando se elimina la división, los gases se difunden entre ellos hasta que se establece el equilibrio y la concentración de los gases dentro de la caja es uniforme. La rapidez de difusión se expresa por la ley de difusión de Fick, la cual establece que el flujo de masa por unidad de área de un componente es proporcional al gradiente de concentración. Así

$$\dot{m}_A = -D \frac{\alpha C_A}{\alpha x} \quad 3-6$$



donde  $D$  = coeficiente de proporcionalidad constante de difusión ,  $m^2/s$

$m_A$  = flujo de masa por unidad de tiempo  $kg/s$

$C_A$  = concentración en masa del componente A por unidad de volumen,  $kg/m^3$

#### Ecuación de Nernst

En 1988, Nernst adelanta una teoría en la que supone que la difusión es la Presión osmótica. La presión osmótica de difusión no puede considerarse como una fuerza real, pues la presión osmótica sólo se observa en presencia de una membrana semipermeable. La suposición de Nernst es que en este caso actúa la misma fuerza que causa la presión osmótica en presencia de una membrana semipermeable. La diferencia es que la fuerza ahora actúa sobre las partículas y en el caso de la presión osmótica actúa sobre las membranas entonces la fuerza que actúa sobre las partículas es:

$$F = -kT \frac{dc}{cdx}$$

Si las partículas sobre las cuales actúa esta fuerza se muevan uniformemente,  $F = fu$ , siendo  $f$  el coeficiente de fricción entre las partículas y el medio en que están dispersas y  $u$  es la velocidad de movimiento de las partículas.

# IV

## AMBIENTES TERMICOS

---

Los temas de ambientes térmicos calor y frío tienen una especificación propia en el campo de la Higiene Industrial debido a una serie de factores entre los que cabe destacar, la asociación de calor y del frío como agentes susceptibles de provocar riesgos profesionales, con los problemas de confort térmico, lo que lleva en ocasiones, a cierta confusión sobre lo que se pretende evaluar, si el confort o un riesgo profesional aunque es evidente que cuando se da el segundo va acompañado por el primero, pero no necesariamente lo contrario.

Otro de los aspectos que se da en los efectos derivados de la exposición a temperaturas elevadas es que muchos de los síndromes que produce, son reversibles y pueden aparecer y desaparecer en espacios cortos de tiempo, a diferencia de otras enfermedades del trabajo o profesionales, cuya aparición se da después de exposiciones larga y su extinción es lenta o imposible.

Condición térmica elevada. Es la situación ambiental que es capaz de transmitir calor hacia el cuerpo humano en tal magnitud que puede romper el equilibrio térmico del trabajador, tendiendo a incorporar su temperatura corporal central.

Condición térmica abatida: Situación ambiental que es capaz de producir pérdidas de calor en el cuerpo humano, debido al frío, rompiendo el equilibrio térmico del trabajador, tendiendo a disminuir su temperatura corporal central.



## TRANSFERENCIA DE CALOR ENTRE EL HOMBRE Y EL AMBIENTE

[13][18]El calor tiende a pasar de este los puntos en los que la temperatura es alta hacia aquellos en los que es inferior. Cuando la transferencia de calor se realiza a través de sólidos o fluidos que no están en movimiento, el proceso recibe el nombre de conducción, y cuando ocurre a través de fluidos en movimiento el de convección. El calor puede ser también transferido de un cuerpo a otro sin soporte material alguno por el proceso denominado radiación.

Una cuarta vía de gran importancia en fisiología es la evaporación; cuando se pierde el calor por evaporación, o se gana por condensación, no son precisas diferencias de temperatura para el desarrollo del proceso.

El calor transferido de esta forma es llamado calor latente diferenciándolo así del que se transmite a través de cambios de temperatura y que es llamado calor sensible.

Puesto que los mecanismos de termorregulación del organismo vienen con finalidad esencial del mantenimiento de una temperatura interna constante, es evidente que ha de existir un equilibrio entre la cantidad de calor generado en el cuerpo y su transmisión al medio ambiente. La ecuación que describe tal estado de equilibrio se denomina balance térmico y se escribe:

$$M - E_d - E_s - L = K = R + C$$

donde

M = Producción metabólica de calor

$E_d$  = Pérdida de calor por difusión de vapor de agua a través de la piel

$E_s$  = Pérdida de calor por evaporación del sudor desde la superficie de la piel

$E_r$  = Pérdida de calor latente en la respiración



L = Pérdida de calor sensible en la respiración

K = Calor transmitido desde la superficie de la piel hasta la superficie exterior del vestido

R = Calor perdido por radiación desde la superficie exterior del vestido

C = Calor perdido por convección desde la superficie exterior del vestido

La ecuación anterior expresa que la producción interna del calor menos las pérdidas por evaporación desde la piel ( $E_a + E_s$ ) y las de respiración ( $E_r + L$ ), es igual al calor conducido a través del vestido ( $K$ ) y disipado al otro lado de este por radiación y convección ( $R + C$ ).

El balance térmico así planteado incluye como única hipótesis el que la evaporación del agua correspondiente a los términos  $E_a$  y  $E_s$  ocurre en (o debajo de) la superficie de la piel y es por tanto aplicable a cualquier situación en régimen permanente. Sin embargo, según cual sea el nivel de efectos del calor que se pretenda estudiar, ciertos términos del balance son despreciables frente a otros o bien son función unos de otros, lo que permite simplificar notablemente el análisis.

La ecuación simplificada del balance térmico, puede expresarse de la siguiente forma.

$$M - E = K = R + C$$

donde aligerar la notación llamamos simplemente  $E$  a  $E_s$ .

### Antecedentes fisiológicos.

El organismo puede entenderse como un sistema energético con unos parámetros internos que, en el caso de la temperatura, deben mantenerse en unos límites muy estrechos.

La temperatura media normal en el interior del organismo es de  $37^\circ \text{C}$ .



La temperatura media normal de la piel, es del orden de 35 °C.

La temperatura media de la piel del cuerpo es según FANGER:

$$t_m = 37.5 - 0.032 Q/S$$

donde

Q = Producción de calor en Kcal / h

S = Superficie en metros cuadrados.

El organismo dispone de mecanismos de autorregulación térmica (homeostasis térmica), con el fin de controlar el intercambio de calor con el ambiente.

### Parámetros que determinan el balance térmico

La cantidad de calor eliminado por evaporación puede calcularse por la formula

$$E = K_2 V^m (P^p - P^a) W$$

donde

E = Calor intercambiado por unidad de tiempo

K<sub>2</sub> = Coeficiente que depende del sistema de unidades empleado

V = Velocidad del aire

m = Coeficiente que varia de 0.37 a 0.63

P<sup>p</sup> y P<sup>a</sup> = Presión de vapor de agua a la temperatura de la piel y del aire respectivamente.

W = Superficie de la piel humedecida por el sudor

El calor desprendido por radiación se estima en base a la siguiente ecuación:

$$R = F\epsilon\delta (t_p^4 - TRM^4)$$

donde

F = Factor de emisividad



$\delta$  = Constante de Boltzman  $5.67 \cdot 10^{-8}$  Watt / m<sup>2</sup> · K<sup>4</sup>

$T_p$  = Temperatura de la piel

TRM = Temperatura radiante media

En general, la determinación de la cantidad de calor intercambiada por convección por el organismo humano puede obtenerse de la siguiente forma.

$$C = K_1 V^n (T_p - T_a)$$

donde

C = Calor intercambiado por unidad de tiempo

$K_1$  = Coeficiente cuyo valor depende del sistema de unidades empleado.

V = Velocidad del aire

$T_a$  = Temperatura seca del aire

$T_p$  = Temperatura de la piel

n = Coeficiente cuyo valor varia entre 0.5 a 0.6 según distintos autores.

Si en la ecuación simplificada del balance térmico.

$$M - E = R + C$$

sustituimos cada uno de los términos por el valor que se ha calculado se llega a:

$$M - K_2 V^m (P^p - P^a) W = A F_e d (T_p^4 - TRM)^4 + K_1 V N (T_p - T_a)$$

donde A es el área de la piel que interviene en el intercambio térmico por radiación, y los otros simbolos tienen el significado definido anteriormente.

El análisis de las variables que intervienen en esta ecuación ponen de manifiesto que están pueden dividirse en dos grupos:





a) Variables que definen el estado térmico del ambiente:

- Velocidad del aire,  $V$ .
- Presión parcial del vapor de agua en el aire,  $P_{af}$
- Temperatura seca,  $T$
- Emisividad de los focos radiantes del local  $F$ , (supone que la emisividad de la piel es fija)

b) Variables que definen el estado y posición del cuerpo:

- Producción metabólica de calor,  $M$
- Posición del cuerpo respecto a los focos radiantes,  $A$

## AMBIENTES FRIOS

[15][16][18] Miles de gentes son expuestos a trabajos de temperatura frías en plantas de congelación, casas envasadoras de carne, almacenes de hielo en las granjas y áreas del norte, haciendas de ganado, industrias madereras y otras actividades al aire libre. Puesto que los humanos son de sangre caliente deben mantener caliente su cuerpo. Si esta protegido propiamente, podrán trabajar en ambos climas natural y clima frío artificial.

Principales efectos de las temperaturas extremas sobre el organismo.

Cuando el calor cedido al medio, ambiente es superior al calor recibido o producido por medio de metabolismo basal y del trabajo, debida a la actividad física que se está ejerciendo, el organismo tiende a enfriarse y, para evitar esta hipotermia (descenso de la temperatura del cuerpo), pone en marcha los múltiples mecanismos, entre los cuales podemos indicar:



Vaso-constricción sanguínea: Disminuir la cesión de calor al exterior.

Desactivación (cierre) de las glándulas sudoríparas.

Disminución de la circulación sanguínea periférica.

Tiritona: producción de calor (transformación química en mecánica/térmica).

Autofatiga de las grasas almacenadas: transportación química de lípidos (grasas almacenadas) a glucidos de metabolización directa.

Encogimiento: presentar la mínima superficie de piel en contacto con el exterior.

### *Consecuencias de la hipotermia*

Malestar general.

Disminución de la destreza manual.

Reducción de la sensibilidad táctil

Anquilosamiento de las articulaciones.

Comportamiento extravagante (hipotermia de la sangre que riega el cerebro)

Congelación de los miembros (los más afectados, las extremidades)

La muerte se produce cuando la temperatura interior es inferior a 28° C por fallo cardíaco

## **AMBIENTES CALIENTES**

Los problemas del calor son más comunes en la industria que los problemas presentados en los ambientes fríos, la salud y la seguridad profesional pueden ser completamente conocidos todos los aspectos de la tensión al calor y convertidos en un método de control familiar y programas de los trabajadores a exposición de calores extremos.

Cuando el calor cedido por el organismo al medio ambiente, es inferior al calor recibido o producido por el metabolismo total (metabolismo basal + metabolismo de y trabajo) el organismo tiende a bajar su temperatura, y para evitar esta hipotermia (aumento de la temperatura del cuerpo), pone en marcha otros mecanismos entre los cuales podemos citar:



Vasodilatación sanguínea: aumento de intercambio de calor.

Activación (apertura) de las glándulas sudoríparas: aumento del intercambio de calor por cambio de estado del sudor de líquido a vapor.

Aumento de la circulación sanguínea periférica puede llegar a 2.6 litros/min/m<sup>2</sup>.

Cambio electrolítico del sudor: La pérdida de ClNa puede llegar a 15 g/litro.

Trastornos psiconeuroticos.

Trastornos sistemáticos:

Calambre por calor

Agotamiento por calor:

Deficiencia circulatoria

Deshidratación

Desalinización

Anhidrosis.

Golpe de calor (hiperpirexia).

Trastornos de la piel:

Erupción (miliaria rubra).

Quemaduras (debido a las radiaciones ultravioletas).

## **EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE DEFINEN EL AMBIENTE TERMICO**

### **Medida de la temperatura seca del aire**

[13][16][18][20]El nombre de temperatura de bulbo seco se refiere, simplemente, a la temperatura del aire. El adjetivo seca es para distinguirla de otra medición de temperatura que se realiza en condiciones especiales y que se identifica con el nombre de temperatura de bulbo húmedo.

Los instrumentos de medida se pueden clasificar en tres grupos; termómetros de bulbo, termopares y termorresistencias y termistores.



### Termómetros de bulbo

Se basan en el fenómeno físico de la dilatación que sufren los cuerpos al aumentar su temperatura. Prácticamente se presentan en forma de un depósito (bulbo) prolongado por un tubo capilar cerrado, construido en vidrio transparente, conteniendo una cierta cantidad de líquido (generalmente mercurio o alcohol). La dilatación del líquido se manifiesta en una variación de la longitud de la columna contenida en el capilar. El capilar lleva grabada una escala de temperaturas sobre la que se lee la temperatura del líquido del termómetro.

Este es un instrumento sencillo y barato, que está muy extendido, y quizá por ello se utiliza sin el cuidado necesario para que el resultado de una lectura sea realmente el valor de la temperatura del aire.

Como se ha indicado, la temperatura leída es exactamente la del fluido termométrico, por lo tanto es necesario un tiempo de contacto suficiente entre el bulbo y el aire para que aquél alcance la temperatura del aire que es la que realmente se quiere medir. Este tiempo puede acortarse haciendo circular el aire mediante un ventilador. La justificación de este hecho es que la circulación forzada de aire aumenta la velocidad de transferencia de calor entre el aire y el bulbo, disminuyendo por tanto el tiempo necesario para que el bulbo alcance la temperatura del aire.

Otro fenómeno que casi nunca se previene, y que puede falsear la medida de forma importante, es la radiación. En efecto, el bulbo del termómetro (especialmente si es de mercurio) es un elemento con grandes facilidades para el transporte de calor por radiación ya que su absorbencia es apreciable. Si un termómetro desnudo se sitúa en las proximidades de un foco de radiación (una superficie caliente) el líquido termométrico, además de recibir calor por el mecanismo de convección desde el aire en contacto con él, y que resultaría en una lectura de temperatura igual a la del aire, recibirá calor por radiación



desde la superficie caliente, lo que se traducirá en un aumento de la temperatura del fluido termométrico por encima de la temperatura del aire, falseando la medida.

En conclusión, para que la lectura de la temperatura del aire con un termómetro de bulbo sea correcta es necesario:

- a) Utilizar un termómetro bien calibrado.
- b) Esperar el tiempo necesario para que se establezca la columna o crear una corriente de aire alrededor del bulbo.
- c) Apantallar el bulbo contra las radiaciones evitando que el apantallamiento impida el buen contacto necesario entre el bulbo y el aire.

### **Termopares**

Estos instrumentos se basan en el efecto de Seebeck que es la generación de una diferencia de potencial eléctrico entre dos metales distintos cuando la unión entre ambos es sometida a diferentes temperaturas. En su forma más usual, el medidor de temperaturas por termopares consiste en dos uniones activas, una de ellas sumergida en un medio a temperatura constante y conocida (hielo fundente, por ejemplo) y la otra es la punta de prueba que se sitúa en el ambiente, ambas uniones se conectan en serie, de forma que el potencial eléctrico que aparece en los bornes del sistema no es más que un potenciómetro cuya escala de lectura está dividida en grados.

Las precauciones necesarias en los termómetros de bulbo también son válidas en este caso, pero su importancia es menor, ya que, al ser el termopar un elemento metálico, la velocidad de transferencia de calor por convección es muy elevada y, al ser de poca superficie, el intercambio por radiación es poco importante.



Además de estas ventajas sobre el termómetro de bulbo, presenta otras, como puede ser la posibilidad de conectar un registrador, o de efectuar una lectura remota, y el gran margen de utilización disponible con sólo sustituir los termopares.

### **Termorresistencias y termistores**

[18]Ambos se basan en la variación de la resistencia eléctrica con la temperatura. Los primeros se refieren a la resistencia de los cuerpos conductores de la electricidad, y los segundos a la resistencia de un cierto tipo de semiconductores.

El aparato de medida puede ser un medidor de resistencias (Puente de Weasthone) o un medidor de la intensidad que circula por la termorresistencia, o el termistor, cuando se conecta a una diferencia de potencial conocida.

La medida también se verá afectada por los fenómenos expuestos en el caso del termómetro de bulbo, por tanto, se deberá proteger el elemento sensible de las radiaciones, pero en el caso de las termorresistencias existe otro fenómeno que puede causar errores. Al circular una corriente por el hilo, éste se calienta por efecto de Joule, y la lectura será superior a la temperatura ambiente. Para evitarlo, es necesario activar la transferencia de calor entre la termorresistencia y el ambiente haciendo circular el aire alrededor de la misma, ya sea moviendo está o forzando el paso del aire con un ventilador.

Un medidor por termorresistencias permite la conexión de un registrador y la lectura remota, y no necesita de temperatura de referencia. Por contra, su precio es el más elevado.

### **Medida de la humedad del aire**

La humedad del aire es un concepto directamente relacionado con la cantidad de vapor de agua contenida en una determinada cantidad de aire. Su medida no esta normalizada, y se



utilizan varias magnitudes con dicho contenido como medida de la humedad. La utilización de estas magnitudes en cada caso es función de del aspecto particular de la humedad que interese en un problema. Algunas de estas magnitudes son:

#### Presión parcial de vapor

Presión que ejercería el vapor de agua si estuviese él sólo ocupando todo el volumen considerado. Se mide en unidades de presión, y está directamente relacionada con la presión total y el porcentaje, en volumen, de vapor de agua en el aire según:

$$P_A = P_T \cdot \frac{\Psi}{100}$$

donde:

$P_A$  = presión parcial del vapor de agua (mm de Hg)

$P_T$  = presión total (mm de Hg)

$\Psi$  = porcentaje, en volumen, de vapor de agua en el aire.

#### Humedad absoluta

Masa de vapor de agua contenido en la unidad de masa de aire seco, en función de la presión parcial del vapor:

$$H = 0.622 \cdot \frac{P_A}{700 - P_A}$$

donde:

$H$  = humedad absoluta (kg vapor/kg aire seco)

$P_A$  = presión parcial (mm de Hg)



### Humedad relativa

Cociente entre presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de saturación del vapor de agua a la misma temperatura, expresado en porcentaje. Es función de la presión parcial del vapor, y de la temperatura del aire.

### Punto de rocío

Temperatura a la cual el vapor de agua contenido en el aire se satura. Es función de la presión de vapor exclusivamente.

### Temperatura húmeda

Temperatura estacionaria, que alcanza una pequeña masa de agua sumergida en condiciones adiabáticas en una corriente de aire. Depende de la presión parcial del vapor, y de la temperatura seca del aire.

Los valores de estas magnitudes para el aire húmedo se resumen gráficamente en un diagrama psicrométrico, una de cuyas formas se muestra en la figura 1 del anexo I, que ha sido trazado por una presión total de 760 mm de hg.

En este diagrama las líneas de temperatura seca constante son verticales. La escala de temperatura se encuentra sobre el eje de abscisa. Las líneas de temperatura húmeda constante son inclinadas, la escala correspondiente se encuentra sobre la línea curva de saturación (100 por 100 de humedad relativa). Las líneas curvas corresponden a humedad relativa constante y se leen sobre el eje de ordenadas, y la humedad absoluta se lee en paralelo al eje de ordenadas.





### Termómetro húmedo

Es un termómetro de bulbo, termopar o termorresistencia, cuyo elemento sensible será recubierto de una muselina limpia que se mantiene empapada de agua destilada. Si el aire se hace circular forzosamente alrededor de la muselina y ésta se protege convenientemente de la radiación de los alrededores, la lectura del termómetro es la temperatura húmeda tal como se ha definido anteriormente, y se caracteriza mejor llamándola temperatura húmeda psicrométrica.

Es necesario insistir en las condiciones de la medición, ya que en ocasiones se llama temperatura húmeda a los resultados de mediciones no realizadas con las precauciones indicadas, que son:

Muselina limpia.

Reposición de agua destilada a la temperatura húmeda.

Circulación forzada del aire.

Protección contra la radiación.

Las medidas realizadas en otras condiciones son útiles para el estudio de otros fenómenos, pero no son adecuadas para medir la temperatura húmeda psicrométrica y, por tanto, no se pueden introducir en un diagrama psicrométrico para calcular otras magnitudes, a menos que el diagrama haya sido modificado convenientemente.

Más adelante se estudia una temperatura húmeda, medida sin forzar la circulación del aire, y sin protección contra la radiación, que se utiliza como dato para el cálculo de un índice de medida de estrés térmico. En cuanto a las ventajas e inconvenientes de utilizar como soporte de la muselina de un termómetro de bulbo, un termopar o un termisor o termorresistencia, es aplicable lo expuesto al tratar de la medida de la temperatura seca, ya que estos elementos son los mismos.



### La célula higroscópica

Este aparato mide, mediante una termorresistencia, el punto de rocío de una sal muy higroscópica (generalmente de cloruro de litio), que está directamente relacionado con la humedad absoluta del aire en contacto con la sal. Generalmente los instrumentos de este tipo incorporan además una termorresistencia que mide la temperatura del aire, pudiendo seleccionar la lectura de la humedad absoluta, la temperatura seca o la humedad relativa.

En las medidas de humedad absoluta se debe proteger la célula de la radiación de los alrededores, y esperar el tiempo necesario para que se alcance el equilibrio y la lectura sea correcta. Este tiempo es calculado en función de la forma en que se construya la célula y los fabricantes dan las instrucciones oportunas.

### Medida de la velocidad del aire

[13][18]Existen gran variedad de instrumentos para la medida de la velocidad del aire. Los instrumentos de tipo direccional, muy útiles en ingeniería o meteorología, no son prácticos para la evaluación de estrés térmico, no obstante, se utilizan tomando la precaución de realizar las mediciones en la dirección del movimiento de aire.

Los aparatos para medir la velocidad del aire pueden clasificarse en tres grupos, según el sistema utilizado para obtener la medida: anemómetros mecánicos, termoanemómetros y velómetros, basados en medidas de presión diferencial.

#### Anemómetros mecánicos

Se basan en aprovechar la energía cinética del aire en movimiento para mover o desplazar elementos mecánicos, tales como hélices de paso conocido, palancas contrapesadas con



muelles, etc., midiendo el movimiento o desplazamiento por medios eléctricos o mecánicos.

Son aparatos muy simples y que apenas necesitan mantenimiento, aunque su construcción es muy delicada si se desea obtener una buena precisión en la medida. Son direccionales y por lo tanto, debe cuidarse la posición.

#### Termoanemómetros

Están contruidos por el acoplamiento de dos termopares o termorresistencias, uno de ellos se calienta artificialmente mediante una corriente eléctrica. La temperatura que alcanza este elemento es en función de la temperatura y la velocidad del aire en contacto con él. El termopar o termorresistencia no calentado sirve de referencia, ya que se encuentra a la temperatura del aire, por tanto, la diferencia entre las señales eléctricas dadas por cada elemento es proporcional a la velocidad del aire. Son aparatos muy sensibles y precisos, aunque bastante delicados. Se construyen modelos direccionales y no direccionales.

#### Velómetros basados en medidas de presión diferencial

Se basan en la evaluación de presiones entre dos puntos.

La velocidad del aire está relacionada con la diferencial de las presiones que existen en ambos puntos, por lo que se puede deducir dicha velocidad a partir de la presión diferencial. Generalmente el instrumento lleva la escala graduada directamente en velocidades.

Son instrumentos más sólidos que los anteriores, aunque su precisión para medir velocidades bajas (inferiores a 0.5 m/s) no es muy buena. Son direccionales.



### Medida de la temperatura radiante media

[13][18] En Higiene Industrial se utiliza el termómetro de globo, que consiste en un termómetro corriente de bulbo, termorresistencia o termopar cuyo elemento sensible se sitúa en el centro de una esfera hueca metálica pintada exterior e interiormente de color negro mate.

El resultado de la lectura se conoce con el nombre de temperatura de globo. La temperatura radiante media está relacionada con la temperatura de globo, la temperatura seca del aire y la velocidad del aire, según la ecuación:

$$T_{RM} = 100 \left[ \left( \frac{T_g}{100} \right)^4 + 2.48 (V(T_g - T_a))^{1.2} \right]^{1/4}$$

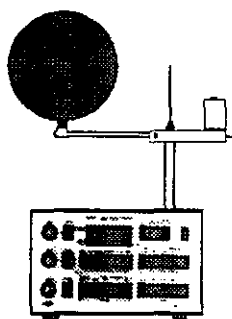
$T_{RM}$  = temperatura radiante media °K

$T_g$  = temperatura de globo °K

$T_a$  = temperatura seca del aire °K

$V$  = velocidad del aire m/s.

La figura 2. del anexo I muestra el esquema de montaje del termómetro de globo, bulbo húmedo y temperatura seca. La figura 4.3 muestra un medidor portátil



4.3 Medidor de stress térmico. método WBGT

## CARGA TERMICA

---

El cuerpo humano efectúa trabajo mecánico gastando por su actividad la energía que le es proporcionada mediante la ingestión de alimentos. Así transforma la energía química en energía mecánica. Entonces la carga del organismo a la que llegamos desde el punto de vista fisiológico no depende de la cantidad de trabajo mecánico ejecutado en un tiempo dado, sino, más bien, de la cantidad de energía gastada. Pues el trabajo humano es puramente corporal si se compara con el de una máquina, entonces el sentido de la actividad humana no está en la realización de una energía mecánica, sino en la realización de un producto determinado del trabajo. Así lo que nos interesa no es nunca la noción del trabajo físico, sino el gasto que es necesario realizar para obtener el producto del trabajo.

### **METABOLISMO BASAL**

[7][8][10]A causa de los muchos factores que pueden afectar al metabolismo, es difícil en extremo comparar el gasto metabólico de una persona y otra. Para que se cuente con una comparación totalmente válida, debe medirse la intensidad de utilización de energía de la persona cuando se encuentra en estado basal. Esto significa que 1) no está haciendo ejercicio y no lo ha hecho por lo menos 30 minutos antes; 2) se encuentra en reposo mental completo, de modo que no está hiperactivo su sistema nervioso simpático; 3) la temperatura del aire es totalmente cómoda, de modo que su sistema nervioso simpático no se está estimulando debidamente por este factor; 4) no ha comido alimentos en las últimas 12 horas, pues esto podría producir una acción dinámica específica de su metabolismo, y 5) su temperatura corporal es normal para evitar el efecto de la fiebre sobre el metabolismo.



Bajo estas condiciones basales se encuentran controlados en la mayor parte de los factores que afectan al metabolismo, pero este estado no elimina la el efecto de la hormona tiroidea secretada de manera constante. Por lo tanto, el metabolismo basal depende en esencia de dos factores principales: primero las necesidades inherentes a las reacciones químicas de las células, y segundo, la cantidad de la hormona tiroidea que actúa sobre éstas.

Debido que la actividad celular inherente es relativamente constante de una persona a otra, suele producirse metabolismo basal anormal por secreción anormal de hormona tiroidea. Por esta razón se mide en general el metabolismo basal para valorar el grado de actividad tiroidea.

### **MÉTODOS PARA MEDIR EL METABOLISMO BASAL.**

[7][8]Método directo para medir el metabolismo basal. Como en realidad es una medición de la cantidad de calor que produce el cuerpo, se puede determinar midiendo el calor emitido por el cuerpo mediante un período determinado. Par hacerlo, la persona se coloca en una gran cámara llamada calorímetro humano. Esta cámara se enfría con agua que circula por un sistema radiador. El calor emitido por el cuerpo es captado por el sistema de enfriamiento, y a continuación se mide mediante un aparato físico adecuado. Este es el llamado método directo de medición del metabolismo basal porque mide directamente la emisión de calor.

Método indirecto par medir el metabolismo basal. Un método indirecto para medir el metabolismo basal se funda en la cantidad de oxígeno consumida por el cuerpo durante un período determinado. A partir de este consumo se puede calcular la liberación de energía.

La cantidad de energía liberada cuando se consume 1 L de oxígeno con carbohidratos es 5.05 Calorías. Cuando se quema 1 L de oxígeno con grasas, la cantidad de energía liberada



es 4.70 Calorías. Cuando se quema también un L de oxígeno con proteínas, la cantidad producida es 4.60 Calorías. Es obvio por estas cifras que cada vez que se quema 1 L de oxígeno se libera prácticamente la misma cantidad de energía, sin tomar en cuenta cuál de los tres diferentes alimentos se emplee como energético. Por tanto, es razonable emplear un promedio aproximado de estos valores, 4.825 Calorías, como la cantidad de energía liberada en el cuerpo cada vez que se quema 1 L de oxígeno. Cuando se calcula el metabolismo basal de esta manera, el valor obtenido nunca tiene un error mayor de 4% , incluso cuando se están empleando en gran exceso cualquiera de los alimentos , y 4% es mucho menos que el error de medición de todas maneras. Así pues, para determinar la cantidad de energía que está generando el organismo se necesita sólo calcular la cantidad de oxígeno que se está utilizando. Esto se efectúa mediante el metabolímetro. Se muestra en la fig. 5.1.

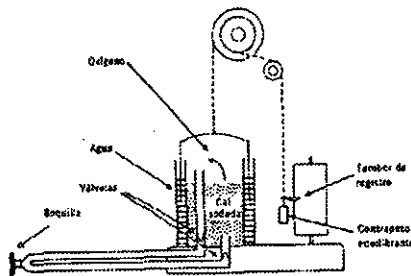


Fig. 5-1 Metabolímetro para medir la magnitud de la utilización de  $O_2$

### CÁLCULO DEL METABOLISMO BASAL.

[8]Mientras que en una máquina, cuando no trabaja, no absorbe ni pierde energía, en los seres vivos los procesos que consumen energía continúan durante el reposo. Los cambios orgánicos y la energía no van unidos a la ejecución de un trabajo exterior visible, son simplemente una característica de la vida. En particular, el metabolismo de los tejidos durante el reposo real o aparente de los seres de sangre caliente presenta, de manera comprensible, una importancia notable.





Además de estos cambios orgánicos propiamente dichos de los tejidos del cuerpo que están en reposo, entre los cuales no se destaca ninguna actividad, hay centros donde tiene lugar un verdadero trabajo permanente del organismo. Así, el músculo del corazón está en acción y consume, naturalmente, energía y oxígeno, lo mismo que para la musculatura de la respiración. El trabajo de los órganos digestivos, si no se toma ningún alimento durante mucho tiempo, puede amortiguarse, pero nunca se anula. Además, es muy difícil evitar realmente las tensiones y las excitaciones musculares.

De donde resulta que la medida del consumo de oxígeno en reposo y, respectivamente, las calorías de un ser humano, dan valores inciertos si no se observan condiciones muy exactas en la experiencia. Para obtener un valor definido del llamado metabolismo basal, es necesario que los individuos estén en ayunas, permanezcan extendidos y completamente en reposo y que el tiempo de reposo comience media hora antes se suprima el consumo de sustancias ricas en albúmina.

El valor del metabolismo basal obtenido en tales condiciones representa el total del consumo de cada órgano del cuerpo en reposo. En la tabla 5, que se indica a continuación, se da la distribución aproximada de cada órgano, en porcentajes, el valor absoluto.

[10][18]Metabolismo energético, en reposo, de un hombre de 35 años, 45 Kg de peso y 170 cm de altura.

El valor del metabolismo basal depende del tamaño del cuerpo, de la edad, del peso y del sexo. En un ser humano en estado de crecimiento es, por kilo de peso de cuerpo, considerablemente mayor que en un adulto. A la edad de 20 años el metabolismo basal alcanza un valor absoluto más alto, a continuación disminuye, primero muy lentamente y al final de manera más acentuada en la vejez (fig. 5.2). En las mujeres es más bajo que en los hombres, si se refiere a la unidad de peso del cuerpo.



TABLA 5-1

Organo	Metabolismo en reposo		
	cal/min	%	cal/g/min
Todo el cuerpo	1200	100.00	0.016
Músculo	456	38.0	0.018
Higado	149	12.4	0.057
Estómago e intestinos	91	7.6	0.032
Riñones	90	7.5	0.171
Bazo	76	6.3	0.032
Corazón	53	4.4	0.083
Cerebro	36	3.0	0.036
Páncreas	16	1.3	0.069
Sangre	13	1.1	0.002
Glándulas salivales	8	0.7	0.056

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

El cuadro muestra que más de un tercio de metabolismo basal revierte a la musculatura en reposo. una parte considerable a los órganos digestivos igualmente en reposo, y sólo una pequeña parte al corazón, constantemente en actividad. Todavía más débil es la parte del cerebro. La última columna indica cuánto consume cada órgano por cada gramo de peso y por cada minuto: así se tienen las diferencias específicas de cada tejido. En primer lugar están los riñones, con un consumo que es casi diez veces mayor que el de los músculos y también sobre pasa el doble de la actividad del corazón. El consumo específico del cerebro es el doble que el de los músculos en reposo, pero relativamente pequeño comparado con el de otros órganos.

[10][18]Sobre la base de numerosas medidas efectuadas en Estados Unidos de América se han establecido tablas de previsión, llamadas así por Benedict y Harris, basadas en la determinación de un primer valor en relación con el peso del cuerpo (fig.5.3). A éste se añade un segundo valor que resulta de la edad y tamaño del cuerpo (fig.5.4). La representación gráfica esta dibujada basándose en la tabla para hombres, y permite, aunque es menos exacto, encontrar cada día el metabolismo basal en kilocalorías.

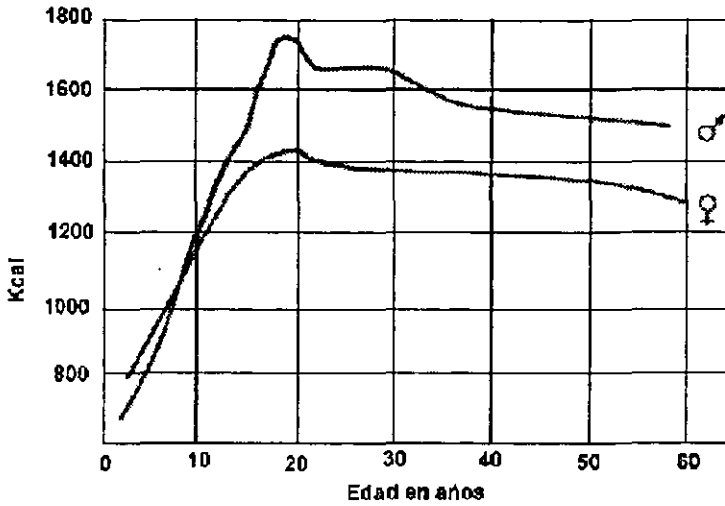


Figura 5.2 Metabolismo basal diario, según la edad

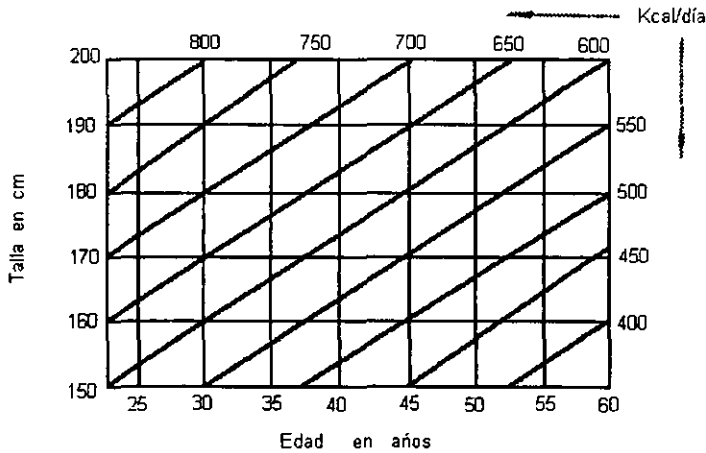


Figura 5.3 Cálculo del metabolismo basal en los hombres según el peso del cuerpo (término A) (Según F. G. Benedict y J. A. Harris)

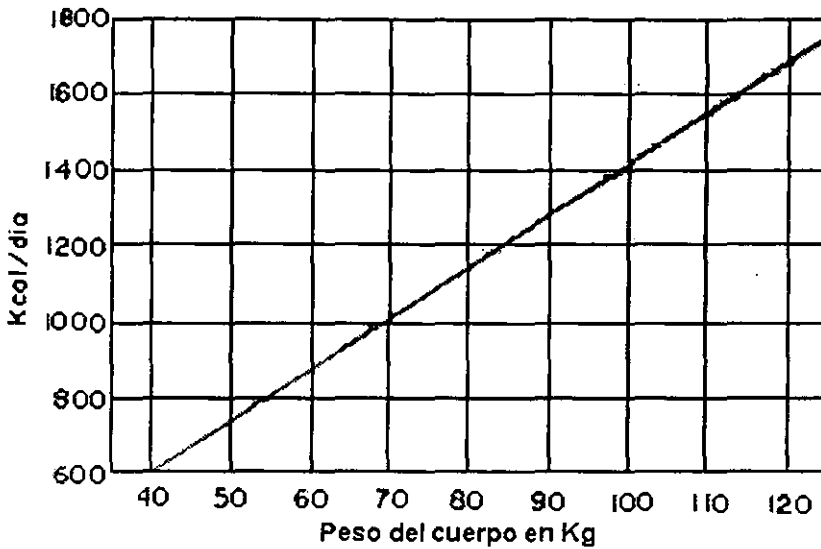


Figura 5.4 Cálculo del metabolismo basal en los hombres según el peso del Cuerpo (término A) (según F. G. Benedict y J. A. Harris)

[10]Existen multitud de correlaciones para estimar el consumo metabólico basal, obtenida por métodos estadísticos; una de las que suelen dar resultados más apropiados es la de Boothby, Berkson y Dunn (Amer. J. Physiol., 116,468,1936), que dan los siguientes valores del consumo metabólico por unidad de superficie corporal en función de la edad y del sexo (Tabla 5.2).

[10][18]Para calcular el valor global del metabolismo basal es preciso estimar el valor de la superficie cutánea; la fórmula más conocida para ello es el valor de la superficie cutánea; la fórmula más conocida para ello es la de Du Bois y Du Bois (Arch. Inter.med., 17,863,1916), por la que:

$$S = P^{0.425} \times T^{0.725} \times 71.84$$



donde:

S = superficie cutánea,  $\text{cm}^2$

P = peso en kg

T = talla en cm

Tabla 5-2

Consumo metabólico por unidad de superficie corporal  
en función de la edad y el sexo

VARONES		MUJERES	
<u>Años de edad</u>	<u>kcal/m<sup>2</sup>/h</u>	<u>Años de edad</u>	<u>kcal/m<sup>2</sup>/h</u>
18	43.25	15	40.10
18.50	42.70	15.50	39.40
19	42.32	16	38.85
19.50	42.00	16.50	38.30
20-21	41.43	17	37.82
22-23	40.82	17.50	37.40
24-27	40.24	18-19	36.74
28-29	39.81	20-24	36.18
30-34	39.34	25-44	36.18
35-39	38.68	45-49	34.94
40-44	38.00	50-54	33.96
45-49	37.37	55-59	33.18
50-54	36.73	60-64	32.61
55-59	36.10	65-69	32.30
60-64	35.48		
65-69	34.80		



El cálculo se simplifica con el empleo del nomograma que se expone en el nomograma que se expone en la figura 5.5

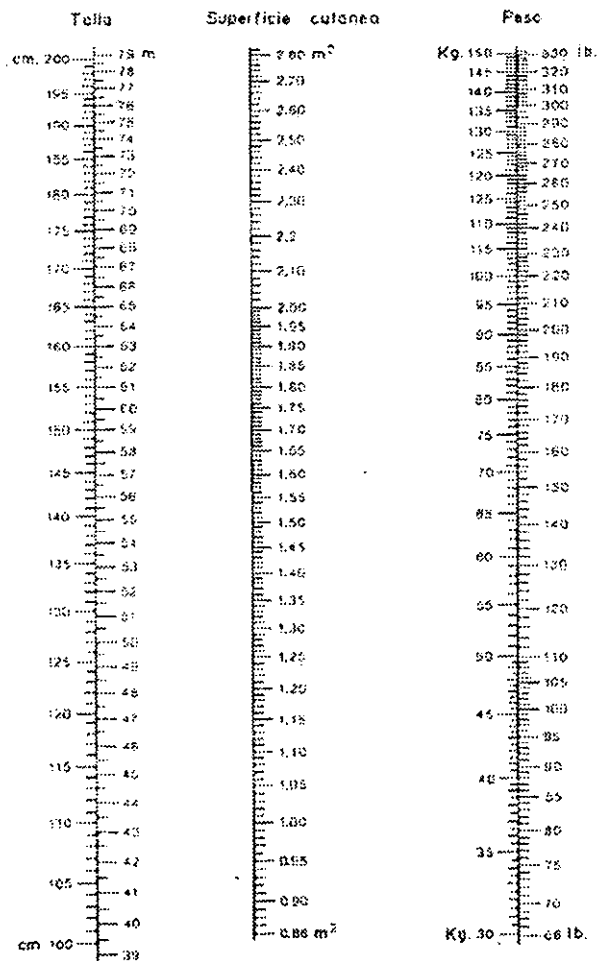


Figura 5.5 Nomograma para el cálculo de la superficie cutánea.



### Cálculo de la carga térmica de trabajo

[18]Cálculo de la carga térmica de trabajo en la bibliografía existen muchos datos experimentales acerca de los consumos energéticos de diversos tipos de trabajo; una de las recopilaciones más extensas es la de Lehman. A continuación mencionaremos los procedimientos que utilizó Lehman para determinar los valores registrados en la tabla.

Uno de los métodos empleados para ejecutar las medidas, el empleo del contador del Instituto Max planck para la Fisiología del Trabajo, de Dormund, permite prolongar éstas a voluntad, aunque prácticamente deben limitarse a una media hora. Si se continúan las medidas durante más tiempo, el aparato bucal y la pinza de la nariz resultan muy difíciles de soportar, de tal modo que para un individuo que no esté habituado al empleo de estos instrumentos existe peligro de perturbaciones en las medidas.

Según el género de trabajo se seguirán distintos caminos para determinar el consumo total de energía. Si se trata de una actividad muy regular, en el curso de la cual se repite el mismo proceso, hasta hacer, durante varias horas al día, medidas que duren alrededor de 10 a 20 min y convertir los valores-minutos correspondientes a la duración efectiva de trabajo obtenido por el estudio de los tiempos. Pero en muchos casos, el trabajo se compondrá varias fases que contribuirán de manera muy diferente a la carga total.

El consumo de calorías de un obrero, hallado de esta manera, puede completarse para determinar el consumo total en 24 h, sumándole el valor correspondiente al tiempo libre y al sueño. Para juzgar el trabajo mismo, se puede considerar los valores para las 24 h iguales, o bien calcular las calorías empleadas para el trabajo designándolas por calorías de trabajo profesional ( Bakcal).



Se deduce que el valor del consumo de calorías no basta por si solo para juzgar la carga total impuesta por un trabajo; sin embargo, representa un criterio tan importante como el mismo metabolismo y tiene la gran ventaja de poderse medir en cifras exactas. En consecuencia, es conveniente hacer una preparación del trabajo, es decir, apreciar la carga específica impuesta por el trabajo.

De ordinario no se operaba en el puesto de trabajo del interesado, sino que para hallar los valores del consumo de calorías se utilizaban cámaras de respiración en las cuales el obrero en cuestión debía organizar su puesto de trabajo, trabajando bajo la vigilancia de los trabajadores durante varias horas.

Ya se ha mencionado que el trabajo muscular conduce a una aceleración de la circulación de la sangre, es decir, provoca una elevación de la frecuencia de las pulsaciones del corazón y el aumento de la cantidad de sangre impulsada en cada latido del corazón, debido a un incremento de la necesidad de oxígeno.

Como la cantidad de sangre que circula en la unidad de tiempo representa un producto de dos factores, no se podía afirmar con certeza y a priori una proporcionalidad entre la frecuencia del pulso y el volumen-tiempo de irrigación sanguínea, análoga a la que existe entre la frecuencia del pulso y el consumo de oxígeno de todo el cuerpo. Por tanto, las investigaciones de E.A.MÜLLER han demostrado que, dentro de ciertos límites, se puede contar con un aumento lineal de la frecuencia del pulso al mismo tiempo que el consumo de energía.

Para poder calcular el consumo de calorías, a partir de la frecuencia del pulso, es decir, de la diferencia entre la frecuencia en el trabajo y el reposo, es necesario determinar el factor de proporcionalidad al hombre en cuestión, por ejemplo, trabajando con un ergógrafo de pedales de varios grados de potencia y midiendo al mismo tiempo la frecuencia del pulso.





Tal procedimiento sólo será utilizable, cuando se trata de trabajos no demasiado pesados y fatigantes, es decir, sólo si se ha llegado al establecimiento de una fase constante en la frecuencia del pulso durante el trabajo. Además, el método no es utilizable sin influencias exteriores, sobre todo influencias de temperatura, originan una elevación de la frecuencia del pulso.

La determinación clínica habitual de las pulsaciones no es aplicable, durante el trabajo. Lo mismo ocurre con la mayoría de las formas de registro de pulso utilizadas en medicina, las cuales no son aplicables porque se alteran con los movimientos del trabajo mismo. El empleo del contador electrónico puesto por E.A. Muller, tiene una pequeña lámpara la cual incide luz en el lóbulo de la oreja, donde la corriente de la célula fotoeléctrica, correspondiente al ritmo de pulso disminuye.

Estas variaciones de la corriente, ampliadas se conducen a un contador que puede estar provisto de un dispositivo a presión. Este método permite seguir el registro de las pulsaciones tanto tiempo como requiera, sin que el sujeto sea molestado en su actividad.

Finalmente es necesario mencionar un método que, para trabajo pesado, permite una evaluación, por lo menos aproximada, del consumo de energía: éste es la medida de temperatura del cuerpo. Cada trabajo corporal de duración suficiente ocasiona una elevación de la temperatura del cuerpo equivalente a su intensidad. Ludgren lo ha empleado con éxito para los leñadores, y Christensen, para los futbolistas y otros deportistas. Naturalmente, para trabajos ejecutados con temperaturas exteriores altas, no puede utilizarse este método.

En la tabla 5-3 construida por Sptizer [18] de valores en calorías/minuto para la conversión en valores/hora o día, se deben tomar en consideración todos los cambios y todas las interrupciones de trabajo.



TABLA 5-3

Consumo de calorías por minuto en diferentes actividades

No	Actividad	Condiciones de trabajo		kcal/min
1	Andar sin carga	Camino llano, liso, vestido gero, calzado de gimnasia.		1.2
			2 Km/h	1.7
			3 Km/h	2.1
			4 Km/h	2.8
			5 Km/h	3.8
			6 Km/h	5.4
			7 Km/h	
2	Andar sin carga	Calzado ,zapatos gruesos.	4 Km/h	3.1
		Camino sobre hierba.	4 Km/h	3.6
		Rastrojera ,terreno de tamujos de pinos y de caballones de patatas	4 Km/h	4.3
		Rastrojera alternativa (en suelo arcilloso,arenoso)	3.5	4.3
		Km/h		
		Terreno de aluvión removido profundamente y rastrillado.	3	5.2
3	Andar con carga a la espalda	Camino llano, 10 Kg de carga	4	3.6
		Km/h		5.3
		sólido. 30 Kg de carga	4	8.1
		Km/h		11.7
		50 Kg de carga	4	15.0
		Km/h		
		75 Kg de carga	3.5	
Km/h				
4	Subir	100 Kg de carga	3	
		Km/h		
<p>El consumo de energía hasta 40 Kg de carga es un 10% menos haciendo el trabajo con las dos manos que transportando a la espalda. Con la pértiga sobre los hombros y la carga simétricamente repartida, esta economía llega a ser del 20%.</p>				
<p>Plano inclinado, camino liso, 2.5 Km/h, con carga sobre la espalda. 10° de pendiente; velocidad de ascenso:</p>				



## Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

		Kcal/min
	4 m de altura/min	
	No cargado	4.9
	20 Kg de carga	6.1
	50 Kg de carga	9.2
	16° de pendiente; velocidad de ascenso: 11.5 m de altura/min	
	No cargado	8.3
	20 Kg de carga	10.5
	50 Kg de carga	16.0
	25° de pendiente; velocidad de ascenso: 17.6 m de altura/min	
	No cargado	13.3
	20 Kg de carga	17.2
	50 Kg de carga	27.1
	Escalera 30.5° de inclinación. Huella 29 cm, contrahuella 17.2 cm, 100 escalones/min=17.2 m altura/min. Carga lateral atada con una correa que pasa por la espalda	
	No cargado	13.7
	20 Kg de carga	18.4
	50 Kg de carga	26.3
	Escala de mano. Distancia entre peldaños 17 cm. 70 peldaños por minuto. Carga al a espalda. 50° de inclinación; velocidad de ascenso: 9.12 m altura/min.	
	No cargado	6.6
	20 Kg de carga	8.4
	50 Kg de carga	13.2
	70° de inclinación; velocidad de ascenso: 11.2 m altura/min	
	No cargado	8.0
	20 Kg de carga	10.2
	50 kg de carga	16.0
	90° de inclinación; velocidad de ascenso: 11.9 m altura/min.	
	No cargado	10.4
	20 Kg de carga	13.5
	50 Kg de carga	24.3
5	Descender Plano inclinado 5 Km/h (para camino de tierra o vereda, añádase 10% ).	
	5°	2.2
	10°	1.8
	20°	2.7



## Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

			kcal/min
		30°	3.8
6	Ir en bicicleta	Carretera lisa, sin viento contrario velocidad 12 Km/h velocidad 16 Km/h velocidad 20 Km/h	3.5 5.2 7.8
7	Empujar vagonetas	3.6 Km/h, camino llano, sólido (para camino de tierra o vereda, añádase 20%). Altura de la mano empujando: 100 cm. Fuerza de empuje 11.6 Kg Fuerza de empuje 16.1 Kg	7.7 10.6
8	Tirar de las vagonetas	3.6 Km/h, camino llano, sólido (para camino de tierra o vereda, añádase 20%). Altura de la mano: 100 cm. Fuerza de empuje 11.6 Kg Fuerza de empuje 16.1 Kg	8.5 10.9
9	Transportar en carretilla	Km/h. Carretilla moderna de hierro, calzada llana adoquinada. 57 Kg de carga, llanta de hierro 150 Kg de carga, llanta de hierro 150 Kg de carga, llanta de goma pavimento enlosado de gres. 150 Kg de carga, llanta de hierro 150 Kg de carga, llanta de goma	4.0 4.7 5.9 8.8 7.0
10	trabajo con hacha	trabajo de abatir con dos manos; peso del hacha, 2 Kg; 35 golpes/min golpe horizontal golpe vertical	9.5-11.0 10.0-11.5
11	Trabajo con azuela	Aguzar mangos de madera 34 golpes/min 51 golpes/min	3.7 4.6
12	Limar hierro	42 golpes de lima/min; 3.89 kcal por gramo de limadura 60 golpes de lima/min; 2.82 kcal por gramo de limadura 80 golpes de lima/min; 2.94 kcal por gramo de limadura	2.0 2.5 4.2
13	Trabajo con martillo	trabajo a dos manos con toda la fuerza Peso del martillo 4.4 kg, 15 golpes/min Golpe de vaivén	7.3



Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

				kcal /min
		Golpe de volea		6.7
		Peso del martillo 10.6 Kg, 10 golpes/min		
		Golpe de vaivén		8.2
		Golpe de volea		7.3
14	Aserrado de madera	De pie. Serrado a lo largo, 30 cm de espesor. Tronco resinoso, abatido dos hombres a la sierra, dientes triangulares,		
		60 golpes dobles/minuto		9.0
		Arrodillados. Troceado de troncos (madera resinosa), dos hombres, sierra de 1400 mm de longitud, dientes triangulares,		
		60 golpes dobles / minuto		12.0
15	Albañilería	Formato normal, 0.0041 m <sup>2</sup> /min		3.03
		Dos piedras manejables a mano: 0.015 m <sup>3</sup> /min		2.75
16	Trabajo con pala	Pala llena de arena; carga, 8 Kg		
		Distancia a que debe lanzarse la palada, 1 m:		
		Altura de lanzamiento, 0.05 m 15 0.420		6.3
		Altura de lanzamiento, 1.00 m 12 0.550		6.6
		Altura de lanzamiento, 1.50 m 12 0.670		8.0
		Altura de lanzamiento, 2.00 m 12 0.740		8.9
		Distancia que debe lanzarse la pala, 2 m:		
		Altura de lanzamiento, 0.05 m 15 0.600		7.2
		Altura de lanzamiento, 1.00 m 10 0.780		7.8
		Altura de lanzamiento, 1.50 m 10 0.900		9.0
		Altura de lanzamiento, 2.00 m 10 1.000		10.0
		Distancia que debe lanzarse la espalda, 3 m:		
		Altura de lanzamiento, 1.00 m 10 0.880		8.8
		Altura de lanzamiento, 1.50 m 10 0.950		9.5
		Altura de lanzamiento, 2.00 m 10 1.040		10.4
17	Atornillar	Altura de la cabeza del tornillo, 96 cm, diámetro, 10 mm, y abertura de la llave para apretar la tuerca, 14mm.		
		Destornilla normal:	Trabajo	
		Tornillo horizontal	8 Kg/min	0.5
		Tornillo vertical	8 Kg/min	1.2
		Tornillo vertical	15 Kg/min	1.6
		Llave de tubos		
		Tornillo vertical 8	Kg/min	0.7
		Tornillo vertical 15	Kg/min	1.0
		Tornillo vertical 22	Kg/min	1.5
		Llave inglesa		



Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

				kcal/min
		Tornillo vertical	8 Kg/min	0.8
		Tornillo vertical	15 Kg/min	1.0
		Tornillo vertical	22 Kg/min	1.2
		Trinquete		
		Tornillo vertical	15 Kg/min	1.2
		Tornillo vertical	22 Kg/min	1.3
		Tornillo vertical	30 Kg/min	1.5
		Tornillo vertical	40 Kg/min	1.6
18	Cavar	Pico de jardinero, suelo arcillosos		7.5-8.7
		Azada bifurcada, suelo arcilloso		8.7-10.7
19	Arar	Arado de cuatro rejas , atalajado ados caballos		3.6-4.9
20	Cavar remolachas	50 golpes de pico/min (mujeres).		
		Peso en Kg del pico	Longitud del mango en cm	Ancho de la hoja en cm
		7.5	142	16
		2.5	152	18
		1.50	128	14
21	Recogida de remolachas	Suelo duro, distancia de las hiladas 50 cm (mujeres)		
		Posición inclinada	4.68 m <sup>2</sup> /min	2.6
		Posición arrodillada	4.64 m <sup>2</sup> /min	2.4
		Con aparato de soporte	3.44 m <sup>2</sup> /min	2.5
22	Segar	Trébol		8.3
		Trigo de invierno		7.5
		Cebada		7.3
23	Escogido de patatas	Arrodillado, 6.4 Kg/min (mujeres)		2.6
		Sentada, 7.6 Kg/ min		1.4
24	Ordeñar	Vacas que se ordeñan normalmente:		
		cm <sup>3</sup> /golpe (180 golpes / min)		2.2
		Vacas que se ordeñan con dificultad:		
		3.7 cm <sup>3</sup> / golpe (159 golpes / min)		3.2
25	Trabajos domésticos	Arreglar la cocina de pie o andando		
		Limpilar el calzado		
		Lavar la vajilla		1.0-2.0
		Coser a máquina		
		Amasar pasta		
		Moler café		
		Quitar el polvo		2.0-2.3
		Limpilar cristales		
		Planchar la ropa		
		Vestirse, desnudarse y lavarse		



## Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

Pasar la bayeta	kcal/min
Barrer	
Limpiar el fogón	3.0-4.0
Cepillar alfombras y colchones	
Ecurrir ropa a mano	
Tender y recoger ropa	
Hacer la cama	
Lavar la ropa a mano sobre una losa	
Encerar el entarimado con una brocha	4.0-5.0
Sacudir alfombras	
Fregar el suelo	
Aclarar la ropa	
Ecurrir la ropa a máquina	5.0-6.0
Accionar la máquina de lavar	

[10] Cuando no se disponga de datos experimentales pueden emplearse los valores aproximados por la ACGIH. Según este método la carga térmica del trabajo se calcula con adición de los sumandos: el sumando A es función de la posición y movimiento del cuerpo y sumando B es en función del tipo de trabajo.

Los valores recomendados por ACGIH para ambos parámetros son:

<u>A) Posición y movimientos del cuerpo:</u>	<u>kcal/min</u>	
Sentado .....	0.3	
De pie .....	0.6	
Andando en terreno llano .....	2.0-3.0	
Andando en cuestas (plano inclinado) .....	añadir 0.8 por metro de desnivel	
	Media	Rango
<u>B) Clase de trabajo:</u>	<u>kcal/min</u>	<u>kcal/min</u>
Trabajo manual: ligero .....	0.4	0.2-1.2



## Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

---

Trabajo manual pesado .....	0.9	
Trabajo con un brazo: ligero .....	1.0	0.7-2.5
Trabajo con un brazo: pesado .....	1.7	
Trabajo con ambos brazos: ligero .....	1.5	1.0-3.5
Trabajo con ambos brazos: pesado .....	2.5	
Trabajo con el cuerpo: ligero .....	3.5	2.5-15
Trabajo con el cuerpo: moderado .....	5.0	
Trabajo con el cuerpo: pesado .....	7.0	
Trabajo con el cuerpo: muy pesado .....	9.0	

La carga térmica total se calcula como la suma del metabolismo basal y de los términos A y B, como se indica en el siguiente ejemplo:

Trabajo consistente en utilizar una herramienta pesada en una cadena de montaje. Suponiendo que el metabolismo basal consume 1 kcal/min tendremos:

Metabolismo basal .....	1 kcal/min
Caminar a lo largo de la cadena .....	3 kcal/min
Manejo de la herramienta ( valor intermedio entre trabajo pesado con ambas manos y trabajo ligero con el cuerpo )	<u>3 kcal/min</u>
Consumo total .....	6 kcal/min

Si se trata de trabajo femenino, todos los valores deben estar multiplicados por 0.85.

En la norma ISO 7243 se establece la clasificación de rangos de metabolismo que se recoge en la Tabla 5-4.





Tabla 5-4  
Clasificación de los rangos de niveles de metabolismo

CLASE	Distribución de los rangos de metabolismo M		Valores a utilizar para el cálculo de metabolismo		EJEMPLOS
	Relativo superficie unidad del área de piel	Para un área de piel de 1.8 m <sup>2</sup>	W	W/m <sup>2</sup>	
0					
Descansando	M<65	M<117	65	117	Descansando
1 Metabolismo bajo	65<M<130	117<M<234	100	180	Sentado. Trabajo manual (escribiendo, dibujando, mecanografiando, cosiendo); trabajos con mano y brazos (inspección embalaje de materiales pequeños o ligeros, trabajo en banco con herramientas pequeñas); trabajo con brazo y pierna (conducción de vehículo en condiciones normales, accionamiento de mandos y pedales). De pie: Trabajar o fresar piezas pequeñas girar manivelas, bobinado, paseos esporádicos (velocidad superior a 3.5 Km/h).
2 Metabolismo moderado	130<M<200	234<M<350	265	297	Trabajo continuo mano-brazo (empaquetando, martilleando clavos); trabajos brazo-pierna (conducción de camiones, tractores o máquinas de construcción); trabajos brazo-tronco (uso de martillos neumáticos, montaje de automóviles, enlucido, manejo intermitente de materiales moderadamente pesados, escandar, cavar, recoger frutas o vegetales, empujar carretillas, andar a velocidad de 3.5 km/h a 5.5 km/h).
3 Metabolismo alto	200<M<260	360<M<468	290	414	Trabajos intensivos con brazo y tronco: elevando materiales pesados, mover y amontonar tierra con pala; trabajos manuales con mazo, serrar o trabajar con formón maderas duras, segar a mano, excavar, andar a velocidad de 5.5 a 7.5 km/h. Empujar o tirar de carretillas pesadas, astillar, colocar bloques de hormigón.
4 Metabolismo muy alto	M<260	M<468	290	522	Actividad muy intensiva y rápida a ritmo máximo, trabajos con hacha, cavar o mover tierra de forma intensiva, subir escaleras o rampas, andar rápidamente con pasos cortos, correr, andar a velocidad superior a 7 km/h.

# VI

## INDICES DE STRESS TERMICO

---

### INDICES PARA LA EVALUACIÓN DE CALOR

[13][18] Todos los índices tienen como finalidad establecer una relación cuantitativa entre los parámetros de una condición ambiental con relación a una situación referencial límite, para unas condiciones dadas y pretenden hacer intervenir las variables más significativas que intervienen en los procesos que pretenden evaluar.

Los índices más utilizados en Higiene Industrial son:

Índices para evaluar grados de confort:

- Índice de la temperatura efectiva (TE).
- Índice de la temperatura efectiva corregida (TEc).
- Índice PMV, PRD NORMA ISO 7730.

Índices para determinar situaciones de riesgo.

Índice WBGT (Wet Bulb Globe Thermometer):

- Criterios ACGIH.
- Criterios OSHA.
- NORMA ISO 7243.

Índice de estrés térmico (IST).



### Indice de la temperatura efectiva

[13][15][18]En este índice se hace intervenir la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo y la velocidad del aire.

Se llama temperatura efectiva de una atmósfera determinada a la que señala un termómetro seco en un ambiente equivalente, esto es, que produzca la misma sensación de frío o calor, y que cumpla las condiciones de tener el aire en reposo, saturado de humedad y de temperatura igual a la de las paredes y suelo.

Si las paredes y el suelo del local considerado están a una temperatura distinta, por encima o por debajo del aire, a la temperatura seca del ambiente equivalente, se le llama entonces temperatura resultante.

Es también importante este concepto porque en investigaciones realizadas se ha llegado a la conclusión de que las diferentes funciones fisiológicas del cuerpo humano son las mismas bajo una misma temperatura efectiva resultante.

Los gráficos de la figura 6.1 se han confeccionado para determinar temperaturas efectivas, estos es, cuando el suelo y las paredes están a la misma temperatura que el aire, en función de las temperaturas seca y húmeda y de la velocidad del aire, para los casos de personas vestidas y en reposo y con el torso desnudo y también en reposo o aplicadas a un trabajo ligero.

La forma de hallar temperatura efectiva, es sencilla:

1. Se selecciona el ábaco más apropiado al tipo de trabajo y vestimenta.
2. Se unen los puntos de las escalas verticales laterales, donde se representan las temperaturas seca y húmeda, y donde corre la línea correspondiente a la velocidad del aire, ahí se representa la temperatura efectiva.

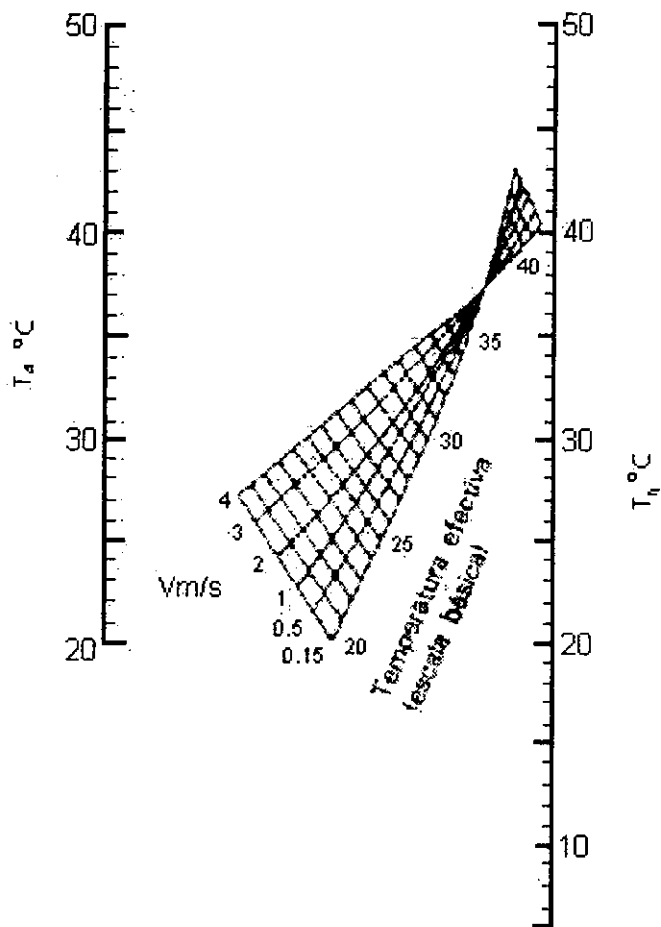


Figura 6.1 a) Ábaco de temperatura efectiva, válido para Individuos con el torso desnudo (según Kerlake, 1972)

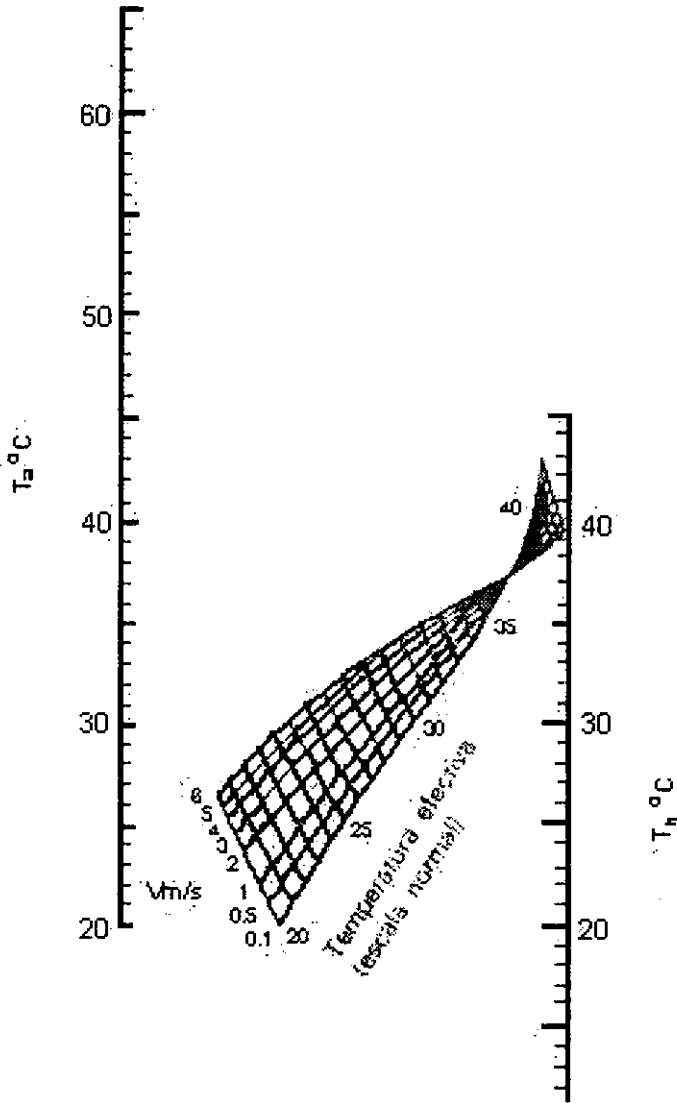


Figura 6.1 b) Ábaco de temperatura efectiva, válido para individuos vestidos normalmente.



### Índice de la temperatura efectiva corregida

[13][15] Dado el índice de la temperatura efectiva no se hace intervenir el intercambio de calor por radiación, resulta sólo apropiado donde las temperaturas de las superficies de los cuerpos del medio, son similares a la del cuerpo humano. Estas situaciones se dan normalmente en lugares donde no existen focos radiantes elevados, como hornos, estufas, etc. y por tanto su aplicación queda limitada bajo estas condiciones.

Para ampliar el ámbito de aplicación, de éste índice, se introdujo una serie de condiciones, con objeto de hacer intervenir la temperatura radiante media a través de la lectura en un termómetro de globo ( $T_g$ ).

Cuando exista una tasa alta de radiación, las correcciones que pueden efectuarse son:

- Colocar la temperatura de globo  $T_g$  en la escala de la temperatura seca (sustituir  $T_g$  por  $T_a$ ).
- Hallar en una carta psicrométrica, la temperatura húmeda que correspondería al aire (con la misma humedad absoluta), si se calentase desde la temperatura seca  $T_a$ , hasta la temperatura  $T$ .
- Colocar una nueva temperatura húmeda corregida en la escala de la temperatura húmeda.
- Unir los puntos, y donde corte el ábaco de la velocidad del aire correspondiente, esa es la temperatura efectiva corregida.

Los valores límite de temperatura efectiva en °C en función del metabolismo y del estado de aclimatación del individuo son los de la tabla 6.1.



Estos índices se utilizan frecuentemente para determinar grados de confort, otro de los nomogramas utilizados con este fin sería el reflejado en la figura 6.2.

Tabla 6.1

<u>Metabolismo</u>	Individuo <u>no aclimatado</u>	Individuo <u>aclimatado</u>
M = 220 W	30	32
M = 350 W	28	30
M = 530 W	26.5	28.5

### Índices PMV-PPD

[18]En la norma ISO 7730. Se recomienda el uso de los índices PMV y PPD para ambientes térmicos moderados.

Estos índices se determinan en función de sus parámetros: velocidad del aire, temperatura radiante media, temperatura del aire, presión de vapor, ritmo metabólico de la persona (met) y aislamiento térmico de los vestidos (clo).

Si combinando estos factores se satisface la Ecuación de Confort del profesor P.O. Fanger, la mayoría de la gente se sentiría térmicamente confortable. Existen medidores de confort térmico que determinan los valores PMV y PPD.

Estos aparatos miden la influencia combinada de tres de los seis parámetros que determinan el confort térmico (velocidad del aire, temperatura media radiante). Con estos parámetros y otros tres preseleccionados (aislamiento de la vestimenta, ritmo metabólico y presión de vapor) calcula los índices de confort. En la figura 6.3 se observa un medidor de confort térmico.



### ZONAS DE CONFORT PARA INVIERNO Y VERANO

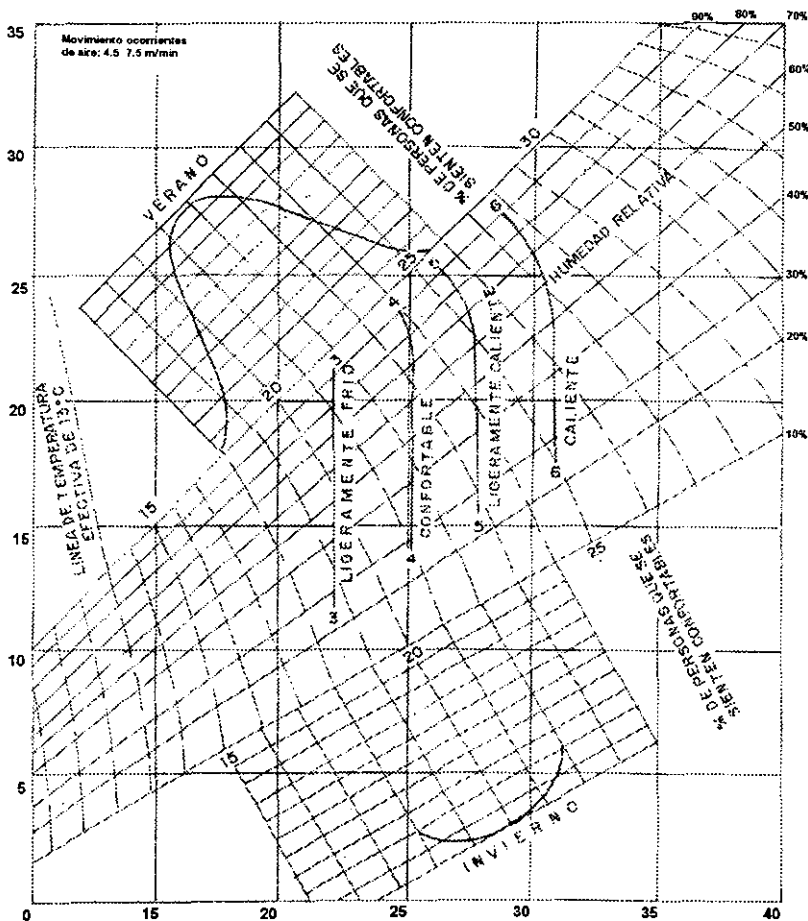


Figura 6.2 Diagrama de confort en aire tranquilo. La línea para invierno está referida a locales climatizados por sistemas de calefacción central por convección (tales como viviendas y oficinas) donde los ocupantes están completamente adaptados a las condiciones artificiales ambientales y en lugares donde la permanencia no sea inferior a tres horas. La línea de confort óptima para verano corresponde a la zona norte de EE.UU. y sur de Canadá en latitudes inferiores a 300 m sobre el nivel del mar.



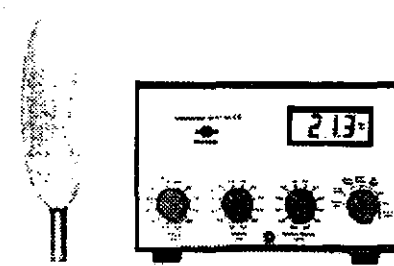


Figura 6.3 Medidor de confort térmico.

Los términos a considerar cuando nos referimos al confort térmico son los siguientes:

El PMV (Voto Medio Previsto) predice, para un gran grupo de gente, los valores subjetivos de una escala de sensación térmica de 7 puntos, desde -3 (muy frío) a 3 (caluroso). La escala PMV se observa en la figura 6.4 y tabla 6-3.

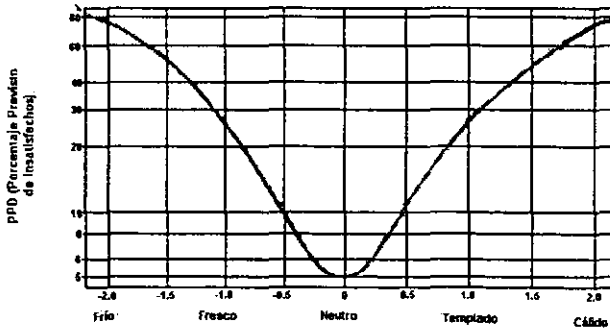


Figura 6.4 PMV (Voto Medio Previsto)



Tabla 6-3  
Distribución de los votos de sensación térmica individual  
(basado en la experiencia con 1.300 personas) para  
diferentes valores del PMV.

PMV	PPD	0	Porcentajes de personas	
			-1,0, +1	-2,-1,0, +1, +2
+2	75	5	25	70
+1	25	27	75	95
0	5	55	95	100
-1	25	27	75	95
-2	75	5	25	70

El PPD (Porcentaje Previsto de personas en Discomfort) predice qué porcentaje de gente se encontrará térmicamente incómoda con un determinado PMV. En la figura 6.4 se observa la relación entre PPD y PMV.

La Temperatura Operativa (°C) es el valor de la temperatura del aire y radiante media que produciría la misma pérdida de calor en una persona por convección y radiación, que en ambiente real. Integra la influencia de la temperatura radiante y media del aire.

La Temperatura Equivalente (°C) es el valor de la temperatura del aire y radiante media que, a una velocidad del aire nula. Produciría la misma pérdida de calor en una persona por convección y radiación, que en ambiente real. Integra la influencia de la temperatura del aire, la temperatura radiante media y la velocidad del aire. Para velocidades de aire nulas, es igual a la Temperatura Operativa, y menor que está en caso contrario. Así se tiene en cuenta el efecto de enfriamiento del movimiento del aire.



La Temperatura de Confort ( $^{\circ}\text{C}$ ) es la Temperatura Equivalente para lograr un PMV de cero, dados el nivel de actividad, la vestimenta y la humedad. El Medidor de Confort Térmico calcula automáticamente la Temperatura de Confort a partir de estos tres parámetros, previamente seleccionados.

La Temperatura Diferencial (K) es la cantidad en que habría que cambiar la Temperatura Equivalente, de forma que una persona, con la actividad metabólica y el aislamiento de vestimenta fijados, se sintiera confortable. Es igual a la Temperatura de Confort menos la Temperatura Equivalente.

### Indice de tensión térmica

[13][18]El índice de estrés térmico, equivale a un balance energético que se establece por la relación entre cantidad de energía en forma de calor, que se necesita eliminar en unas condiciones ambientales dadas y la energía máxima que es posible eliminar (a través de la evaporación del sudor) en esas condiciones. Es evidente que, si se necesita eliminar más energía, se da una situación de acumulación y por tanto, perjudicial al organismo.

La fórmula de aplicación:

$$(\text{IST}) = \frac{E_{\text{req}}}{E_{\text{max}}} \times 100$$

siendo:

Evaporación requerida =  $M + R + C$

M = metabolismo total en kcal/hora

R = energía radiante (balance) en kcal/hora

C = energía intercambiada por convección



Aplicando las fórmulas reflejadas en el balance térmico y dando el valor de 0.6 a m y n, exponentes de v.

Convección (kcal/hora):  $C = K_{cv}^{0.6} (T_a - T_s)$

Radiación (kcal/hora):  $R = K_r (T_{rm} - T_s)$

Evaporación máxima (kcal/hora):  $E_{max} = K_{ev}^{0.6} (P_{ws} - P_{wa})$

v = velocidad del aire (m/minuto)

T<sub>a</sub> = temperatura seca del aire (°C)

T<sub>s</sub> = temperatura de la piel (usualmente °C)

T<sub>rm</sub> = temperatura radiante media(°C) (\*)

(\*) La temperatura radiante media, se relaciona con la de globo (T<sub>g</sub>) por la expresión:

$$T_{RM} = 100 [ (T_g/100)^4 + 2.48 [V(T_g - T_a)]^{1/3} ]^{1/4}$$

Las temperaturas vienen dadas en grados Kelvin. La velocidad del aire en metros/segundo

P<sub>ws</sub> = presión de vapor a la temperatura de la piel (usualmente 42 mm de Hg).

P<sub>wa</sub> = presión de vapor en el aire (mm de Hg)

Valor particular del coeficiente - K

	<u>Semidesnudo</u>	<u>Ropa Ligera</u>	<u>Ropa de trabajo</u>
K <sub>c</sub> convección	1	0.7	0.6
K <sub>r</sub> radiación	11	7.9	6.6



Ke evaporación máxima	2	1.4	1.2
Hombre semidesnudo: con un pantalón corto y torso desnudo			
Hombre con ropa ligera: con camisa y pantalón ligeros			
Hombre con ropa de trabajo: con overol de trabajo.			

Como se puede observar, este índice, es suficientemente explícito como para poder averiguar a qué se debe, o de qué forma afecta, cada una de las tasas de energía intercambiada.

El significado de los valores del índice de estrés térmico (IST) se muestra en la Tabla 6-4.

A fin de simplificar el cálculo y hacer el valor del índice independiente de las propuestas individuales del sujeto, todos los cálculos pueden basarse en una temperatura de la piel de 35 °C y un área corporal de 1.86 m<sup>2</sup>; se desprecia el intercambio térmico que tiene lugar en la vías respiratorias.

El cálculo del valor del índice de tensión térmica se puede hacer mediante sencillos nomogramas en la figura 6.5 se da una adaptación a las unidades internacionales de los nomogramas originales de Belding y Hatch, con una indicación gráfica de la secuencia de cálculo que se deben efectuar.



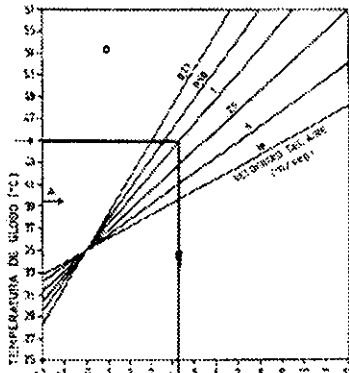
Tabla 6-4

Significación de los valores del índice de estrés térmico ( IST )

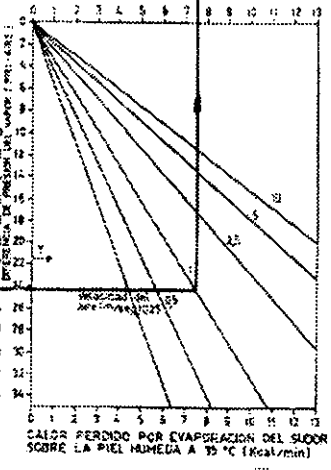
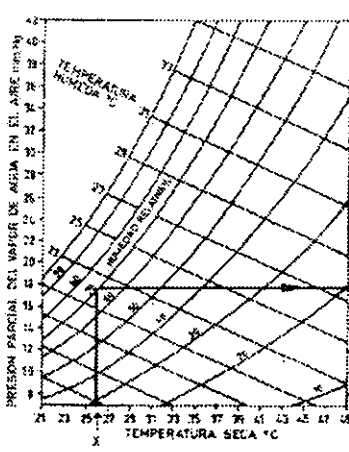
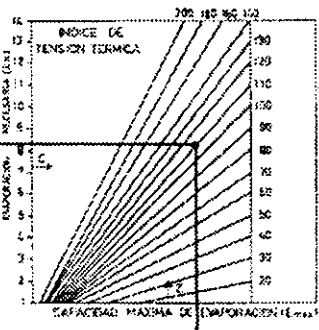
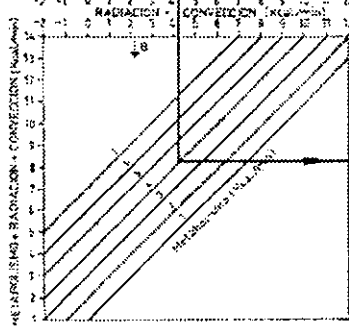
Valor del IST	Implicaciones higiénicas y fisiológicas de la exposición diaria durante 8 horas
-20	Suave estrés frío. Es condición frecuente en áreas donde los hombres se recuperan de la exposición al calor.
-10	
0	Situación neutra. Ausencia de estrés.
+10	Estrés térmico suave a moderado. Si el trabajo exige funciones intelectuales, destreza o especial atención puede esperarse una reducción entre moderada y sustancial en la calidad o rendimiento del trabajo. En trabajos físicamente pesados puede esperarse un ligero descenso del rendimiento respecto a condiciones térmicamente neutras.
+20	
+30	
+40	Estrés térmico muy severo. Solamente un pequeño porcentaje de la población está cualificado para estos trabajos.
+50	
+60	Son físicamente adecuados. Son necesarios periodos de descanso para hombres no aclimatados previamente. Debe esperarse una reducción en el rendimiento del trabajo físico. Es deseable la selección médica del personal eliminado para estos trabajos a aquellos que tengan problemas cardiovasculares respiratorios o dermatitis crónicas. Condiciones inadecuadas cuando el esfuerzo mental exigido por el trabajo es apreciable.
+80	Estrés térmico muy severo. Solamente un pequeño porcentaje de la población está cuantificado para estos trabajos. El personal será seleccionado previo reconocimiento médico por ensayos realizados en las condiciones de trabajo después de la aclimatación.
+90	Son necesarias medidas especiales de suministro de agua y sal. Debe reducirse la dureza del trabajo físico.
	Es el máximo estrés tolerable diariamente por hombres jóvenes físicamente- adecuados previamente aclimatados.
+100	



GRAFICOS PARA EL CALCULO DEL INDICE DE TENSION TÉRMICA



Etap1. Entrar por A. Trazar una línea vertical desde la intersección de la temperatura de globo con la velocidad del aire: se obtiene la carga de calor de radiación y convección combinadas.  
Extender la línea vertical hasta  
Etap2: Entrar por B. Al interceptar con metabolismo, trazar una línea horizontal: se obtiene la carga total de calor expresada como la evaporación requerida para el balance calórico (Ereq). Extender la línea horizontal hasta entrar por C.  
Etap3: Entrar por N. Trazar una línea horizontal desde la intersección de la temperatura húmeda y seca: se obtiene el gradiente de presión de vapor entre la piel saturada a 35°C y la del aire ambiente. Extender la línea hasta





### Indices para la evaluación del frío

[13][18] Todos los índices de estrés frío tienen limitaciones, pero en condiciones adecuadas proporcionan una información útil.

En la tabla de TLV's de la ACGIH para 1990-91 se indican valores TLV destinados a proteger a los trabajadores de los efectos graves tanto del estrés frío (hipotermia) como de las lesiones causadas por el frío y a describir las condiciones de trabajo con frío por debajo de las cuales se cree que la mayoría de los trabajadores pueden exponerse sin efectos adversos para la salud.

El objetivo de estos TLV es impedir que la temperatura interna (medida por la temperatura rectal) descienda de 36 °C si bien para una exposición ocasional puede permitirse el descenso a 35 °C y proteger todas las partes del cuerpo, en especial las manos, los pies y la cabeza de las lesiones por frío y al describir las condiciones de trabajo con frío por debajo de las cuales se cree que la mayoría de los trabajadores pueden exponerse sin efectos adversos para la salud.

El objetivo de estos TLV es impedir que la temperatura interna (medida por la temperatura rectal) descienda de 36 °C si bien para una exposición ocasional puede permitirse el descenso a 35 °C y proteger todas las partes del cuerpo en especial las manos, los pies y la cabeza de las lesiones por frío.

La evaluación de los efectos de los ambientes fríos sobre el hombre puede realizarse por los siguientes índices.

Efecto o factor de viento (WCI)

Índice de sensación térmica

Índice de estrés térmico (IST)





Así mismo puede efectuarse una valoración subjetiva del medio ambiente frío.

### Wind chill index (WCI)

Este índice valora la pérdida de calor.

El flujo de calor perdido, puede calcularse por la ecuación:

$$WCI = [(100V_a)^{1/2} + 10.45 - V_a] (33 - T_a)$$

WCI = Wind chill index, kcal h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>

V<sub>a</sub> = velocidad del aire, m s<sup>-1</sup>

T<sub>a</sub> = temperatura del aire, °C

Conviene no separar un valor WCI de 1.100 a 1.400 kcalh<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> para que las partes descubiertas no corran ningún riesgo imputable a los ambientes fríos.

### Índice de sensación térmica

[10][18] Los efectos de la sensación térmica, vienen determinados por la temperatura y la velocidad de viento.

El coeficiente o factor de enfriamiento por el viento es un factor crítico. Esta unidad se evalúa la pérdida de calor de un cuerpo definida en vatios m<sup>2</sup>h y es función de la temperatura del aire y la velocidad del viento sobre el cuerpo expuesto..

Cuanto mayor sea la velocidad del viento y menor la temperatura del área de trabajo, mayor será el valor de aislamiento de la ropa protectora exigida.



El grado de riesgo para personas adecuadamente vestidas, según las distintas velocidades de aire y temperaturas reales en °C se muestran en la Tabla 6-5 mostrada en el anexo I.

En esta Tabla se reflejan las temperaturas equivalentes de enfriamiento, las cuales deben usarse al estimar el efecto combinado de refrigeración del viento y las bajas temperaturas del aire sobre la piel expuesta o al determinar los requisitos de aislamiento de la ropa, para mantener la temperatura interna.

### **Índice de stress térmico (IST)**

Aplicando el índice de stress térmico IST explicado en el apartado de ambientes calurosos en el supuesto de temperaturas bajas, pueden obtenerse valores negativos, cuyo significado se muestra en la tabla 6-6.

### **Valoración subjetiva del ambiente frío.**

[10] Los límites máximos diarios de tiempos de exposición a temperaturas bajas recomendados se muestran en la Tabla 6-7.

La relación subjetiva del medio ambiente frío y la temperatura cutánea de la fuente se reflejan en la gráfica obtenida por Leblanc en 1975 (figura 6.6).



TABLA 6-6

Significación de los valores del índice de Estrés Térmico (IST)

Valor IST	Indicaciones higiénicas y fisiológicas en la <u>exposición diaria durante 8 horas</u>
30	Estrés de calor suave a moderado. Si el trabajo exige funciones intelectuales, destreza o especial atención, puede esperarse una reducción entre moderada y sustancial en la calidad o rendimiento del trabajo. En trabajos físicamente pesados puede esperarse un ligero descenso del rendimiento respecto a condiciones térmicamente neutras.
20	
10	
10	Situación neutra
0	
-10	
-10	Suave estrés de frío. Es condición frecuente en áreas donde los hombres se recuperan de la exposición de calor.
-20	
-30	
-30	Estrés de frío moderado. Si el trabajo es de tipo ligero, exige funciones intelectuales, destreza o especial atención, esperarse una pequeña reducción en el rendimiento o calidad del trabajo, no así en trabajos moderados o pesados. Se precisa ropa adicional.
-40	
-50	
-50	Estrés de frío severo. Debe esperarse una reducción en el rendimiento del trabajo físico. Es deseable la selección médica del personal. Condiciones inadecuadas cuando el esfuerzo mental exigido por el trabajo es apreciable. Se precisa ropa especial
-60	
-70	



Se comprende que la incomodidad mínima para una temperatura cutánea de la frente de 33 a 34 °C aumenta lentamente hasta alcanzar una temperatura de 17 °C. En valores inferiores, el grado de incomodidad aumenta rápidamente.

TABLA 6-7

<u>Ambito de temperatura °C</u>	<u>Exposición máxima diaria</u>
0 a -18	Sin límites siempre que la persona esté vestida adecuadamente.
18 a -34	Tiempo total de trabajo: 4 horas, alternado una hora dentro y una hora fuera del área de baja temperatura.
-34 a -57	Dos periodos de 30 minutos cada uno, con intervalos de por lo menos 4 horas. Tiempo vital de trabajo a baja temperatura permitido: una hora. (Tener en cuenta que existe cierta diferencia individual: un informe recomienda periodos de 15 minutos y no más de 4 periodos por jornadas de 8 horas; otro limita a periodos de una hora de cada cuatro con un factor de enfriamiento bajo, por ejemplo, sin viento; un tercero dice que la operación continua 3 horas a 53 ha sido probada sin que se produjeran efectos nocivos ).
-57 a -73	Tiempo máximo permisible de trabajo: 5 minutos durante un día de 8 horas de trabajo. Para estas temperaturas extremas se recomienda el uso de cascos herméticos que cubran totalmente la cabeza, equipados con un tubo respirador que pase por debajo de la ropa hasta la pierna para precalentar el aire.



De todos los índices analizados en este capítulo el que se ocupa con mayor frecuencia por la Industria, es el índice de WBGT debido a la exactitud y confiabilidad de sus datos, es por eso que dedicaremos el siguiente capítulo exclusivamente para el índice de temperatura de globo bulbo húmedo.

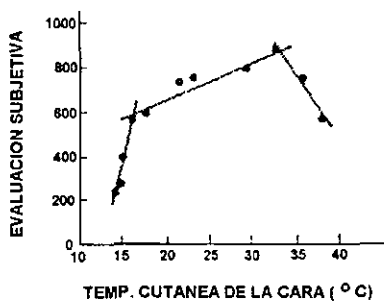


Figura 6.6 Relación entre la variación subjetiva del medio ambiente frío y la temperatura cutánea de la frente (según Leblanc, 1975)

# VII

## INDICE DE TEMPERATURA DE GLOBO BULBO HUMEDO

---

### INDICE DE TEMPERATURA DE GLOBO DE BULBO HUMEDO

#### Indice WBGT

[18]El índice WBGT consiste en la ponderación fraccionada de las temperaturas húmedas, de globo y a veces temperaturas secas . Las principales fórmulas que lo definen son:

1.- En exteriores (con exposición solar):

$$WBGT = 0.7 T_h + 0.2 T_g + 0.1 T_a$$

2.- En interiores sin exposición solar (a la sombra) :

$$WBGT = 0.7 T_h + 0.3 T_g$$

en donde

WBGT = temperatura de globo y bulbo húmedo según fórmula °C

T<sub>h</sub> = temperatura natural de bulbo húmedo °C

T<sub>a</sub> = temperatura de bulbo seco °C

T<sub>g</sub> = temperatura del termómetro de globo °C



Estas temperaturas WBGT halladas para unas condiciones, se comparan con la temperatura WBGT, máxima admisible para unas condiciones de trabajo dadas.

#### Criterios ACGIH

Según criterios de la ACGIH, en sus tablas TLV's para 1990-91, las temperaturas WBGT propuestas según los trabajadores estén o no aclimatados se observa en la figura 7.1 y en la tabla 7-1.

De la relación:

$$\frac{\text{La carga térmica soportada en WBGT}}{\text{La carga máxima que puede soportarse para el trabajo}}$$

tendremos el índice de estrés térmico (según WBGT).

Para tareas donde la exposición al calor y el esfuerzo de trabajo son intermitentes, el promedio en tiempo se calcula según la ecuación siguiente:

$$\frac{(T_{WBGT1})t_1 + (T_{WBGT2})t_2 + \dots + (T_{WBGTn})t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

T = son los valores de las mediciones para los distintos intervalos de abajo y descanso durante el periodo total

t = corresponde a la duración en minutos de los respectivos intervalos.

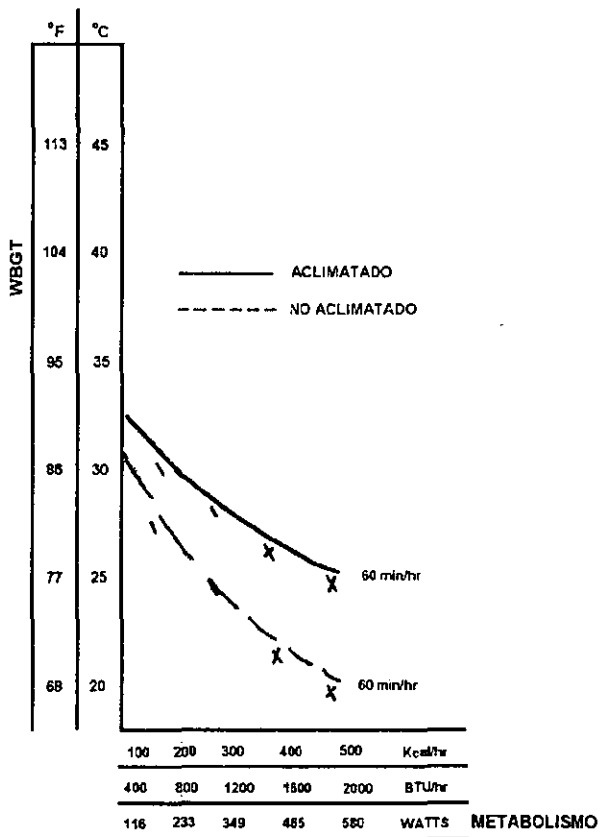


Figura 7.1





Tabla 7-1

Valores de las temperaturas WBGT admisibles

Régimen de trabajo descanso	CARGA DE TRABAJO		
	Ligero	Moderado	Pesada
Trabajo continuo .....	30.0	26.7	25.0
75% trabajo-25% descanso (cada hora)	30.6	28.0	25.9
50% trabajo-50% descanso (cada hora)	31.4	29.4	27.9
25% trabajo-75% descanso (cada hora)	32.2	31.1	30.0

Criterios OSHA

Como se puede observar, la ausencia de valoración de la incidencia de la velocidad del aire hace que, en algunos casos, sus resultados no sean representativos de las condiciones estudiadas. Considerando este problema, el Comité Asesor de la OSHA en su normalización de este índice, introduce este factor, aumentando la significación del mismo. Los valores umbrales se muestran en la Tabla 7-2

TABLA 7-2  
Valores umbrales WBGT en °C

Carga de trabajo	Baja velocidad de aire (hasta 90m/minuto)	Alta velocidad de aire (por encima de 90m/minuto)
Ligera (200 kcal/hora o inferior)	30	32
Moderado (201 kcal/hora a 300 kcal/ hora) .....	28	30.5
Pesado (por encima de 300 kcal/ hora).....	26	29.0



Criterios ISO 7243

Según la norma ISO 7243, los valores °WBGT admisibles se indican en la figura 7.2 y tabla 7-3.

**TABLA 7-3**  
Valores de referencia WBGT correspondientes a  
diversas situaciones

METABOLISMO	RANGO DE METABOLISMO		VALORES DE REFERENCIA WBGT			
	Referido a su- perficie unidad del área de piel	TOTAL Para una super- ficie de 1.8 m2	Personas aclima- tadas al calor		Personas no acli- matadas al calor	
	W m2	W				
0 Descanso	M < 65	M < 117	33		32	
1	65 < M < 130	117 < M < 234	30		29	
2	130 < M < 200	234 < M < 350	28		26	
3	200 < M < 260	260 < M < 468	Aire en calma	Aire en movimiento	Aire en calma	Aire en movimiento
			25	26	22	23
4	M > 260	M > 468	23	25	18	20

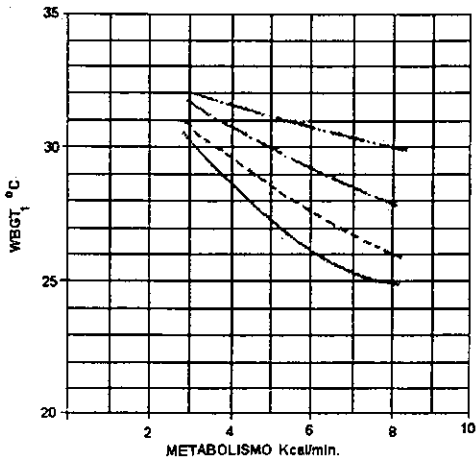


Figura 7.2 Temperaturas WBGT para diferentes regimenes de trabajo-descanso

- ... 25% TRABAJO 75% DESCANSO/H
- 50% TRABAJO 50% DESCANSO/h
- 75% TRABAJO 25% DESCANSO/h
- \_\_\_ TRABAJO CONTINUO

# VIII

## NOM - 015 - STPS - 1994

---

NORMA OFICIAL MEXICANA:

NOM - 015 - STPS - 1994.

RELATIVA A LA EXPOSICIÓN LABORAL  
DE LAS CONDICIONES TÉRMICAS  
ELEVADAS O ABATIDAS EN EL TRABAJO

### 1. Objetivo

Establecer las medidas preventivas para proteger a los trabajadores de las condiciones térmicas elevadas o abatidas, así como la determinación del índice de fatiga y los límites de exposición.

#### 1.1 Campo de aplicación

La presente, NOM-015-STPS, se aplica en los centros de trabajo, en los que exista exposición al trabajador a condiciones térmicas elevadas o abatidas.

Las condiciones térmicas ambientales extremas que deben prevalecer para los trabajadores de las minas, se contemplarán conforme a lo dispuesto por el Reglamento de Seguridad para los Trabajadores en las minas.

En el entendido que de no darse la exposición del trabajador, a la condición térmica elevada o abatida, no será de aplicación la presente NOM-015-STPS.

### 2. Referencias

Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, artículo 123, Apartado "A"  
Fracción XV.

Ley Federal del Trabajo, artículos 512 y 527.



VII.

3. Requerimientos

3.1 Para el patrón:

3.1.1 Disponer las medidas preventivas para proteger a los trabajadores de dichas condiciones y mantener los límites de exposición de acuerdo con el tipo de trabajo, de conformidad con lo que se establece en la presente NOM -015- STPS-1994.

3.1.2 La temperatura corporal del trabajador medida en la cavidad oral, no debe exceder el valor de 38 °C. Cuando esto suceda, el trabajador debe ser retirado por el patrón de su puesto de trabajo y con propósitos preventivos, puesto en observación para determinar si los síntomas son resultantes de la condición térmica o se debe a la patología intercurrente (ver Anexo 1). Cuando se trate de condiciones térmicas ambientales abatidas, la temperatura corporal del trabajador no debe ser menor a 36°C, cuando esto suceda, no debe ser expuesto el trabajador a la condición térmica que produce este efecto.

3.1.3 Realizar, conservar y mostrar a la autoridad laboral, cuando está así lo requiera, el registro de la evaluación de las condiciones térmicas elevadas o abatidas a que se refiere esta NOM - 015 - STPS - 1994.

3.1.4 Adiestrar y capacitar a los trabajadores en materia de higiene y seguridad en su trabajo, a fin de evitar los daños a la salud derivados de las condiciones térmicas elevadas o abatidas.

3.1.5 Efectuar el reconocimiento, evaluación y control de la exposición de las condiciones térmicas elevadas o abatidas.

3.2 Para los trabajadores:

- a) Colaborar en las actividades de evaluación
- b) Acatar y cooperar con el patrón y los grupos de seguridad, para contrarrestar las condiciones ambientales de trabajo en beneficio de su salud.



- c) Colaborar con la toma de temperatura corporal.
- d) Participar en el adiestramiento y capacitación en materia de higiene y seguridad en el trabajo.
- e) Usar el equipo de protección personal proporcionado por el patrón y de acuerdo a las indicaciones establecidas por él.
- f) Acatar y cumplir con las medidas de control en seguridad e higiene que dicte el patrón, en beneficio de su salud.
- g) Las autoridades del trabajo, los patrones y los trabajadores, deben promover la prevención de daños a la salud de los trabajadores que vayan a estar o estén expuestos a condiciones térmicas ambientales elevadas o abatidas, de acuerdo a los resultados de las evaluaciones.

#### 4. Requisitos

##### 4.1 Del reconocimiento:

Para llevar a cabo el reconocimiento, los patrones deben:

- a) Identificar las fuentes que generen estas condiciones y su radio de acción.
- b) Determinar el número de trabajadores expuestos.
- c) Seleccionar la instrumentación y el método para evaluar las condiciones térmicas elevadas o abatidas en los centros de trabajo.
- d) En caso de condición térmica elevada determinar además el tipo de trabajo que se realiza de acuerdo al gasto metabólico.

##### 4.2 De la evaluación:

Las actividades de la evaluación tienen como objetivo, recabar la información necesaria a fin de que los patrones vigilen que la exposición esté dentro de los límites establecidos de acuerdo a:

###### 4.2.1 Para condiciones térmicas elevadas:

- a) Las condiciones térmicas elevadas deben evaluarse con el índice de Temperatura



de Globo Bulbo Húmedo (Tgbh).

- b) Los métodos y los instrumentos para determinar las mediciones de índice Tgbh: Temperatura de globo, Temperatura de bulbo húmedo, Temperatura de Bulbo Seco y velocidad del aire, en los lugares de trabajo, serán los que señalen el Anexo I y las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes y vigentes.
- c) El índice Tgbh para evaluar las condiciones térmicas elevadas estará de acuerdo a la Tabla 1.
- d) Cuando el Tgbh medido supere los niveles indicados en la tabla 1 que correspondan a la condición valorada, debe efectuarse el reconocimiento y la evaluación del índice de fatiga por el calor para determinar que factores térmicos del ambiente de trabajo, influyen en el intercambio de calor entre el trabajador y sus alrededores y poder establecer los controles requeridos.

4.2.2 Condiciones térmicas abatidas.

- a) Las condiciones térmicas abatidas deben evaluarse de acuerdo con el índice de viento frío.
- b) El método y los instrumentos para determinar las mediciones de índice de viento frío; Temperatura de Bulbo seco y velocidad del aire, en los lugares de trabajo, serán los que señalen el Anexo I y las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes y vigentes.
- c) Las condiciones para evaluar las condiciones térmicas abatidas, deben realizarse a través de la velocidad y temperatura del aire para obtener el índice de viento frío en la Tabla 3 e interpretarlo con la misma.

4.3 Control

Cuando el resultado de la evaluación indique que la exposición de los trabajadores, a condiciones térmicas elevadas o abatidas excede los límites establecidos, los patrones deben delinear medidas de control convenientes, a fin



de prevenir daños a la salud de los trabajadores. Las medidas de control establecidas, deben ser verificadas por el patrón mediante una evaluación posterior, conforme a los métodos o instrumentos, que hayan sido señalados por el Anexo 1 y las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

Los patrones deben identificar la zona de exposición con avisos y/o señales de seguridad, esto deben ajustarse a lo que establece la Norma Oficial Mexicana correspondiente en vigor.

#### 4.3.1 Condiciones térmicas elevadas:

En centros de trabajo, cuando el Tgbh sobrepase los niveles de temperatura señalados en los numerales 4.2 inciso D y 4.2.2 inciso c de la presente NOM - 015-STPS, en tanto se establezcan las medidas de control, los patrones deberán adoptar medidas preventivas, tomando en cuenta la naturaleza del trabajo y en su caso lo siguiente:

- a) Las características fisiológicas de los trabajadores expuestos (ver Anexo 1).
- b) La naturaleza, el tiempo y la frecuencia de la exposición.
- c) Las características de los lugares donde se realiza el trabajo.
- d) Las características del proceso de producción.
- e) Las características de las fuentes que generan éstas condiciones.
- f) Las condiciones climatológicas del lugar “La clasificación del negocio en cuanto a su tamaño, número de personal y potencial económico”.

#### NOTA EXPLICATIVA:

Para establecer los controles que modificarán la exposición de calor, señalados en el Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Capítulo VII, artículo 152, es necesario contar con mediciones de Temperatura de Globo, humedad relativa,





velocidad del aire y estimación del grado de energía gastada por el trabajador. Con esto se puede determinar el intercambio calórico entre el trabajador y su ambiente de trabajo por convección, radiación y empleando el calor metabólico para obtener el índice de fatiga y la cantidad de sudación necesaria para establecer un equilibrio de evaporación requerida, de acuerdo al Anexo 1.

Vigilar que los trabajadores que:

- i) Por primera vez van a ser expuestos a condiciones térmicas ambientales elevadas, el periodo de aclimatación debe ser por lo menos de 6 días, iniciando con el 50% de la exposición total durante el primer día, siguiendo con incrementos del 10 % diariamente hasta llegar al 100 % de la exposición total del sexto día.
- ii) Los trabajadores aclimatados que regresen de nueve días consecutivos de ausencia, deberán someterse aun periodo de aclimatación de por lo menos cuatro días. El periodo de aclimatación debe iniciar con el 50 % de la exposición total el primer día siguiendo con incrementos de 20 % diariamente hasta llegar al 100 % de exposición total del cuarto día.

#### 4.3.2 Condiciones térmicas abatidas.

En los lugares o locales de trabajo, donde existan condiciones térmicas ambientales abatidas, los patrones deban realizar un análisis a fin de determinar el tipo de protección que requieren los trabajadores que están expuestos a estas condiciones, esto con el fin de seleccionar y proporcionar la ropa específica para la condición térmica considerada, de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

#### 5. Definiciones

Condición térmica elevada:



Es la situación ambiental capaz de transmitir calor hacia el cuerpo humano o restringir este hacia el medio en tal magnitud que puede romper el equilibrio térmico del trabajador, tendiendo a incrementar su temperatura corporal central.

Condición térmica abatida:

Es la situación ambiental que es capaz de producir pérdida de calor en el cuerpo humano, debido al frío, rompiendo el equilibrio térmico del trabajador, tendiendo a disminuir su temperatura corporal central.

Índice de fatiga por calor:

Es el cociente que resulta de dividir la carga térmica (suma de factores del ambiente del trabajo físico) a que se sujeta un trabajador en un ambiente dado, entre la capacidad máxima que este tiene para liberar calor en el mismo ambiente.

Tabla 1

Límites de exposición a condiciones térmicas ambientales elevadas y periodo de recuperación

Régimen de trabajo	Tipo de trabajo		
	ligero	moderado	pesado
Trabajo continuo			
Exposición de 8 horas por día			
Semana de 48 horas	30	26.7	25.0
75 % De exposición			
25 % de recuperación en cada hora	30.6	28.0	25.9
50 % de exposición			
50 % de recuperación en cada hora	31.4	29.4	27.9
25 % de exposición			
75 % de recuperación en cada hora	32.2	31.1	30.0



Los límites de exposición permitidos se expresan en grados centígrados (°C) de Temperatura de Globo de Bulbo Húmedo (Tgbh) y corresponden al nivel medio ponderado en el tiempo a que se expone una persona aclimatada, durante una jornada. Las ecuaciones que definen el cálculo de la Temperatura de Globo de Bulbo Húmedo (Tgbh) en relación con la carga solar son las siguientes:

1. Exteriores con carga solar

$$Tgbh = 0.7 Tbh + 0.2 Tg + 0.1 Ts$$

2. Interiores o exteriores sin carga solar

$$Tgbh = 0.7 Tbh + 0.3 Tg$$

Donde:

Tg = Temperatura de termómetro de Globo

Tbh = Temperatura de Bulbo Húmedo

Ts = temperatura de Bulbo Seco

Nota: Los límites de exposición a condiciones térmicas ambientales elevadas de temperatura que se consignan en esta tabla, serán revisadas cada dos años por la autoridad laboral.

6. Bibliografía

Reglamento general de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Título Octavo Capítulo VII y Normas correspondientes.

Norma ISO 7423. Hot Enviroments-Estimation of de Heat Stress on Working-Man based on the WBGT Index (wet bulb globe temperature).

Guide for Assessing Heat Stress and Strains, prepared in june.1971 by David Minard.,M.D.,Harwoods. Belding,Ph.D



Organización mundial de la Salud, Evaluación de la Sobrecarga Térmica en el Ambiente de Trabajo.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la secretaria del trabajo y Previsión Social.

TRANSITORIOS

PRIMERO. La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO. Se deroga el instructivo No. 15 relativo a la exposición laboral a las condiciones térmicas elevadas o abatidas en los centros de trabajo, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 15 de febrero de 1991.

Sufragio Efectivo No Reelección.

México, D.F., a los treinta días del mes de marzo de mil novecientos noventa y cuatro.- El Secretario del trabajo y Previsión Social, Arsenio Farell Cubillas.- Rúbrica

Tabla 2

Estimados del metabolismo de energía, de varias clases de actividades (los valores se aplican a un hombre de unos 70 kilos de peso y no incluyen pausas de descanso). Así como los límites de exposición térmica a condiciones ambientales abatidas que se muestran en la Tabla 3 (Ver Anexo A)

Actividad	M (kcal/h)
Trabajo liviano o ligero	100.0
Sentarse tranquilamente .....	
Sentarse, movimientos moderados de los brazos y el tronco (por ejemplo, trabajo de oficina; mecanografía).....	112.5-139.5
Sentado, movimientos moderados de los brazos y	



## Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

	el tronco (por ejemplo, tocando el órgano o conduciendo un automóvil).....	137.5-162.5
	Parado, trabajo moderado en máquinas o banco mayormente con las manos.....	137.5-162.5
	Parado, trabajo liviano en máquina o banco, a veces caminando un poco.....	162.5-187.5
	Sentado, movimientos pesados de los brazos y piernas.....	162.5-200.0
Trabajo moderado	Parado, trabajo moderado en máquina o banco a veces caminado un poco.....	187.5-250.0
	Caminado de un sitio a otro empujando y levantando moderadamente.....	250.0-350.0
Trabajo pesado	Levantando, empujando o tirando cargas pesadas, intermitentemente (por ejemplo, trabajo de pico y pala).....	375.0-500.0
	Trabajo pesado constante.....	500.0-600.0

Anexo I a la NOM - 015 - STPS que forma parte integrante de la misma

Hoja de información para determinación de la aceptabilidad de la exposición laboral a condiciones térmicas elevadas.

### Introducción

Los formatos y tablas anexos tienen por objeto servir de ayuda para la obtención y registro de los datos necesarios para la determinación de la aceptabilidad de la exposición laboral a condiciones térmicas elevadas. Estos formatos pueden ser modificados para cubrir necesidades específicas.

La información solicitada debe ser cuidadosamente reunida al principio del turno, en la parte más calurosa del día y al final del turno, para cada actividad, tomando como referencia un grupo reducido de trabajadores. Esta forma de recopilación tiene más valor que la obtención aleatoria de datos, sin embargo esto depende de los objetivos específicos del estudio.



### Número de hojas a utilizar

Se deberán emplear hojas, como sea necesario para cubrir en cada una de ellas, una actividad en un intervalo de exposición. Muchas actividades laborales comprenden exposiciones intermitentes, por lo que para tener una justa valoración de tales trabajos, es necesario tener registros de cada área, señalando para cada una el tiempo de duración asignado. Por ejemplo, es necesario un mínimo de tres hojas si un trabajador realiza una tarea durante 20 minutos restantes de cada hora.

Información necesaria para la determinación de la aceptabilidad de la exposición laboral a condiciones térmicas elevadas.

La información necesaria para determinar si una exposición laboral a condiciones térmicas elevadas es tolerable o no, depende de la interrelación de un número de variables, de las cuales, la mayoría de los casos, la velocidad del aire y el metabolismo son características de la localización del trabajador y la naturaleza de la actividad, por lo que no es necesario evaluarlas en cada ocasión, en los formatos se anotarán las variables solicitadas, medidas de acuerdo con el criterio general que se menciona en la introducción.

### Datos del clima

Reunir la parte externa de la planta o interna en una posición de referencia elegida, puede ser complementada por los registros de un centro meteorológico cercano. Tal información sobre el clima se debe analizar en combinación con la información obtenida bajo las condiciones de trabajo. Se espera que la correlación obtenida entre las dos, más adelante permitirá la predicción del estrés por calor en las actividades individuales de las condiciones de clima prevalecientes ya conocidas.

### Información fisiológica

1. Las pulsaciones deben ser contadas por la palpación en la muñeca, por 15 segundos inmediatamente después del final de la actividad y por 30 segundos durante la última media de cada minuto, por 3 minutos. El trabajador debe estar sentado para todos los conteos.
2. El termómetro oral debe insertarse bajo la lengua y con la boca cerrada, durante el



## Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

conteo inicial del pulso; la temperatura oral debe leerse después de 3 min. (NOTA: los termómetros clínicos tomarán la temperatura del cuarto, cuando la temperatura del aire se acerque o exceda la temperatura del cuerpo. Bajo tales condiciones deben ser sacudidos hacia abajo y leerse inmediatamente antes de usarse).

3. La información necesaria para estimar el rango de sudación comúnmente no se aplicará para una sola actividad, pero si será integrada para los valores que no cubran la mitad de un turno. Esta información es utilizada para trabajos que involucran duraciones irregulares o condiciones de exposición. La escala utilizada para el peso debe ser de una calidad clínica (con precisión de  $\pm \frac{1}{4}$  de libra). El agua debe ser bebida de tazas con capacidad conocida y registro de la cantidad consumida. La corrección debe también ser hecha por peso a cualquier ingestión de alimento sólido y medición de volumen de orina.

### Hoja de cálculos

La fórmula para Tgbh (WBGT) se aplica para mediciones internas (sin presencia de luz solar), en la luz solar la fórmula es:

$$Tgbh = 0.7Tbh + 0.2Tg + 0.1Ts$$

La fórmula para calcular la transferencia de calor por radiación R, convección y evaporación máxima  $E_{max}$ , son aproximaciones para un hombre de 154 libras (70 kg) con ropa de trabajo normal.

### Hoja de datos:

#### Evaluación de estrés y fatiga por calor

Empresa

Dirección

Departamento

Empleado



Puesto \_\_\_\_\_

---

Nombre de la tarea \_\_\_\_\_

---

Tiempo de inicio \_\_\_\_\_

---

Tiempo de término \_\_\_\_\_

---

Duración de la tarea \_\_\_\_\_

---

Ciclos en minutos \_\_\_\_\_

---

*Número de ciclos por* \_\_\_\_\_

---

Jornada \_\_\_\_\_

---

Localización \_\_\_\_\_

---

Ropa de trabajo \_\_\_\_\_

---

Evaluador \_\_\_\_\_

---

Fecha \_\_\_\_\_

Estrés de calor

Datos	Valores Calculados
$T_g$ (°F) _____	WGBT _____
$T_{mwb}$ (°F) _____	R (Btu/h) _____
$T_{wgr}$ (°F) _____	C (Btu/h) _____
$T_a$ (°F) _____	$E_{req}$ (Btu/h) _____
$T_{wb}$ (°F) _____	
V (fpm) _____	$VP_a$ (mmHg) _____
M (Btu/h) _____	$E_{max}$ (Btu/h) _____
Estimado1 _____	
Estimado2 _____	





<p>Datos Fisiológicos</p> <p>Pulso Radial (pulsaciones/minuto).</p> <p>0-15 seg _____</p> <p>30-60 seg _____</p> <p>90-120 seg _____</p> <p>150-180 seg _____</p> <p>Temperatura oral (°F) _____</p>	<p>Datos del Clima exterior a la sombra</p> <p>Ta (°F) _____</p> <p>Twb (°F) _____</p> <p>Soleado 1. Parcialmente</p> <p>Nublado 3 _____</p> <p>Posición: Referencia interior</p> <p>Ta (°F) _____</p> <p>Twb (°F) _____</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Evaluación de estrés y fatiga por calor Hoja de datos complementaria para la tasa de sudación.

Datos de peso del cuerpo:

<p>Vestido 1. Desnudo 2 _____</p> <p>Tiempo por inicio de la jornada _____</p> <p>Tiempo de término de la jornada _____</p> <p>Tiempo transcurrido (min) _____</p> <p>Total de H<sub>2</sub>O ingerida (oz) _____</p> <p>Total de H<sub>2</sub>O ingerida (lb) _____</p> <p>Total de pérdida orina (oz) _____</p> <p>Total de pérdida orina (lb) _____</p> <p>(1.0 oz De fluido=0.0625 lb) _____</p>	<p>Peso del cuerpo al inicio _____</p> <p>Peso del cuerpo al final _____</p> <p>Diferencia de peso DP _____</p> <p>Sudor total=DP+H<sub>2</sub>O orina (lb) _____</p> <p>Tasa (lb/min) _____</p> <p>Equivalente (Btu/h) _____</p> <p>(Sudoración equivalente = 1045 Btu/l sudación)</p> <p>(1.0 oz De fluido=0.0625 lb)</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Método de solución

El intercambio de calor entre el hombre y su medio ambiente puede ser aproximado por las siguientes ecuaciones, desarrolladas or Belding and hatch y modificadas por Herting and Belding, para el efecto de vestido.

E<sub>req</sub> = M ± R ± C ----- (8-1)

R = 17.5 (T<sub>w</sub> - 95)----- (8-2)

C = 0.756V<sup>0.6</sup> (T<sub>a</sub>-95)----- (8-3)

E<sub>max</sub> = 2.8V<sup>0.6</sup> (42-V<sub>pa</sub>)----- (8-4)



donde:

- $E_{req}$  = La evaporación requerida de pérdida de calor BTUH.
- $M$  = Calor metabólico ganado, BTUH.
- $R$  = Calor por radiación, BTUH.
- $C$  = Calor ganado por convección, BTUH.
- $E_{max}$  = Evaporación disponible de pérdida de calor, BTUH.
- $T_w$  = Temperatura media radiante,
- $^{\circ}F = [(T_g + 460)^4 + 1.03^8 V^{0.5} (T_g - T_a)]^{0.25} - 460$ ----- (8-5).
- $T_g$  = Temperatura de globo,  $^{\circ}F$ .
- $V$  = Velocidad del aire, pie/min
- $T_a$  = Temperatura de aire,  $^{\circ}F$
- $VP_a$  = Presión de vapor de agua del aire, mmHg.

Un valor aproximado de  $T_w$  puede ser determinado por la ecuación:

$$T_w = T_g + 0.17VE + 0.5 (T_g - T_a) \text{-----} (8-6)$$

Los nomogramas preparados por Mckarns and Brief proveen un método gráfico para resolver las ecuaciones antes mencionadas.

NOTA: Para fines de los cálculos, las temperaturas y presiones deben ser absolutas.

Las siguientes ecuaciones evalúan los tiempos de exposición permitidos y el tiempo mínimo de recuperación en minutos, suponiendo a 2  $^{\circ}F$  elevado en la temperatura del cuerpo.

$$\Delta ET = \frac{250 \times 60}{E_{req} - E_{max}} \text{-----} (8-7)$$



donde:

$E_{req}$  y  $E_{max}$  son calculados para el ambiente de trabajo

$$\Delta rt = \frac{250 \times 60}{E_{req} - E_{max}} \text{-----}(8)$$

donde:

$E_{max}$  y  $E_{req}$  son calculados para el ambiente de descanso.

Cálculos para cada etapa

1. El rango metabólico M es normalmente determinado por tablas.
2. El punto de rocío y presión de vapor se leen en las cartas psicrométricas.
3. El punto de rocío es usado como nomograma, la presión de vapor se indica en la ecuación 8-4.
4. El intercambio de calor por convección C, puede ser obtenido de la línea 1 sobre el nomograma por la ecuación 8-3.
5. La evaporación máxima  $E_{max}$  puede ser determinada por la línea 2 sobre el nomograma o por la ecuación 8-4.
6. El factor K se obtiene del paso 3 del nomograma.
7. La temperatura media radiante  $T_w$ , significa la temperatura radiante y puede ser leída en el nomograma línea 4 o calculada por la ecuación 8-5 o 8-6.
8. El intercambio de calor radiante R, para el área de trabajo puede ser obtenido por la línea 5 sobre el nomograma o por la ecuación 8-2, la ecuación debe ser usada para el calor por radiación r en el resto del área; sin embargo, sus valores en este caso son tan bajos que pueden ser despreciables.



9. La evaporación requerida  $E_{req}$  es la suma de  $M \pm R \pm C$ . Estos pueden ser sumados algebraicamente o determinados por la líneas en 6 y 7 dibujadas en el nomograma.

10. La ecuación 8-7 del tiempo de exposición permitida está basada en un  $2^\circ\text{F}$  que se eleva en la temperatura del cuerpo. Suponiendo un peso corporal de 150 libras y un calor específico de 0.83, una evaluación de un grado  $^\circ\text{F}$  en la temperatura del cuerpo deberá requerirse en almacenar calor de 125 BTU. El DET para un  $2^\circ\text{F}$  elevado a la temperatura del cuerpo puede ser determinado por la línea 8, dibujada en el nomograma o por la ecuación 8-7.

11. El tiempo de recuperación que sigue a  $2^\circ\text{F}$  de temperatura elevada puede ser calculado por la ecuación 8.

Nótese que en esta ecuación los valores de  $E_{req}$  y  $E_{max}$  son el área de descanso.

12. La elevación de la temperatura del cuerpo durante un periodo de trabajo dado puede ser calculado por un reajuste de la ecuación 8-7 en la fórmula.

$$\Delta T = \frac{(E_{req} - E_{max}) \text{ minutos de trabajo}}{250 \times 60}$$

13. El mínimo de tiempo de recuperación requerido para eliminar una cierta elevación en la temperatura del cuerpo puede ser calculada por la ecuación 8-8 de la forma siguiente:

$$mrt = \frac{250 \times DT \times 60}{E_{req} - E_{max}}$$

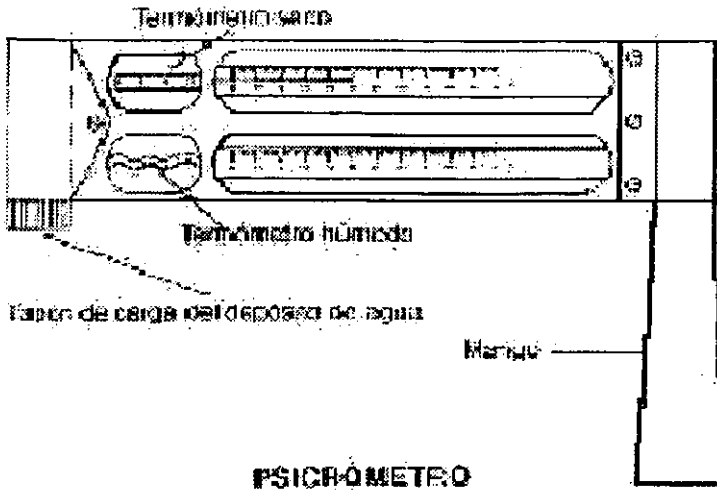
Pasos para el uso del nomograma

1. Determinar el calor por convección. Se parte de la velocidad del aire y la temperatura ambiental.
2. Determinar el  $E_{max}$  del diagrama psicrométrico (Ver anexo A) unto de rocío del aire ambiente, a partir de las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo. Se unen la velocidad del aire y la temperatura de rocío, permitiendo la lectura del valor de la capacidad evaporativa máxima en el ambiente de trabajo.
3. Determinar la constante de paso K. Se parte de la velocidad de aire y la diferencia entre la Temperatura de globo y la temperatura de bulbo seco.



4. Determinar la temperatura radiante media. Se parte de  $K$  y la temperatura de globo
5. Determinar el calor por radiación. Se sigue que la familia de curvas que pasan automáticamente desde el valor de la temperatura radiante media leída hasta el valor deseado.
6. Determinar la suma de los valores anteriores, establecen el metabolismo de la actividad y el intercambio de radiación. Se parte del valor anteriormente determinado y de la escala donde se registran los valores del metabolismo
7. Determinar  $E_{req}$ . Se parte del calor intercambiado por convección calculado en el paso primero de la suma de las calorías leídas en el paso sexto.  
Como se sabe:  $M + R + C = E_{req}$
8. Determinar el tiempo de exposición permisible. Se parte de  $E_{max}$  leída en paso segundo, y  $E_{req}$  calculado anteriormente.

La determinación del valor del índice de tensión térmica a que está sometido el operatario es inmediata

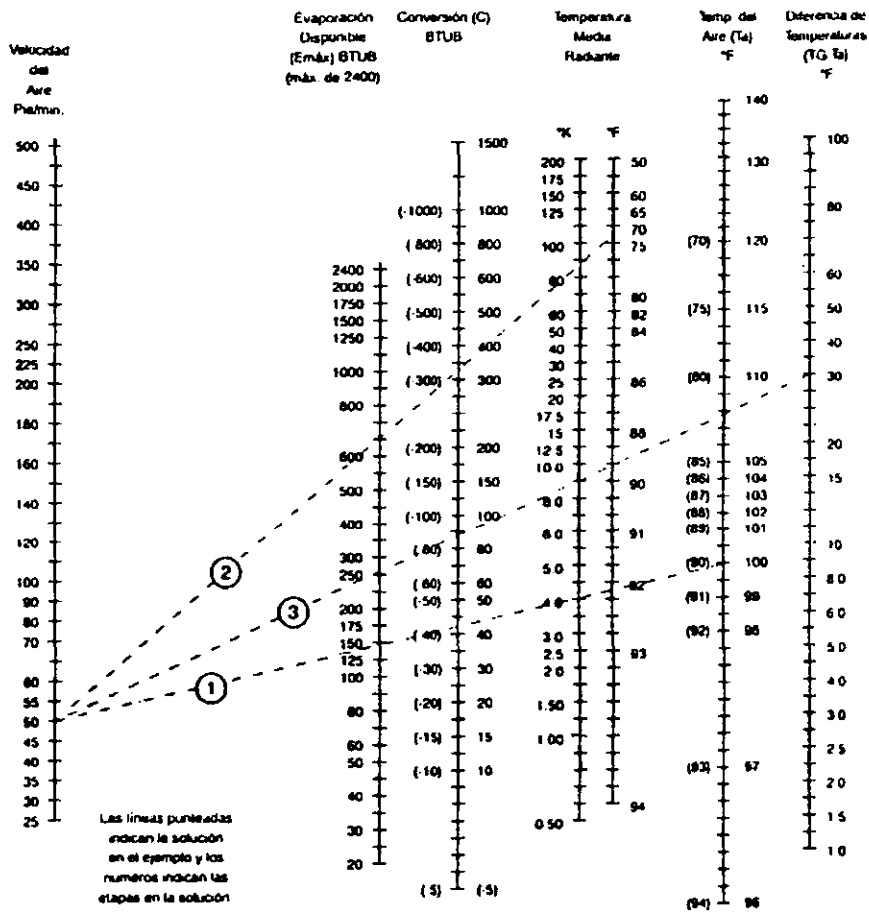


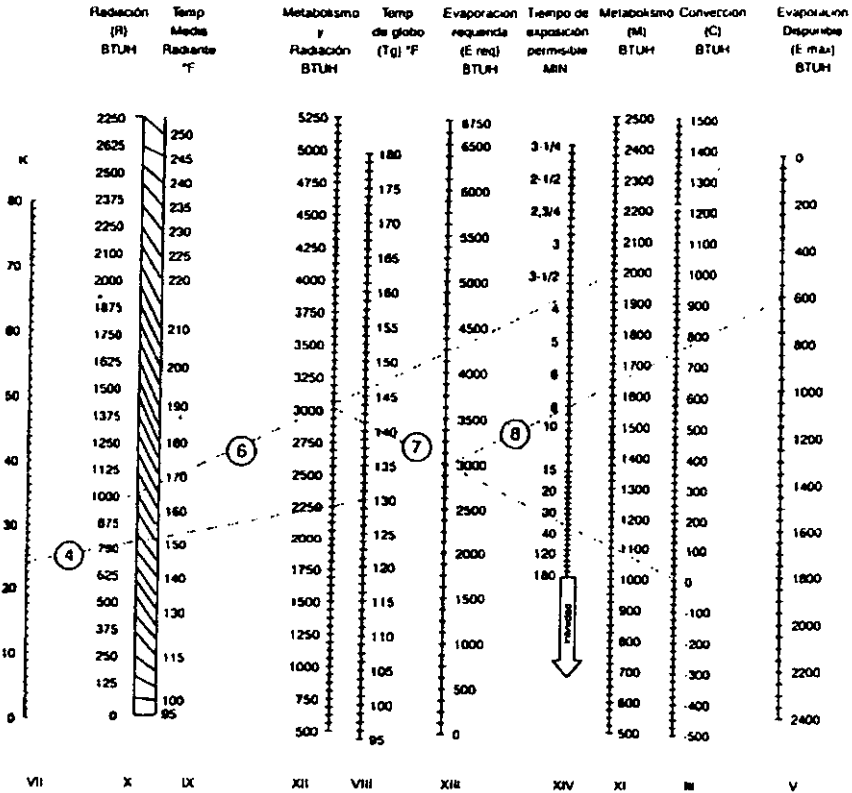
Anexo II a la NOM - 015 - STPS

Higiene industrial-Medio Ambiente Laboral-Determinación de las condiciones Térmicas Elevadas, basadas en el índice de Temperatura de Globo de Bulbo Húmedo, a que se exponen los trabajadores en los centros de trabajo.

1. Objetivo

Este anexo establece los métodos para determinar las condiciones térmicas elevadas, basadas en el Índice de Temperatura de Globo Bulbo Húmedo (T.g.b.h.) a que se exponen los trabajadores en los centros de trabajo.





Nomograma de Mckams y Brief, para índice de estrés por calor.

2. Campo de aplicación

Esta norma se aplica en aquellos centros de trabajo, donde se requiera determinar las condiciones térmicas elevadas, a las que se exponen los trabajadores con motivo o en ejercicio de su trabajo, para proteger su salud contra el incremento calórico que se





genera en su organismo al estar expuesto a condiciones térmicas elevadas (ya sea dentro del local de trabajo y/o a la interperie), de acuerdo a lo establecido en la NOM - 015- STPS del Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

### 3. Métodos de evaluación ambiental

3.1 Los métodos de evaluación ambiental son los siguientes:

3.1.1 Métodos para evaluar la Temperatura de Globo Bulbo Húmedo en el ambiente laboral.

3.1.2 Métodos para evaluar la Temperatura de Globo Bulbo Húmedo ( $T_{gbh}$ ) en el centro laboral, donde el trabajador se encuentra en un puesto fijo de trabajo.

3.1.2.1 Métodos de evaluación personal.

3.2 La aplicación de estos métodos depende de las condiciones laborales particulares de cada centro de trabajo de tal forma que puede seleccionarse uno o más de los métodos establecidos, para una correcta determinación de las condiciones térmicas extremas a las que se exponen los trabajadores.

### 4. Definiciones

Para efectos de este Anexo se establecen las siguientes definiciones:

4.1 Condición térmica elevada:

Es la situación que es capaz de transmitir calor hacia el cuerpo humano o restringir la transmisión de este hacia el medio, en tal magnitud que rompe el equilibrio térmico del hombre tendiendo a incrementar el contenido calórico del individuo.

4.2 Temperatura de Globo Bulbo Húmedo ( $T_{gbh}$ )

Es el índice para medir la transferencia de calor del medio al hombre. Su abreviatura corresponde a las siglas ( $T_{gbh}$ ) y se expresa en un valor determinado en grados Celsius  $^{\circ}\text{C}$ .



#### 4.3 Temperatura de Bulbo Seco ( $T_s$ )

Es la temperatura que registra el termómetro, cuando el bulbo está en contacto con el aire del medio ambiente.

#### 4.4 Temperatura de Bulbo Húmedo ( $T_{bh}$ )

Es la temperatura mínima que registra el termómetro, cuando humedecido su bulbo permite la evaporación del agua sobre él a una velocidad que depende de la humedad del aire.

#### 4.5 Temperatura de globo ( $T_g$ )

Es el nivel termométrico que se registra cuando se establece el equilibrio entre relación el calor convectivo y el de radiación en un instrumento predeterminado.

### 5. Reconocimiento inicial (sensorial)

5.1 Esta actividad debe realizarse previamente a la aplicación del procedimiento de evaluación de las condiciones térmicas elevadas en el ambiente laboral.

5.2 El propósito del reconocimiento inicial es recabar información técnica y administrativa que permita seleccionar el método de evaluación y la prioridad de las zonas y puestos por evaluar.

5.2.1 La información que debe recabarse, considerando la condición térmica del área de trabajo es la siguiente:

5.2.1.1 Planos de distribución de la maquinaria y equipo.

5.2.1.2 Descripción del proceso.

5.2.1.3 Ubicación de la zona de trabajo.

5.2.1.4 Número de trabajadores por área.

5.2.1.5 Número de trabajadores en puestos fijos de trabajo (de pie y/o sentados).

5.2.1.6 Número de trabajadores en puestos de trabajo no estacionarios.

5.2.1.7 Tiempo de exposición de los trabajadores.

### 6. Métodos de evaluación ambiental



- a) Estos métodos permiten determinar las condiciones térmicas elevadas a que se exponen los trabajadores en una forma indirecta a través de la evaluación de la Temperatura de globo( $T_g$ ) la Temperatura de Bulbo Húmedo( $T_{bh}$ ) y la Temperatura de Bulbo Seco ( $T_s$ ) presentes en el ambiente laboral y la correlación del tiempo de exposición por lo que la empresa debe establecer los procedimientos administrativos que le permitan conocer dicho tiempo, para todos los trabajadores.
- b) La evaluación de Temperatura de Bulbo Húmedo ( $T_{bh}$ ), es por zonas del centro de trabajo , a través de muestras discretas de forma individual.
- c) La evaluación de la Temperatura de Bulbo Húmedo es una jornada laboral será función de las condiciones normales de operación, de tal manera, que cuando éstas condiciones normales se modifiquen y/o la temperatura corporal del trabajador se incremente substancialmente, será necesario realizar una nueva evaluación.

#### 6.1 Métodos para evaluar la Temperatura de Bulbo Húmedo en el ambiente laboral.

##### 6.1.1 Puntos de medición.

Los puntos de medición deben seleccionarse de tal manera que la ubicación de los instrumentos para la medición deben localizarse lo más cerca posible del trabajador considerando:

- a) Limitación de espacio de trabajo.
- b) Dificultad de la operación del trabajo.
- c) Exposiciones críticas repentinas.
- d) Desplazamientos o recorridos (amplios y/o cortos) siendo el número de puntos de edición función entre otros de:
- e) La distribución de los trabajadores con respecto a la maquinaria y área de trabajo.
- f) Del local del trabajo.
- g) Proceso de producción, etc.



Todos los puntos de medición de una zona de evaluación deben identificarse con un número progresivo y deben su posición en el plano del local o departamento.

#### 6.1.2 Instrumentación y equipo.

- a) Termómetro de globo ( $T_g$ ).
- b) Temperatura de Bulbo Húmedo ( $T_{bh}$ )
- c) Temperatura de Bulbo seco ( $T_s$ )
- d) Malla de algodón.
- e) Vaso de precipitado.
- f) Anemómetro.
- g) Gotero.
- h) Tripié de soporte para los termómetros (**figura 3**).

#### 6.1.3 Temperatura de Bulbo Húmedo ( $T_{bh}$ ) (termómetro de mercurio). Características de los instrumentos y equipo.

##### 6.1.3.1 Termómetro de Bulbo seco ( $T_s$ ) (termómetro de mercurio).

- a) Longitud de bulbo sensor del termómetro:  $30\text{mm} \pm 5\text{ mm}$ .
- b) Intervalo de medición: (10 °C a 60 °C c) exactitud de medición:  $\pm 1\text{ °C}$ .
- c) Diámetro externo del bulbo sensor del termómetro:  $6\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ .

##### 6.1.3.2 Termómetro de bulbo húmedo ( $T_{bh}$ ) (Termómetro de mercurio)

- a) Longitud de bulbo sensor del termómetro:  $30\text{mm} \pm 5\text{ mm}$ .
- b) Intervalo de medición: 5 a 40 °C.
- c) Exactitud de la medición  $\pm 5\text{ °C}$ .
- d) Diámetro externo del bulbo sensor del termómetro:  $6\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$



- c) El bulbo sensor del termómetro debe estar cubierto totalmente con una funda y/o malla blanca, de un material absorbente (de algodón u otro material con las mismas características de humectación).
- f) Longitud del termómetro cubierto por una funda y/o malla: 20 mm.
- g) La parte más baja de la funda debe estar sumergida en un recipiente con agua destilada. La longitud libre de la funda en el aire debe ser de 20 mm a 30 mm (como se indica en la figura 1).

#### 6.1.3.3 Termómetro de globo ( $T_g$ ).

Dispositivo que indica la temperatura, dentro de una esfera de cobre en cuyo centro se localiza el bulbo sensor del termómetro.

Características del termómetro de mercurio.

- a) Longitud del bulbo sensor del termómetro:  $30\text{mm} \pm 5 \text{ mm}$ .
- b) Diámetro externo del bulbo sensor del termómetro:  $6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$
- c) Espesor: menor o igual a 1 mm.
- d) Superficie exterior de la esfera: pintada de color negro mate.
- e) Coeficiente promedio de emisión: 0.95 (negro mate). (Como se indica en la figura 2).

Características de la esfera:

- a) Material de la esfera: cobre.
- b) Diámetro exterior: 150 mm.
- c) Espesor menor o igual a 1 mm.
- d) Superficie exterior de la esfera: pintada de color negro mate.
- e) Coeficiente promedio de emisión: 0.95 (negro mate). (Como se indica en la figura 2).



NOTA: En la aplicación de la presente Norma se pueden utilizar instrumentos de medición con termómetros con igual o mayor precisión a los citados en los puntos 6.1.3.1, 6.1.3.2 y 6.1.3.3.

#### 6.1.4 Calibración

- a) El termómetro de globo debe permanecer 30 minutos expuestos en el área de trabajo antes de efectuar la lectura.
- b) El termómetro de bulbo húmedo debe ser humedecido directamente con agua destilada, 30 minutos antes de efectuar las mediciones y dejando la malla de algodón inmersa en el agua destilada de tal manera que siga absorbiendo agua por capilaridad.

#### 6.1.5 Altura del equipo de medición.

- a) La colocación del equipo se hará a  $1.25 \text{ m} \pm 0.1 \text{ m}$ , en relación al plano de sustentación de los trabajadores. Esto es con el objeto de establecer una medición a la altura abdominal de los trabajadores, dentro de un ambiente con temperaturas elevadas.
- b) Cuando se utilice otra altura del equipo de medición, deberá informarse la razón.
- c) La altura seleccionada debe informarse en el registro de evaluación .

#### 6.1.6 Procedimiento

6.1.6.1 La evaluación debe realizarse como mínimo tres veces durante una jornada laboral de 8 h, y aquellas jornadas de periodos cortos de exposición que en condiciones normales de operación presenten condiciones térmicas elevadas.

##### 6.1.6.2 Ubicación de los puntos de medición

Cuando se ha determinado del reconocimiento inicial que las condiciones térmicas elevadas predominan durante toda la jornada de trabajo, deben efectuarse sólo tres



periodos de observación, siempre y cuando las características del proceso no cambien durante la jornada de trabajo.

6.1.7 Determinación de la Temperatura del Globo de Bulbo Húmedo.

6.1.7.1 Debe calcularse la Temperatura del Globo de Bulbo Húmedo por cada punto (o puesto evaluado) mediante la ecuación.

a) Si la medición se realiza en interiores o exteriores sin carga solar:

$$T_{gbh} = 0.7 T_{bh} + 0.3 T_g$$

b) Si la medición se realiza en exteriores con carga solar:

$$T_{gbh} = 0.7 T_{bh} + 0.2 T_g + 0.1 T_s$$

Donde:  $T_g$  = Temperatura de globo

$T_{bh}$  = Temperatura de bulbo húmedo

$T_s$  = Temperatura de Bulbo Seco

$T_{gbh}$  = Temperatura de Globo Bulbo Húmedo.

c) Debe evaluarse la velocidad del aire utilizando el anemómetro.

6.1.7.2 El valor de Temperatura de Globo Bulbo Húmedo y la velocidad del aire deben registrarse como se indica en la NOM - 015- STPS. Así como la zona y/o puesto evaluado.

6.1.7.3 Localización de los puntos evaluados. Una vez determinado el valor de la  $T_{gbh}$  los puntos de medición se deben marcar sobre el plano de distribución.

6.1.7.4 Determinada la Temperatura de Globo Bulbo Húmedo y la velocidad del aire, establecer el tiempo de exposición para cada área del centro de trabajo como se indica en la NOM - 015- STPS del Reglamento de Seguridad y Seguridad e Higiene en el Trabajo.



## 6.2 Método de evaluación personal.

En este método debe utilizarse en aquellos casos en los que se requiera determinar de una forma más específica la Temperatura de Globo Bulbo Húmedo ( $T_{gbb}$ ) y cuando las características del puesto del trabajo requieran que el trabajador realice sus actividades sentado y/o de pie, en un ambiente en que la temperatura se vea modificada.

Por lo que es necesario:

- a) Realizar un reconocimiento sensorial, como se indica en el campo 5.

6.2.1 Instrumentación y equipo. Debe utilizarse el indicado en el punto 6.1.2.3, 6.1.3, 6.1.3.1, 6.1.3.2 y 6.1.3.3.

### 6.2.2 Procedimiento.

Si el trabajador realiza sus actividades sentado y/o de pie (parado) las condiciones para la evaluación son conforme a los puntos 6.1.6.1, 6.1.6.2 y considerando lo siguiente:

- a) El punto inicial para colocar los instrumentos de medición debe hacerse a :

La región de los tobillos 0.10 m en relación al suelo y/o piso que sustente al trabajador en caso de estar sentado y/o de pie (parado).

- b) La siguiente medición se realiza, colocando el equipo de medición a la altura de:

La región abdominal a 0.60 m en relación al plano de sustentación del trabajador sentado y de 1.10 m si la actividad es desarrollada de pie.

- c) La tercera evaluación se efectúa fijando el equipo de medición a la altura de:





La región superior de la cabeza a 1.10 m en relación al plano de sustentación del trabajador sentado y de 1.70 m si está desarrollando sus actividades de pie (parado).

6.2.3 Una vez concluida la evaluación se registran los valores obtenidos y se aplican a los puntos 6.1.7 y 6.1.7.1. La siguiente ecuación, nos permite obtener el promedio del Índice de Temperatura de Globo Bulbo Húmedo ( $T_{gbh}$ ).

$$T_{gbh} = \frac{T_{gbh} \text{ cabeza} + (2 T_{gbh} \text{ abdomen}) + T_{gbh} \text{ tobillos}}{4}$$

6.2.4 Efectuado el promedio del nivel de Temperatura de Globo Bulbo Húmedo ( $T_{gbh}$ ) debe aplicarse al punto 6.1.6.2.

## 7. Bibliografía

7.1 Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

7.2 Norma ISO 7423 Hot Environments-Estimation of the Heat Stress on Working-man Based on the WBGT. Index (Wet Bulb globe Temperature).

7.3 Guide for assessing heat stress and strains. Prepared in June, 1971 by David Minard, M.D., Harwood, Belding, Ph.D.

7.4 Organización Mundial de la Salud. Evaluación de la sobrecarga térmica en el ambiente de trabajo.

7.5 B. Guelzer, Higienista Ocupacional. Oficina de Salud Ocupacional.

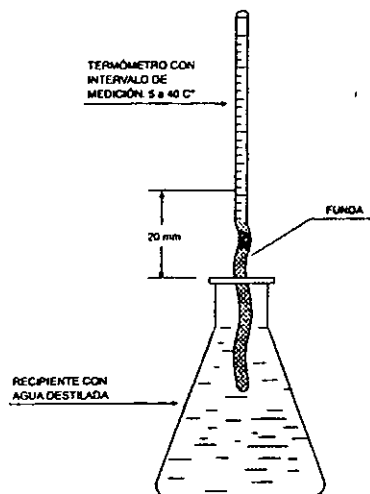


FIGURA 1. Termómetro de bulbo húmedo (tbh)

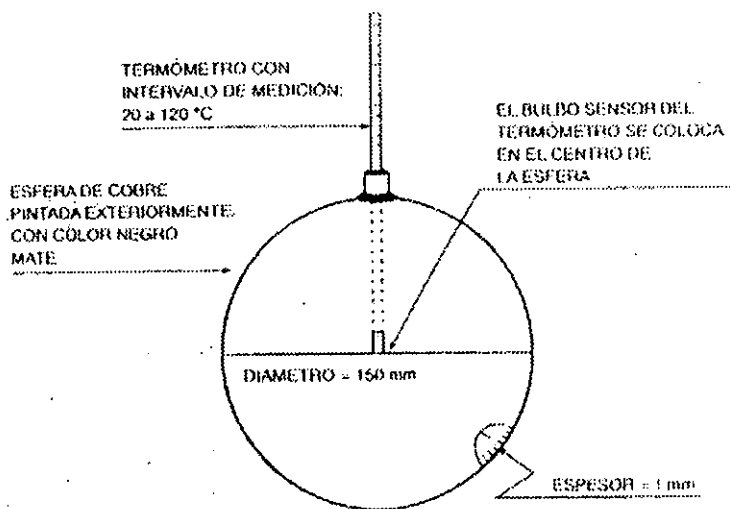


FIGURA 2. Termómetro de globo (tg)

# IX

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### CONCLUSIONES

1. El cuidado de la salud del trabajador es un derecho social, por lo tanto los empresarios están poniendo especial énfasis en este aspecto, prueba de ello es que se está tomando en cuenta la protección de la salud del trabajador.
2. Como consecuencia de lo anterior el estudio del medio ambiente de trabajo ha cobrado importancia e incluso se ha desarrollado una legislación al respecto.
3. Como resultado de los dos puntos anteriores el Ingeniero Químico debe tomar en cuenta el medio ambiente laboral desde el momento que se selecciona el proceso y se diseña la planta desde la operación, mantenimiento hasta su desmantelamiento.
4. Para poder detectar, evaluar y controlar el ambiente de trabajo se divide en cuatro grandes factores que son físicos, químicos, biológicos y ergonómicos que todos ellos deben ser tomados cuenta para el diseño de proceso.
5. Dentro de los factores físicos del medio ambiente de trabajo se encuentran los ambientes térmicos que aparentemente no son muy tomados en cuenta en el diseño de las plantas de proceso pero que pueden afectar notablemente la salud del trabajador.



### Evaluación de Ambientes Térmicos en la Industria

6. El control de los ambientes se debe de tener presente que es un fenómeno que involucra dos operaciones unitarias Transferencia de Energía y Transferencia de Masa, y en consecuencia se requiere la correcta evaluación de ella para proporcionar el control térmico a los trabajadores.
7. Entre los métodos para controlar el Ambiente Térmico tenemos los sistemas de ventilación, calefacción ó aire acondicionado por lo que su diseño debe ser tomado como parte de la Ingeniería de Proyectos.
8. En Ambientes con Stress Térmica elevados se deben de diseñar y acondicionar las áreas de descanso para los trabajadores y mantener un monitoreo continuo sobre las condiciones del medio ambiente.
9. De igual forma se debe de supervisar que los alimentos y bebidas sean los apropiados para reponer la energía y electrolitos perdidos durante la realización de sus labores.
10. Es importante establecer programas de aclimatamiento para el personal que labore en estas áreas, así como la supervisión médica periódica a fin de detectar cualquier posible riesgo para su salud.
11. Por último y de igual importancia es la selección y uso de Equipo de Protección Personal apropiado al ambiente. Ya que se cuenta con la tecnología adecuada para proteger al trabajador, así como se permitió llegar al ser humano a la Luna.



## RECOMENDACIONES

1. - Se recomienda que el Ingeniero Químico en el momento de diseñar no escatime en gastos en lo que se refiere a sistemas de acondicionamiento de aire para poder controlar, aislar eliminar y proteger los riesgos que surjan de las diferentes actividades industriales
2. - Es muy importante que el ambiente laboral sea confortable para la gente que labora pues todos hemos experimentado la pérdida de interés en el trabajo mental cuando hay alta temperatura y humedad, el trabajo físico bajo tales condiciones no es imposible si la mente accede.

Aunque mucha gente advierta la existencia de una correlación entre bienestar térmico y la actividad mental, no es fácil demostrar la pérdida de eficiencia fisiológica o psicológica bajo la influencia de condiciones algo más bajas o altas de un ambiente laboral confortable sobre todo en Ambientes Térmicos de temperatura elevada y abatida.

3. - Por consiguiente, el ingeniero de diseño no debe pretender justificar gastos para el sistema de ventilación sobre la base de eficiencia fisiológica, porque los resultados son altamente impredecibles.
4. - Así también las áreas de descanso deben estar perfectamente acondicionadas para que los trabajadores puedan recuperarse de las exposiciones a las temperaturas elevadas y abatidas y entonces poder regresar a sus labores sin problemas de deshidratación para temperaturas elevadas o con síntomas de hipotermia para temperaturas abatidas.



5. – Es recomendable que los alimentos que se otorguen en el comedor, debido a que el trabajo en las áreas frías causa una pérdida significativa de agua a través de la piel y pulmones como resultado de una sequedad del aire. Es esencial incrementar el consumo de líquidos para evitar la deshidratación. Los centros de trabajo deben contar con un comedor para que los trabajadores puedan reemplazar los fluidos y energía calorífica perdidos, con bebidas que no contengan alcohol o café; sin embargo, no debe faltar azúcar y sopa caliente

Entonces, para trabajadores expuestos ambientes calientes es importante reemplazar el agua pérdida por el sudor; progresivamente se pierde agua como resultado de una producción baja de sudor y correspondiente a un incremento de temperatura del cuerpo.

Entonces se recomienda proporcionar con los alimentos una solución rica en electrolitos, para que los trabajadores recuperen la sal pérdida así como bastantes líquidos.

No es recomendable usar tabletas de sal, pues las tabletas de sal causan irritación estomacal, pudiendo causar náuseas y vómitos.

Así, para ambos casos no es recomendable el consumo de alcohol o la adicción a las drogas, pues estas disminuyen la tolerancia a cualquiera de las dos condiciones térmicas.

6. - El Equipo de Protección Personal, es de suma importancia entonces se recomienda para:



### **Ambientes térmicos abatidos**

La parte más importante a proteger son los pies, manos, cabeza y cara. Es recomendable usar ropa de algodón pues ayuda a eliminar el sudor, la ropa ajustada o fabricada sintéticamente interfiere con la transpiración.

La ropa recomendada puede ser una camisa de algodón y calzoncillos o por dentro unos calzoncillos de algodón y ropa interior térmica.

También es recomendable usar ropa interior de lana, si es necesario pueden usar dobles calcetines para evitar el enfriamiento de los pies. No debemos olvidar usar bufanda donde la velocidad del viento frío es alta.

No se recomienda el uso de cinturones pues estos contraen y reducen la circulación.

### **Ambientes térmicos elevados**

La ropa para los trabajadores es sumamente importante en el control de calor. El trabajo con alta radiación necesita prendas de vestir reflejante, una radiación extrema y la exposición al calor convectivo requiere un aislamiento especial para el mecanismo de enfriamiento. El equipo de protección personal es usado cuando una persona permanece expuesta por largos periodos de tiempo en el calor lo que causaría golpe de calor.

El equipo de protección adecuado para varios de estos trabajos es un enfriamiento sencillo esencialmente cuando los trabajadores sufren insolación por el ambiente en que se encuentran. Los medios de enfriamiento pueden ser aire (especialmente aire enfriado, el tubo de vortex o agua fría).



Los trajes de enfriamiento por aire y capuchas distribuyen el enfriamiento del aire en la piel son evaluables, el intercambio de calor total y el poder de enfriamiento de aire en los trajes es función del enfriamiento de la temperatura del aire. Pero el intercambio de calor total y el poder de enfriamiento incrementa la velocidad de flujo de aire y disminuye el incremento de enfriamiento en la temperatura.

Así mismo los chalecos contienen bolsas de hielo con 72 paquetes de hielo, cada paquete tiene una superficie aproximada de un área de  $64 \text{ cm}^2$  y contiene cerca de 46 g de agua, estos paquetes de hielo son generalmente asegurados con cinta. Es provisto el enfriamiento para cada individuo por bolsas de hielo con el tiempo y enfriado por presión al contacto con la superficie del cuerpo, afecta el calor por el enfriamiento de ropa y ambiente.

Para ambientes térmicos elevados o abatidos se recomienda el uso de trajes aluminizados ya que interfiere en la propagación de ondas electromagnéticas y sirve perfectamente para ambos casos.

7. - La aclimatación es tal vez de todos un factor muy importante así entonces para:

#### **Ambientes Térmicos abatidos.**

Con una suficiente exposición al frío, el cuerpo experimenta algunos cambios que incrementan el confort y reducen el riesgo sufrido al frío. De tal modo, que los cambios fisiológicos son usualmente menores y requieren de repetidas exposiciones al frío para ocasionar inconformidad. La gente que es incapaz de aclimatarse con facilidad son los ancianos, obesos quienes consumen medicamentos o son adictos a las drogas y el alcohol..





### **Ambientes Térmicos Elevados.**

La aclimatación es otra manera de reducir el agotamiento por calor.

Los nuevos empleados o los que regresan de vacaciones necesitan un tiempo para aclimatarse a las condiciones de calor en el trabajo. Pero las labores fijas y el calor requieren que el cuerpo cambie como resultado de una aclimatación, trabajando en el calor cerca de dos horas por día por una semana o dos resultará una completa aclimatación con la combinación de la tensión de trabajo. Un trabajador que trabaja por primera vez en ambientes cálidos debe tener una aclimatación de por lo menos cinco días incrementando el calor comenzando con una exposición del 20% diario hasta llegar al 100%



ANEXO A

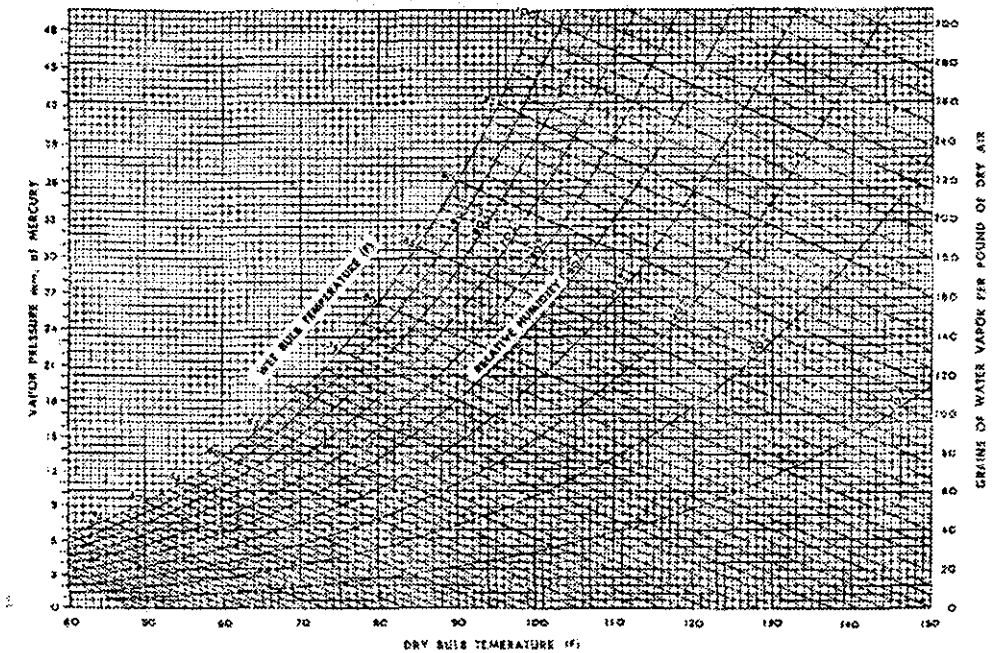


Figura 1 Diagrama psicrométrico

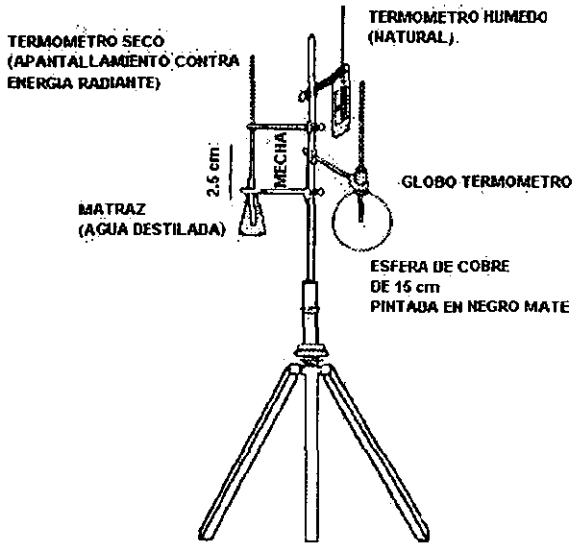


Figura 2. Esquema de montaje de termómetro de globo. Se muestra cómo se puede armar un aparato para medir el estrés calórico de los trabajadores en el medio ambiente.



Tabla 6-5

Velocidad del viento en Km/h	Temperatura real en el termómetro °C									
	10	4	-1	-7	-12	19	-23	-29	-34	-40
Calma	10	4	-1	-7	-12	-19	-23	-29	-34	-40
8	9	3	-3	-9	-14	-20	-26	-32	-38	-43
16	4	-2	-9	-16	-23	-29	-36	-43	-50	-57
24	2	-6	-13	-21	-28	-38	-42	-50	-58	-65
32	0	-8	-16	-23	-32	-39	-47	-55	-68	-70
40	-1	-9	-18	-26	-34	-42	-50	-59	-67	-75
48	-2	-11	-19	-28	-36	-44	-53	-61	-70	-78
56	-3	-12	-20	-29	-37	-45	-55	-63	-72	-80
54	-3.5	-12	-21	-29	-38	-48	-56	-65	-73	-82
Superior 64 Km/h (poco efecto adicional)	PELIGRO ESCASO (para una persona adecuadamente vestida)			AUMENTO DE PELIGRO (peligro de congelación en las zonas expuestas)				GRAN PELIGRO		

Los valores de temperatura contenidos en la tabla, están dados en grados Celsius, las velocidades en km/h. El uso de la presente tabla lleva como fin, el determinar el aislamiento para proteger el cuerpo de la persona que desempeña el trabajo de acuerdo a la temperatura que resulte de correlacionar la velocidad del aire con la Temperatura de Bulbo Seco.



Tabla 1

Límites de exposición a condiciones térmicas ambientales elevadas y periodo de recuperación

Régimen de trabajo	Tipo de trabajo		
	ligero	moderado	pesado
Trabajo continuo Exposición de 8 horas por día Semana de 48 horas	30	26.7	25.0
75 % De exposición 25 % de recuperación en cada hora	30.6	28.0	25.9
50 % de exposición 50 % de recuperación en cada hora	31.4	29.4	27.9
25 % de exposición 75 % de recuperación en cada hora	32.2	31.1	30.0



## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Aplicando la química. Tercer curso para las escuelas de educación secundaria.  
Ramón Domínguez Betancourt  
Ramón López Caceres  
Ed. Herrero S.A.  
1980.
- 2.- ACGIH for 1991  
TLV's " Threshold Limit Values for Physical"  
Agents adopted by ACGIH for 1991.
- 3.- Bioquímica  
Lubert Stryer  
4° edición 1993  
Ed. Reverté
- 4.- Bioquímica  
Lenhinger Albert L.  
Ediciones Omega S.A/ Barcelona  
1982.
- 5.- Bioenergética  
Albert. L. Lenhinger  
Ed. Fondo educativo interamericano  
1986.
- 6.- Fisiología  
R. Berne M. Levy  
Ed. Mosby / Doyma Libros
- 7.- Fisiología humana  
A.C Guyton  
6<sup>ta</sup> Edición  
Mc Graw Hill
- 8.- Fisiología y fisiopatología  
Guyton  
5<sup>a</sup> Edición  
Ed. Interamericana  
Mc Graw-Hill



- 9.- Fisiología Médica  
15° Edición 1992  
William Ganong  
Manual Moderno S.A. de C. V.
- 10.- Fisiología práctica del trabajo  
Lehman Gunther  
Ed. Aguilar, Madrid  
1960.
- 11.- Fundamentos de Transferencia de Momento de Calor y Masa  
James Robert Welty  
Ed. Limusa  
Noriega editores  
4<sup>a</sup> impresión 1991.
- 12.- Fundamentos de Transferencia de Calor y Masa  
James Robert Welty  
Ed. Limusa 1991.
- 13.- Fundamentals of Industrial Hygiene  
Occupational Safety and Health Series  
Barbara A. Plog, MPH, CIH, CSP  
George S. Benjamin, MP, EACS  
Third Edition  
Ed. National Safety Council.
- 14.- Heat Transfer  
J. P Holman  
Compañía la editorial Continental S.A de C. V. México  
4<sup>ta</sup> impresión 1991
- 15.- Higiene y Seguridad Industrial  
Humberto Lazo Cerna  
Ed.
- 16.- Introducción a la Higiene Industrial  
"Blomfield"  
Santiago de Chile, Sud- América  
1963.



- 17.- Las necesidades energéticas del ser humano  
[www.maicnet.com.mx](http://www.maicnet.com.mx)
- 18.- Manual de Higiene Industrial  
Fundación Mapfre
- 19.- Manual de Ingeniero Químico  
Robert H. Perry  
Tomo III  
6<sup>ta</sup> edición 1996  
Mc Graw- Hill
- 20.- Monitoring for Health Hazards at work  
Indira Ashton  
Frank. S. Gill  
2<sup>da</sup> Edición 1992  
Blackwell scientific publications
- 21.- NOM-015-STPS-1994  
Relativa a la exposición laboral de las condiciones térmicas  
elevadas o abatidas en los centros de trabajo.
- 22.- Operaciones de separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química  
Henley  
Ed. Reverté
- 23.- Operaciones de Transferencia de masa  
Robert E. Treybal  
2<sup>da</sup> Edición  
Mc Graw-Hill
- 24.- Principios de Anatomía y Fisiología  
Tartora Grabowsky  
7<sup>ma</sup> Edición  
Ed. Harcourt
- 25.- Principios de Transferencia de Calor  
Frank Kreith  
Inter. Educational Publishers  
3<sup>ra</sup> Edición 1973





- 26.- Principios de Termodinámica para el Ingeniero Químico  
John R. Howell  
Richard O. Buckius  
Mc Graw-Hill 1990
- 27.- Procesos de Transferencia de calor  
Por Donald Kern  
Vigésimo sexta reimpresión 1995  
Continental S.A de C.V México.
- 28.- Problemas de transferencia de calor  
Antonio Valiente Barderas  
Noriega Editores  
Ed. Limusa  
1° edición 1988.
- 29.- Seguridad e Higiene en la Industria y el Comercio  
con las Nuevas Normas oficiales  
Eduardo Aguirre Martínez  
Ed. Trillas
- 30.- Seguridad e Higiene Profesional con las normas comunitarias europeas y  
norteamericanas  
José María de la Poza  
Edición 1990  
Paraninfo Madrid
- 31.- Simulación de la regulación de la temperatura en  
el cuerpo humano  
Gloria Alvarez Romero  
Ana maría Ibarra Gutierrez  
1986
- 32.- Termodinámica  
Serie de compendios Shaum  
Teoría y problemas de termodinámica  
Abbott Michael. Mabbot ph. D  
Libros de Mc Graw-Hill
- 33.- Transferencia de Calor  
José A. Manrique  
Harla Harper and raw latinoamericana



1981

- 34.- Transferencia de Calor  
Ingeniería Química  
Volumen 4  
Costa Novella  
Ed. Alambra  
Primera Edición 1986
  
- 35.- Transmisión de Calor  
William H. Mc Adams  
3<sup>ra</sup> Edición 1964  
Mc Graw-Hill book Company. Inc
  
- 36.- Transferencia de Calor  
J.P Holman  
Ed. CECSA  
1986