



**NORA ESCOBAR**  
**JULIO CÉSAR NEFFA**  
**VÍCTOR VERA PINTO**

# **RIESGOS DEL MEDIO AMBIENTE FÍSICO DE TRABAJO**

**¿perder la salud para  
ganarse la vida?**

**ASOCIACIÓN TRABAJO Y SOCIEDAD  
PIETTE - CONICET**

Riesgos del medio ambiente físico de trabajo:  
¿perder la salud para ganarse la vida?

**Corrección:** Graciela Torrecillas  
**Diseño y diagramación:** Irene Brousse  
**Escaneado de gráficos y figuras:** Pablo Almada Rodríguez  
**Cuidado de la edición:** Irene Brousse  
Héctor Cordone  
Isabel Mac Donald

*Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo de la Fundación Friedrich Ebert, el CCFD y el Servicio Cultural, Científico y de Cooperación de la Embajada de Francia en Argentina.*

© Asociación Trabajo y Sociedad, 1997

ISBN 987-95170-1-6

Prohibida la reproducción total o parcial en cualquier forma

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

Impreso en Argentina

NORA ESCOBAR  
JULIO CÉSAR NEFFA  
VÍCTOR VERA PINTOS

**RIESGOS DEL  
MEDIO AMBIENTE  
FÍSICO DE TRABAJO:  
¿perder la salud para  
ganarse la vida?**

PIETTE- CONICET  
ASOCIACIÓN TRABAJO Y SOCIEDAD

# Índice

¿Se pierde la salud trabajando para ganarse la vida? Presentación de la concepción dominante y una visión alternativa en materia de condiciones y medio ambiente de trabajo (CyMAT) - JULIO CÉSAR NEFFA ..... 7

## Riesgos del medio ambiente físico de trabajo - NORA ESCOBAR, VÍCTOR VERA PINTOS

<b>I. Carga térmica</b> .....	33
1. Introducción .....	33
2. Aspectos físicos .....	34
2.1. Recomendaciones iniciales .....	34
2.2. Magnitudes climáticas - Instrumental - Formas de evaluación .....	34
3. Aspectos biológicos .....	44
3.1. Introducción .....	44
3.2. Mecanismos de formación y pérdida de calor .....	45
3.3. Mecanismo de termorregulación .....	46
3.4. Respuesta fisiológica a la carga por calor .....	47
3.5. Mecanismos de adaptación o aclimatación .....	48
3.6. Efectos adversos del calor sobre el hombre .....	51
3.7. El trabajo en ambientes fríos .....	52
3.8. Aclimatación al frío .....	55
4. Condiciones de confort térmico .....	55
4.1. Conceptos básicos .....	55
4.2. Límites de tolerancia al calor .....	60
5. Medidas de protección contra la carga por calor .....	72
5.1. Medidas preventivas sobre el trabajador. Examen médico .....	72
5.2. Medidas de protección contra la carga térmica .....	73
5.3. Elementos de protección personal .....	75
5.4. Medidas organizativas .....	77
6. Protección contra la carga por frío .....	78
6.1. Introducción .....	78
6.2. Climatización ambiental .....	78
6.3. Medidas organizativas, pausas de recuperación .....	78
6.5. Elementos de protección personal .....	79
7. Apéndice .....	83
7.1. Cálculo de las presiones de saturación de vapor de agua .....	83
Glosario técnico .....	85
<b>II. Carga acústica</b> .....	87
1. Concepto de sonido .....	87
1.1. Sonido .....	87
1.2. Definición .....	87
2. Conceptos físicos .....	88
2.1. Longitud de onda .....	90
2.2. Frecuencia .....	90
2.3. Presión sonora .....	91
3. El sentido de la audición .....	92
3.1. Fundamentos anatómicos y fisiológicos .....	92
4. Percepción del sonido .....	102
4.1. Introducción .....	102
4.2. Percepción de la presión sonora .....	102
4.3. Sonidos puros .....	103
4.4. Representación gráfica del grupo de audición .....	103

5. Magnitudes psicofisiológicas .....	105
5.1. Sonoridad .....	105
5.2. Altura .....	107
5.3. Timbre .....	107
6. Evaluación del ruido en el ambiente laboral .....	108
6.1. Concepto de ruido .....	108
6.2. Análisis de frecuencias .....	108
6.3. Ponderación del ruido en forma global .....	109
6.4. Instrumentos para la evaluación de la exposición al ruido .....	110
6.5. Nivel sonoro continuo equivalente .....	111
7. Datos de un informe sobre ruidos .....	113
8. Consecuencias del ruido sobre el ser humano .....	113
8.1. Consecuencias inespecíficas .....	114
8.2. Consecuencias específicas .....	115
8.3. Otros efectos .....	118
9. Medidas de control y prevención .....	121
9.1. Medidas técnicas .....	121
9.2. Elementos de protección personal .....	122
9.3. Examen médico .....	124
10. Aspectos legales .....	127
Glosario técnico .....	129
<b>III. Vibraciones mecánicas e impacto .....</b>	<b>131</b>
1. Introducción .....	131
2. Fundamentos físicos .....	131
2.1. Conceptos básicos .....	131
2.2. Tipos de vibraciones .....	132
3. Fundamentos biológicos .....	134
3.1. Percepción de las vibraciones (anatomía-fisiología) .....	134
3.2. Consecuencia de las vibraciones sobre el hombre .....	136
4. Medición de las vibraciones .....	145
4.1. Objetivos .....	145
4.2. Puntos de medición .....	145
4.3. Sensores .....	146
4.4. Amplificadores, registradores y transmisores telemétricos .....	144
5. El hombre como sistema vibratorio .....	147
5.1. Tipos de sistema vibratorio .....	147
5.2. Modelo "masa-resorte - amortiguador" para el hombre .....	148
6. Evaluación objetiva de las vibraciones .....	148
6.1. Evaluación objetiva .....	148
6.2. Evaluación subjetiva .....	148
6.3. Evaluación de los efectos de la vibración .....	149
6.4. Descripción cuantitativa del efecto vibratorio, factor K .....	149
7. Medidas de protección .....	155
7.1. Medidas técnicas .....	155
7.2. Medidas organizativas .....	155
7.3. Elementos de protección personal .....	155
7.4. Límites recomendados .....	155
8. Apéndice de vibración .....	156
Glosario técnico .....	157

<b>IV. Iluminación</b>	159
1. Fundamentos físicos	159
1.1 Producción de la luz	159
1.2. Magnitudes luminotécnicas y métodos de medición	160
2. Fundamentos biológicos	168
2.1. Percepción visual	168
2.2. Aparato de la visión	168
2.3. Propiedades del aparato visual	172
2.4. Campo visual	174
2.5. Visión espacial	177
2.6. Visión de profundidad	177
2.7. Visión cromática	177
2.8. Capacidad visual	178
2.9. Alteraciones del aparato visual	179
2.10. Evaluación de la capacidad visual	180
3. Técnicas de iluminación y su relación con la fisiología de la vista	181
3.1. Objetivos	181
3.2. Condiciones mínimas	181
3.3. Relación entre cantidad de luz y rendimiento laboral	181
4. Recomendaciones	182
Glosario técnico	185
<b>V. Radiaciones electromagnéticas</b>	187
1. Introducción al concepto de radiaciones electromagnéticas	187
2. Radiaciones no ionizantes	189
2.1. Definición	189
2.2. Efecto de las radiaciones no ionizantes sobre el hombre	189
2.3. Descripción de las distintas radiaciones no ionizantes, aparatos no ionizantes, aparatos de medición y medidas de protección	194
3. Radiaciones ionizantes	199
3.1. Definición	199
3.2. Efecto de las radiaciones ionizantes sobre el hombre	199
3.3. Descripción de las distintas radiaciones ionizantes, aparatos de medición y medidas de protección	202
Glosario técnico	214
<b>VI. Condiciones hipo e hiperbáricas</b>	215
1. Conceptos básicos	215
2. Fundamentos físicos	216
3. Consecuencias sobre el ser humano	217
3.1. Condiciones hiperbáricas	217
3.2. Condiciones hipobáricas	221
4. Medidas preventivas	223
Glosario técnico	224
Referencias bibliográficas	225
Glosario de términos médicos	227
Índice analítico	229

# Prefacio

La Asociación Trabajo y Sociedad y el PIETTE del CONICET tienen la satisfacción de ofrecer a los lectores esta publicación, que es el fruto de un largo esfuerzo de reflexión, de intercambios y de cooperación.

Como resultado de la cooperación establecida desde 1984 entre el PIETTE y el CEIL del CONICET y por otra parte el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de la Nación, durante un lustro se desarrolló en nuestro país una experiencia original de diagnóstico de las condiciones y medio ambiente de trabajo (CYMAT), con un enfoque multidisciplinario e integrado, siguiendo de cerca las pautas del Programa PIACT de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), operando a través de equipos constituidos por investigadores científicos y profesionales del CONICET, médicos del trabajo, ingenieros laborales o de higiene y seguridad, ergónomos, y contando con la experiencia de empresarios y sindicalistas involucrados en el mejoramiento de las CYMAT, a lo cual se sumó el saber hacer acumulado por los funcionarios de la entonces Dirección Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo.

Una de las demandas más frecuentemente expresada en ese entonces por docentes de instituciones universitarias y terciarias, representantes empresarios y de las organizaciones sindicales que participaron en dichas actividades, fue la de poder disponer de manuales que, con una base científica y objetiva transmitieran conocimientos que fueran útiles para comprender las causas de los riesgos profesionales y sus efectos sobre la vida y la salud de los trabajadores, con la finalidad de llevar a cabo acciones sistemáticas de prevención.

Para concretar tal emprendimiento, el PIETTE y el CEIL construyeron las bases conceptuales con el fin de formular una nueva concepción teórica acerca de las CYMAT y, juntos con la



Asociación Trabajo y Sociedad, recurrieron a dos profesionales ampliamente conocidos en nuestro medio para exponer los riesgos del medio ambiente físico de trabajo, sus efectos sobre los seres humanos en situación de trabajo, indicando en cada caso las medidas de prevención más adecuadas. Nora Escobar, egresada como médica de la Facultad de Ciencias Médicas de la UBA, graduada luego en el país como Oncóloga en la Universidad del Salvador, y en Alemania como Especialista en Estudios del Trabajo en el Instituto para Estudios del Trabajo y Organización de Empresas (REFA de Alemania) y como Médica del Trabajo en la Academia de Medicina del Trabajo de la Universidad Libre de Berlín. Por su parte, Víctor José Vera Pinto es Ingeniero Metalúrgico egresado de la UTN Facultad Regional Buenos Aires, con estudios de Posgrado en el Instituto para el Estudio del Trabajo y de Organización de Empresas (REFA) de Darmstad, Alemania, habiéndose especializado en temas de ergonomía.

Ambos tienen una larga experiencia como docentes en cursos de grado y de posgrado de la Universidad de Buenos Aires y de la Universidad Tecnológica Nacional, así como en cursos de especialización dirigidos a Colegios profesionales, empresarios y trabajadores.

Una vez concluida la primera versión de este manual, el texto fue sometido a la discusión, primero de los investigadores y profesionales del PIETTE y del CEIL, de funcionarios de la DNHyS del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, y posteriormente a varios grupos de dirigentes y delegados pertenecientes a ciertas organizaciones sindicales que a pesar de sus diversas orientaciones políticas e ideológicas tenían en común su fuerte compromiso con el mejoramiento de las condiciones y medio ambiente de trabajo. Las más activas fueron, por orden alfabético las siguientes: Asociación Bancaria Seccional Buenos Aires, Asociación Obrera Minera Argentina (AOMA), Asociación de Trabajadores del Estado (ATE), Federación de Obreros y Empleados Telefónicos (FOETRA), Sindicatos Buenos Aires y La Plata, Sindicato Buenos Aires de Luz y Fuerza, Sindicato de Mecánicos y Afines del Transporte Automotor (SMATA), Unión Obrera Metalúrgica (UOM) Seccionales La Plata y San Nicolás, Unión del Personal Civil de la Nación (UPCN), Seccional Capital Federal.

Nora Escobar y Víctor Vera Pinto tomaron en consideración las críticas y las sugerencias formuladas y redactaron bajo su responsabilidad la versión definitiva. Posteriormente noso-

tros incorporamos un capítulo introductorio referido a la noción renovadora de CYMAT para servir de marco de referencia, con el propósito de señalar que los riesgos del trabajo no pueden reducirse solamente a los del medio ambiente físico, a pesar de que sin duda son los más evidentes.

El desarrollo de estas actividades fue posible gracias al decidido apoyo brindado por el CREDAL (Unidad Mixta de Investigación del CNRS y de la Universidad de París III), por intermedio del Servicio de Cooperación Cultural, Científico y Tecnológico de la Embajada de Francia en Argentina, y a la solidaridad internacional brindada por una central sindical francesa, la CFDT, y por dos ONG europeas: el CCFD francés, y la Fundación Friedrich Ebert de Alemania. A todos ellos hacemos público nuestro sincero agradecimiento.

El PIETTE y Trabajo y Sociedad ofrecen este producto del esfuerzo colectivo, en primer lugar a delegados y militantes de las organizaciones sindicales mencionadas y por extensión a los del resto de sindicatos, pero también a los responsables de los servicios de Higiene, Seguridad y Medicina del Trabajo que cumplen funciones de información y formación dentro de las empresas y organizaciones, así como a los docentes y alumnos de las instituciones de educación tecnológica.

La tarea de mejorar las condiciones y medio ambiente de trabajo requiere información, conocimientos, una actividad que se prolongue en el tiempo y cumpliendo ciertas reglas, pero no es un resultado automático; no puede tener éxito sin el compromiso de todos los interlocutores sociales contando con el apoyo de los profesionales y técnicos involucrados en la lucha por un trabajo más humano. Para contribuir a lograrlo es que se edita esta obra.

Dr. Julio César Neffa  
Director del PIETTE-CONICET

# ¿Se pierde la salud trabajando para ganarse la vida?

**Presentación de la concepción dominante y una visión alternativa en materia de condiciones y medio ambiente de trabajo (CyMAT)**

**Julio César Neffa**

## **Introducción**

Se trata de un tema controvertido, debido no sólo a la complejidad del problema, sino a sus relaciones estrechas con la salud, implicancias salariales (reconocidas, olvidadas, negadas), repercusiones económicas de las medidas de prevención y de reparación sobre los costos, y los conflictos sociales que pueden emerger. A esto se agrega el incremento de las demandas sociales por una mejor educación y las políticas de evaluación que, de manera directa o indirecta, ponen a los docentes en el centro de la escena.

Para comprender mejor su significación, es útil establecer una tipología compuesta por dos concepciones extremas que están históricamente vigentes, pero reconociendo que ninguna de ellas se puede encontrar en "estado puro". En la mayoría de los casos nos hallamos enfrentados a procesos de transición, aunque no siempre vayan en "la buena dirección". En el anexo se incluye un listado (no exhaustivo) de los principales trabajos realizados en nuestro país sobre este tema.

## I.- El enfoque tradicional

El trabajo se ve no solamente como una necesidad para la reproducción de la especie, sino como una obligación y un deber social, producto de un castigo resultante de una falta que habría sido cometida originalmente por nuestros antepasados y que la humanidad, incluso redimida, debería portar hasta su desaparición.

El ámbito de acción de los riesgos y las relaciones causales entre el trabajo y la salud se limitaban al establecimiento u organización, dejando de lado la influencia del contexto global económico, social y político.

Los enfoques positivistas que florecieron en el siglo XIX estaban impregnados de un materialismo reduccionista; esa filosofía fue la predominante en las fases de la manufactura y de la fábrica que siguieron a la revolución industrial. Bajo su influencia, los sectores dominantes percibían de hecho al trabajador, única o principalmente, como un factor de producción compuesto esencialmente por sus dimensiones físicas y biológicas o, dicho de manera brutal, como una simple fuerza física de trabajo. Perdiendo de vista la profunda significación de la igualdad de derechos y deberes de todos los "individuos", la especie humana fue vista como un conjunto de seres individuales esencialmente homogéneos, entre los cuales no había desde el nacimiento más diferencias sustanciales que la riqueza familiar, la edad y el sexo. Esos postulados convenían a los responsables del proceso de producción, quienes para hacer sus cálculos sobre la utilización de la fuerza productiva de su personal, postulaban la existencia, al menos estadísticamente, de un "trabajador promedio" a cuya norma todos debían adaptarse.

Por consiguiente, la actividad laboral se concebía centrada en el trabajo directo y manual, que aplicaba su fuerza física para transformar los objetos de trabajo. Los riesgos inherentes al proceso de trabajo vistos de esa manera, se limitaban a los que tradicionalmente se denominan "higiene y seguridad", dejando en un segundo plano o simplemente eliminando, los problemas relativos a las condiciones de trabajo y una vasta franja de problemas vinculados con la salud. Cada trabajo implicaba necesariamente uno o varios riesgos para la salud de los operarios, riesgos que eran inherentes e indisociables de la actividad, y debían ser aceptados, dado el origen histórico (la culpabilidad) que habría determinado la obligación y la necesidad de trabajar. De allí la negociación entre em-

pleadores y trabajadores para fijar un precio monetario de la consecuencia de dicho riesgo sobre la salud, mecanismo mercantil de compensación que adoptó la forma de las primas por riesgo bajo sus múltiples modalidades que aún perduran (presentismo, incrementos salariales por trabajo nocturno, trabajo por turnos u horas extraordinarias, compensación por trabajo en altura, sometido a ruidos molestos, a altas o bajas temperaturas, o a radiaciones, etc.)

El predominio cultural de la concepción taylorista del proceso de trabajo llevaba a identificar y analizar cada trabajo y tarea por separado (y por consiguiente, cada uno de los riesgos de manera individual y desconectada, absteniéndose de tener una concepción global, de conjunto e integrada de los mismos). La mal llamada "organización científica del trabajo" implicaba la necesidad de dividir social y técnicamente las labores y asignar a cada uno de los trabajadores, concebidos de aquella manera, una tarea simple con un ciclo operatorio muy corto, prescripta hasta en sus mínimos detalles, objetivada en manuales de organización y métodos o en normas de trabajo, controladas de cerca por supervisores o capataces, sin dejar un gran espacio para la expresión de la subjetividad, la aplicación de los saberes adquiridos y el encauzamiento de la creatividad. Ese era el trabajo que los ergónomos europeos denominan "prescripto", por oposición a la actividad realmente ejecutada.

Para esta concepción sólo cuenta el riesgo que tiene una existencia física, es decir lo que se puede medir por alguien extraño al trabajador, y con la ayuda de instrumentos, en razón de su carácter objetivo. Y para hacerlo, cada disciplina científica tiene que dotarse de sus propios equipos y metodologías, que no son reducibles a las demás, y resisten los enfoques pluri o multidisciplinares.

Por el contrario el trabajo no-manual, era visualizado como una tarea de concepción propia de la dirección de la empresa o de la gerencia, que tenía a su cargo la función de dirigir, controlar y evaluar el trabajo de los demás.

Las necesidades urgentes de la producción y de la valorización llevaban a concentrar la atención del proceso productivo -y consiguientemente de las condiciones en que se ejercía la actividad laboral- en la situación presente y cotidiana, sin buscar en el pasado (en la memoria de los actores que habían sido víctimas o simplemente espectadores) los antecedentes de los incidentes o accidentes contemporáneos y sin proyectar el análisis hacia el futuro con finalidades de prevención. Esa concepción estrecha de la produc-

ción llevaba a concentrar la atención exclusivamente sobre el establecimiento, es decir a privilegiar las dimensiones micro-económicas, sin ver las relaciones entre ese nivel y el meso o macro-económico. Actuando así, se privaban de las posibilidades de comprender plenamente las causas y condicionamientos exógenos de los problemas identificados al nivel de los puestos de trabajo.

Desde dicha perspectiva los accidentes y enfermedades profesionales adoptaban el carácter de hechos fatales, imprevisibles, determinados necesariamente por la tecnología y la naturaleza misma del trabajo, ante lo cual solamente cabía lamentarse con resignación y prever las indemnizaciones para reparar "ex-post" el daño. Frente a los accidentes o enfermedades profesionales se esgrimían dos argumentos: por una parte la propensión natural a accidentarse o a enfermarse que tenía cada individuo desde su nacimiento y, por otra parte, la responsabilidad y culpabilidad de quienes eran alcanzados por los riesgos. Quienes organizaban el proceso de trabajo y de producción quedaban así exentos de responsabilidad, ante el determinismo y/o la negligencia.

Para modificar las deficientes condiciones de higiene y seguridad los sindicatos de trabajadores y los responsables de la política laboral, cada uno por su lado, proponían: modificar o dictar nuevas leyes y reglamentos inspirándose en la experiencia internacional, más bien que estudios científicos sobre la realidad; multiplicar las inspecciones con el ánimo de establecer multas y sanciones o clausurar locales; establecer elevadas indemnizaciones para compensar a las víctimas. Los empresarios respondían desoyendo las intimaciones; presionando o tentando a los inspectores; amenazando con el "chantage" de cerrar las plantas y despedir a su personal por no tener los recursos para corregir la situación; pagando multas de poca monta o que habían quedado rápidamente desactualizadas como consecuencia de la inflación; y entablando juicios costosos que duraban largo tiempo y se interrumpían al llegar a "arreglos" donde los mayores beneficiados eran los empresarios, los peritos judiciales y los profesionales intervinientes.

## **II.- La difícil e interrumpida transición**

Desde hace dos décadas, más precisamente desde la emergencia de la crisis del régimen de acumulación y del proceso de trabajo taylorista y fordista en los países capitalistas industrializados, co-

menzó a ponerse en cuestión esta concepción que denominamos "tradicional". Aunque somos conscientes de que continúa vigente: con frecuencia es la predominante en el medio académico y, lo que es peor, en la vida cotidiana de los establecimientos.

El impulso renovador surgió de los conflictos sociales y laborales provocados por, o derivados de las crisis y que obligaron a los gobiernos a adoptar políticas con un nuevo enfoque orientado a la humanización del trabajo y a mejorar la calidad de vida laboral. Los sindicatos y organizaciones empresariales fueron dando a estos temas un carácter prioritario dentro de las relaciones de trabajo, poniéndolos casi al mismo nivel que el empleo y las remuneraciones en las negociaciones colectivas.

La OIT se hizo eco de los mismos y en 1974 produjo un cambio cualitativo cuando se aprobó la Memoria del Director General a la Conferencia titulada "Por un Trabajo más Humano" y luego, al crear el Programa por el Mejoramiento de las Condiciones de Trabajo (PIACT). En América Latina se llevaron a cabo las primeras misiones multidisciplinarias del PIACT y estimularon numerosos estudios e investigaciones que, en el medio académico, justificaron en 1977 la creación de un grupo de trabajo de científicos sociales latinoamericanos sobre esa temática dentro de CLACSO, a impulsos del Centro de Estudios e Investigaciones Laborales (CEIL) creado en 1971 en la Universidad Nacional de La Plata.

Como antecedente, cabe recordar que un estudio pionero y gigantesco había sido realizado en Argentina por el Dr. Bialek Massé a comienzos de siglo, a partir de un relevamiento directo en el interior del país. Pero fue desde 1984, luego de reiniciado el régimen constitucional y en el marco de la cooperación establecida entre el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y el CEIL del CONICET, con el auspicio y la cooperación del PIACT de la OIT, que se llevaron a cabo numerosos pre-diagnósticos sobre la situación nacional. Estos últimos sirvieron de base para la realización de seminarios tripartitos, cuya dinámica permitió generar una nueva concepción, denominada moderna o "renovadora" -que se expresa comúnmente con la sigla CyMAT-, opuesta de manera casi dialéctica a la antigua y "tradicional". Esta última sigue siendo dominante por razones culturales y porque es funcional para los viejos regímenes de acumulación.

### III.- El contenido del enfoque renovador emergente: las CyMAT

El punto de partida lo constituye, por una parte, la noción de proceso de trabajo, aplicada en este caso a la creación y transmisión de conocimientos y, por otra parte, la relación estrecha que se establece con la salud de los trabajadores. El proceso de trabajo está determinado por múltiples factores que intervienen a nivel micro y macro-económico, y en última instancia por el régimen de acumulación y el modo de regulación.

El trabajo más que una penosa obligación social, es un derecho humano fundamental, una de las actividades más nobles que desarrollan los seres humanos, la que estructura su personalidad y es la fuente de los derechos laborales. Además de su carácter creativo, dada su capacidad de producir bienes y de prestar servicios indispensables para asegurar la reproducción de la especie, el trabajo genera las condiciones necesarias al desarrollo de todas las dimensiones de la persona humana y el establecimiento de relaciones de intercambio y cooperación, constituyendo una nueva realidad: el "colectivo de trabajo". Por eso el trabajo permite a quienes lo realizan "trascender", producir algo que tiene una existencia autónoma y exterior, que puede perdurar más allá de la vida del sujeto que le dio origen, y estar presente lejos del marco geográfico donde se gestó. No es en sí mismo un castigo o una pena que los trabajadores arrastran hasta su muerte, si bien su ejercicio provoca normalmente la fatiga por el uso de la fuerza de trabajo. Como este es el caso más frecuente, cuando las CyMAT no son adecuadas, la fatiga se hace patológica, aumenta la propensión a enfermarse y accidentarse y "ese" trabajo degradado termina por deteriorar la salud.

Tenemos por una parte la carga física de trabajo y el esfuerzo muscular que requiere la actividad; por otra parte, los problemas de *higiene* (término ambiguo y muy poco adecuado a pesar de su amplia difusión y uso indiscriminado) y de *seguridad en el trabajo*, -términos que para simplificar llamamos riesgos ocupacionales o riesgos provocados por los factores del medio ambiente (físico, químico, biológico o factores tecnológicos y de seguridad del medio ambiente de trabajo). Estos dos grupos de factores son los más conocidos e identificados por sus repercusiones directas sobre la salud, de acuerdo con el tiempo de exposición a los riesgos, la in-



tensidad en sí y la existencia o no de medidas de prevención. Pero el proceso laboral se desarrolla en un contexto dado por las *condiciones de trabajo*; estos son factores de otra naturaleza, debido a que se refieren a formas institucionales, a las relaciones sociales de producción, a los modos de organización de las empresas u organizaciones, de gestión del trabajo y de la producción. Precisamente son las condiciones de trabajo las que explican en buena medida el diferente impacto de los riesgos ocupacionales sobre la salud de los trabajadores.

La entidad que trabaja no es solamente el cuerpo o las dimensiones biofísicas del trabajador, sino que éste compromete y pone en acto, en mayor o menor medida, todas las dimensiones de su personalidad -incluyendo las psíquicas y mentales. Por eso la noción de fuerza de trabajo, por sus connotaciones restrictivas, no parece en nuestros días ser el término más adecuado para denominar el esfuerzo del trabajador. De la misma manera que los factores del medio ambiente físico, químico y biológico del trabajo afectan las dimensiones biológicas de la salud de los trabajadores, otros factores influyen sobre las dimensiones psíquicas y mentales, provocando miedos, disconformidad, aburrimiento, fatiga y que incitan a consumir de manera excesiva somníferos, tranquilizantes, estimulantes vitamínicos, etc. El trabajo nocturno y por turnos rotativos, provoca siempre alteraciones en el sueño, y con frecuencia problemas gastrointestinales y cardiovasculares, y no se puede dejar de mencionar las perturbaciones de la vida familiar y social.

Pero dentro de la especie humana, cada trabajador es un ser individual, diferente de todos los demás, heterogéneo, no sólo en cuanto a sus capacidades y potencialidades laborales, sino también respecto de los efectos que tienen las condiciones y medio ambiente de trabajo sobre todas las dimensiones de su personalidad. Cada trabajador tiene sus propias capacidades de resistencia y adaptación a los riesgos ocupacionales y a las condiciones de trabajo, y por lo tanto, dentro de un mismo colectivo de trabajo los efectos sobre las personas pueden ser muy diferentes, incluso entre quienes ocupan puestos de trabajo similares. No existe en la realidad el "trabajador promedio", resultado de una construcción estadística, y con el cual soñaban los ingenieros tayloristas del siglo XIX. De allí la importancia de la Ergonomía, para adaptar los medios de producción, las instalaciones y finalmente el trabajo, a cada trabajador.

Contrariamente a los postulados de la visión tradicional, el trabajo de los obreros, y por extensión el de los empleados y el de los trabajadores docentes, no puede reducirse a sus dimensiones bio-físicas, requiere la puesta en acto de sus capacidades cognitivas, afectivas y relacionales. Todas esas dimensiones son afectadas primeramente por el *trabajo prescripto*, generando tensiones a causa de su inadecuación respecto de lo que es posible hacer, pero sobre todo por la *actividad* efectivamente realizada. Más aún, el trabajo consiste precisamente en la capacidad para utilizar de manera responsable y autónoma la creatividad y la subjetividad, y modificar las pautas del trabajo prescripto de modo tal que pueda ser efectivamente realizado, obteniendo así los productos o los servicios con la calidad esperada y dentro de los plazos previstos. Ese esfuerzo de adaptación pone en tensión sus capacidades y genera una elevada carga psíquica y mental, que es fuente de fatiga, angustia y ansiedad. La paradoja revelada por los estudios de psicopatología consiste en que, con frecuencia, los trabajadores deben asumir riesgos e incluso mentir, desobedecer, y transgredir las reglas del trabajo prescripto, para poder llevar a cabo la actividad de manera eficaz.

El reconocimiento de las capacidades humanas para resistir y adaptarse no hace sino reforzar la idea de que, si bien la salud está directamente condicionada por el trabajo, no existe un fatalismo en cuanto a las consecuencias negativas que el proceso de trabajo acarree inevitablemente a los trabajadores. En esto tampoco hay un determinismo económico o tecnológico. La actividad de prevención es siempre posible y no consiste solamente en el uso de los equipos de protección individual: debe en primer lugar procurar aislar a los trabajadores respecto del riesgo, limitar sus efectos nocivos teniendo como objetivo final eliminar el riesgo en su misma fuente. La historia de los países desarrollados demuestra que sí existen políticas y se recurre a la participación de todos los sectores interesados, puede reducirse sensiblemente el número de muertos, accidentes de trabajo y enfermedades profesionales y la gravedad de los daños ocasionados a las personas por las CyMAT deficientes.

Establecer de manera impuesta, arbitrada individualmente o negociada colectivamente, las primas monetarias por riesgos como una compensación o amortización anticipada del deterioro de la salud significa de hecho, tornarla una simple mercancía y aceptar de alguna manera su venta parcial a mayor o menor precio, según la si-

tuación del mercado de trabajo y la capacidad de negociación de los interesados.

Otra diferencia con la concepción tradicional se refiere a las medidas de prevención que preconiza, dado que se limitan al uso obligatorio de los equipos de protección individual. Esto debe aceptarse como una medida temporaria, y hasta que se logre de manera parcial o total reducir o eliminar el riesgo. Lo normal no es trabajar utilizando elementos que demanden mayor esfuerzo físico o generen molestias para portarlos. Por lo general no están diseñados ergonómicamente y no tienen en cuenta las diferencias antropométricas, por lo que demandan un nuevo esfuerzo de adaptación. Pero aún cuando fueran adecuados, los equipos de protección individual disminuyen la libertad de movimientos y las destrezas de los trabajadores, reducen la capacidad perceptiva de los sentidos y por lo tanto, comprometen la productividad y calidad del trabajo, dando como resultado la incomunicación de los trabajadores que ocupan puestos riesgosos (por ejemplo los cascos o tapones auditivos). El hecho de usar equipos para protegerse individualmente frente a los riesgos puede convertirse en una rutina, pero de manera consciente o inconsciente, llega a percibirse una suerte de simbiosis con ellos, que generan sentimientos de angustia y ansiedad y que, con el correr del tiempo, resulta traumática y afecta psíquica y mentalmente a los trabajadores.

Los cambios operados en los medios y en los objetos de trabajo durante las últimas décadas como consecuencia de las innovaciones tecnológicas (en primer lugar la informática y automatización micro-electrónica, pero además la biotecnología, los nuevos materiales, la telemática, las actividades aeroespaciales, la opto-electrónica, los modernos medios de transporte, etc.) y organizacionales, han producido profundas transformaciones en los factores que se incluyen dentro de la noción de CyMAT y han generado una dinámica productiva permanentemente innovadora que no se limita a las grandes empresas industriales. Esto obliga a realizar de manera periódica estudios para identificar los nuevos riesgos y las transformaciones dadas en los precedentes. Para prevenir los efectos nocivos del cambio científico y tecnológico se impone una actitud permanente de "vigilia".

Como el trabajo es una realidad compleja y multidimensional, los riesgos ocupacionales se presentan en el proceso de trabajo de manera conjunta, a modo de racimo y no de manera separada. Además, dentro del establecimiento y en el medio ambiente de cada

puesto de trabajo, los riesgos interactúan entre sí de manera sinérgica y combinada, pudiendo anularse mutuamente; pero lo que ocurre más frecuentemente es que se adicionan o se potencian. La carga global de trabajo efectivamente soportada por los trabajadores es mayor que la suma de los riesgos provocados individualmente por cada uno de ellos. Por lo tanto, el análisis consecutivo de cada riesgo individual no basta, pues no da una idea exacta de la realidad multifacética de la situación y subvalúa la gravedad de los mismos. Se impone la necesidad de adoptar una concepción sistémica.

Los riesgos ocupacionales del medio ambiente de trabajo (comprendidos en las nociones de higiene y seguridad) y las condiciones de trabajo pueden ser analizados y evaluados objetivamente. Los trabajos del CEIL-CONICET a partir del Método LEST para analizar las condiciones de trabajo de los obreros en las empresas pusieron de manifiesto su utilidad. Un estudio exhaustivo de esta naturaleza a nivel de todo el sistema productivo, implicaría un costo elevadísimo y requeriría un largo tiempo; pero además se necesitaría el entrenamiento de un gran número de especialistas. Todas esas condiciones son difíciles de reunir, incluso en los países más desarrollados.

Sin embargo, por tratarse de factores que repercuten sobre seres vivientes, y específicamente sobre personas dotadas de un saber productivo y de capacidades cognitivas y psíquicas, existe la posibilidad de que perciban primero, y vivencialmente, el efecto que las condiciones y el medio ambiente de trabajo tienen sobre su vida y su salud. Esa capacidad de movilizarse para percibir, conocer y evaluar las dimensiones subjetivas por parte de los trabajadores es aún mayor y eficaz cuando es el propio colectivo de trabajo quien lo asume, aunque no posean el conocimiento científico de los procesos que afectan la salud. Así, la intervención de los actores del proceso de trabajo que son al mismo tiempo víctimas y "sensores" de los riesgos, se convierte en un elemento decisivo para la identificación de éstos, percibir sus consecuencias, proponer medidas eficaces de prevención y hacer el seguimiento.

Este es el secreto de los resultados estimulantes obtenidos cuando existen los Comités Mixtos de Higiene, Seguridad y Condiciones de Trabajo, siempre y cuando sus miembros tengan información, formación y estén comprometidos con la búsqueda constante de un "trabajo más humano". La motivación de los actores es un elemento decisivo para prever y construir su futuro. Su experiencia y memoria histórica constituyen además un factor decisivo para se-

ñalar el origen, reconstruir el proceso que generó el riesgo y causó daños en el pasado, pues a menudo los incidentes y accidentes se repiten. Estos registros ayudan de manera decisiva a programar acciones de prevención.

Cuando se llevan a cabo estudios estadísticos mediante encuestas sobre la percepción y vivencias de los trabajadores en cuanto a los efectos que sobre su salud provocan las condiciones y medio ambiente de trabajo, la experiencia histórica ha probado que generalmente, quienes son encuestados, no sobrevalúan los aspectos negativos. En efecto, los trabajadores ignoran todos los riesgos que corren cotidianamente por el simple hecho de trabajar y las repercusiones que trae sobre su salud: su información y formación es insuficiente. Por razones de tipo cultural, difícilmente imaginan que su trabajo pueda hacerse de manera menos peligrosa, y volverse más limpio, salubre y agradable. Los trabajadores, por costumbre, siguiendo la rutina, o por efecto de profundas concepciones culturales, no se ven llevados a disociar en su imaginario el trabajo del riesgo: lo consideran como algo inherente, con lo que deben coexistir. En el momento de expresarse sobre sus CyMAT, al ser consultados o encuestados, los trabajadores que permanecen en sus puestos de trabajo, ya han hecho un formidable esfuerzo para resistir y adaptarse a los riesgos, y los asumen como algo natural, imposible de eliminar. En un contexto de alta desocupación, el miedo conduce a los trabajadores que sufren dolencias a no declararlas, o disminuir su gravedad, para evitar ser discriminados y despedidos por la disminución de su capacidad laboral o de los futuros costos derivados de su enfermedad. A menudo, para poder adaptarse y resistir los riesgos del trabajo, para superar los inconvenientes de hacer un trabajo que goce de un bajo prestigio social, o para vencer el miedo de tener que coexistir con los riesgos, el peligro y la muerte, los trabajadores construyen colectivamente sus "ideologías defensivas" (expuestas con claridad por C. Dejours y su equipo). Estas les permiten, por un tiempo y si no hay crisis mayores, olvidar o desplegar un velo sobre los aspectos negativos del trabajo, durante la jornada laboral. Pero además, y esto sucede con frecuencia, los investigadores pasamos de largo frente al hecho de que aquellos trabajadores que no pudieron resistir, que no lograron adaptarse y que no aceptaron internalizar las reglas emanadas de la ideología defensiva, ya no ocupan esos puestos de trabajo. Es el llamado efecto "selección". Sólo se expresan o responden a los cuestionarios los que más resistieron, y duraron... a pesar de todo.

Por supuesto que la solución óptima que proponemos como estrategia de investigación es realizar un esfuerzo que combine las mediciones objetivas o "científicas" de los riesgos y condiciones de trabajo, con la percepción y vivencias de los trabajadores que actualmente las soportan... pero sin olvidar a quienes tuvieron que abandonar sus puestos, precisamente a causa de las CyMAT.

Contrariamente a la antigua concepción que al referirse a la seguridad e higiene en el trabajo ponía el acento principalmente sobre las tareas manuales y de ejecución a cargo de los trabajadores "directos", desde la concepción renovadora se reconoce la complejidad del trabajo de producción y la importancia creciente que ha tomado el trabajo indirecto -predominante en el sector servicios, pero también en las tareas administrativas y de gestión desarrolladas en los sectores agropecuario e industrial. Es ahora evidente que sobre estos otros trabajadores no manuales -pero sí de ejecución-, pesa una creciente carga de trabajo que, como en el caso anterior, también es al mismo tiempo física, psíquica y mental. Se trata entonces de las condiciones y medio ambiente de trabajo, y no solamente de la higiene y seguridad.

Frente al simplismo demostrado por la concepción tradicional para explicar las causas de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, (a cada daño asocia un riesgo o un factor y sólo uno), se impone una visión que reconoce la existencia de varios factores de riesgo en el origen de cada daño a la vida y a la salud de los trabajadores, y que actúan de manera sinérgica y combinada. De allí la pertinencia de encontrar una metodología como la propuesta por el INRS y el INPACT de la CFTD, denominada "Árbol de Causas", que en lugar de buscar culpables (proceso de intención que se limita a los trabajadores víctimas de los accidentes), busca las causas, e intenta identificar los hechos, todos los hechos objetivos, que expliquen el origen de dichos disfuncionamientos y hagan posible la prevención.

Existe entonces una relación estrecha, pero no unidireccional, entre el proceso de trabajo y la salud, como muestra Serge Volkoff:

- una dimensión de las CyMAT originada en un proceso de trabajo específico puede tener **una** consecuencia negativa sobre la salud del trabajador:

ruido -> hipoacusia

- una dimensión de las CyMAT originada en un proceso de trabajo específico puede tener **varias** consecuencias negativas sobre la salud del trabajador:

ruido -> hipocusia  
-> fatiga mental

- varias dimensiones de las CyMAT, originadas en un proceso de trabajo específico, pueden tener **una** consecuencia negativa sobre la salud del trabajador, por ejemplo una mala postura en un puesto de trabajo situado en un medio ambiente con iluminación inadecuada, puede provocar al mismo tiempo

-> lumbalgias, y  
-> fatiga visual

- un problema de salud generado fuera del medio ambiente de trabajo, puede influir a su vez sobre el proceso de trabajo y deteriorar las CyMAT, por ejemplo una persona que tiene una visión inadecuada, y no usa lentes apropiados,

-> adoptará una deficiente postura de trabajo  
-> que le generará una mayor fatiga visual y  
-> problemas osteomusculares.

Afirmamos que la vida y la salud de los trabajadores está fuertemente condicionada, e incluso determinada, por las condiciones y el medio ambiente de trabajo. Esta verdad de sentido común no es precisamente la que predomina en la práctica profesional de los médicos tradicionales y es explicable en parte pues, sorprendentemente, las materias que tienen que ver con la fisiología del trabajo, la medicina de trabajo, la toxicología y las condiciones de trabajo, no tienen mayor lugar en los planes de estudio universitarios de grado.... El trabajo sería un objeto de estudio algo extraño en el medio universitario aplicado a las ciencias de la vida... que se debería estudiar luego de egresar de la Universidad.

Para concluir con esta presentación simplificada, cabe señalar que, desde la emergencia de la actual crisis económica internacional, los sindicalistas y empresarios más lúcidos, así como los responsables de la política económica y laboral de los países industrializados, han comprendido que las CyMAT tienen una influencia decisiva sobre la eficiencia de las empresas y organizaciones. Podríamos decir que competitividad y CyMAT marchan paralelamente, puesto que el incremento de la productividad, el mejoramiento de la calidad, la reducción de los costos, la aceptación y difusión de las innovaciones, la implicación de los trabajadores para alcanzar esos objetivos y entregar la producción "justo a tiempo", no se pueden lograr de manera sostenida si el proceso de trabajo deteriora la salud de los trabajadores y genera conflictos.

¿Qué hacer para cambiar esta situación y qué política de medidas adoptar, desde esta perspectiva renovadora?

Las actitudes policíacas, las multas, las sanciones de cierre, los juicios e indemnizaciones etc. no han tenido mayor resultado para resolver los problemas. Es menester la elaboración de una verdadera política en materia de CyMAT, inserta dentro de un conjunto de medidas que relacionen esta problemática con la productividad, la calidad, los costos, el buen funcionamiento y la competitividad de las empresas. Su complejidad e importancia nos inhabilitan para formular propuestas completas y definitivas; sólo podemos enunciar algunas medidas que nos parecen más evidentes.

La modernización de las leyes, decretos y resoluciones se impone con urgencia para promover la prevención, pero eso sólo y la actualización del monto de las multas, no basta. El número de inspectores altamente calificados nunca será suficiente como para visitar de manera permanente todas las empresas. El sistema de registro estadístico de muertes, accidentes de trabajo y enfermedades profesionales debe ser perfeccionado, formando al personal encargado de llevarlos y creando conciencia entre los empresarios para que los entreguen regularmente. Es menester socializar los costos y la reparación de los riesgos, instaurar una solidaridad social entre los empresarios, discriminando los aportes de las ramas de actividad y de las empresas al seguro contra los riesgos ocupacionales calculados en función del número y de la gravedad de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales. Son necesarios mayores estudios e investigaciones que no se limiten a la higiene y seguridad; la modificación de los planes de estudio de las carreras universitarias que incluyan el tema de la prevención en lo referente a CyMAT, organizar cursos de posgrado con un contenido multidisciplinario. Hace falta llevar a cabo acciones de información (los empresarios deben conocer las implicancias de insumos, procesos y productos sobre la salud de su personal, y todos los trabajadores tienen el derecho a conocer los riesgos con los que conviven y las medidas de prevención más adecuadas); y de formación a todos los niveles de las empresas y organizaciones sobre las formas más seguras e higiénicas de trabajar.

Nuevas normas deben establecer la creación o reformulación de las instituciones representativas del personal para canalizar la participación de los trabajadores (en Comités Mixtos, por ejemplo) con la finalidad de identificar los riesgos; estudiar los accidentes hasta encontrar sus causas, vigilar la correcta aplicación de las normas; adoptar medidas de prevención procurando eliminar o re-



ducir los riesgos en su propia fuente, hacer cumplir de manera adecuada las disposiciones sobre exámenes médicos preocupacionales y periódicos con fines preventivos; crear conciencia de que la salud no es una mercancía y procurar eliminar las primas por riesgo, incorporando sus implicancias monetarias al salario básico.

#### **IV.- Propuesta de un modelo analítico de las interrelaciones entre procesos de trabajo, procesos de salud-enfermedad y funcionamiento del sistema productivo**

Para comprender, explicar y transformar el complejo mecanismo sistémico que regula las relaciones entre los diversos factores de las CyMAT en su concepción moderna y renovadora, proponemos una visión que ha sido construida a partir del compromiso expreso con los valores e intereses objetivos de los trabajadores. El razonamiento y la lógica sobre los cuales se sustenta, son los siguientes:

1. El proceso de trabajo es el resultado del modo de desarrollo, es decir por una parte de las regularidades económicas que constituyen el régimen de acumulación y, por otra parte, de las formas institucionales que se articulan y constituyen el modo de regulación de la economía. A nivel microeconómico influyen la dimensión, estructura y el funcionamiento de la empresa, las tecnologías utilizadas, los procesos productivos, la naturaleza de los productos o servicios generados, la situación financiera, las relaciones de trabajo, etc.
2. La libertad para elegir un empleo donde predominen adecuadas condiciones y medio ambiente de trabajo es limitada y se ejerce sometida a restricciones, pues los desequilibrios del mercado laboral (desempleo, subempleo, trabajo precario, etc.) condicionan a los trabajadores a no abandonar puestos de trabajo riesgosos, o a aceptar deficientes condiciones de trabajo, para poder mantener sus ingresos, obedeciendo en última instancia a la racionalidad de una estrategia de sobrevivencia.
3. El proceso de trabajo desarrollado en el establecimiento de la empresa u organización tiene repercusiones directas e indirectas sobre la salud de los trabajadores, pero está a su vez condi-

cionado por ésta. Tal relación no es directa y unidireccional, sino mediatizada por los factores de las CyMAT.

4. El proceso de trabajo es el que determina los diversos factores de las CyMAT, es posible agruparlos de la siguiente manera:
  - 1) el esfuerzo físico, síquico y mental requerido de los trabajadores;
  - 2) el medio ambiente donde se desenvuelve el trabajo, cuyos principales riesgos para la salud se clasifican tradicionalmente del siguiente modo:
    - a) medio ambiente físico (ruido, excesos de temperatura, iluminación, vibraciones, humedad y radiaciones);
    - b) medio ambiente biológico (virus, bacterias, hongos, parásitos, picaduras y mordeduras de animales e insectos);
    - c) medio ambiente químico (polvos, líquidos, gases y vapores tóxicos);
    - d) factores tecnológicos y de seguridad (riesgos de transporte, caída de objetos, lesiones debidas al mal funcionamiento o al uso inadecuado demáquinas, lay-out, orden y limpieza de los locales y del puesto de trabajo, riesgos eléctricos, de incendios, derrames y explosivos, mantenimiento de las maquinarias y equipos), y
    - e) catástrofes naturales y desequilibrios ecológicos;
  - 3) las condiciones de trabajo:
    - a) la organización, grado de división, el contenido y la significación del trabajo;
    - b) la duración y configuración del tiempo de trabajo;
    - c) los sistemas y niveles de remuneración;
    - d) la ergonomía de las instalaciones, útiles y medios de trabajo;
    - e) la transferencia de innovaciones tecnológicas y organizacionales;
    - f) el modo de gestión de la fuerza de trabajo, que incluye la evaluación del desempeño y la carrera profesional;
    - g) los servicios sociales y asistenciales para bienestar de los trabajadores;

h) las posibilidades de participar activamente en el mejoramiento de las CyMAT.

5. El esfuerzo realizado, las condiciones de trabajo y los factores de riesgo del medio ambiente predominantes en la empresa y específicamente en el puesto de trabajo, pueden ser limitados, controlados o modificados por la existencia y el funcionamiento de Servicios de Prevención (a cargo de médicos del trabajo y de ingenieros laborales que se ocupen de higiene y seguridad), la acción punitiva, de inspección o de asesoramiento del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, y muy especialmente de los Comités Mixtos de Higiene, Seguridad y Condiciones de Trabajo.
6. La carga global de trabajo resulta de aquellos tres grupos de factores que constituyen las CyMAT, modificada y eventualmente disminuida por la acción de los servicios de prevención. Afecta todas las dimensiones de los seres humanos: bio-físicas, síquicas (afectivas y relacionales) y mentales (cognitivas). En la realidad, éstas no puedan individualizarse y delimitarse con precisión y exactitud, dada la unidad sustancial de los seres humanos; para su análisis pueden estudiarse por separado, distinguiéndolas, pero para reunir las posteriormente.
7. El uso de los equipos de protección personal puede llegar a aislar parcialmente a los trabajadores respecto de los riesgos y limitar de manera temporaria el alcance de los efectos nocivos, aún cuando acarreen molestias, limiten sus movimientos e incrementen la fatiga laboral por el mayor esfuerzo. Pero su utilización podría dejar de lado la búsqueda de la eliminación de los riesgos.
8. Los efectos de la carga global de trabajo sobre las personas que forman parte del colectivo de trabajo son diferentes para cada trabajador, en virtud de sus respectivas capacidades de adaptación y de resistencia a los factores de riesgo. Por esta causa se produce una selección, algunos deben abandonar su puesto de trabajo mientras que otros logran permanecer.
9. Las repercusiones sobre la salud son diversas, y cada una de ellas admite graduaciones que se sitúan entre dos extremos: desde la simple fatiga (necesaria contrapartida del esfuerzo realizado que se compensa con la alimentación, el sueño, el descanso y la recreación), hasta la satisfacción por un trabajo que no perjudica la salud y permite el pleno desarrollo de la

personalidad. Entre esos extremos se sitúan la fatiga patológica, las enfermedades relacionadas con el trabajo provocadas por causas inespecíficas, el envejecimiento prematuro, la disminución de la esperanza de vida para ciertas profesiones, las enfermedades profesionales, los accidentes de trabajo, los accidentes "in itinere", la invalidez total o parcial y la muerte súbita como situación terminal, resultantes de los accidentes de trabajo y/o de las enfermedades profesionales.

10. Las consecuencias de las deficientes CyMAT no sólo afectan la vida y la salud del colectivo de trabajo y de cada uno de los trabajadores del establecimiento, sino también la eficiencia de las empresas y, por ende, del sistema productivo en su conjunto en términos de: productividad, costos, calidad, cumplimiento "justo a tiempo" de los plazos de entrega, resolución adecuada de los conflictos. En síntesis, constituyen una fuente no despreciable de la competitividad.

## V.- El impacto de la crisis económica sobre las CyMAT

Como era de esperar, utilizando el marco teórico expuesto más arriba, la actual crisis económica y el profundo proceso de reestructuración del sistema productivo tiene repercusiones directas sobre el mercado de trabajo (incrementando las tasas de desempleo y de subempleo y precarizando el empleo); sobre las remuneraciones (reduciendo el salario real promedio de los trabajadores que no tienen una alta calificación y deteriorando la parte que va a los asalariados cuando se produce la distribución funcional del ingreso, con sus consecuencias sobre la disminución del consumo de bienes de primera necesidad); sobre la legislación laboral (eliminando o reduciendo conquistas obtenidas anteriormente y flexibilizando el uso de la fuerza de trabajo) y sobre el sistema de relaciones de trabajo (al disminuir las tasas de sindicalización, cambiar el ámbito y el contenido de la negociación colectiva y debilitar el poder de negociación de los sindicatos).

Todo esto ha influido de manera decisiva para que el tema de las condiciones y medio ambiente de trabajo se haya desplazado dentro del conjunto tradicional de las reivindicaciones sindicales y ya no ocupe un lugar central dentro de sus objetivos y estrategias. Sin embargo, como se relacionan directamente con la vida y la salud, se trata de problemas que están estrechamente relacionados y que se deben tratar de manera conjunta.

1. Se ha incrementado la fatiga debido a los cambios en la duración y en la configuración del *tiempo de trabajo*:

Mayor duración semanal promedio para todas las categorías de trabajadores, con respecto a la situación predominante en la década pasada. Ha habido un crecimiento del trabajo nocturno, el trabajo por turnos y el trabajo durante los fines de semana.

Durante la jornada se ha intensificado el trabajo, y han disminuido las pausas para recuperar la fatiga.

Los horarios de trabajo se van individualizando para cada trabajador y se requiere también una actitud de disponibilidad, para quedarse fuera de hora o trabajar en días feriados y horas extraordinarias, bajo la amenaza que significa la desocupación.

Se observa la siguiente paradoja con mayor evidencia dentro de las empresas fabriles: allí trabajan menos personas, que lo hacen durante más horas y más intensamente. El resultado es lógicamente una mayor fatiga física, síquica y mental con las consecuencias mencionadas anteriormente.

2. El control y la supervisión sobre los trabajadores son ahora más exigentes, pues antes estaban dirigidos especialmente al *ejercicio de las tareas*, que dependían sobre todo del esfuerzo físico, mientras actualmente se tienen cada vez más en cuenta los *resultados de la tarea*, en términos de cantidad y se incluye la calidad, lo que genera una mayor carga psíquica y mental.
3. Los cambios en la organización del trabajo lo han intensificado.

La introducción de nuevas formas de organización del trabajo para reemplazar al menos parcialmente los procesos de trabajo taylorista y fordista, han buscado una nueva economía de tiempo, y los trabajadores que gracias a su saber-hacer productivo le habían logrado "encontrarle la vuelta", "agarrado la mano", ganando así un cierto tiempo que consumían para recuperar su fatiga, ahora lo pierden por la obligación de hacer otras tareas, más variadas, más amplias o más ricas que en el pasado, pero que deben hacerse dentro del mismo tiempo de trabajo. La búsqueda de la polivalencia genera sin dudas en los trabajadores un mayor interés por el trabajo y lo hace menos rutinario y aburrido, pero al mismo tiempo moviliza todas sus facultades mentales, requiere una mayor concentración y el uso intenso de la memoria operativa. Todo eso causa una mayor fatiga mental.

4. La introducción de los modernos métodos japoneses, del tipo *control de calidad total, justo a tiempo, cliente interno, y redes*

*con subcontratistas*, introduce una mayor tensión en los trabajadores dentro del taller, entre las diversas secciones del establecimiento, y con los proveedores y subcontratistas para trabajar con poco stock y además en la relación con los clientes, usuarios y consumidores, a quienes la empresa da una atención preferencial, dado el nuevo comportamiento de la demanda. Estas nuevas formas de organizar la producción y de establecer relaciones con el exterior de la empresa es fuente de tensión y de conflictos.

5. La búsqueda de la mayor eficiencia y eficacia productiva obliga a tomar en cuenta muchos factores, incrementando la carga mental. Ahora la atención de todos los trabajadores y no solamente de la dirección de la empresa, no debe centrarse solamente en la reducción de los costos de producción, sino también en la productividad, la calidad, y el cumplimiento más estricto de los plazos de entrega.
6. Dentro de la empresa, los trabajadores no sólo deben utilizar sus conocimientos de tipo general, sino también movilizar su experiencia y adquirir o desarrollar sus competencias. El nuevo paradigma productivo requiere mucho más esfuerzo cognitivo que antes por parte de los trabajadores. Exige adoptar una cierta forma de ser y de comportarse. De su predisposición para cooperar depende el acceso al empleo y su permanencia en la empresa:
  - deben compensar con su creatividad las deficiencias existentes en cuanto al trabajo prescripto para que se logren los objetivos en cuanto a la actividad y prevenir los incidentes;
  - deben estar disponibles para adaptar el desarrollo de su jornada de trabajo, asumir otras funciones y movilizarse dentro del establecimiento y de la empresa a fin de realizar las actividades que se requieren para mejorar la eficiencia productiva;
  - deben captar, procesar y transmitir más rápidamente las informaciones, usando las nuevas tecnologías informatizadas;
  - se necesita una mayor cooperación entre los trabajadores, y estar dispuestos a trabajar en equipos, para hacer frente a las exigencias de las nuevas formas de producir, que han reducido el número de los capataces y supervisores que antes se ocupaban de la coordinación de las tareas;

- deben ser más comunicativos con sus compañeros y con la jerarquía de la empresa, para transmitir informaciones sobre la marcha del proceso productivo y las innovaciones incrementales a medida que las van descubriendo, para mejorar continuamente la producción,
  - deben hacer un esfuerzo para imaginar el proceso productivo en su conjunto, y así programar, hacer un mantenimiento preventivo y anticipar los incidentes;
  - para lograr el incremento de la productividad y alcanzar altos estándares de calidad, se requiere su involucramiento y la *movilización tensionada*, de su capacidad para aprender y de su creatividad;
  - deben tender a satisfacer y fidelizar al cliente, tanto al cliente interno, como a los proveedores y subcontratistas, a los subcontratantes, y responder a los cambios en la demanda.
7. En las empresas que se han reconvertido para hacer frente a la crisis, todas estas nuevas exigencias de los puestos de trabajo se dan conjuntamente con la introducción de nuevas tecnologías, que con frecuencia pueden disminuir la carga física de trabajo, requieren menor esfuerzo físico y han reducido los riesgos del medio ambiente físico, químico y biológico de trabajo.
8. Sin embargo, este desplazamiento no ha hecho desaparecer totalmente los riesgos del trabajo. Incluso ha hecho aparecer otros (por ejemplo el trabajo ante pantallas videotermiales). Pero lo que deseamos poner en evidencia es que van acompañados e incluso anticipados, por los cambios en la organización de la producción y del trabajo y en las formas de gestión del personal, todos ellos fuente de una mayor carga psíquica y mental del trabajo. A la angustia y ansiedad frente a los riesgos del medio ambiente de trabajo se agregan ahora la incertidumbre y el miedo ante la creciente desocupación y la precarización del empleo.

Con la crisis económica y los procesos de reconversión del sistema productivo, no ha dejado de tener vigencia la dramática frase con la cual comenzamos este capítulo: **en nuestros días, al trabajar para ganarse la vida se pierde la salud.**

En los otros capítulos de esta publicación se analizan de manera específica y en profundidad los riesgos del medio ambiente físico de trabajo. Su identificación, control y prevención están en la base del mejoramiento de las CyMAT.

## Bibliografía aconsejada para quienes desean profundizar el tema

- BERMANN Sylvania, "¿Es la salud mental un problema importante y urgente en materia de Condiciones y medio ambiente de trabajo?", en *CyMAT en la Argentina*, Vol. III, Bs.As., CEIL-HUMANITAS, 1987.
- BIALAKOWSKY Alberto, "Las condiciones vitales de trabajo: un enfoque conceptual". En *Primeras Jornadas Nacionales Interdisciplinarias sobre Condiciones de Trabajo*. Bs. As. . CEIL-CONICET/OIT. , 1983.
- CATALANO Ana M., MENDIZABAL, Nora y NEFFA, Julio C., *Condiciones y medio ambiente de trabajo y salud de los obreros de la industria del vidrio*, Bs. As., Ed. PRONATTE/SECYT, PIETTE/CONICET, CEIL/CONICET, CREDAL/CNRS, SOIVA, Humanitas, 1993.
- EPELMAN M., FONTANA D. y NEFFA J. C., *Efectos de las nuevas tecnologías informatizadas sobre la salud de los trabajadores*, Bs. As., Ed. SECYT, CEIL/CONICET, CREDAL/CNRS, Humanitas, 1990.
- ERRANDONEA Alfredo, "Condiciones de trabajo: una noción abierta". En *Primeras Jornadas Nacionales Interdisciplinarias sobre Condiciones de Trabajo*, Bs. As. CEIL-CONICET/OIT, 1983.
- EUDEBA, *La salud de los trabajadores*, Bs. As, Eudeba, 1974.
- FORNI F. y NOVICK M. , *La especificidad teórica de las condiciones de trabajo . Propuesta metodológica y esquema de investigación*, Lima, OIT , (s. f.).
- GIORDANO Silvia; GIRAUDO Esther y colaboradores, "Información y formación en materia de CyMAT en la República Argentina", en *CyMAT en la Argentina*, Vol. III, CEIL-HUMANITAS, BS. AS., 1987.
- GIRAUDO Esther-Grupo CyMAT-UTN. Pacheco- NEFFA Julio C., *Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (CyMAT). Manual de Apoyo Didáctico y guía para la Capacitación*, Bs. As., PROIITTE de la SECYT, CEIL/CONICET, CREDAL, Humanitas, 1990.
- KARPF Luis, "Una metodología para la evaluación subjetiva de las condiciones y medio ambiente de trabajo. Relato de una experiencia". En
  - *Primeras Jornadas Nacionales Interdisciplinarias sobre Condiciones de Trabajo*, Bs. As, CEIL-CONICET/OIT, 1983.



- KORINFELD Silvia y CATALANO Ana M., "Las condiciones de trabajo", en *Tecnología y Trabajo*, Bs. As., CEIL-CONICET/Humanitas, 1987.
- KORINFELD Silvia, "Las condiciones y medio ambiente de trabajo del Cajero Integral". Bs. As., (mimeo), 1990.
- MORENO Omar, "Modalidades de contratación en la industria aceitera", en *CyMAT en la Argentina*, Vol. III, Bs.As., CEIL-HUMANITAS, 1987.
- NADAL Stella M., "Condiciones de trabajo en áreas rurales- El trabajador de temporada en el Chaco (Cosecha del algodón)". Ministerio de Justicia, Gob. y Educación de la Prov. del Chaco, 1987.
- NEFFA Julio C., "El pre-diagnóstico sobre las condiciones y medio ambiente de trabajo en la Argentina". En *Boletín del CEIL*, N° XIII, Bs. As., 1985.
- NEFFA Julio C., "Notas acerca de la naturaleza y significación de la ergonomía en un país semi-industrializado", en *CyMAT en la Argentina*. Vol. I., Bs. As, 1987.
- NEFFA Julio C., "Reconsideración de la noción de Condiciones y Medio Ambiente de trabajo. Definición y Contenido. Diversos enfoques y perspectivas", en *CyMAT en la Argentina*. Vol.I, Bs. As., 1987.
- NEFFA Julio C., *¿Qué son las condiciones y medio ambiente de trabajo? Propuesta de una nueva perspectiva*, Bs. As., SECYT, CEIL/CONICET, CREDAL/CNRS, Humanitas, 1988.
- NEFFA Julio C., Prólogo al libro de C. Dejours, *Trabajo y desgaste mental. Una contribución a la Psicopatología del Trabajo*, Bs. As., SECYT, CREDAL-CNRS., Humanitas, 1990.
- NOVICK Marta, "Problemas teóricos-metodológicos de la aplicación del método LEST en America Latina". Bs. As., CEIL, 1982 (mimeo).
- NOVICK Marta, "Condiciones de trabajo de puesto y la empresa. Su conceptualización teórica". En *Primeras Jornadas Nacionales Interdisciplinarias sobre Condiciones de Trabajo*, Bs. As., CEIL-CONICET-OIT, 1983.
- NOVICK Marta, "Condiciones de trabajo del puesto y la empresa. Su conceptualización teórica". Bs. As., CEIL, 1984.
- NOVICK Marta, " Los métodos de análisis objetivos de las condiciones de trabajo: ¿Mantienen su vigencia?", en *CyMAT en la Argentina*, Vol. I, Bs. As, CEIL-HUMANITAS, 1987.

- NOVICK Marta, (comp.), "Condiciones de trabajo en América Latina. Nuevas tecnologías, empleo precario y salud ocupacional". Bs. As., CONICET-CLACSO, Biblioteca Latinoamericana de C. Sociales, 1987.
- PANAIA Marta, "Economía subterránea y condiciones de trabajo", en *CyMAT en la Argentina*. Vol. III, CEIL-HUMANITAS, Bs. As., 1987.
- RODRIGUEZ Carlos, *Salud y trabajo*, Bs. As, CEAL, 1990.
- VASILACHIS de GIALDINO Irene "La vinculación entre las condiciones de trabajo y la calidad de vida en la conceptualización teórica y en la legislación internacional". En *Primeras Jornadas Nacionales Interdisciplinarias sobre Condiciones de Trabajo*, Bs. As., CEIL-CONICET/OIT, 1983.
- VASILACHIS de GIALDINO Irene, *Las condiciones de trabajo*, Bs. As., Abeledo Perrot, 1986.
- VASILACHIS de GIALDINO Irene, *Enfermedades y accidentes laborales. Un análisis sociológico y jurídico*, Bs. As., Abeledo Perrot, 1992.
- VASILACHIS de GIALDINO Irene, "Condiciones de trabajo y convenios colectivos: Una nueva perspectiva (Parte I: Calidad de vida y condiciones del puesto de trabajo)". En *Doctrina Laboral* N° 91, Tomo VII, 1993.
- VASILACHIS de GIALDINO Irene, "Condiciones de trabajo y convenios colectivos: Una nueva perspectiva (Parte II: Condiciones de trabajo en la Empresa)". En *Doctrina Laboral* N° 92, Tomo VII, 1993.
- VASILACHIS de GIALDINO Irene, "Condiciones de trabajo y convenios colectivos: Una nueva perspectiva (Parte III: Aspectos regulados bajo el acápite 'condiciones de trabajo' en las convenciones colectivas)". En *Doctrina Laboral* N° 93, Tomo VII, 1993.

# **Riesgos del medio ambiente físico de trabajo:**

Carga térmica

Carga acústica

Vibraciones

Iluminación

Radiaciones

Condiciones hipo e hiperbáricas

**Nora Escobar**

**Victor Vera Pinto**

# I. Carga Térmica

## 1. Introducción

Cuando se habla de carga térmica se la asocia únicamente con carga por calor. Sin embargo, el término carga térmica, utilizado como uno de los factores de carga del medio ambiente laboral, implica tanto el calor incorporado como el perdido por el ser humano. Se debe considerar, entonces, la carga térmica por calor y por frío.

Cualquier desviación del clima que lo aparte de las condiciones de confort, ocasiona sensación de frío o calor y pone en marcha el mecanismo de termorregulación a fin de mantener constante la temperatura del cuerpo. Cuando la carga térmica es moderada, el rendimiento corporal o intelectual no sufre modificaciones. Por el contrario, cuando las condiciones climáticas están muy alejadas de las del confort, aparecen disminuciones importantes del rendimiento y daños en la salud.

Se debe recordar que el confort térmico no puede definirse a partir de un solo parámetro, por ejemplo, la temperatura ambiente. Es así como 20°C de temperatura ambiente, para una persona sentada, vestida con ropas muy livianas, puede provocarle sensación de frío; en cambio, para alguien realizando tareas pesadas y vestido con ropa de trabajo, puede resultarle caluroso y hasta insoportable.

El balance térmico que se establece entre la persona y el medio que la rodea, sólo puede entenderse si se conocen los factores físicos y biológicos que lo regulan y cuya interacción caracteriza a la carga por clima. Estos valores servirán además, para evaluar la carga ambiental, recomendar las medidas de corrección necesarias y efectuar el control y seguimiento clínicos de los trabajadores expuestos.

En las páginas que siguen se hace una referencia detallada de esos factores ambientales y biológicos, su importancia en distintas situaciones laborales, y las medidas de evaluación y control necesarias en cada caso.

## 2. Aspectos físicos

### 2.1. Recomendaciones iniciales

Cuando se realicen mediciones de las variables climáticas, se deberá tener en cuenta que las mismas pueden variar en diferentes puntos de un mismo puesto de trabajo. Por ejemplo: en una habitación suelen producirse diferencias de temperatura importantes entre el piso y el techo, o entre lugares cercanos a una ventana y otros alejados de ella. En muchos casos será necesario efectuar varias mediciones y calcular luego el valor promedio.

También las condiciones climáticas pueden variar a lo largo del día o depender de las fases del proceso de trabajo, y entonces habrá que decidir entre efectuar mediciones discretas a diferentes horas o bien mediciones continuas. En general conviene realizar algunas mediciones orientadoras previas al plan definitivo de evaluación.

Finalmente, la correcta elección del tipo de instrumental a utilizar, así como la estricta comprobación de su buen estado y calibración, son imprescindibles para una medición precisa.

### 2.2. Magnitudes climáticas - Instrumental - Formas de evaluación

#### a) Temperatura del aire

También llamada temperatura ambiente, para medirla se utilizan distintos tipos de termómetros, basados en diferentes principios físicos. El más común es el termómetro de vidrio con bulbo de mercurio. Al emplearlo se deberá tener la precaución de no tocarlo con los dedos húmedos o sucios, así como de envolver el bulbo con un elemento reflexivo (papel de aluminio), cuando se efectúen mediciones cerca de fuentes de calor radiante (ej.: hornos de fundición). Otro tipo de termómetro es el de espiral bimetálico, formado por dos metales de diferentes coeficientes de deformación térmica, que posee un extremo fijo y otro unido a una aguja. Los cambios de temperatura hacen variar la forma del espiral, aprovechándose este fenómeno para medir la misma. Otro principio que puede utilizarse es la variación de la "resistividad", es decir la resistencia al pasaje de la corriente eléctrica, que presentan algunos metales o semiconductores, en función de la temperatura. Estos elementos se denominan "resistores". La ventaja de estos termómetros eléctricos es

que permiten efectuar registros continuos. Su desventaja es que requieren un equipamiento mucho más costoso.

#### b) Humedad del aire

La atmósfera terrestre está formada por una mezcla de gases cuyos principales componentes son el nitrógeno (N), el oxígeno (O) y el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). Esta atmósfera rodea todo el planeta produciéndose una serie de intercambios con la masa líquida de agua contenida en ríos, lagos, mares y océanos. Es así como el agua en forma de vapor ingresa a la atmósfera. Esta cantidad variable de agua es lo que produce la humedad atmosférica, de gran influencia sobre la carga térmica ya que regula la cantidad de sudor que una persona puede evaporar. Con mucha humedad el sudor moja la piel pero al no evaporarse, no la enfría. La cantidad de humedad contenida en el aire, se puede expresar de dos formas:

- *Humedad absoluta*: representa la masa de vapor de agua expresada en gramos, contenida en un kilogramo o en un metro cúbico de aire.

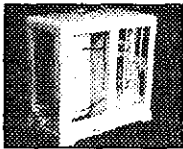
- *Humedad relativa*: es la expresión en porcentaje de la cantidad de humedad presente en la atmósfera en relación con la máxima cantidad de humedad que podría llegar a contener, en iguales condiciones climáticas. Por lo tanto:

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{Humedad real existente}}{\text{Máxima humedad posible}} \times 100$$

La máxima humedad posible es la de saturación. A partir de este valor toda la humedad presente en la atmósfera condensa en forma de agua. Este hecho puede comprobarse fácilmente, en los días de mucha humedad, cuando se dice que “el agua brota del piso” pero que en realidad es el agua condensada a partir de la humedad contenida en el aire.

A cada valor de temperatura del aire le corresponde un valor de saturación de humedad.

Cuando se coloca un termómetro con un bulbo desnudo en contacto con el aire, este valor de medición se denomina *temperatura de bulbo seco (TBS)*. En cambio, si se cubre el bulbo con un algodón mojado con agua, el aire tomará tanta humedad como le permita su capacidad de absorción. Cuanto más seco se encuentre el aire, más rápido secará el algodón. Esta evaporación provocará el enfriamiento del bulbo. Si el aire está saturado de humedad, al no evaporar agua del algodón, no modifica la temperatura del bulbo. A esta temperatura así obtenida se la llama de *bulbo húmedo (TBH)*.



**Figura 1**  
Higrómetro de pelo

En síntesis, cuando la TBS se mantiene igual a la TBH, significa que la atmósfera está saturada de humedad. La humedad relativa es del 100%. A medida que la TBH disminuye respecto de la TBS, indica que el aire es más seco.

En este principio se basa el psicómetro de Aseman que mide simultáneamente la TBS y la TBH. Con estos dos valores se pueden calcular la presión parcial del vapor de agua y luego la humedad relativa (ver Apéndice).

Uno de los instrumentos que permite medir la humedad relativa del aire es el higrómetro de pelo. Se basa en que el cabello humano y algunas fibras sintéticas varían su longitud en función de la humedad relativa contenida en el aire. El incremento de longitud se transmite a un indicador.

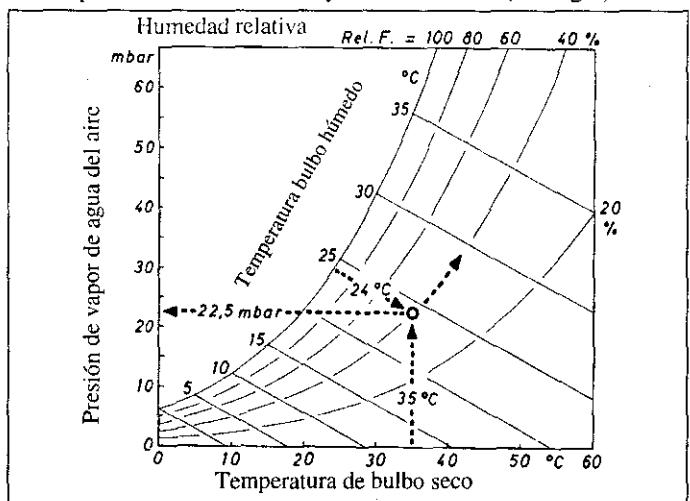
Este instrumento suele venir combinado con un termómetro de registro continuo, quedando indicada la humedad relativa y la temperatura ambiente sobre un tambor (ver fig. 1)

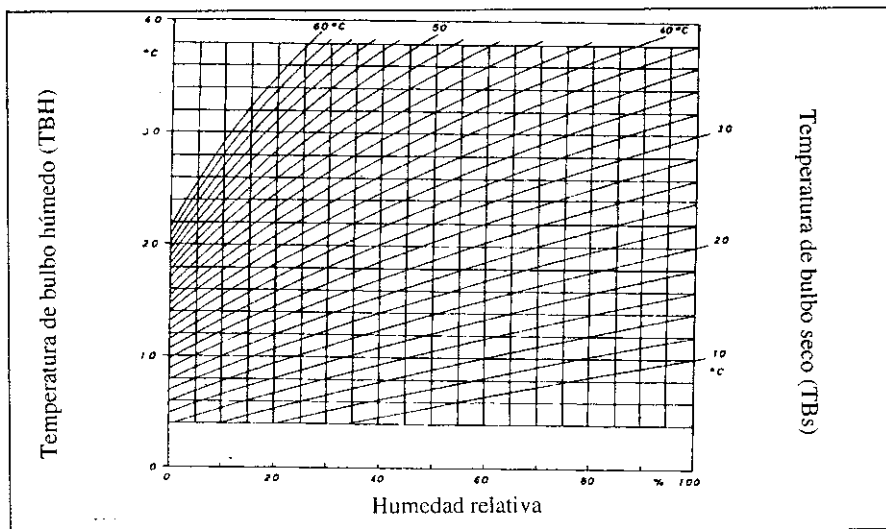
Un instrumento de mayor precisión es el higrómetro electrolítico. Aprovecha las variaciones de la conductividad eléctrica de ciertas sales disueltas en agua, tal como el cloruro de litio. Posee la gran ventaja de reaccionar rápidamente frente a las variaciones de la humedad relativa.

Por su alta precisión  $\pm 1,5\%$ , supera a todos los instrumentos. Permite además el registro continuo de los valores de humedad.

El valor de humedad relativa puede obtenerse también, mediante la utilización de diagramas. El denominado *psicométrico* permite hallar ese valor partiendo de la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo (ver fig.2).

**Figura 2**  
Diagrama Psicométrico  
Obtención de los valores de humedad atmosférica a partir de las temperaturas de bulbo seco y húmedo





Por ejemplo, para:

$$TBS = 30^{\circ}C$$

$$TBH = 20^{\circ}C$$

Se obtiene una humedad relativa de 40% y una presión parcial de vapor de agua de 15 milibares.

Otro diagrama muy práctico al cual también se ingresa con los valores de TBS y TBH es el de la fig. 3.

**Figura 3**

Relación entre temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y humedad relativa

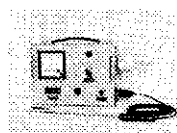
c) Velocidad del aire

Básicamente existen dos tipos de anemómetros o medidores de velocidad del aire:

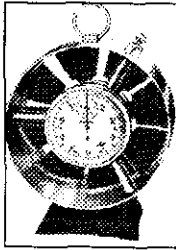
- *Anemómetro térmico*: utiliza la capacidad del aire de enfriar una sonda calentada por una resistencia eléctrica. Está calibrado para una temperatura de aire de 20°C por lo que para otros valores se deberán introducir correcciones. Tiene la ventaja de medir valores instantáneos. Sin embargo, cuando las corrientes de aire varían bruscamente, los movimientos de la aguja pueden complicar la medición. Se puede utilizar aún para velocidades por debajo de 0,5 m/seg. independientemente de la dirección del aire.

- *Anemómetro de paletas*: el aire al pasar por las paletas las hace girar; un mecanismo de relojería convierte ese movimiento en valores de velocidad (m/seg.) Este instrumento debe ser utilizado para velocidades superiores a 0,5 m/seg., y a diferencia del anterior, debe ser orientado conforme la dirección del viento.

**Figura 4**  
Anemómetro térmico







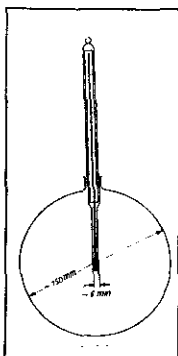
**Figura 5**  
Anemómetro de paletas

#### d) Radiación térmica

Cualquier superficie caliente, ya sea las paredes de un horno o el techo de chapas recalentado por el sol, es una fuente de radiación térmica. Muchas veces interesa conocer qué cantidad de calor está recibiendo una persona sometida a este tipo de radiación. La medida de esta magnitud se obtiene por medio del *radiómetro*. Existen diferentes versiones del mismo, casi todas con algunos inconvenientes. Una de las fuentes de error es la imposibilidad de distinguir entre el calor aportado por radiación y el aportado por convección. Existe un instrumento desarrollado por la Universidad de Ingeniería de Wuppertal (República Federal de Alemania), que elimina este problema. La medición de la carga radiante se hace mediante dos sensores: uno que se comporta como cuerpo negro, ya que está recubierto por una superficie de ese color, y otro como cuerpo reflectante, cubierto por una película espejada. El sensor negro reacciona al total de la energía, suma del calor radiado y del aportado por convección. El sensor dorado es insensible al calor radiado y sólo capta el aportado por convección. La diferencia entre estos valores es el calor por radiación. Su lectura se da en  $W/m^2$  o en  $Kcal/h m^2$ . Las características técnicas de este instrumento permiten evaluar aisladamente la energía irradiada proveniente de distintas direcciones. Esto es muy útil para establecer las zonas de mayor carga radiante y tomar las medidas de protección adecuadas.

En los ambientes industriales el calor radiante es un factor importante en la carga por clima. Sin embargo, resulta dificultoso hasta hoy obtener un índice sumario global que integre el resultado de esas mediciones. Recordemos que esos índices se han desarrollado para describir, mediante un único indicador, la acción combinada de varios factores climáticos. Por ejemplo, la llamada sensación térmica expresa el efecto final sobre el hombre de la temperatura del aire, la humedad y la velocidad del viento.

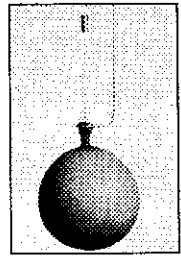
**Figura 6**  
Termómetro de Globo o termómetro de Vernon



En el caso de la carga radiante, expresada en términos de energía por unidad de superficie y de tiempo ( $w/m^2$  o  $kcal/h m^2$ ), aún no se ha podido lograr una verdadera integración. Sin embargo, una forma indirecta de llegar a ella es por medio de mediciones efectuadas con el termómetro de globo. El mismo también llamado *termómetro de Vernon* (ver figura 6), está formado por una esfera hueca de cobre de 150 mm de diámetro y 6 mm de espesor, pintada exteriormente de color negro mate para lograr un máximo intercambio radiante con el medio que lo rodea; un termómetro de mercurio se encuentra ubicado de tal forma que su bulbo ocupa el centro de la esfera. Esta versión de termómetro de globo requiere 20 minutos para alcanzar un valor estable, lo que para la

evaluación de cargas radiantes fluctuantes, puede llegar a ser un inconveniente. Ultimamente se han desarrollado modelos que reaccionan más rápidamente.

Una solución económica, pero igualmente precisa, es el *globo termómetro de goma*, desarrollado por Krause. Se trata de un globo de goma inflado hasta alcanzar un diámetro de 15 cm que se cierra con un tapón por donde pasa el mercurio (ver fig.7). Mediante un soporte de alambre se lo fija adecuadamente en el lugar a medir.



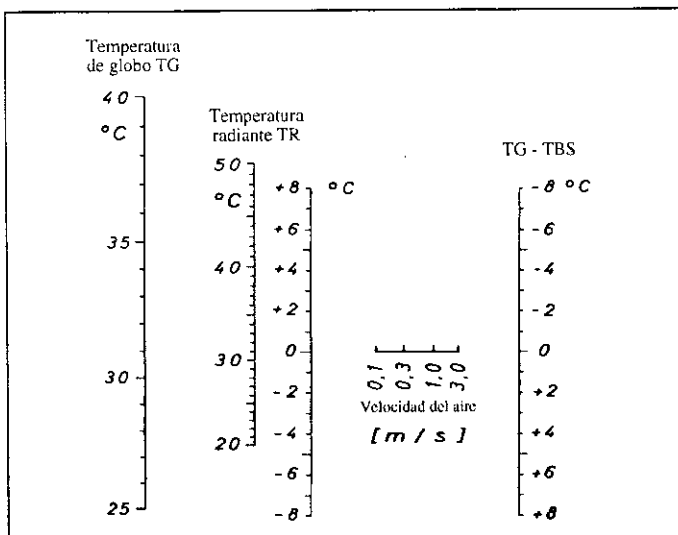
**Figura 7**  
Globo termómetro de goma

Utilizando una combinación de globo termómetro de cobre, con otro de goma, se puede lograr que el primero mida un valor promedio de radiación y el segundo indique las variaciones instantáneas que puedan existir.

El valor alcanzado por el globo termómetro depende tanto de la temperatura del aire como de la temperatura media de radiación. Esta última es la temperatura que debería tener un cuerpo negro radiante ideal, capaz de intercambiar una cantidad de calor con el hombre, equivalente a la que éste intercambia con el ambiente donde se encuentra.

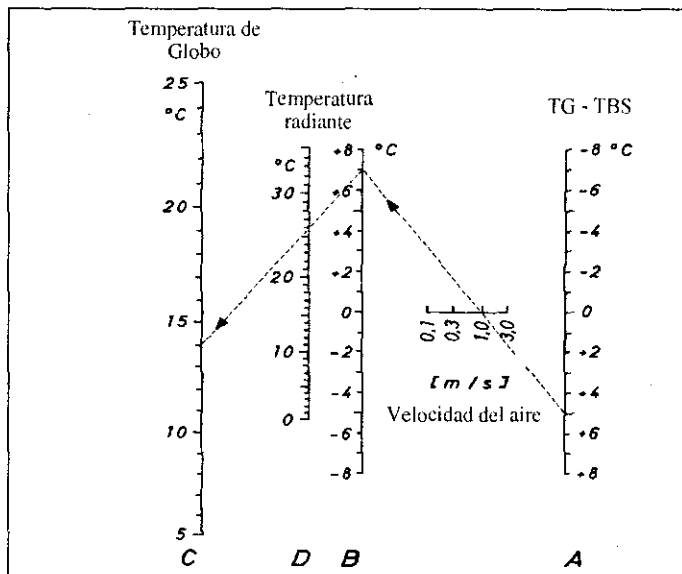
Cuando la temperatura del aire y la radiante coinciden, el globo termómetro alcanza un valor de temperatura intermedio. En este último caso comienza a influir también la velocidad del aire.

A partir de los valores de temperatura del globo, del aire y de la velocidad del mismo, se puede determinar con ayuda de nomogramas (ver figuras 8,9,10 y 11), los valores de temperatura media de radiación.



**Figura 8**  
Nomograma I para la determinación de la temperatura radiante media (según Bedford)

**Figura 9**  
 Nomograma II  
 para la  
 determinación de  
 temperatura  
 radiante media  
 (según Bedford)



El siguiente ejemplo aclara el uso del nomograma de la fig.9

Dado:

$$T^{\circ} \text{ globo} = \text{TG} = 14^{\circ}\text{C}$$

$$T^{\circ} \text{ aire} = \text{TBS} = 9^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Velocidad del aire} = V = 2 \text{ m/seg.}$$

sobre la escala A se anota la diferencia:

$$\text{TG} - \text{TBS} = 15 - 9 = 6^{\circ}\text{C}$$

Uniendo ese valor con la velocidad de aire, se obtiene un punto, en la escala auxiliar B. Uniendo este punto con los  $15^{\circ}\text{C}$  de temperatura de globo en la escala C, se obtiene en la escala D un punto que corresponde al valor buscado (Temperatura relativa =  $27^{\circ}\text{C}$ ). Entonces, si se reemplazara el medio ambiente real por un cuerpo negro ideal, éste tendría una temperatura uniforme de  $27^{\circ}\text{C}$ .

#### e) Magnitudes Climáticas Sumarias

Las condiciones climáticas de un puesto de trabajo pueden definirse mediante la medición de los valores de sus componentes individuales. Por ejemplo:

$$\text{Temperatura de bulbo húmedo (TBS)} = 24^{\circ}\text{C}$$

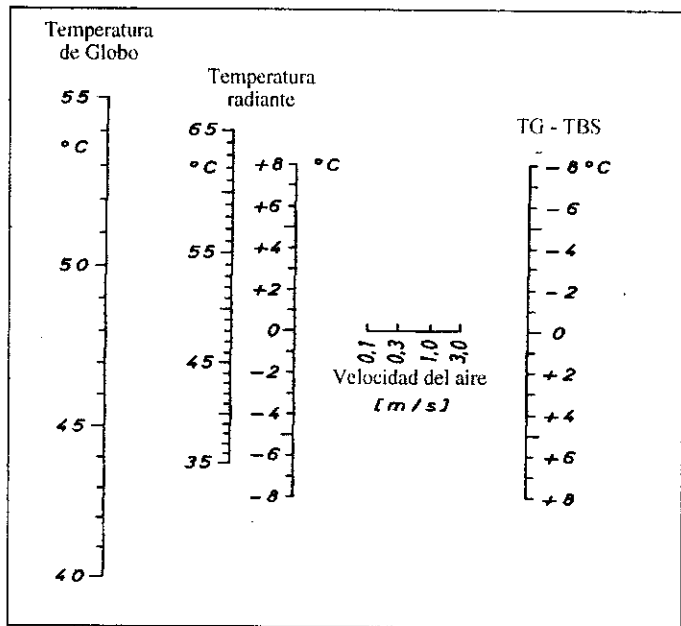
$$\text{Humedad relativa (HR)} = 48\%$$

$$\text{Velocidad del aire (V)} = 0,3 \text{ m/seg.}$$

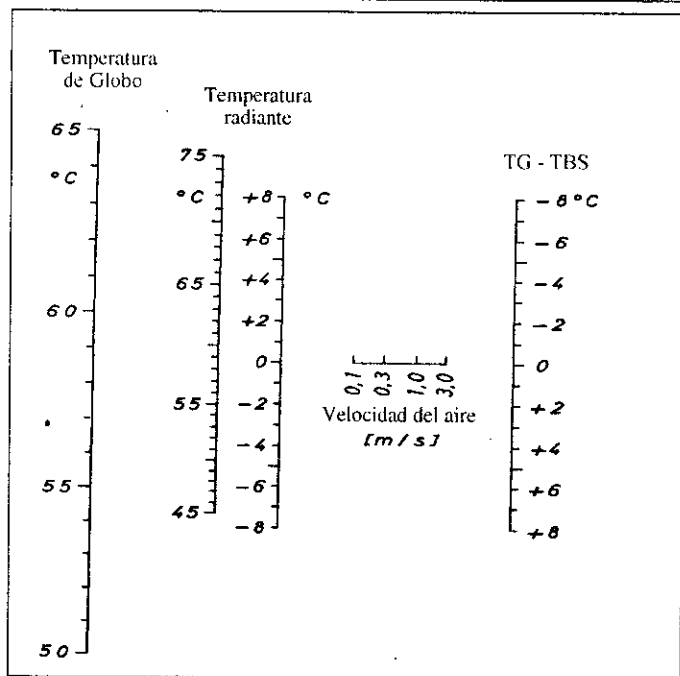
$$\text{Temperatura relativa (TR)} = 21^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura de globo (TG)} = 23^{\circ}\text{C}$$

Sin embargo, el ser humano tomado como instrumento integrador de estas variables, responde con una sensación



**Figura 10**  
Nomograma III  
para  
determinación de  
la temperatura  
radiante media  
(según Bedford)



**Figura 11**  
Nomograma IV  
para la  
determinación de  
la temperatura  
radiante media  
(según Bedford)

global: comienza a sentir calor a medida que se aumenta la temperatura, y restablece su equilibrio térmico si se aumenta

la velocidad del aire circulante. Es decir, una forma de compensar los efectos térmicos de la elevación de la temperatura, es incrementar la ventilación.

Por este motivo, es necesario desarrollar una serie de indicadores (*magnitudes climáticas sumarias*), que integren los efectos combinados de las diferentes variables climáticas.

Una de las magnitudes climáticas sumarias que ha encontrado mayor difusión, es la denominada *temperatura efectiva* o *sensación térmica*.

Se pueden distinguir dos formas de temperatura efectiva:

- la normal (NET) válida para personas con ropa de calle
- y la básica (BET), calculada para personas con el torso desnudo.

Se llegó al concepto de temperatura efectiva luego de experiencias realizadas en laboratorios (ver fig. 12) en donde se sometía a individuos a distintas situaciones de clima, primero en una habitación con clima de referencia (cuarto 1) y luego en otra (cuarto 2) donde algunas magnitudes se hacían variar, hasta lograr la misma sensación térmica que se tuvo en el cuarto de referencia.

Ejemplo:

- Cuarto 1  $T = 25^{\circ}\text{C}$  ;  $H = 100\%$  ;  $V = 0,1 \text{ m/seg.}$

- Cuarto 2  $T = ( )$  ;  $H = 100\%$  ;  $V = 0,5 \text{ m/seg.}$

La temperatura (i) aumentó hasta conseguir en el individuo la misma sensación térmica que habría tenido en el cuarto 1.

A estas dos situaciones con diferentes valores individuales de factores de clima, pero de igual sensación térmica, se las define como de igual valor de temperatura efectiva (en este caso  $T=25^{\circ}\text{C}$ ).

**Figura 12**  
Principio de desarrollo de la temperatura efectiva

	Humedad relativa %	Velocidad del aire m/s	Temperatura ambiente C	Temperatura efectiva NET C
Cuarto 1 Clima de referencia	100	0,1	25	25
Cuarto 2 Clima de comparación	100	0,5	26	
	100	2,0	28	
	75	0,1	27	
	25	0,1	32	
	45	2,0	32	
	10	3,0	37	

En la fig. 12 se dan otras combinaciones que producen la misma sensación térmica ( $25^{\circ}\text{C}$ ).

Este procedimiento se repitió hasta cubrir todo el rango de temperaturas necesario, por ejemplo, entre  $0^{\circ}$  y  $45^{\circ}\text{C}$ .

El resultado de estas experiencias se volcó a dos nomogramas mediante los cuales se obtienen respectivamente las temperaturas efectivas NET y BET (ver fig. 13 y 14).

El siguiente ejemplo muestra el uso de estos nomogramas para un ambiente laboral donde reinan las siguientes condiciones:

$$T^{\circ}\text{ del aire} = \text{TBS} = 28^{\circ}\text{C}$$

$$T^{\circ}\text{ del aire} = \text{TBH} = 25^{\circ}\text{C}$$

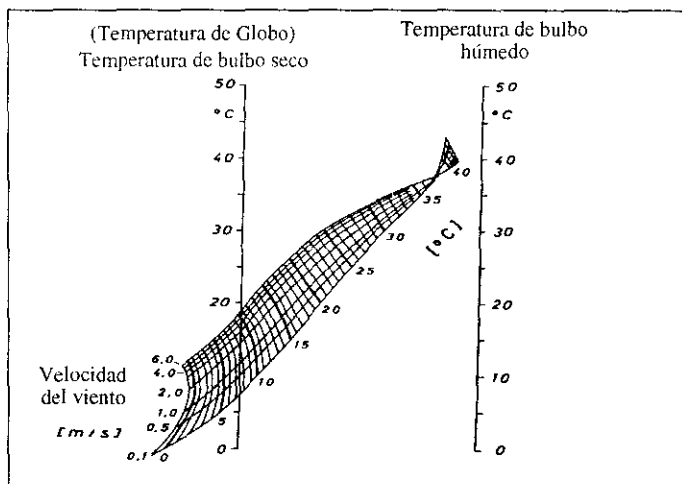
$$V \text{ del aire} = V = 3 \text{ m/seg.}$$

Uniendo con una recta los puntos para TBS y TBH, e intersectando con la curva para la velocidad de aire, se obtiene la temperatura efectiva  $T^{\circ}\text{C}$  (en este caso  $20^{\circ}\text{C}$ ).

Este valor ( $\text{BET} = 20^{\circ}\text{C}$ ) equivale a tener en el cuarto de referencia:  $T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$  ;  $H = 100\%$  y  $V = 0,15 \text{ m/seg.}$

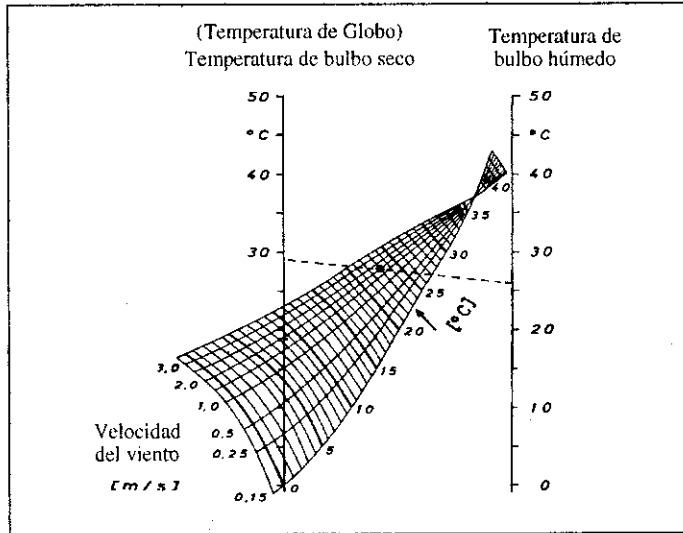
#### f) Integración de la temperatura de radiación

Las investigaciones a partir de las cuales se obtuvieron las temperaturas efectivas, fueron realizadas en ambientes donde no había incidencia de calor radiante. Es decir, en estos casos la temperatura del aire coincidía con la temperatura radiante media ( $\text{TBS} = \text{TR}$ ).



**Figura 13**  
Nomograma para determinación de la temperatura efectiva normal (NET), según Yaglov

**Figura 14**  
 Nomograma para  
 determinación de  
 la temperatura  
 efectiva básica  
 (BET), según  
 Yaglov



En la práctica industrial esto no siempre es así. la existencia de fuentes de radiación térmica hace que, en general, la temperatura del aire y la de la radiación térmica no coincidan ( $TBS \neq TR$ ).

Bedford propuso reemplazar la temperatura del aire por la de globo termómetro, con lo que la temperatura de radiación pasa a integrar la temperatura efectiva. Los valores así obtenidos se denominan *temperatura efectiva corregida* o CBET o CNET.

La experiencia recogida en casi 50 años de uso de esta magnitud climática sumaria ha demostrado su validez.

### 3. Aspectos biológicos

#### 3.1. Introducción

El ser humano posee un organismo que tiende permanentemente al equilibrio. Para conservar sus funciones vitales debe mantener ciertos parámetros dentro de estrechos límites, mediante la puesta en marcha de delicados mecanismos fisiológicos de control y regulación.

En este caso el parámetro más importante es la *temperatura central* ( $T^{\circ}c$ ). Esta, o *temperatura interna*, es la temperatura de la sangre que baña el sistema nervioso central (y dentro de él interesa fundamentalmente al centro termorregulador del hipotálamo) y debe diferenciarse claramente de la *temperatura periférica* o *temperatura de la piel* ( $T^{\circ}s$ ).

Mientras la primera ( $T^{\circ}c$ ) sólo admite una desviación de  $4^{\circ}C$  fuera de su valor de  $37^{\circ}C$  la segunda puede apartarse hasta  $10-15^{\circ}C$  de su valor normal de  $33-34^{\circ}C$  sin que esto represente peligro alguno para su salud. En efecto, la temperatura de la piel cambia muy rápidamente siguiendo las variaciones de temperatura ambiente. Para valorarla correctamente se deben realizar mediciones en no menos de diez lugares diferentes de la superficie cutánea y promediar sus resultados. Por el contrario, la temperatura central varía lentamente y su medición sólo puede hacerse en forma indirecta mediante termómetros ubicados en el recto, el conducto auditivo externo junto al tímpano, o en el esófago. En la práctica, también se utiliza otro equivalente: la temperatura sublingual. La primera es la más precisa de ellas.

La constancia del valor de temperatura central ( $37^{\circ}C$ ), fundamental para el mantenimiento de la vida, se consigue gracias al equilibrio existente entre los mecanismos de formación y pérdida de calor.

### 3.2. Mecanismos de formación y pérdida del calor

Los primeros están representados por:

- a) *el metabolismo basal*, por el cual la mayor parte de la actividad metabólica de las células se transforma en calor;
- b) la actividad muscular generalizada en forma de *temblor o escalofrío*, que puede aumentar el metabolismo entre 2-4 veces;
- c) la actividad de ciertas *hormonas* como la *tiroxina*, *triyodotironina*, *adrenalina* y *noradrenalina*, que a través del aumento del metabolismo, aumentan también la producción de calor;
- d) el propio *aumento de temperatura* que acelera el metabolismo ( $1^{\circ}C$  de aumento de temperatura corporal provoca 13% de aumento metabólico).

Los mecanismos de pérdida de calor, en condiciones de ambiente confortable, son:

- a) *irradiación*, por la cual el organismo cede el 60% de su calor al medio en forma de ondas infrarrojas. Por este mismo mecanismo el hombre puede ganar calor cuando en el medio existe una fuente radiante de mayor temperatura que él;
- b) *conducción*, por la cual el individuo transmite 12% de su calor a los objetos (ropa, herramientas) o al aire que está en inmediato contacto con él. También ésta es una resultante y puede darse el caso de ganarse calor a través de ella.
- c) *evaporación del sudor*, del agua contenida en el aire expirado y del agua de la piel (perspiración insensible). Esto



favorece el enfriamiento del cuerpo al restar 580 calorías (cal) por cada litro de agua evaporada. La evaporación del sudor representa la mitad de las pérdidas por este mecanismo. La evaporación evacúa el 25% del calor producido.

Un rol importante en la regulación de la temperatura central, le cabe a la *circulación cutánea*. Mediante su aumento (vasodilatación periférica) aumenta la temperatura de la piel, facilitando la irradiación y la conducción. Si se produce vasoconstricción, el flujo sanguíneo en la piel disminuye y se evita de este modo la pérdida del calor. En ambientes fríos, el flujo sanguíneo hacia la piel es de 259 ml/min., mientras que en ambientes calientes puede llegar a 1500 ml/min.

También es importante la función del tejido graso subcutáneo, que por disminuir la posibilidad de disipación del calor, funciona como aislante térmico.

### 3.3. Mecanismo de termorregulación

Normalmente, existen diferencias entre la temperatura interna, la superficial y la del medio ambiente. La variación de estos gradientes actúa sobre el centro termorregulador del hipotálamo. Este responde a la variación de temperatura de la sangre que lo irriga y a estímulos nerviosos de los receptores de frío y calor de la piel, alterando la circulación cutánea, la sudoración (mecanismos de pérdida de calor), y variando el grado de actividad muscular y los niveles hormonales, con lo cual se altera la producción endógena de calor.

Por ejemplo:

- 1) El enfriamiento de la piel estimula los receptores cutáneos, el enfriamiento de la sangre de la piel enfría la sangre general (disminución de la temperatura central). Esto es percibido por el hipotálamo que responde provocando vasoconstricción periférica (disminución de la pérdida por irradiación y conducción), cese de la sudoración (disminución de la evaporación), temblor y escalofrío (aumento de la producción de calor), aumento de adrenalina y noradrenalina (aumento del metabolismo).
- 2) Por el contrario, con un aumento de la temperatura ambiente, la temperatura de la piel hace que la de la sangre también tenga tendencia a aumentar. Esta información recibida por el hipotálamo provoca vasodilatación periférica (aumento de la irradiación y la convección), aumento de la sudoración (por lo tanto, de la evaporación), disminución del tono muscular y los niveles de adrenalina y noradrenalina, con la consiguiente reducción de calor endógeno.

La gran perfección de este sistema lo demuestra el hecho de que el hombre desnudo tolere variaciones de temperatura

ambiente entre 10°C y 60°C, sin que su temperatura interna se altere significativamente. Con protección adecuada, este margen puede ampliarse a -10°C y 100°C. En general, se puede decir que resulta más fácil para el organismo mantener la temperatura central cuando es sometido a bajas temperaturas exteriores, porque tiene más formas de respuestas protectoras que frente al calor.

La importancia práctica de todo lo antedicho se pone de manifiesto en las situaciones de trabajo.

Los ambientes laborales con altas temperaturas se destacan no sólo por su frecuencia sino por la alta incidencia de fatiga física causada por la tentativa del organismo de mantener constante su temperatura.

En efecto, la alta exigencia sobre el sistema termorregulador provocada por la suma de carga ambiental y laboral, lleva a una sensación de disconfort que depende del nivel de esfuerzo fisiológico. Esto puede conducir a respuestas basadas en el instinto o la experiencia, tales como disminución del ritmo de trabajo (para disminuir el metabolismo), modificación del vestuario y permanencia en un ambiente refrigerado, que constituyen una primera línea de defensa del hombre frente a las condiciones de stress térmico.

La primera respuesta del organismo en estos casos, es la *vasodilatación cutánea* con el fin de facilitar la conducción y la irradiación. Sin embargo, en un porcentaje importante de casos en que existe una fuente externa de intensa irradiación, este mecanismo termina provocando ganancia de calor en lugar de pérdida. De este modo cobra todavía más importancia el segundo mecanismo de enfriamiento: la *evaporación de sudor*, que como ya vimos, elimina de la piel 0,58 kcal por cada gramo de sudor. La eficacia del mismo depende de su velocidad (secreción de cada glándula en particular y del número total de glándulas activas). Estas ascienden a dos millones y medio, y pueden segregar hasta 3 kg en una hora, para un hombre altamente aclimatado, y mantenerse en 1-1,5 kg/h cuando pasan varias horas.

Mientras el mecanismo central de sudoración es conducido y determinado por el ritmo de trabajo, la salida del sudor es modulada por la temperatura de la piel para conseguir la evaporación requerida, y la velocidad de ésta se determina por el gradiente entre la presión de vapor de la piel húmeda y la del aire ambiente, en función de la velocidad del aire, la superficie de la piel y la fracción de la misma que esté húmeda. El cálculo de la cantidad de sudor resulta de la medición de las diferencias de peso del individuo, corregida por la ingesta y el egreso de líquidos.

### 3.4. Respuesta fisiológica a la carga por calor

A muy alta humedad ambiente o muy baja velocidad del viento, o por el uso de ropas impermeables, este mecanismo se ve impedido de actuar.

El cuerpo puede estar totalmente cubierto de sudor, pero al evaporarse, se pierde y no refrigera la piel.

En estas circunstancias, la temperatura central aumenta hasta igualar la periférica y el equilibrio sólo puede conservarse gracias al esfuerzo termorregulador, con un aumento del flujo sanguíneo a piel y el consiguiente aumento de la frecuencia cardíaca. Por ejemplo, si se toman en cuenta el metabolismo y el pulso de trabajo para evaluar el esfuerzo cuando es necesario usar ropas antiinflamatorias, se verá que éstas agregan 10% y 30%, si se usa saco y traje completo respectivamente, y son suficientes 15 minutos para que la temperatura de la piel aumente 1,5° - 2°C.

En situaciones como éstas, la reacción fisiológica sería disminuir la producción interna de calor. Por el contrario, el individuo está trabajando y con esto aumentando su metabolismo y produciendo más calor. Es fácil entonces inferir que, de no haber posibilidades de evaporación intensa, puede caer rápidamente en una severa hipertermia.

En ambientes con altas temperaturas, el organismo sufre una sobrecarga circulatoria, aún cuando no esté realizando trabajo físico. Esto es consecuencia de varios factores: por un lado el aumento de circulación en piel (que puede llegar a triplicarse), y la vasodilatación venosa, que altera el retorno sanguíneo al corazón; y por otro lado, la pérdida de líquidos por sudor, que disminuye la cantidad de plasma circulante.

Para que en estas condiciones el oxígeno siga llegando a todas las áreas vitales, el corazón debe aumentar su velocidad de contracción. Simultáneamente, se produce vasoconstricción en zonas tales como los órganos abdominales para desviar la sangre de esos lugares hacia otros más activos y necesarios en ese momento. Si a esto se agrega trabajo muscular, se establece una suerte de competencia entre los mismos: por un lado, la piel necesita sangre para refrigerar, por otro, los músculos la necesitan para contraerse.

El efecto del stress térmico sobre el rendimiento se indica por un aumento del costo y recuperación cardíaca.

### 3.5. Mecanismo de adaptación o aclimatación

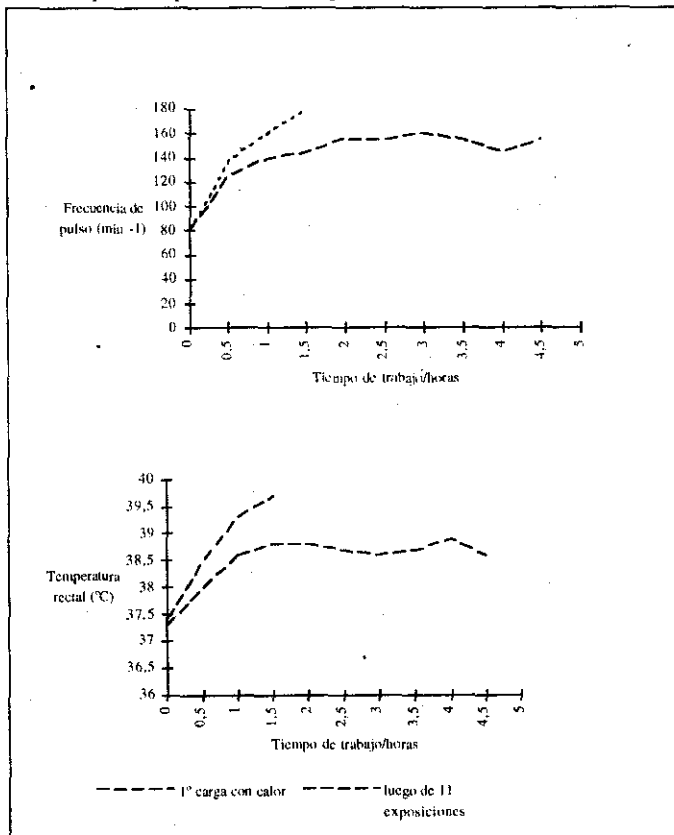
Como consecuencia del sudor aumentado se pierde líquido, que en un primer estadio contiene gran cantidad de sodio (15-20 gr/día). Después de un cierto tiempo, la eliminación de sodio baja a 3-4 gr/día. Intentando mantener el equilibrio hídrico en el organismo, disminuye la cantidad de orina eliminada, para evitar la deshidratación y diluir el exceso relativo del sodio. Se pone así de manifiesto el proceso de aclimatación que se caracteriza por:

- una mayor cantidad de sudor,
- una mayor velocidad de producción del mismo,
- una disminución de la concentración de minerales en él,
- una mayor facilidad para mantener la temperatura central y la frecuencia cardíaca estable, dentro de límites considerados normales para cada situación.

En estos casos, el *volumen sistólico* (volumen de sangre evacuado por el corazón en cada contracción) aumenta y mejora, en consecuencia, la eficacia del corazón como bomba: al aumentar la sudoración mejora la refrigeración de la piel, lo cual permite que la circulación en la misma se reduzca.

El resultado de esto es que el individuo estará apto para desenvolver prácticamente toda su *fuerza aeróbica* (capacidad de adaptación circulatoria al esfuerzo) manteniendo su frecuencia cardíaca prácticamente en los mismos niveles que en ambientes neutros.

Esto se puede apreciar en la fig. 15.



**Figura 15**  
Relaciones entre  $T^{\circ}$  rectal y frecuencia de pulso en un hombre antes y después de la aclimatación

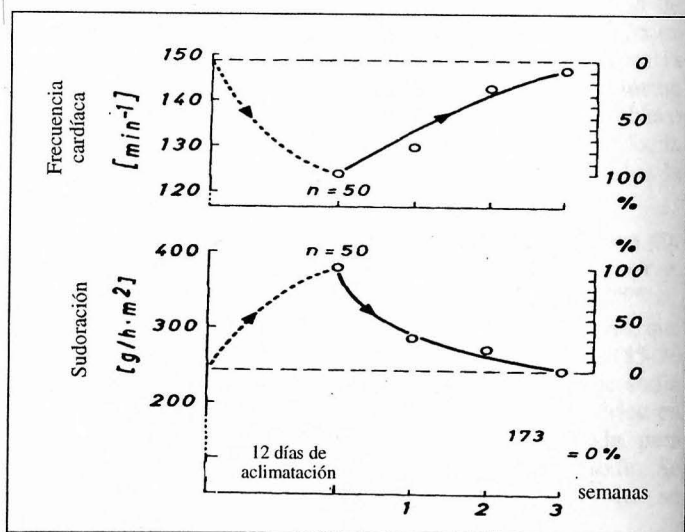
La misma muestra los resultados de una investigación llevada a cabo por Robinson, en la cual a un hombre que debe realizar un trabajo determinado bajo condiciones climáticas previamente establecidas ( $V=5,6$  k/h ;  $t=40^{\circ}\text{C}$  y  $H=23\%$ ), se le mide su respuesta fisiológica termorreguladora por medio de la temperatura rectal y la frecuencia del pulso.

En la primera exposición a esta situación, el hombre llega al agotamiento a la hora y media de comenzada la prueba, alcanzando una  $T^{\circ}$  rectal =  $39,8^{\circ}\text{C}$  y una frecuencia del pulso de 180 latidos/min. Luego de once exposiciones ininterrumpidas, su organismo consigue llegar a un estado estable (*adaptación* o *aclimatación*). Sin embargo, ésta puede perderse parcial o totalmente luego de permanecer un tiempo alejado del estímulo térmico. Así se observa en el ejemplo de la fig. 16.

El alejamiento del trabajo por una semana provoca la pérdida de 1/4 a 2/3 de la adaptación ya conseguida. El alejamiento por tres semanas lleva a la pérdida total de la aclimatación.

El diagnóstico de aclimatación se hace por medio de la temperatura rectal, sudoración y frecuencia cardíaca.

Se debe tener en cuenta que la adaptación circulatoria es la más lenta. También se debe recordar que las personas obesas, así como las desnutridas, las mujeres, y en general, todos aquellos que tengan baja fuerza aeróbica, tendrán mayores dificultades para lograr el equilibrio. También algunos fármacos y el alcohol perjudican este mecanismo. Lo favorecen, por el contrario, la hiperhidratación y el entrenamiento físico.



**Figura 16**  
Pérdida de adaptación medida a través de la frecuencia cardíaca y la sudoración

La exposición a altas temperaturas durante el trabajo puede empeorar afecciones que se encontraban en estado compensado o latente, o provocar consecuencias de mayor o menor gravedad, que pueden clasificarse en psicológicas, psicofísicas y patológicas.

A medida que el nivel de tensión térmica se eleva por encima de la zona de confort, aparecen los sucesivos estados de malestar psicológico. Estos abarcan desde la sensación subjetiva de incomodidad hasta una patente disminución del rendimiento en la velocidad, la precisión y la vigilancia. Aumenta así la frecuencia de incidentes y accidentes, se altera el tono emocional y se pierde la motivación, todo lo cual se refleja en el ausentismo, la baja productividad y la capacidad de apreciación individual.

Existen amplias diferencias de susceptibilidad entre individuos, ya sea para exposiciones agudas en lugares de trabajo, o crónicas (climáticas).

En cuanto a los trastornos sistémicos, es decir, aquellos que afectan al organismo en general, el más grave y que muchas veces lleva a la muerte, es el llamado golpe de calor o *hiperpirexia*. Se presenta en general en individuos no aclimatados, obesos, alcohólicos, con antecedentes de enfermedades cardiovasculares, con erupciones cutáneas recientes o baja capacidad aeróbica. Otro factor que influye es el uso de vestimentas inadecuadas. Se llega a esta situación por producción y ganancia de calor aumentados (trabajo + calor ambiente) sin pérdida compensatoria. Al aumentar la temperatura interna, el metabolismo sigue haciéndolo aún más, hasta que este mecanismo de retroalimentación positiva lleva la temperatura central hasta 40-43°C, provocando la desnaturalización de las proteínas, y la muerte. El individuo se presenta con piel seca y caliente, delirio, desorientación y convulsiones. El tratamiento debe ser inmediato para bajar la temperatura corporal (inmersión en agua fría, compresas de alcohol, etc.).

La *deshidratación* es otro cuadro frecuente. Su gravedad depende del porcentaje de agua perdido con respecto al peso corporal. Cuando éste es de 5-8%, se produce pérdida de eficacia en el trabajo, inquietud, irritación, cansancio y sed; el pulso y la temperatura tienden a elevarse y la orina es escasa. Cuando la pérdida llega al 10%, se está en el límite de la capacidad para trabajar, y un 15% anuncia la muerte por depresión del volumen sanguíneo. Se debe colocar al individuo en un lugar fresco y sombreado y reponerle el líquido perdido.

Si en cambio hubiera *déficit de sal*, se manifiesta con calambres, náuseas, vómitos, cefaleas, cansancio, debilidad muscular e irritabilidad. Se presenta en general en personas no

### 3.6. Efectos adversos del calor sobre el hombre

aclimatadas, quienes además no se quejan de sed ni muestran temperaturas anormalmente altas. Se les debe aislar del ambiente caluroso y proporcionarles sodio por vía oral o parenteral.

En cuanto al *agotamiento circulatorio* o *síncope por calor*, puede darse a niveles más bajos de stress térmico, especialmente en personas no aclimatadas. Se presenta con cansancio general, mareos, náuseas o escalofríos, bostezos, respiración superficial e irregular, palidez o cianosis; pueden ocurrir desvanecimientos con pulso lento y débil, piel fría y tensión arterial baja. La temperatura corporal no es anormalmente alta. La recuperación es rápida luego del enfriamiento y aumento de la circulación.

Por último, los trastornos de piel están asociados a la disfunción de las glándulas sudoríparas. Se presentan como erupciones rojas sin picazón, en partes cubiertas por la ropa. El cese de sudoración en estos casos (al igual que en el agotamiento de las glándulas sudoríparas) lleva al trabajador a un estado de quebrantamiento general, que empeora al menor esfuerzo físico, provocándole pulso rápido, colapso, sensación de angustia, jadeos y orina frecuente. La repetición de estos cuadros cutáneos se asocia con golpes de calor, y predispone a ellos.

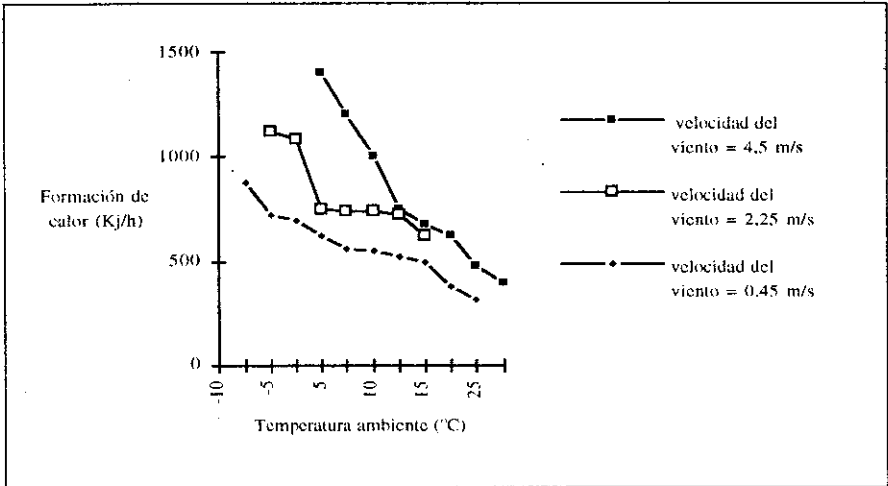
Se debe destacar que si bien los trastornos agudos por calor están suficientemente comprobados y estudiados, no se puede decir lo mismo acerca de los cuadros de posible deshidratación crónica, o de la participación de la carga térmica en el envejecimiento precoz.

El único cuadro hasta ahora asociado a la exposición continua al calor, podría ser el de cataratas, atribuido a la desnaturalización de las proteínas del cristalino provocado por la proximidad del mismo a fuentes de calor productoras de rayos infrarrojos.

### **3.7. El trabajo en ambientes fríos**

Como ya se vio en páginas anteriores, en ambientes fríos la producción de calor metabólico aumenta. A través de esa formación accesoria de calor, se puede balancear su pérdida en el frío dentro de ciertos límites, y con ello mantener constante la temperatura corporal. La formación de calor ocurre en parte en los órganos internos, en parte en los músculos, especialmente por medio del temblor y del escalofrío. Cuando éste es intenso puede aumentar la producción de calor hasta diez veces por encima de su valor de reposo.

Resultados provenientes de la experimentación en cámaras de clima, tal como se observa en la fig. 17, demuestran estos



**Figura 17**  
Metabolismo luego de 1 hora de reposo en distintas temperaturas ambientes

fenómenos y la importancia de ciertos factores, como la velocidad del viento, en la generación de los cambios metabólicos.

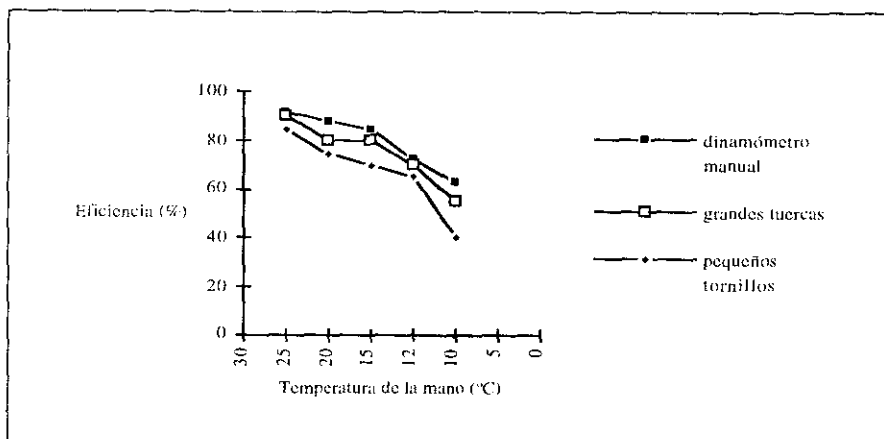
Estos valores se obtuvieron exponiendo a personas desnudas, en reposo, a temperaturas entre +30°C y -10°C, con velocidad del viento entre 0,45 y 4,5 m/seg.

En estas condiciones, su formación calórica era de 350 kj/h a una temperatura ambiente de 30°C, considerada confortable. A medida que ésta descendía, la producción de calor aumentaba llegando a su máximo, con una velocidad del viento de 4,5 m/seg. y T°= 5°C.

Junto con el aumento de calor metabólico bajo condiciones de frío, disminuye la irrigación de la piel y las extremidades. Con ello se aminora la refrigeración de la sangre circulante a costa de la temperatura periférica. La temperatura de la piel se acerca así a la del ambiente. Estos cambios se asocian además con sensaciones subjetivas de frío (que puede llegar hasta el dolor), a lo cual contribuye el hecho de que la disminución de entrega de calor al medio, provoca enfriamiento de la periferia del cuerpo. Para alcanzar la barrera subjetiva de tolerancia al frío, juega un gran papel la disminución de la temperatura dérmica, pero también el tiempo en que ésta se desarrolla.

Como consecuencia de lo anteriormente descrito, se observa una disminución o embotamiento de la movilidad, sensibilidad y habilidad en las extremidades, que a menudo son los signos dominantes de la carga por frío. Así, la fig. 18 muestra que con la temperatura más baja probada, disminuye la eficiencia para ajustar pequeños tornillos en alrededor de un tercio del valor normal.





**Figura 18**  
Eficiencia alcanzada a distintas temperaturas

También el frío puede disminuir otras facultades no manuales como la capacidad de observación y de reacción. Está de más remarcar la importancia que esto tiene para la seguridad.

Con refrigeraciones más intensas, es posible llegar a enfermedades que, según las condiciones locales, se pueden manifestar en lugares aislados del cuerpo o en su totalidad. Los daños locales se presentan en piel y tejidos subyacentes de dedos, orejas y nariz, y son consecuencia de la extrema estrechez de los vasos sanguíneos, que conduce a la carencia total de oxígeno en sus espacios. Con temperatura muy por debajo del punto de congelación se puede, en casos extremos, llegar a un total congelamiento de las células con destrucción de su estructura. La signo-sintomatología se divide, según la gravedad, en cuatro estadios:

- en el primer grado, la piel aparece pálida (y tras calentarse se vuelve rojo-azulada), con sus capas externas dañadas y la presencia de ampollas en personas predisuestas;
- el segundo grado está caracterizado por la permeabilidad de las paredes vasculares, infiltración de los tejidos y aparición de ampollas;
- en el tercer grado sobreviene la parálisis de la circulación, se dañan las capas profundas y se pierden las superficiales. Es el estadio de las llamadas quemaduras por frío;
- en el caso raro del estadio cuatro, encontramos congelamiento de los tejidos y los líquidos, con las pérdidas tisulares correspondientes.

También el frío afecta el organismo en su totalidad ya sea bajando su capacidad de defensa y predisponiéndolo a enfermedades infecciosas, o a través de la disminución de la temperatura central. Cuando ésta baja de 37°C a 35°C se producen escalofríos, se hacen más lentas las funciones

mentales y hay un aumento de los reflejos. Con 33°C de temperatura central la actividad mental es tan baja que el individuo es incapaz de toda acción voluntaria, sus reacciones están totalmente limitadas y su capacidad de memoria reducida; sin embargo es todavía capaz de pensar y colaborar.

Cuando la T°C llega a 30°C se produce pérdida de la conciencia y se alcanza el límite de la vida. No se sobrevive a una T°C de 25°C.

El objetivo del tratamiento será siempre devolver la temperatura al congelado. Se lo debe apartar del frío y de las ropas mojadas, y suministrarle bebidas calientes mientras esté conciente (sería un grave error tratar de hacer beber a quien está inconciente). Se debe tener especial precaución con los inválidos, los enfermos, los heridos, alcoholizados y desnutridos, ya que su poca capacidad de movimientos les impide una adecuada reposición de calor a través del metabolismo.

La adaptación al frío se observa en escasa medida, y en estos casos se manifiesta por un aumento en el flujo sanguíneo en las manos, junto con una mayor sensación de confort, que permite mejorar la efectividad del trabajo. Esto podría explicarse por un reajuste del centro termorregulador a un nivel más bajo, o por un aumento en la eficiencia del individuo para producir calor.

### 3.8. Aclimatación al frío

## 4. Condiciones de confort térmico

El objetivo principal de la conformación climática del trabajo es proporcionar al ser humano condiciones térmicas confortables.

### 4.1. Conceptos básicos

El valor de confort de la temperatura del aire no depende únicamente de la temperatura y de la actividad; la velocidad y humedad del aire y la temperatura radiante tienen una gran influencia. Para describir en forma más precisa esta condición, Fanger ha desarrollado una serie de ecuaciones que combinan todas estas variables.

En síntesis, la sensación subjetiva de bienestar resulta de la combinación de distintos factores (actividad, factores de clima, vestimenta, características personales) que es necesario tener siempre en cuenta.

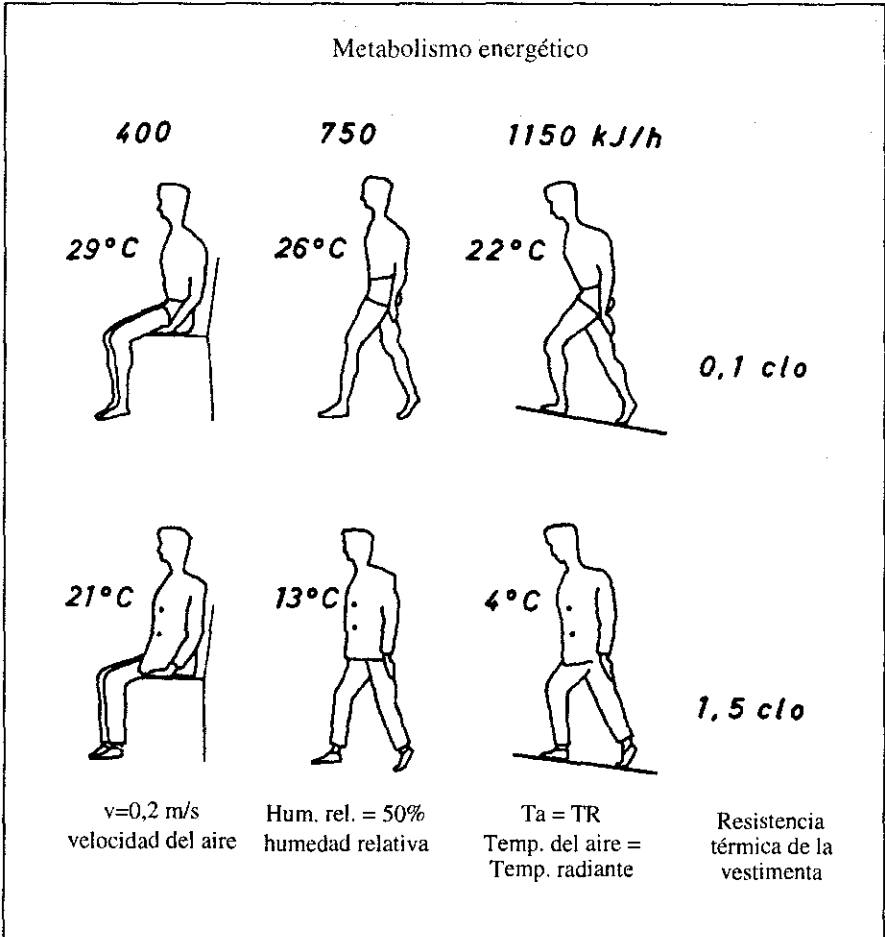
En los siguientes ejemplos encontramos resultados de múltiples experiencias que demuestran lo antedicho:

- Ejemplo n° 1:

El cuadro de la fig. 19 resume algunas experiencias realizadas para diferentes actividades y vestimentas.

**Figura 19**  
Dependencia de la temperatura de confort del hombre respecto del nivel de actividad y de la vestimenta

La influencia del metabolismo energético sobre la sensación subjetiva de confort térmico puede ponerse fácilmente en evidencia mediante el siguiente ejemplo: una persona con la mínima vestimenta, necesita estar en un ambiente a 29°C, para no sentir ni frío ni calor, si su nivel de actividad es bajo, tal como es el caso del hombre de la fig. 19, cuando está sentado. A medida que crece su actividad, lo que se manifiesta por el incremento del calor metabólico producido, la temperatura



ambiente puede ir bajando, llegando a 22°C para el caso de subir una pendiente (1150 k J/h). El uso de una prenda permite bajar aun más esta temperatura.

La unidad *clo* mide la capacidad de aislación de la ropa. 0,1 clo corresponde a tener puesto un short. 1,5 clo ya implica usar un pantalón y una chaqueta liviana de algodón. Se define como:

$$1 \text{ clo} = 0,043 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}_2 \cdot \text{h/Kj}$$

Esta ecuación expresa que una prenda con un valor de aislación de 1 clo permite el pasaje de 23 Kj/h por m<sup>2</sup>, para una diferencia de 1°C entre la cara externa e interna de la prenda.

Como puede observarse, la cantidad de calor producido por la actividad y el tipo de vestimenta utilizado, tiene una enorme influencia en la determinación de la temperatura de confort.

- Ejemplo n°2:

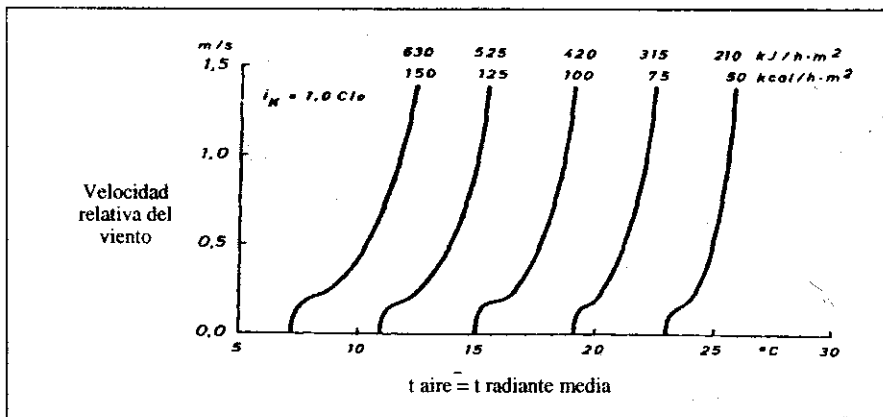
La fig. 20 muestra las denominadas curvas de confort, trazadas para una humedad relativa de 50% y una vestimenta equivalente a 1 clo, en personas desarrollando actividades de distinta intensidad.

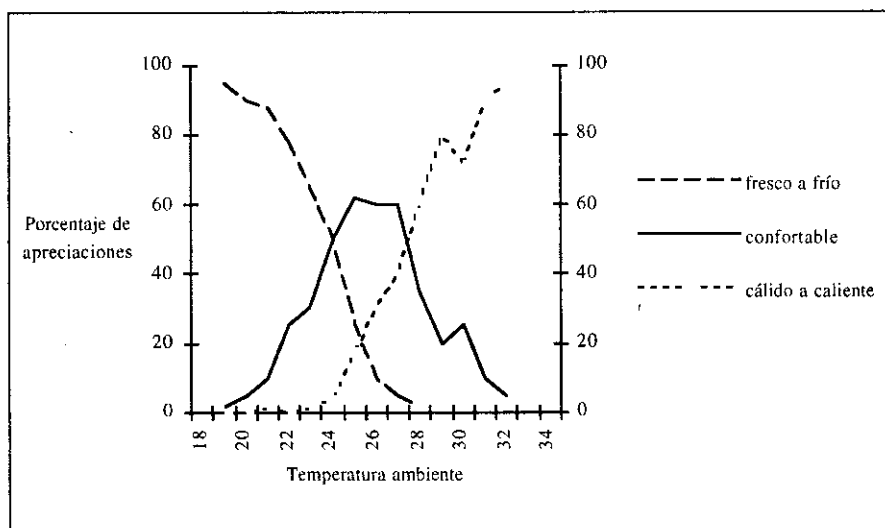
- Ejemplo n°3:

El gráfico de la fig. 21 señala las diferencias individuales en la apreciación del confort térmico en un grupo de 1296 personas, con la misma vestimenta, realizando la misma tarea en posición sentada y expuestas a diferentes temperaturas ambiente (entre 18°C y 34°C).

La línea discontinua que representa las respuestas "algo fresco y frío", baja bruscamente a partir de los 24°C. Análogamente, la línea de puntos que representa las respuestas "templado hasta caliente", aumenta a partir de esa temperatura.

**Figura 20**  
Curvas de confort para personas vestidas para cinco distintos niveles de actividad (humedad relativa 50%)





**Figura 21**  
Diferencias individuales de percepción térmica

La línea llena, representativa de los que se sienten cómodos, presenta un máximo que cubre casi 10°C. Lo más característico de esta curva es que su participación no alcanza al 100%, sino apenas a un 60% y aún sumándole las fracciones de los que respondieron "algo fresco" y "templado", se logra un 95%.

Esto significa que aunque las condiciones climáticas sean las ideales para la mayoría de la población, habrá siempre un grupo de 5% como mínimo, que sentirá el ambiente algo frío o algo caliente.

En la práctica laboral seguramente este porcentaje será mayor, ya que a diferencia de las condiciones de estudio de laboratorio, no existe en ella uniformidad de actividad.

Este estudio confirma entonces, el hecho de que resulta técnicamente imposible crear condiciones climáticas que satisfagan al 100% de la población, y marca la necesidad de que cada individuo acompañe la regulación de su confort térmico mediante el uso de vestimenta adecuada.

-Ejemplo nº4:

Finalmente, este ejemplo muestra diferentes condiciones climáticas, sus límites de tolerancia y sus correspondientes consecuencias sobre el individuo.

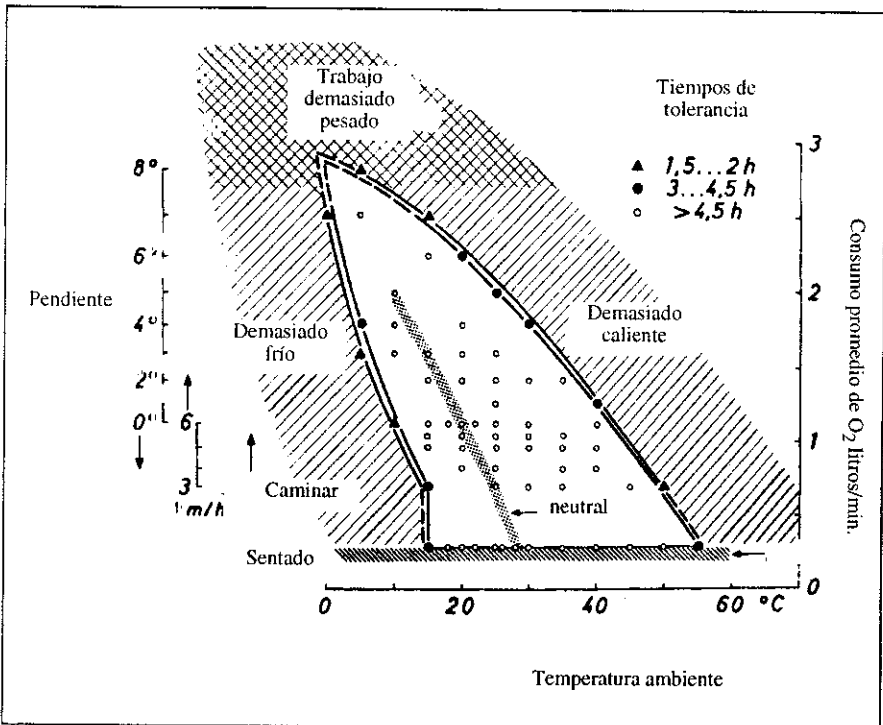
En el diagrama de la fig.22 se resumen los resultados de 66 ensayos realizados en laboratorio, con un deportista, mínimamente vestido, expuesto a diferentes temperaturas ambiente y diferentes niveles de actividad, que van desde estar sentado hasta ascender caminando una cuesta de 8° de pendiente, a una velocidad de 6 km/h, durante tiempos prefijados (4 horas y media).

La zona blanca en el centro del diagrama corresponde a un ámbito de temperaturas que resulta soportable por varias horas para diferentes actividades. Las líneas que la delimitan indican condiciones (límites de tolerancia) a partir de los cuales las actividades no pueden soportarse por mucho tiempo. Esas causas (frío-calor-trabajo muy pesado) están indicadas en las zonas rayadas del esquema. Finalmente, la pequeña área sombreada representa la zona neutral o de confort, cuya temperatura será menor a medida que aumenta el trabajo.

Como ya se vio, las cargas por clima, fuera de las zonas de confort, producen sobre el ser humano sensaciones desagradables de frío o calor y ponen en funcionamiento acciones correctivas de termorregulación tanto más fuertes cuanto más importante sea el estímulo. En el caso de este ejemplo, dentro de la zona límite derecha, correspondiente a condiciones climáticas calurosas, la persona llegó a eliminar 1000 gr/h de sudor, con una frecuencia cardíaca de más de 170 latidos por minuto y una temperatura rectal de 38,8°C. En el otro extremo, en la zona fría, la temperatura de sus extremidades a nivel de piel descendió hasta los 14°C.

Dado que en este ejemplo el nivel de rendimiento estaba prefijado, la respuesta a la carga se tradujo no en una reducción

**Figura 22**  
Zonas climáticas de diferente acción sobre un deportista, sin vestimenta, para distintos niveles de actividad corporal (Ensayos en cámara cerrada, con baja humedad y con leve movimiento de aire)



del mismo, sino en un acortamiento del tiempo de soportabilidad de la carga.

Por el contrario, cuando el rendimiento no está prefijado, el mismo tiende a reducirse a medida que las condiciones climáticas se alejan de las del confort.

Esto es válido tanto para tareas intelectuales como para trabajos musculares. Por ejemplo, en condiciones muy frías o calurosas, una persona encargada de tareas de observación o control, puede cometer mayor número de errores.

#### 4.2. Límites de tolerancia al calor

Toda investigación acerca de las condiciones de trabajo, destinada a determinar si el personal afectado se encuentra dentro o fuera de los límites de tolerancia al calor, implica necesariamente la fijación simultánea de todas las variables climáticas. Con estos valores será posible calcular las diferentes magnitudes o *índices sumarios*, y compararlos con las conclusiones de experiencias de laboratorio y prácticas ya existentes. La complejidad de este tema conduce muchas veces a considerar únicamente los límites de tolerancia basados en la *temperatura efectiva*.

Independientemente de los errores que se pueden cometer cuando se toma un único criterio, lo más lamentable es que se pierden todas las experiencias obtenidas con otros índices sumarios.

Se brinda a continuación un resumen de los criterios más importantes:

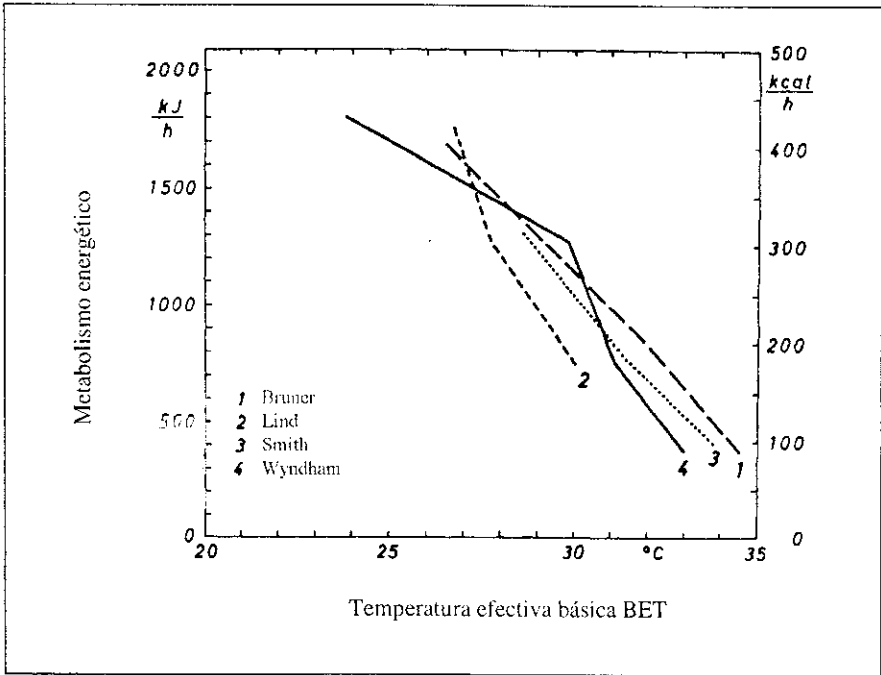
##### a) Valores límites según Temperatura Efectiva Básica (BET)

Estas experiencias están basadas en mediciones de la temperatura efectiva básica. Por lo tanto, el primer paso consiste en su determinación, para lo cual pueden utilizarse los gráficos anteriores.

La fig.23 brinda cuatro propuestas. Bruner propone limitar a 6 horas las jornadas laborales para trabajos pesados, realizados en ambientes con BET cercanos a 30°C. Para temperaturas efectivas mayores a 30°C BET, este investigador aconseja disminuir aún más la jornada. Estos límites climáticos son válidos para personas sanas, aclimatadas al calor, vestidos con ropa liviana y cuyas pérdidas de líquido por transpiración son respondidas adecuadamente.

##### b) Valores límites según el índice TGBH

El *índice TGBH* fue pensado originariamente como un reemplazo para la temperatura efectiva. Se puede calcular a



partir de los valores medidos de 3 temperaturas características: temperatura de bulbo húmedo (TBH), de bulbo seco (TBS) y de globo (TG).

La siguiente ecuación permite calcular este índice

$$TGBH = 0,7 TBH + 0,2TG + 0,1 TBS$$

$$TGBH = \text{índice de globo - bulbo húmedo}$$

$$TBH = \text{Temperatura de bulbo húmedo}$$

$$TG = \text{Temperatura de globo}$$

$$TBS = \text{Temperatura de bulbo seco}$$

Esta fórmula es válida para lugares exteriores con carga solar.

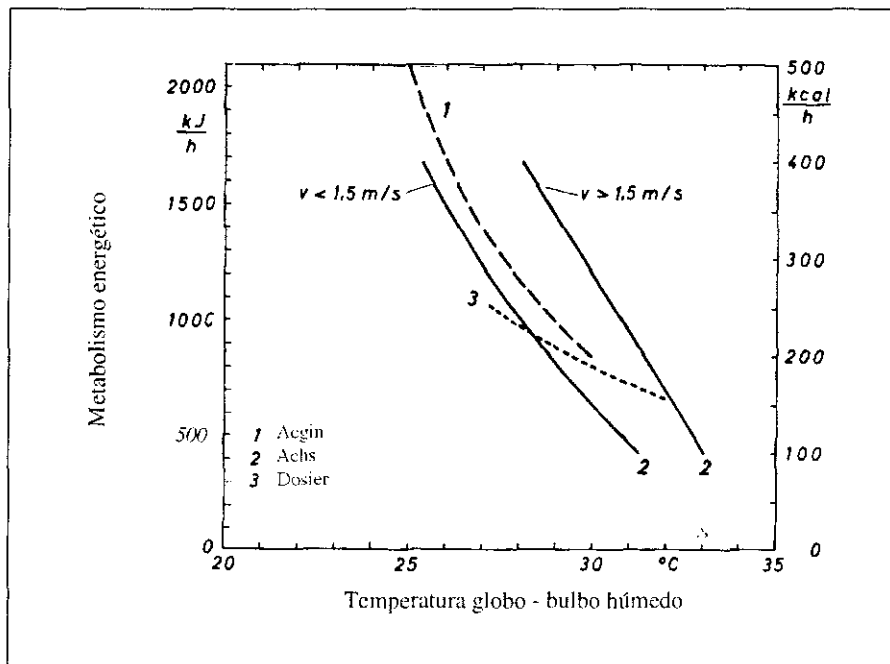
Para lugares interiores o exteriores sin carga solar, la fórmula es:

$$TGBH = 0,7 TBH + 0,3 TG$$

Una forma de hacer intervenir la influencia de la velocidad del aire consiste en reemplazar la temperatura de bulbo húmedo (TBH) por la temperatura de un termómetro de bulbo húmedo pero expuesto a la corriente de aire reinante en ese ambiente. No obstante, los valores que se obtienen utilizando directamente las mediciones psicométricas son lo suficientemente precisos para cualquier evaluación práctica.

**Figura 23**  
Límites climáticos recomendados para trabajo continuo de varias horas (según Bruner, Lind, Smith y Wyndham)



**Figura 24**

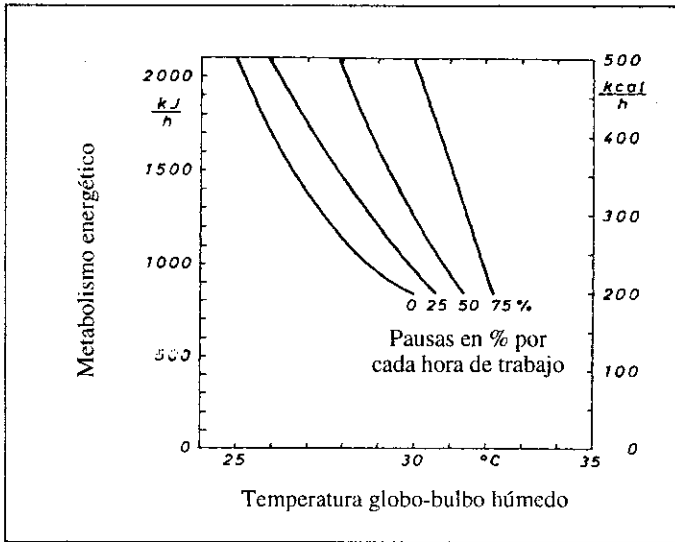
Límites climáticos recomendados para trabajos continuos de varias horas, tomando el TGBH como magnitud sumaria, según tres investigaciones diferentes (Acgin, Achs y Dosier)

La fig.24 muestra diferentes límites climáticos recomendados para tareas de varias horas de duración y para distintos niveles de metabolismo laboral. La segunda propuesta presenta dos curvas: una válida para velocidades del aire inferiores a 1,5 m/s y la otra para velocidades del aire inferiores a ese valor. Esto es importante, cuando se miden los TBH y TBS directamente con el psicómetro en lugar de utilizar la temperatura de bulbo húmedo expuesta a la corriente de aire ( $T_h$ ).

En la fig.25 se vuelve a reproducir la curva 1 de la fig.24, válida para tareas sin pausas especiales.

Adicionalmente, se agregan curvas en donde se tiene en cuenta las pausas. Por ejemplo, si realizando una tarea en un ambiente caluroso equivalente a 200 Kcal/l, la temperatura límite TGBH es igual a 30°C, agregando un 50% de pausas en la hora, se puede alcanzar un TGBH de 32°C.

En la Tabla 1 se reproducen valores de metabolismo energético orientativos para algunas tareas. De esta forma es fácil entender el sentido del gráfico. Por ejemplo, si se toma la tarea "caminar sobre superficie horizontal", como una tarea liviana, equivalente a 900 kJ/h, el valor límite de TGBH es de 28°C. En cambio, si se considera una tarea

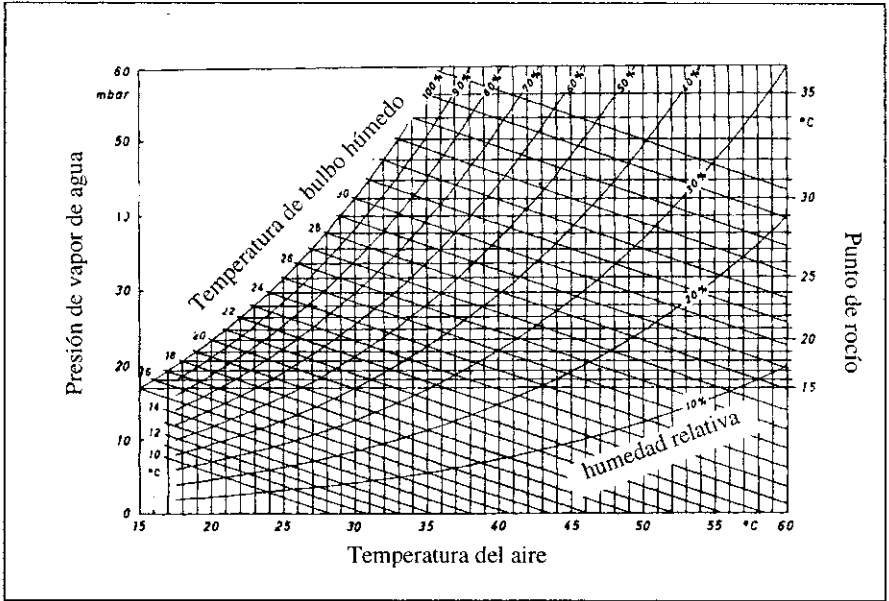


**Figura 25**  
Variación de los límites TGBH para diferentes niveles de pausas

pesada "caminar sobre una superficie con pendiente de 5%, a una velocidad de 4,8 km/h", lo que significa un metabolismo de 1500 kJ/h, el índice se reduce a 26°C. Ambos ejemplos están tomados para condiciones de velocidad de aire menores a 1,5 m/s.

**Tabla 1**  
Valores orientativos de metabolismo, para diferentes tareas

Tarea	Metabolismo (kJ/h)
Acostado	300
Sentado en reposo	380
Parado quieto	450
Caminar -sobre superficie horizontal, 4 km/h	900
- sobre pendiente de 5%, 3,2 km/h	1100
- sobre pendiente de 5%, 4,8 km/h	1500
Trabajos de oficina	350 - 450
Panadero	500 - 900
Carpintero	hasta 2200
Trabajos de limpieza en el hogar	700 - 1200
Mantenimiento de máquinas	750 - 1500
Reparación de automóviles	700 - 1100
Transporte manual de cargas	hasta 1500
Trabajos de fundición	1200 - 2000
Trabajos de construcción de calles	1500 - 2300



**Figura 26**  
Diagrama psicrométrico para la determinación del punto de rocío del aire

c) Límites de tolerancia según el índice de stress térmico

Una forma de calcularlo es a partir del *índice de stress térmico* (HSI), conocido también con el nombre de sus autores, Belding y Hatch. Se trata de un índice sumario obtenido a partir del balance térmico del cuerpo humano. Surge de la relación entre la cantidad de sudor que la persona expuesta debe evaporar ( $E_{nec}$ ) para mantener el balance térmico, y la máxima cantidad que puede exudar ( $E_{max}$ ) bajo esas condiciones climáticas.

$$HSI = \frac{E_{nec}}{E_{m\acute{a}x}} \times 100$$

Este índice fue determinado tomando en cuenta al hombre "promedio" de 70 kg de peso, 1,70 m de estatura, sano, entrenado para la tarea, aclimatado al calor y ligeramente vestido, con una temperatura promedio de piel de 35°C y una tensión de evaporación de agua (sudor) de 56 mbar.

Los valores necesarios para el cálculo de este índice se van determinando en siete pasos sucesivos, mediante la aplicación de los siguientes nomogramas (ver fig.27 a 29), formados por una serie de escalas, representativas de las distintas variables, y cuya identificación se hace por la letra que figura al pie.

El siguiente ejemplo, extraído del libro *Clima y trabajo* de los Dres. Wenzel y Piekarsky, aclara el uso de estos gráficos.

Dados:

Temperatura de bulbo seco TBS = 34°C

Temperatura de bulbo húmedo TBH = 24°C

Temperatura del globo TG = 42°C

Velocidad del aire V = 1 m/seg.

Metabolismo energético

del hombre trabajando M = 1200 Kj/h

Se determina por diagrama n° 26 a partir de TBH y TBS, el valor del punto de rocío en el aire (Tpr):

$$T_{pr} = 19,9^{\circ}\text{C}$$

y, de igual forma, la humedad relativa = 44%

- 1° Paso:

*Valor máximo de evaporación (E max)*

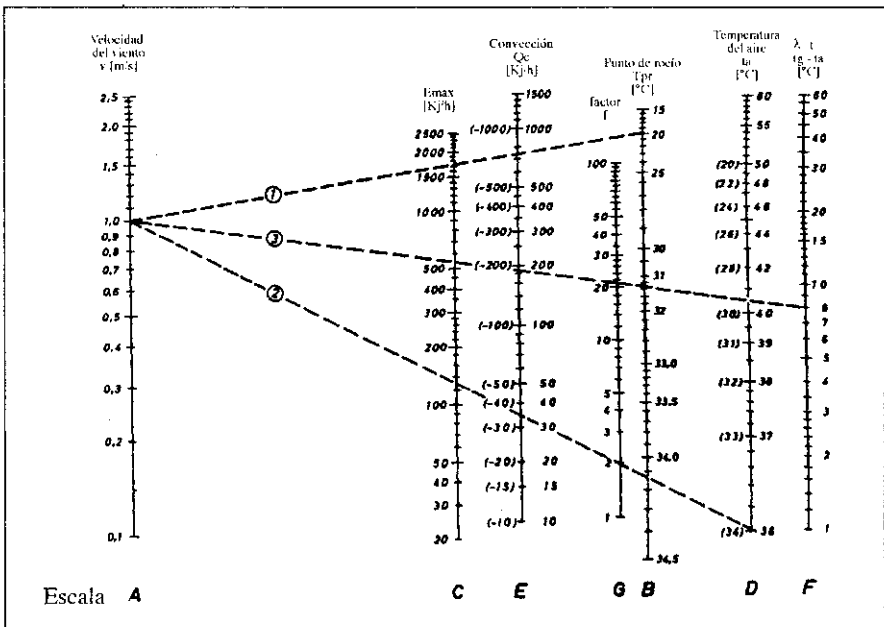
Se obtiene con los valores de velocidad del viento (V, en escala A) y la temperatura del punto de rocío (Tpr, en escala B), uniendo los valores dados mediante la línea 1. Esta intercepta la escala C en el valor de E max = 1750 Kj/h.

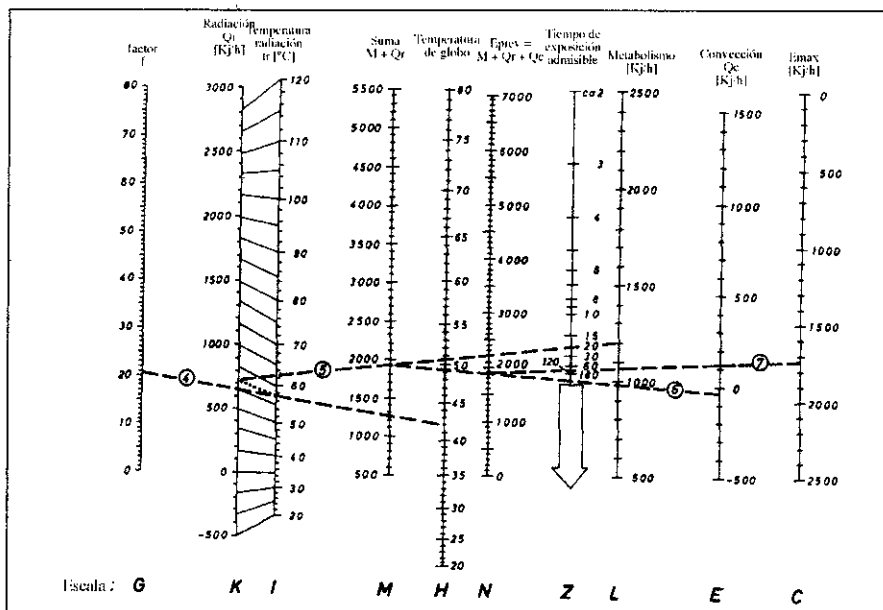
El valor obtenido por cálculo de E max = 1742 Kj/h.

- 2° Paso:

*Intercambio de calor, entre el cuerpo y el aire circundante por convección.*

**Figura 27**  
Nomograma para la determinación del índice de stress térmico





**Figura 28**  
Nomograma II  
para la  
determinación  
del índice de  
stress térmico

La línea 2 entre la escala A y la escala D ( $T_{bs} = 34^{\circ}\text{C}$ ) da como resultado sobre la escala E, el valor  $Q_c$  (convección) =  $-34 \text{ KJ/h}$ . Dado que la temperatura del aire es menor a  $35^{\circ}\text{C}$  (temperatura de la piel del hombre), el cuerpo cede calor al aire (de ahí el valor negativo de  $Q_c$ ). Si la temperatura del aire fuera superior a  $35^{\circ}\text{C}$ , el cuerpo ganaría calor y por lo tanto,  $Q_c$  sería positivo.

- 3° Paso:

*Factor auxiliar F.*

La línea 3 entre la escala A y la escala F ( $T_g - T_{\text{aire}} = 8^{\circ}\text{C}$ ), da sobre la escala G el factor auxiliar  $F = 20,8$

- 4° Paso:

*Cantidad de calor intercambiado por radiación ( $Q_r$ ) entre el cuerpo y el ambiente.*

La línea 4 entre la escala G ( $F = 20,8$ ) y la escala H ( $T_g = 42^{\circ}\text{C}$ ) intercepta a la escala K, obteniéndose el valor de temperatura radiante  $T_r = 56,6^{\circ}\text{C}$ . Por cálculo, este valor da  $T_r = 56,7^{\circ}\text{C}$ .

La escala I y la escala K están unidas mediante rectas inclinadas. La línea punteada paralela a ellas que nace en la escala I (para  $T_r = 56,7^{\circ}\text{C}$ ) intercepta la escala K dando el valor de  $Q_r = 721 \text{ KJ/h}$ . Este es el calor que la persona está recibiendo del medio ambiente debido a la radiación térmica.

**0 Sin carga térmica****10 Carga térmica liviana hasta moderada:** posible perturbación de tareas que**20** exijan un alto contenido de funciones intelectuales, motricidad fina y**30** concentración. El rendimiento para trabajos corporales se ve afectado únicamente cuando, sin carga térmica, lo considere ya cercano a los límites tolerables individuales.**40 Carga térmica pesada:** capacidad reducida para trabajos corporales**50** pesados y trabajos intelectuales con alto grado de concentración. Las**60** personas no aclimatadas requieren pausas de descanso. No se descartan daños a la salud en personas con poca tolerancia. Se recomienda control médico para descartar a quienes presenten daños previos en su sistema cardiovascular o respiratorio, y afecciones crónicas en piel.**70 Carga térmica muy pesada:** sólo una muy reducida proporción de**80** trabajadores puede soportar tales condiciones. Se requiere selección**90** previa de los trabajadores mediante: a) examen médico; y b) pruebas de trabajo, luego de aclimatación. Se deberá por todos los medios aliviar el trabajo para evitar daños a la salud y asegurar una capacidad de rendimiento adecuada y proporcionar suficiente cantidad de agua y sal.**100 Carga térmica máxima:** sólo soportable por hombres jóvenes, aclimatados al calor, con una capacidad de rendimiento por encima del promedio.**- 5° Paso:***Suma del calor producido por metabolismo y el recibido por radiación*La línea 5 entre la escala K y la escala L ( $M=1200$  Kj/h) da sobre la escala M la suma de  $M+Q_r=1921$  Kj/h.**- 6° Paso:***Evaporación prevista*La línea 6 entre la escala M y la escala E ( $Q_c=-34$  Kj/h) da sobre la escala N la suma  $M+Q_r+Q_c=E_{prev}=1887$  kJ/h.**- 7° Paso:***Tiempo de exposición admisible*La línea 7 entre la escala N ( $E_{prev}=1887$  Kj/h) y la escala C con el valor  $E_{max}=1741$  Kj/h del gráfico anterior, corta a la escala Z donde puede leerse el tiempo de exposición máximo admisible ( $T_{max}=109$  min.).**Figura 29**

Evaluación de la carga térmica según el índice de stress térmico de Belding y Hatch

Entonces:

$$\text{HSI} = \frac{E_{\text{prev}}}{E_{\text{max}}} \cdot 100 = \frac{1887 \text{ Khj/h}}{1742 \text{ Kh/h}} \cdot 100 = 108$$

La evaluación de este índice surge de la tabla de la fig.29.

Según la misma, estas condiciones de carga térmica pueden ser soportadas únicamente por personas jóvenes, con una capacidad laboral por encima del promedio, aclimatadas al calor, en una jornada diaria de 8 horas.

#### d) Valores límites de las variables fisiológicas

También las respuestas fisiológicas contribuyen para el establecimiento de límites a la exposición a la carga térmica en situaciones laborales.

Recordemos que la respuesta del organismo humano a la carga por calor se manifiesta a través del *aumento de la frecuencia cardíaca*, y el *índice de sudoración*, para mantener invariable la temperatura central. Cuando estos valores, luego de la elevación inicial se mantienen constantes, se habla de *compensación de la carga* o *estado de equilibrio o balance térmico*. Por el contrario, si esos parámetros continúan aumentando a medida que avanza el tiempo, se estará frente a un caso de *descompensación*.

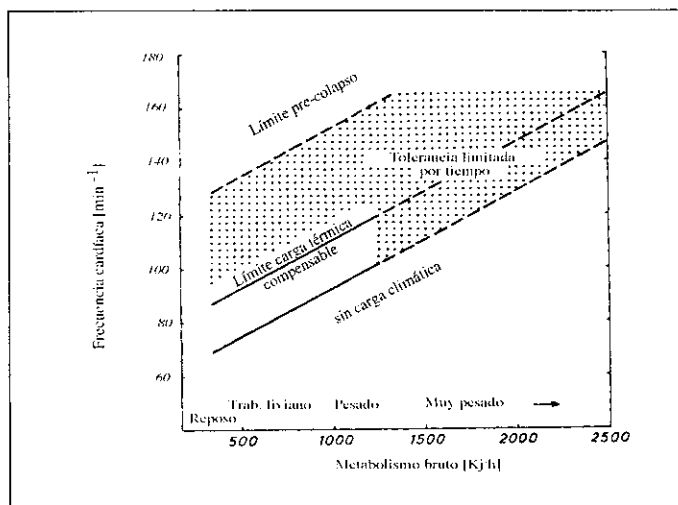
En el primer caso, el sistema de termorregulación fue suficiente, y aunque el sujeto manifieste cierto grado de incomodidad, no existe peligro alguno para su salud. Todo lo contrario ocurre en el segundo caso, que representa un verdadero riesgo para el individuo expuesto.

Se hace necesario entonces, conocer cuáles son los valores críticos de esos parámetros fisiológicos que preanuncian la descompensación.

Si bien todavía no hay un acuerdo definitivo al respecto, el resultado de la abundante experiencia recogida hasta ahora permite recomendar ciertos valores orientativos.

- *Frecuencia cardíaca*: a pesar de ser una de las magnitudes más usadas para la evaluación de la carga térmica, se debe diferenciar si el aumento de la misma proviene efectivamente de la influencia del clima, o responde a la coexistencia de trabajo muscular. Para ello se tiene en cuenta lo expresado en la fig.30.

En ella, la línea inferior muestra la frecuencia cardíaca correspondiente a distintos trabajos corporales sin carga por clima; la línea central señala la frecuencia cardíaca sujeta a influencias por calor pero todavía en zona de compensación,



**Figura 30**  
Utilidad de la frecuencia cardíaca como criterio para la apreciación de la carga térmica (Versión modificada según Bolding y colaboradores)

y la superior muestra el límite por sobre el cual ocurren trastornos circulatorios. La zona punteada corresponde a condiciones que pueden tolerarse sólo dentro de ciertos límites de tiempo, ya sea porque hay un exceso de carga térmica o de trabajo, o de ambos.

Se debe recordar que éstos son valores básicos tomados a partir de personas sanas, que pueden diferir de un individuo a otro y, sobre todo, tienen distinto significado según la situación de que se trate.

Finalmente, el Prof. Hettinger recomienda como valor tolerable, para carga por trabajo y calor, una frecuencia cardíaca no mayor de 40/min., por encima del valor de reposo.

- *Temperatura central:* se considera que son aceptables valores de hasta 38/38,3°C y riesgosos o excesivos entre 38,9 y 39,2°C.

La evaluación debe tomar en cuenta el grado de entrenamiento del individuo, y la lentitud con que normalmente responde esta magnitud aún ante cargas climáticas extremas.

- *Sudoración:* se discute todavía mucho acerca de estos límites. Se mencionan valores entre 600 y 1000 g/h, o 600-750 g/h en promedio. Debe tomarse en cuenta, como ya oportunamente se explicó, el estado de aclimatación del sujeto y la cantidad de horas que deba permanecer expuesto al calor.



e) Valores límites de rendimiento laboral

Todos los estudios realizados hasta el momento indican la estrecha relación que existe entre las condiciones climáticas y sus efectos sobre el rendimiento laboral y la salud de los trabajadores.

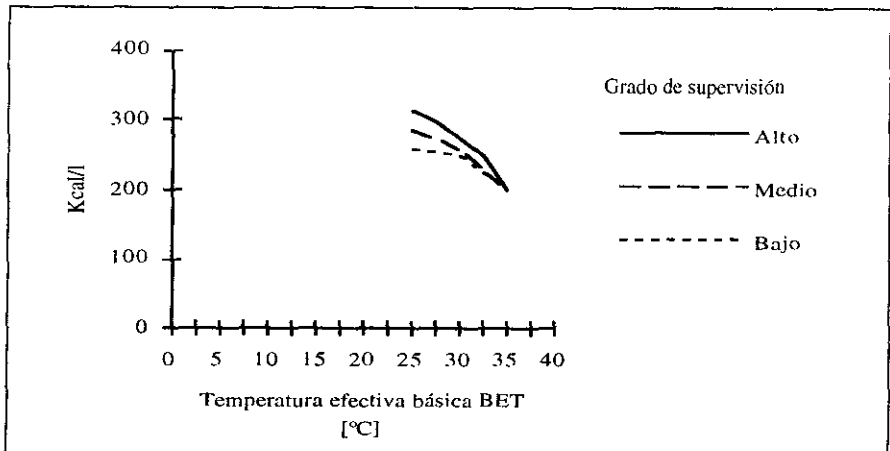
Una forma de analizar la respuesta laboral humana bajo carga de calor, es estudiar el resultado cuantitativo del trabajo para diferentes temperaturas. Estos estudios se han realizado para diferentes tipos de tareas tanto musculares puras como trabajos de atención y concentración. Todos ellos indican que a partir de una determinada combinación de variables climáticas el rendimiento cesa bruscamente.

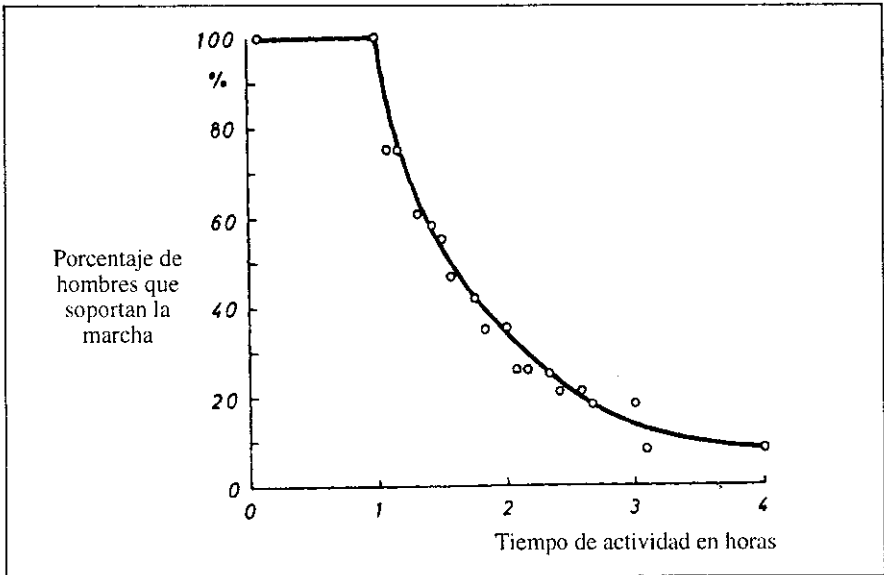
La fig.31 resume una investigación llevada a cabo en Sudáfrica con obreros de una mina de oro. Se formaron tres grupos de personas, cada uno con distintos grados de supervisión. Las tareas tenían una duración de cinco horas. Como variable climática se tomó la temperatura efectiva básica en grados centígrados (*BET °C*). El esfuerzo muscular se evaluó mediante la medición del metabolismo. Como puede observarse en la figura, entre 25 y 30°C de *BET*, el rendimiento está influenciado por el grado de control.

**Figura 31**  
Límites de tolerancia máximos para hombres desnudos, de acuerdo con un resumen de Wenzel (Mineros sudafricanos, luego de cinco horas de trabajo en diferentes climas, según Wyndham y colaboradores)

A partir de los 30°C esta diferencia comienza a ser prácticamente nula.

Por otra parte, la influencia de la constitución física individual puede aclararse a través de los resultados de un estudio realizado con soldados aclimatados al calor, que debieron realizar una marcha forzada en el desierto, con temperaturas efectivas de 35-36°C. El gráfico de la fig.32 muestra los tiempos que soportaron esta marcha.





La primera hora fue cumplida por el 100% del contingente; a la hora y media, el 50% todavía seguía marchando, pero sólo unas pocas personas completaron 3 horas y más.

Esto permite concluir que la capacidad para soportar la carga térmica es muy variable. Esta disparidad de respuesta debe ser aún mayor en la realidad laboral, ya que se cuenta con respuestas individuales, muchas veces influenciadas por el estado de salud y la edad, entre otras múltiples causas.

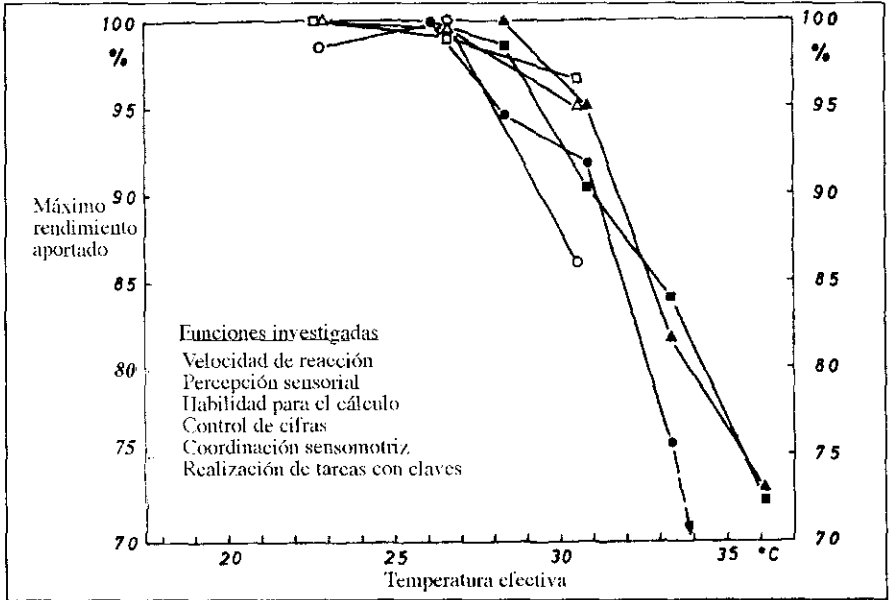
En el caso de tareas de concentración y atención ocurre algo similar. El gráfico de la fig.33 muestra los resultados de un estudio realizado sobre un grupo de personas encargadas de tareas de control, cálculo, corrección y calibración, es decir, tareas que requieren un alto grado de concentración.

El rendimiento de referencia (100%) se fijó para condiciones climáticas ideales. Como puede observarse a partir de los 28°C, hay una clara tendencia a bajar ese rendimiento. Por lo tanto, cuando en algunos casos, para aliviar el requerimiento de tipo físico (trabajo corporal) se eleva el requerimiento psíquico, esto no resuelve el problema sino que lo desplaza hacia otro extremo. Una acción de control errónea, una falta de concentración en el manejo de un proceso o el no interpretar una señal de peligro, pueden tener consecuencias más serias que la disminución del rendimiento muscular por efecto del calor.

También el efecto de la carga térmica por frío se ve reflejado en la capacidad de rendimiento. Es observable fácilmente cómo en ambientes fríos, cualquier tarea que requiere

**Figura 32**  
Diferencias individuales del tiempo de actividad posible bajo carga térmica.

Valores promedio de 4 caminatas de un grupo de 12 a 13 hombres, con temperaturas entre 35 y 36°C (temperatura efectiva)



**Figura 33**  
Rendimiento laboral en tareas intelectuales y psico-físicas, en personas vestidas ligeramente a diferentes temperaturas efectivas

movimientos precisos y controlados de los dedos se vuelve dificultosa. Como ya se vio, la disminución de la irrigación sanguínea de las extremidades para evitar pérdidas de calor, es la causa de esta falta de capacidad de movimiento y de sensibilidad. También las tareas mentales se ven afectadas, y se percibe disminución de la capacidad de observación y reacción.

## 5. Medidas de protección contra la carga por calor

Con el fin de evitar las consecuencias nocivas de la exposición al calor, existen dos tipos de medidas a implementar: a) las que actúan sobre el trabajador y b) las que actúan sobre el medio ambiente.

### 5.1. Medidas preventivas sobre el trabajador. Examen médico

De las exigencias fisiológicas a las cuales se ven sometidos quienes trabajan a altas temperaturas, se deduce que un número considerable de individuos sólo podrá hacer frente a ellas luego de someterse a una cuidadosa selección desde el punto de vista médico. Se hace necesario entonces, probar la capacidad de carga del aparato cardiocirculatorio y contraindicar este tipo de trabajo a quienes tengan un consumo de  $O_2$  máximo inferior a 2,5 - 3,1/min. o padezcan insuficiencia cardíaca (aún cuando esté compensada), hipertensión arterial, hipotensión ortostática o síndrome varicoso.

Asimismo, afecciones del aparato respiratorio como asma, enfisema o bronquitis crónica, rinitis y faringitis; o afecciones renales, ya sea cálculos o insuficiencia (aun cuando esté compensada); y afecciones psicósomáticas en general (colon irritable, úlcera gástrica, etc.), empeoran bajo estas condiciones. En similar situación están los portadores de dermatitis húmedas, conjuntivitis frecuentes o cataratas parciales.

Cuando las condiciones climáticas se alejan de las de confort, disminuye rápidamente el rendimiento y provocan o favorecen daños en la salud.

Todas las medidas orientadas a corregir las condiciones climáticas extremas, tendrán un efecto positivo sobre la salud de la población laboral, y simultáneamente sobre la cantidad y calidad de las prestaciones.

Teniendo en cuenta que la principal fuente externa de calor es el sol, se deberá evitar que sus rayos ingresen al ambiente, e impedir que tanto el techo como las ventanas se transformen en fuentes de radiación térmica. La pintura reflexiva para tratamiento de techos, las películas espejadas aplicadas a las superficies vidriadas de ventanas y aberturas en general y las clásicas persianas, son soluciones efectivas para este problema.

Cuando la fuente de radiación se encuentra dentro del ambiente de trabajo, se tratará de reducir al máximo su superficie y su temperatura radiante, por ejemplo, mediante aislación adecuada. Si esto no fuere posible, se procurará desviar la radiación térmica mediante pantallas de chapa brillante o aluminizadas, que evitan el reflejo directo sobre las personas.

En caso de puertas y paredes de hornos, se aplican con mucho éxito las cortinas de agua. Pueden utilizarse también cortinas de cadenas, cuando el acceso a la fuente de calor no debe dificultarse. Las cadenas absorben en gran medida el calor radiante (ver fig.34).

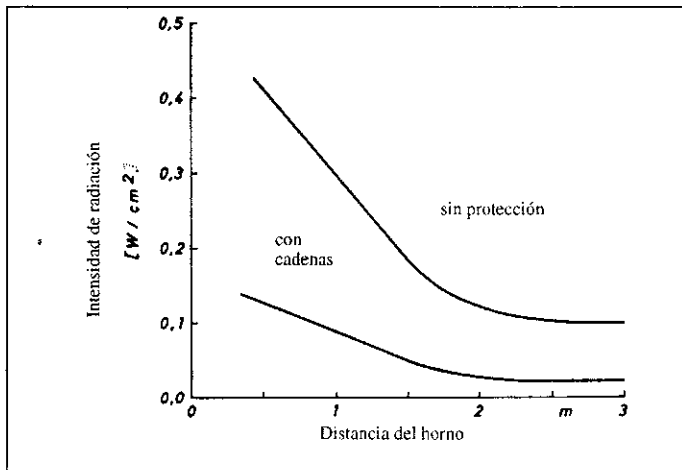
La ventilación de los ambientes proporciona también un efecto refrigerante. Esta ventilación puede efectuarse en forma natural, a través de puertas y ventanas.

Por supuesto, es más efectivo el uso de ventiladores y se deberá procurar que el aire se tome en lugares frescos.

La acción refrigerante de las corrientes de aire se basa en dos efectos. Por un lado, facilita el transporte de calor generado por el organismo y por otro, facilita la evaporación de la transpiración.

## **5.2. Medidas de protección contra la carga térmica**

**Figura 34**  
Acción protectora de una cortina de cadenas (según Ordinaz)



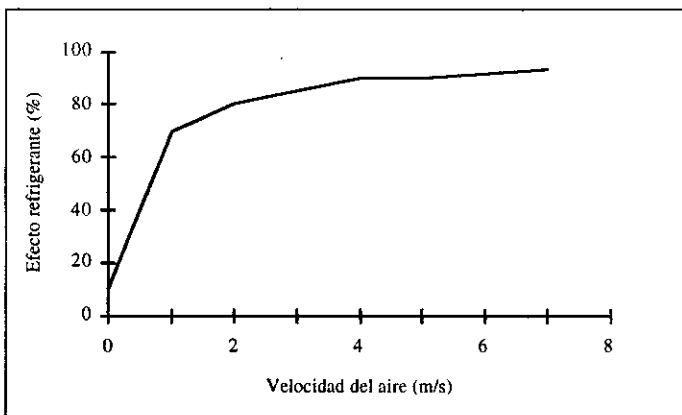
En el gráfico de la fig. 35 se muestra el efecto de la velocidad del aire. Hasta 2 m/seg, el efecto refrigerante aumenta rápidamente con la velocidad.

A partir de este valor, su efecto crece muy lentamente. Por lo tanto, grandes velocidades de circulación no sólo son molestas sino que contribuyen al efecto de enfriamiento.

Muchas veces, no queda otra solución que recurrir al enfriamiento del aire. Esta técnica es costosa y normalmente se aplica a espacios reducidos. Se deberá cuidar que las diferencias de temperatura no sean muy grandes, para evitar perjuicios a la salud.

Cuando haya que recurrir a climatización artificial para conservar el confort térmico, se recordará que la temperatura del aire se debe regular a un valor que contemple el tipo de vestimenta y el nivel de actividad.

**Figura 35**  
Efecto refrigerante del aire sobre el hombre a diferentes velocidades



Las ecuaciones de confort permiten valores de humedad muy elevados, o muy bajos, como así también altas velocidades de circulación de aire. No obstante, no conviene alejarse de determinados valores prácticos. Por ejemplo, valores altos de humedad pueden provocar condensación del agua en los lugares fríos y formación de hongos. Por el contrario, atmósferas muy secas irritan las vías respiratorias superiores, provocando o favoreciendo enfermedades vinculadas a ellas. Por lo tanto, la humedad relativa ambiente debe permanecer dentro de un rango de 40-65%. Además, con baja humedad se incrementan los fenómenos de carga estática que si bien son inofensivos, producen sensación de inseguridad.

Ya que las corrientes de aire en ambientes artificiales provocan reacciones de disconformidad, se recomienda no superar una velocidad de 0,1 m/seg.

Finalmente, se aconseja mantener la temperatura de los ambientes cerrados no muy diferente a la exterior, para evitar los problemas que generan los cambios bruscos de temperatura. Por ejemplo, para una temperatura externa de 25°C, la interior debe regularse entre 20°C y 25°C.

Algunas investigaciones han demostrado que variar la temperatura alrededor de los valores de confort puede llegar a tener un efecto positivo. La hipótesis opuesta, de que condiciones climáticas constantes pueden resultar monótonas y crear cansancio extra, no ha podido ser demostrada totalmente.

Como se dijo anteriormente, el técnico en climatización no puede solucionar todo. Hay aspectos psicológicos difíciles de manejar, como por ejemplo la posibilidad de variar individualmente las condiciones ambientales, asegurando de esta forma cierto grado de libertad personal.

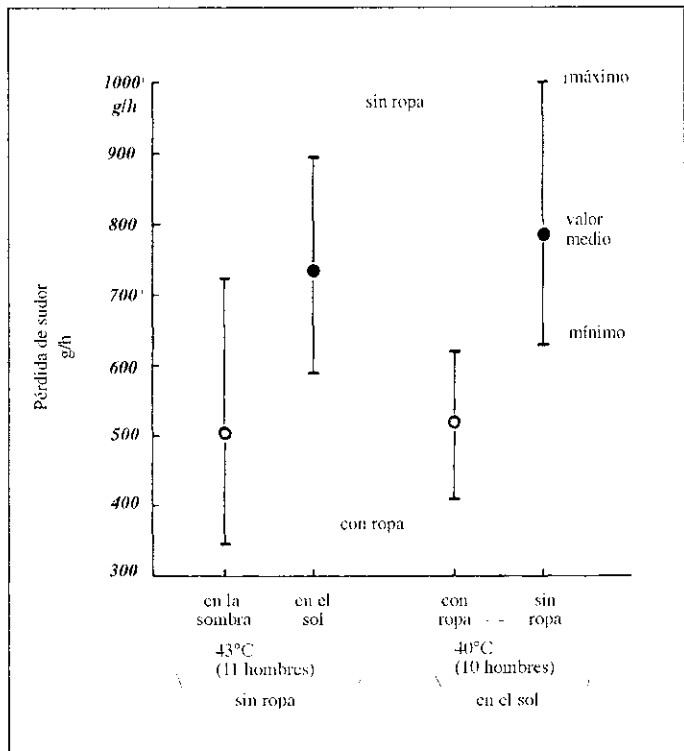
Tal como lo demuestran las experiencias resumidas en la fig.36, el uso de una prenda liviana no muy ceñida al cuerpo proporciona una protección adecuada.

En este estudio se comparó la cantidad de sudor producido por un grupo de personas trabajando con y sin ropas, a la sombra y al sol. Como es de suponer, la cantidad de sudor es menor a la sombra. Esta experiencia se repitió trabajando al sol, comparando las cantidades de sudor producido con y sin vestimenta. Se pudo ver que la vestimenta reproduce los efectos de la sombra. Para lograr esto, la ropa debe permitir la circulación del aire, de tal forma que provoque un efecto chimenea.

Cuando la carga por calor radiante es muy grande, no queda otra solución que recurrir a trajes confeccionados con telas reflectivas. Son efectivos en la medida en que permanezcan

### 5.3. Elementos de protección personal

**Figura 36**  
 Protección contra  
 la radiación  
 térmica mediante  
 el uso de ropa  
 tropical



limpios y brillantes, ya que su acción consiste en comportarse como espejos reflejando el calor. Tienen el inconveniente de limitar los movimientos y muchas veces crear una barrera a la sudoración. Cuando la radiación viene de una sola dirección, por ejemplo de frente, conviene utilizar una protección parcial tipo delantal, de modo de permitir la evaporación libre del sudor en las zonas no cubiertas.

Otra variante la constituyen los trajes refrigerados. Estos poseen una serie de bolsillos internos donde se ubican bolsas con agua. Los trajes se guardan en un congelador donde el agua se transforma en hielo. Tienen dos aislaciones: la externa evita que el calor ingrese al cuerpo y la interna impide el enfriamiento excesivo de la piel.

La masa de hielo absorbe lentamente el calor producido por el metabolismo, permitiendo la permanencia de hasta 2 1/2 h en un ambiente con 33°C de temperatura de bulbo húmedo. El peso de estos trajes es de aproximadamente 5 kg.

Una alternativa interesante es el soplado del aire comprimido dentro de un traje especial de doble capa. El aire ingresa por la

cintura y egresa por pequeños orificios en el cuello, puño y botamangas.

Un traje de este tipo hace posible la permanencia en ambientes con temperaturas superiores a los 100°C. Naturalmente, el sistema de conexión a la fuente de aire comprimido implica una limitación en los movimientos.

Para la protección de la cabeza se utilizan cascos aluminizados, combinados con pantallas de alambre tejido para la protección de la cara. El alambre tejido disminuye la visión, pero brinda una buena protección contra salpicaduras y chispas. Para este fin se utilizan también viseras plásticas transparentes, tratadas superficialmente para aumentar su poder reflexivo.

Como ya se vio, cada vez que el índice de sobrecarga térmica es superior al 100% y no es posible mejorar las condiciones ambientales, se hacen necesarias las pausas de recuperación en ambientes más fríos. Estas deben calcularse teniendo en cuenta que no haya aumentos de temperatura corporal no compensados de inmediato por medio de la evaporación. Por otra parte, ese aumento puede ser como máximo de 1°C, recordando además que para una persona de 60 Kg son necesarias 50 Cal, si se quiere lograr ese límite de T°C. Por medio de nomogramas se calculan las Cal en exceso por carga térmica y trabajo, y el tiempo necesario para su pérdida.

Otro criterio para establecer las pausas de recuperación es el recomendado por la American Conference of Governmental Industrial Hygienist, basado en la temperatura de globo húmedo. Este criterio da porcentajes de tiempos de trabajo y de pausas, según la actividad sea leve, moderada o pesada.

Ejemplo:

- Trabajo leve: 27,1 a 27,3°C - 75% trabajo y 25% reposo
- Trabajo moderado: 22,5 a 25,4°C - 75% trabajo y 25% reposo
- Trabajo pesado: 20,3 a 23,7°C - 75% trabajo y 25% reposo

Si se utiliza como criterio la temperatura efetiva corregida, las pausas se deben establecer a partir de los 28°C de temperatura máxima para un trabajo que implique 420 Cal/h. Si la temperatura corregida fuera de 30°C sólo se puede tolerar 8 horas de trabajo cuando éste consume menos de 180 Cal/h.

#### 5.4. Medidas organizativas



## 6. Protección contra la carga por frío

### 6.1. Introducción

La protección contra la carga por frío, orientada principalmente a evitar daños en la salud, implica una serie de medidas que incluyen:

- medidas preventivas sobre el trabajador, examen médico;
- medidas técnicas de protección, climatización;
- medidas organizativas, pausas de recuperación;
- elementos de protección personal.

### 6.2. Climatización ambiental

La calefacción de los ambientes, respetando las temperaturas y porcentajes de humedad adecuados, es la principal medida de climatización. La sensación de frío depende fundamentalmente de la cantidad de calor que pierde el cuerpo. En un ambiente cuyas paredes estén frías o con una temperatura muy por debajo de la del aire, se sentirá frío aunque midiendo la temperatura ambiente se compruebe que la misma supera los 20°C.

En realidad la persona ubicada en este ambiente pierde calor por radiación. La elección de material adecuado es primordial para lograr ambientes con paredes bien aisladas y con baja inercia térmica, es decir, que alcancen rápidamente la temperatura del aire.

Otra causa del malestar la constituyen las corrientes de aire. No siempre es fácil solucionarlas, ya que muchas veces están en relación con la entrada de aire fresco al ambiente. Estudios recientes advierten el peligro, por otro lado, de los ambientes demasiado cerrados, sin contacto con el aire exterior. La falta de renovación del aire y la creciente contaminación química y biológica puede convertirse en causa de daños para la salud.

En lugares muy abiertos tales como naves industriales, grandes galpones y talleres, la calefacción del aire puede no llegar a ser efectiva. Allí se puede intentar paliar la situación utilizando calefactores por radiación.

### 6.3. Medidas organizativas; pausas de recuperación

Los trabajadores que realicen tareas de larga duración en ambientes fríos deben tener la oportunidad de contar con pausas de recuperación en salones calefaccionados. Resulta también muy conveniente brindarles ropa de recambio en caso de que las usadas estén húmedas.

Se reproducen a continuación las recomendaciones que figuran al respecto en las normas para la prevención de accidentes en cámaras frigoríficas, editadas por la Unión de Asociaciones Profesionales de la República Federal de Alemania:

*Art. 36. Tiempo de permanencia en cámaras frigoríficas:*

1. *La empresa deberá procurar que el "asegurado" no permanezca por más de dos horas dentro de ambientes con temperaturas inferiores a -25°C, en forma ininterrumpida. Pasado ese lapso, el asegurado deberá permanecer 15 min. fuera de la zona de frío.*

2. *En caso de que el asegurado se aleje de la zona de frío por menos de 15 min, esta salida no se considerará como una interrupción a la permanencia en el puesto de trabajo.*

3. *Para temperaturas inferiores a -45°C, la empresa podrá otorgar ocupación a asegurados únicamente de acuerdo con los datos de permanencia y pausas de recuperación establecidos por la Unión de Asociaciones Profesionales y las autoridades competentes del área médica de protección laboral.*

4. *La empresa deberá procurar que en ningún caso el asegurado supere un tiempo de permanencia de 8 h en ambientes con menos de -25°C.*

Otra posibilidad de controlar el frío la brinda la vestimenta. Es importante aclarar que el efecto de aislación contra el frío, significa en realidad, capacidad de retener el calor generado por el mismo organismo.

El aire en reposo es un excelente aislante. Una prenda es abrigada en la medida que logre retener grandes cantidades de aire en reposo.

*Explicación del clo*

El valor de aislación de una prenda se expresa en *clo*. Su determinación requiere el uso de instrumentos especiales. En la práctica es suficiente con tomar los valores orientativos de la tabla n° 1.

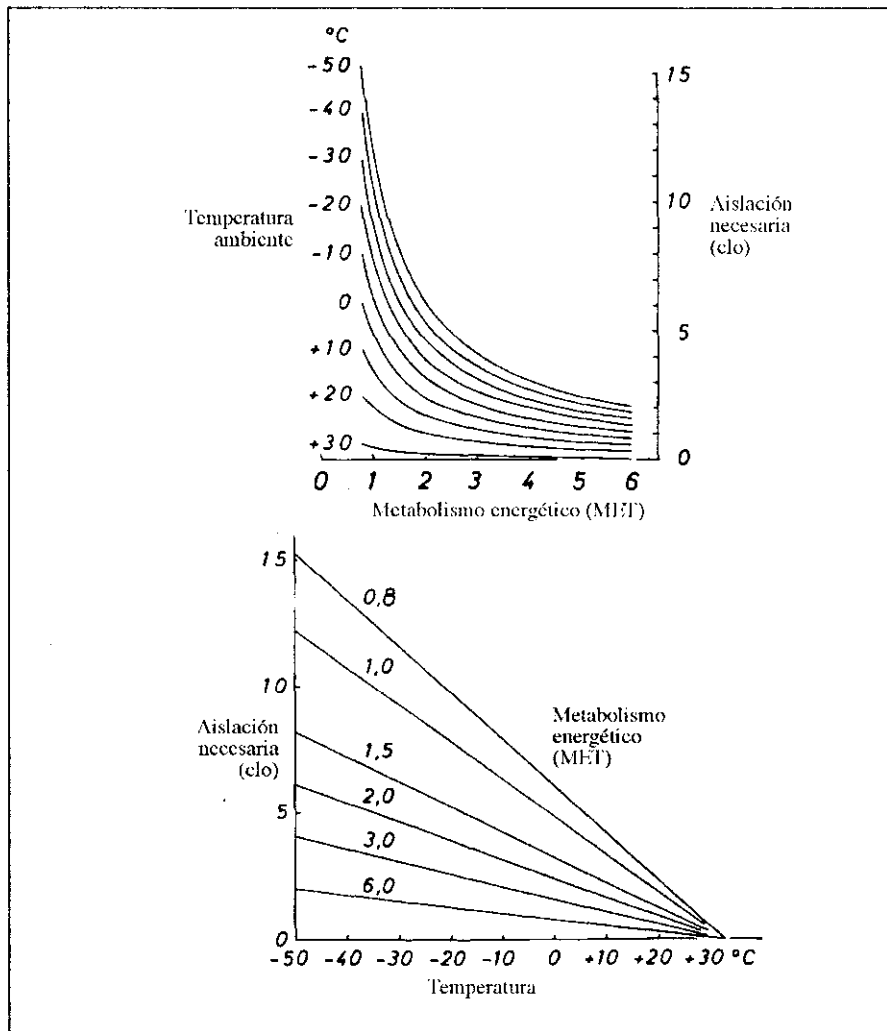
La unidad **clo** (del inglés *clothing*, vestimenta) se define como:

$$1 \text{ clo} = 0,043^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h/Kj}$$

Esto significa que la prenda con el valor de 1 clo permite pasar una cantidad de calor de 23 Kj/h por metro cuadrado de superficie para una diferencia de 1°C de temperatura entre las caras externa e interna.

Cuanto menor sea la temperatura ambiente, mayor será la aislación requerida. El gráfico de la fig.37 resume los estudios realizados por Burton y Edholm tendientes a determinar la cantidad de clo, en función de la temperatura ambiente y de la actividad desarrollada. El metabolismo energético está dado en unidades MET, siendo 1 MET

#### 6.4. Elementos de protección personal



**Figura 37**  
Aislación total del cuerpo lograda por la vestimenta para diferentes temperaturas ambientales.  
(versión modificada según Burton y Edholm)

equivalente al gasto energético producido por una persona en posición sentada (aproximadamente 400 Kj/h).

La velocidad del aire circundante tiene sus efectos. Esto está contemplado en el gráfico de la fig.38.

Con aire de reposo ( $V > 0,1$  m/seg) la capa de aire que rodea al cuerpo equivale a una aislación de 1 clo.

A medida que la velocidad del aire aumenta este efecto disminuye.

Con el siguiente ejemplo se aclara la utilización de los gráficos.

Datos:

- metabolismo energético = 2 MET
- temperatura ambiente = -30°C
- velocidad del aire = 0,6 m/seg

Según el gráfico de la fig.37, bajando por la curva de -20°C hasta interceptar con la recta que pasa con 2 MET se obtiene:

aislación total = 4 clo

Para una velocidad de aire de 0,6 m/seg., el valor de aislación del aire es de 0,5 CLO (fig.38)

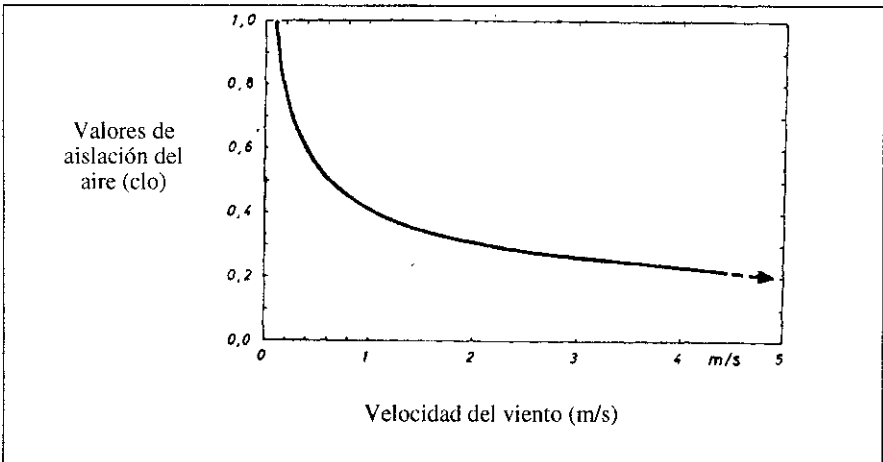
Por lo tanto

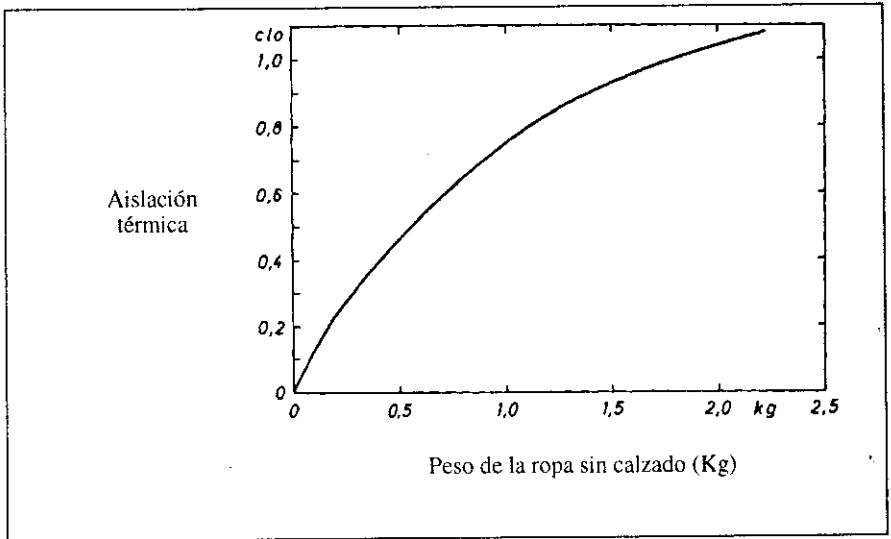
aislación total	4 clo
aislación aire	<u>0,5 clo</u>
aislación de la ropa	3,5 clo

a) Protección de manos y pies

Las extremidades tienden a perder mucho calor: ciertas tareas, como la de los conductores de autoelevadores en grandes cámaras frigoríficas, confrontan temperaturas muy bajas con una actividad corporal relativamente liviana. La solución mediante materiales de suficiente espesor y aislantes, conduce al diseño de guantes y botines que dificultan las operaciones de manejo y manipuleo. Para -30°C, la solución ideal consiste en guantes y botines calefaccionados. La dificultad radica en la necesidad de una fuente de energía que se calcula en unos 200W de potencia para cada botín.

**Figura 38**  
Valores de aislación del aire para diferentes velocidades del viento





**Figura 39**  
Peso de la ropa sin calzado para diferentes grados de aislación (Kg)

Por último, en la fig.39 se puede observar el peso de la ropa según sus diferentes grados de aislación.

Vestimenta	Valor clo
Desnudo	0
Shorts	0,1
<b>Ropa tropical</b>	
Camisa corta, abierta, pantalones cortos, zoquetes livianos y sandalias	0,3-0,4
<b>Ropa de verano liviana</b>	
Camisa corta, abierta, pantalones largos livianos, zoquetes livianos, zapatos	0,5
<b>Ropa de trabajo liviana</b>	
Calzoncillos cortos, camisa de trabajo abierta, pantalón de trabajo, zoquetes de lana y zapatos	0,6
<b>Ropa de entrenamiento liviana</b>	
Ropa interior corta, "jogging", zoquetes, zapatillas	0,9
<b>Ropa de trabajo pesada</b>	
Ropa interior larga, traje enterizo, medias y botines	1,0
<b>Traje de calle liviano</b>	
Ropa interior corta, camisa cerrada, traje liviano, zoquetes, zapatos	1,0
Idem al anterior, más sobretodo liviano	1,5
<b>Ropa polar</b>	a partir de 3

**Tabla 2**  
Valor de aislación de la vestimenta, expresado en clo

## 7. Apéndice

La tabla 3 muestra las presiones de saturación de vapor de agua en la atmósfera. La humedad relativa se expresa más exactamente como porcentaje de la presión de saturación de vapor de agua en la atmósfera. Para esto es necesario conocer la presión parcial de vapor de agua existente. Esta se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_{par} = P_{sat} - 0,66 (T_{bs} - T_{bh}) \cdot \frac{P}{1000}$$

En donde:

$P_{par}$  = presión parcial de vapor de agua (mbar)

$P_{sat}$  = presión de vapor saturado (mbar)

$T_{BS}$  = Temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}C$ )

$T_{BH}$  = Temperatura de bulbo húmedo ( $^{\circ}C$ )

$P$  = presión total (mbar)

La humedad relativa se puede calcular entonces, como:

$$\text{humedad relativa} = \frac{\text{presión parcial}}{\text{presión de saturación}} \times 100$$

Ejemplo:

$T$  del aire =  $16,7^{\circ}C$

$P_{sat}$  = 19 mbar (ver tabla)

$P_{par}$  = 15 mbar

$$\text{Humedad relativa} = \frac{P_{par} \cdot 100}{P_{sat}} = \frac{15 \cdot 100}{19} = 75\%$$

### 7.1. Cálculo de las presiones de saturación de vapor de agua

**Tabla 3**  
Presiones de vapor saturado del agua en mbar (Tabla Geigy)

°C	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	°C
0	6,11	6,15	6,20	6,24	6,29	6,33	6,38	6,43	6,47	6,52	0
1	6,57	6,61	6,66	6,71	6,76	6,81	6,86	6,90	6,95	7,00	1
2	7,05	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,42	7,47	7,52	2
3	7,58	7,63	7,68	7,74	7,79	7,85	7,90	7,96	8,02	8,07	3
4	8,13	8,19	8,24	8,30	8,36	8,42	8,48	8,54	8,60	8,66	4
5	8,72	8,78	8,84	8,90	8,97	9,03	9,09	9,15	9,22	9,28	5
6	9,35	9,41	9,48	9,54	9,61	9,67	9,74	9,81	9,88	9,94	6
7	10,01	10,08	10,15	10,22	10,29	10,36	10,43	10,51	10,58	10,65	7
8	10,72	10,80	10,87	10,94	11,02	11,09	11,17	11,24	11,32	11,40	8
9	11,47	11,55	11,63	11,71	11,79	11,87	11,95	12,03	12,11	12,19	9
10	12,27	12,36	12,44	12,52	12,61	12,69	12,75	12,86	12,95	13,03	10
11	13,12	13,21	13,30	13,38	13,47	13,56	13,65	13,74	13,83	13,93	11
12	14,02	14,10	14,20	14,30	14,39	14,49	14,58	14,68	14,77	14,87	12
13	14,97	15,07	15,17	15,27	15,37	15,47	15,57	15,67	15,77	15,87	13
14	15,98	16,08	16,19	16,29	16,40	16,50	16,61	16,72	16,93	16,94	14
15	17,04	17,15	17,26	17,38	17,49	17,60	17,71	17,83	17,94	18,06	15
16	18,17	18,29	18,41	18,52	18,64	18,76	18,88	19,00	19,12	19,25	16
17	19,37	19,49	19,61	19,74	19,86	19,99	20,12	20,24	20,37	20,50	17
18	20,63	20,76	20,89	21,16	21,16	21,29	21,42	21,56	21,69	21,83	18
19	21,96	22,10	22,24	22,38	22,52	22,66	22,80	22,94	23,09	23,23	19
20	23,37	23,52	23,66	23,81	23,96	24,11	24,26	24,41	24,56	24,71	20
21	24,86	25,01	25,17	25,32	25,48	25,64	25,79	25,95	26,11	26,27	21
22	26,43	26,59	26,75	26,92	27,08	27,25	27,41	27,58	27,75	27,92	22
23	28,09	28,26	28,43	28,60	28,77	28,95	29,12	29,30	29,48	29,65	23
24	29,83	30,01	30,19	30,37	30,56	30,74	30,92	31,11	31,30	31,48	24
25	31,67	31,86	32,05	32,24	32,43	32,63	32,82	33,02	33,21	33,41	25
26	33,61	33,81	34,01	34,21	34,41	34,62	34,82	35,03	35,23	35,44	26
27	35,65	35,86	36,07	36,28	36,50	36,71	36,92	37,14	37,36	37,58	27
28	37,80	38,02	38,24	38,46	38,69	38,91	39,14	39,37	39,59	39,82	28
29	40,06	40,29	40,52	40,76	40,99	41,23	41,47	41,71	41,95	42,19	29
30	42,43	42,67	42,92	43,17	43,41	43,66	43,91	44,17	44,42	44,67	30
31	44,93	45,18	45,44	45,70	45,96	46,22	46,49	46,75	47,02	47,28	31
32	47,55	47,82	48,09	48,36	48,64	48,91	49,19	49,47	49,75	50,03	32
33	50,31	50,59	50,87	51,16	51,45	51,74	52,03	52,32	52,61	52,90	33
34	53,20	53,50	53,80	54,10	54,40	54,70	55,00	55,31	55,62	55,93	34
35	56,24	56,55	56,86	57,18	57,49	57,81	58,13	58,45	58,77	59,10	35
36	59,42	59,75	60,08	60,41	60,74	61,07	61,41	61,74	62,08	62,42	36
37	62,76	63,11	63,45	63,80	64,14	64,49	64,84	65,20	65,55	65,91	37
38	66,26	66,62	66,99	67,35	67,71	68,08	68,45	68,82	69,19	69,56	38
39	69,93	70,31	70,69	71,07	71,45	71,83	72,22	72,61	72,99	73,39	39
40	73,78	74,17	74,57	74,97	75,37	75,77	76,17	76,58	76,98	77,39	40
41	77,80	78,22	78,63	79,05	79,47	79,89	80,31	80,73	81,16	81,59	41
42	82,02	82,45	82,88	83,32	83,75	84,19	84,64	85,08	85,53	85,97	42
43	86,42	86,88	87,33	87,79	88,24	88,70	89,17	89,63	90,10	90,56	43
44	91,03	91,51	91,98	92,46	92,94	93,42	93,90	94,39	94,87	95,36	44
45	95,86	96,35	96,85	97,34	97,84	98,35	98,85	99,33	99,87	100,38	45
46	100,89	101,41	101,93	102,45	102,97	103,50	104,03	104,56	105,09	105,62	46
47	106,16	106,70	107,24	107,78	108,33	108,88	109,43	109,98	110,54	111,10	47
48	111,66	112,22	112,79	113,36	113,93	114,50	115,07	115,65	116,23	116,81	48
49	117,40	117,99	118,58	119,17	119,77	120,37	120,97	121,57	122,18	122,79	49
50	123,40	124,01	124,63	125,25	125,87	126,49	127,12	127,75	128,38	129,01	50
51	129,65	130,29	130,93	131,58	132,23	132,88	133,53	134,19	134,84	135,51	51
52	136,17	136,84	137,51	138,18	138,86	139,54	140,22	140,91	141,60	142,29	52
53	142,98	143,68	144,38	145,08	145,78	146,49	147,20	147,91	148,63	149,35	53
54	150,07	150,80	151,53	152,26	152,99	153,73	154,47	155,21	155,96	156,71	54
55	157,46	158,22	158,97	159,74	160,50	161,27	162,04	162,82	163,59	164,38	55
56	165,76	166,55	167,34	168,13	168,93	169,73	170,54	171,35	172,16	172,96	56
57	173,18	174,00	174,82	175,65	176,48	177,31	178,15	178,99	179,83	180,68	57
58	181,53	182,38	183,24	184,10	184,96	185,83	186,70	187,58	188,45	189,34	58
59	190,22	191,11	192,00	192,89	193,79	194,69	195,60	196,51	197,42	198,34	59
60	199,26	200,18	201,11	202,05	202,98	203,92	204,86	205,81	206,76	207,71	60

# Carga térmica

## Glosario técnico

*Grado de aislación de la vestimenta:* El grado de aislación de la vestimenta se define como la resistencia al pasaje de calor, desde la piel hacia la superficie del cuerpo cubierta por la vestimenta. Se expresa en la unidad  $m^2 K/W$  o en la unidad *clo*:

$$1 \text{ clo} = \frac{0,155 \text{ m}^2 \cdot K}{W}$$

*Temperatura efectiva:* Diferentes combinaciones de las tres magnitudes climáticas: temperatura del aire, humedad y velocidad del aire, que provocan la misma sensación térmica. En los diagramas para la determinación de la temperatura efectiva, la humedad ambiental viene expresada en función de la temperatura de bulbo húmedo.

*Temperatura efectiva corregida:* Magnitud climática sumaria, según Bedford y Yaglou, similar a la temperatura efectiva, pero con la inclusión del efecto de la temperatura radiante.

*Temperatura de bulbo húmedo:* Temperatura del aire, medida con un termómetro normal, cuyo bulbo se cubre con un algodón humedecido.

*Temperatura de globo:* Denominada también temperatura de globo negro, representa un valor integrado de la temperatura de bulbo seco, velocidad del aire y de la temperatura radiante.

*Adaptación al calor:* La adaptación del organismo humano a la carga térmica por calor.

*Velocidad del aire:* Velocidad de la corriente de aire en un punto del ambiente, medida normalmente en m/s (metros por segundo).

*Humedad relativa:* Relación porcentual entre la presión parcial de vapor existente y la máxima presión parcial de vapor posible (valor de saturación de vapor), en condiciones de temperatura ambiente constante.

*Temperatura radiante:* Temperatura promedio de una superficie radiante.

*Temperatura de bulbo seco (idem temperatura del aire):* Temperatura medida con un termómetro simple, expuesto al aire.



*Balance térmico:* Resumen de las diferentes fuentes de producción de calor (trabajo muscular) y de los distintos mecanismos de intercambio calórico (convección, conducción, evaporación y radiación).

*Densidad de radiación térmica:* Intensidad de radiación de las ondas electro-magnéticas dentro del espectro del infrarrojo, a partir de una longitud de onda de 760 nm (1 nm = 10/1 000 000 000 m).

# II. Carga Acústica

## 1. Concepto de sonido

En un cuarto totalmente deshabitado se corta el hilo que sostiene un cuadro colgado de la pared, y se estrella contra el piso. ¿Produce algún sonido? Muchos van a contestar que sí, y sin embargo, ateniéndose al concepto de sonido, lo que se produce es un choque entre el cuadro que cae y el piso. La energía que desarrolla el cuadro que cae, se transforma en trabajo de rotura y el cuadro al estallar en pedazos comunica al aire una vibración. Si no hay nadie que la escuche, esta vibración en forma de onda mecánica, se perderá transmitiendo su energía a los distintos medios, hasta que esta energía se absorba totalmente. En conclusión, para que exista un sonido, debe haber alguien que lo escuche, es decir, una onda sonora se convierte en sonido cuando produce la sensación acústica correspondiente.

### 1.1. Sonido

De acuerdo con este relato, se puede definir al sonido como un fenómeno de perturbación mecánica, que se propaga en un medio material elástico (aire, agua, metal, madera, etc.) y que tiene la propiedad de estimular una sensación auditiva.

### 1.2. Definición

Es importante remarcar los elementos constituyentes de un sonido, porque entendiendo su interrelación, se explicará mejor cómo contrarrestar sus efectos.

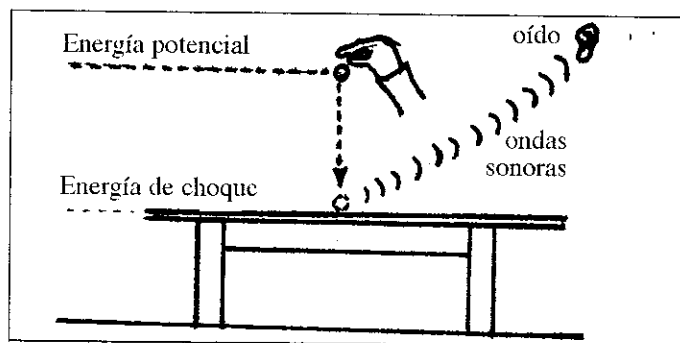
Se deja caer una moneda desde cierta altura, sobre un escritorio:

*Fuente u origen:* Moneda cayendo sobre el escritorio

*Medio de propagación:* Aire: se puede escuchar caer, incluso alejándose varios metros de la mesa.

Mesa: acercando uno de los oídos a una tabla, se la puede escuchar

**Figura 40**  
Transformación  
de la energía de  
choque en  
energía acústica



también, la madera transmite los sonidos.

*Aparato receptor:*

El oído. Las vibraciones transmitidas por el aire o por la madera de la mesa, llegan a los oídos y provocan una sensación.

Es decir, este fenómeno tiene dos aspectos fundamentales: uno puramente físico, externo, y que se puede describir como una perturbación del medio elástico, aire o madera; y uno interno, subjetivo, cuya captación se reconoce como sensación.

## 2. Conceptos físicos

Se comenzará entonces describiendo al sonido en su aspecto externo, en su naturaleza física.

Podemos reemplazar la tabla por una membrana elástica, por ejemplo, el parche de un tambor.

Cuando el parche está quieto, no hay vibraciones. Si se deja caer una moneda y se mira lo que pasa, la moneda cae, empuja la membrana hacia abajo y, como la membrana es elástica, se recupera y sube empujando incluso la moneda hacia arriba.

Haciendo un dibujo de cada instante, obtenemos las siguientes figuras del comportamiento de una membrana elástica:

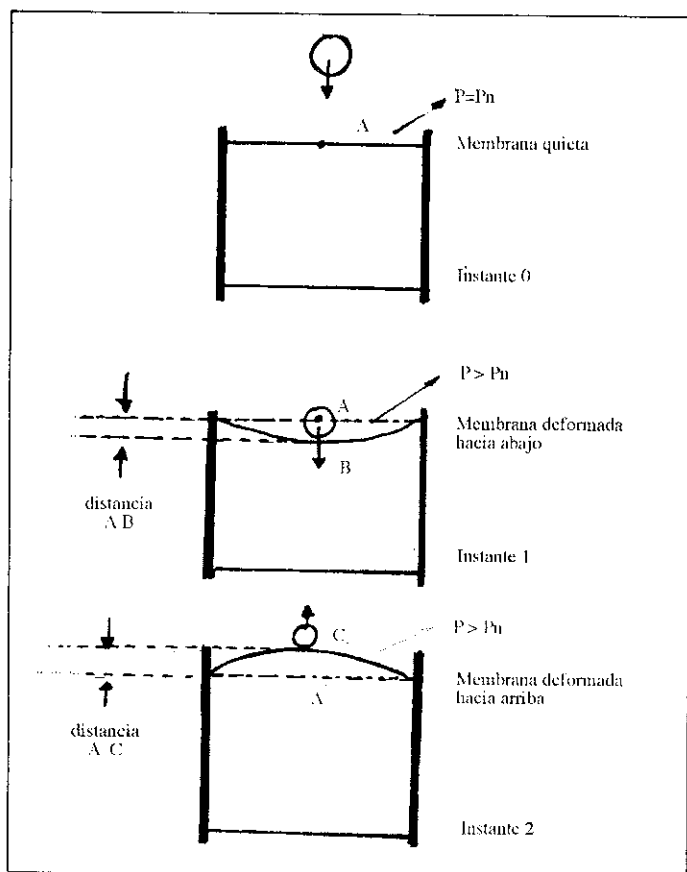
*Instante 0*

La membrana está quieta.

Presión del aire sobre la membrana: normal  $P = P_{\text{normal}}$

*Instante 1*

La membrana es empujada hacia abajo, mediante la fuerza de la caída  $F$ .



La presión del aire disminuye hasta  $P = P_{\min}$

*Instante 2*

La membrana se recupera y se eleva elásticamente.

La presión del aire aumenta hasta  $P = P_{\max}$

Las veces que se repita este fenómeno dependerá de las características de la membrana y de la energía que traiga la moneda; cuanto mayor sea la altura de la caída, mayor será su energía. Cuando la membrana está quieta, el aire sobre la membrana se encuentra en reposo, pero al deformarse hacia abajo, se produce un vacío relativo, es decir la presión atmosférica alrededor del parche disminuye.

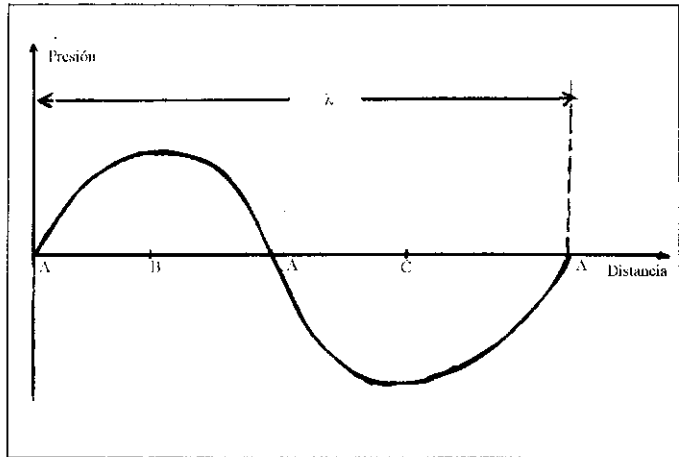
Cuando el parche empuja el aire hacia arriba, la presión aumenta. Estas variaciones de presión provocan las ondas sonoras.

## 2.1. Longitud de onda

Si se representan en un par de ejes las variaciones de presión del aire en función de los desplazamientos  $e$  y del tiempo  $t$ , tenemos la fig.42:

En la fig. 42, el eje X representa la suma de las distancias que va recorriendo el centro del parche, pasando por los puntos A, B, A, C, A; y el eje Y representa las variaciones de la presión

**Figura 42**  
Representación gráfica del fenómeno ondulatorio



del aire, alrededor de la presión normal o de reposo.

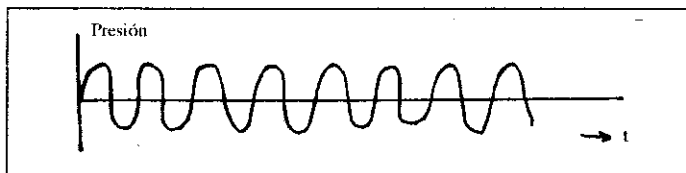
Suponiendo que se mantiene el parche vibrando por un largo tiempo y siempre de la misma manera, por ejemplo, golpeando suavemente y con igual cadencia, el gráfico se podría prolongar indefinidamente, como lo muestra la fig.43:

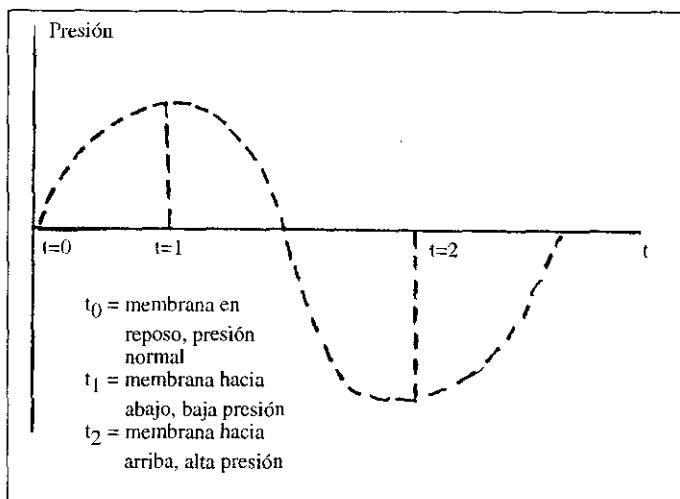
De la fig.42 se pueden rescatar dos magnitudes características del proceso ondulatorio:  $\lambda$  (longitud de onda) y  $A$  (amplitud de la onda). La longitud de la onda representa la suma de los desplazamientos alrededor del punto de reposo, por cada ciclo de deformación. La amplitud  $A$  es una medida de la presión que deforma la membrana y que se va a traducir en una variación de presión del aire.

## 2.2. Frecuencia

Si, en lugar de desplazamientos, se registran en el eje X los instantes en los que ocurren las variaciones de presión, obtenemos la fig. 44.

**Figura 43**  
Fenómeno ondulatorio continuo, no amortiguado





**Figura 44**  
 Representación del fenómeno ondulatorio en función del tiempo

El tiempo necesario para que la membrana pase del estado de reposo al de máxima deformación hacia abajo, y luego al de máxima deformación hacia arriba, y luego regrese al de reposo, es otra de las magnitudes características de la onda y se la denomina  $T = \textit{período}$ . Cada una de estas repeticiones es un *ciclo*.

Suponiendo que se tiene una onda con período de 0,5 seg ( $T = 0,5$  seg), significa que la onda tarda medio segundo en pasar del reposo al mínimo, luego al máximo y finalmente otra vez al reposo; es decir que cada ciclo dura 0,5 seg.

Otra magnitud característica del sonido es la *frecuencia*. La frecuencia representa la cantidad de ciclos de vibración por unidad de tiempo. Usualmente en sonido se usa la unidad *hercios*, que se abrevia *Hz*.

$$1 \text{ Hz} = \frac{1 \text{ ciclo}}{\text{seg}}$$

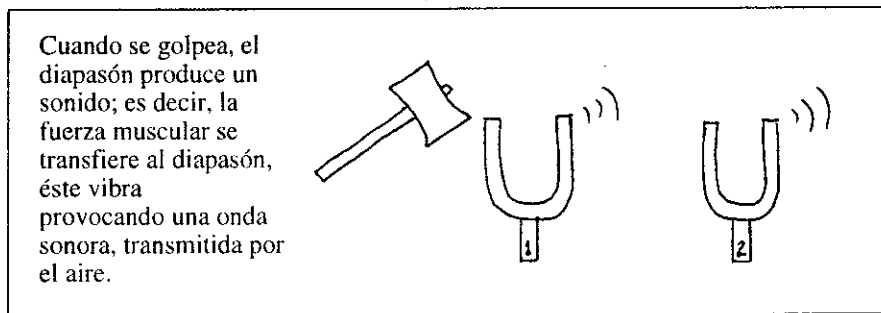
Una onda que vibra 1 ciclo por segundo tiene una frecuencia de 1 Hz.

Finalmente, otra magnitud que nos interesa medir, está relacionada con la energía puesta en juego en el proceso de formación y transmisión del sonido. Esta magnitud es la *presión sonora*.

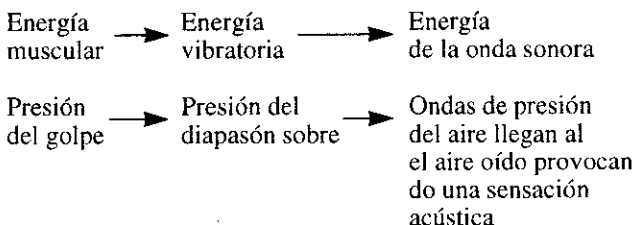
Para entender bien esta magnitud, sirve un viejo concepto de la física: *todo se transforma*, es decir, ninguna forma de energía se pierde.

Para demostrar este fenómeno, hacen falta dos diapasones de iguales características. Un diapason está formado por una barra de acero doblado en U, montado sobre una base.

### 2.3. Presión sonora



**Figura 45**  
Generación de un  
sonido



¿Cómo se puede demostrar que el sonido está transmitiendo energía en forma de presión sonora?

Se coloca otro diapasón de iguales características físicas, suficientemente cerca del primero. Se golpea uno de los diapasones. El otro, a pesar de no haber sido golpeado, comienza también a vibrar. Esto se puede verificar tomando con la mano el diapasón que se golpeó originalmente, con lo que dejará de sonar. El otro, en cambio, seguirá vibrando. ¿Cómo pasó la energía del primer diapasón al segundo? la energía se trasladó a través del aire, en forma de ondas de presión sonora.

Esta presión sonora se puede medir y su unidad es el *pascal*.

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ newton/m}^2 = 0,1 \text{ kg/m}^2$$

### 3. El sentido de la audición

#### 3.1. Fundamentos anatómicos y fisiológicos

En el complejo mecanismo de la audición intervienen distintas estructuras con características anatómicas y funcionales bien definidas. De afuera hacia adentro, siguiendo la dirección de la onda sonora, estas estructuras son:

- el *oído*, cuya función es captar la señal acústica (físicamente una vibración transmitida por el aire) y transformarla en impulso bioeléctrico;

- la *vía nerviosa*, compuesta por el nervio auditivo y sus conexiones con centros nerviosos, que transmite el impulso bioeléctrico hasta la corteza;
- la *corteza cerebral* del lóbulo temporal, a nivel de la cual se realiza la interpretación de la señal y su elaboración.

Así, la *percepción auditiva* se realiza por medio de dos mecanismos: uno periférico, el oído, que es estimulado por ondas sonoras; y otro central, representado por la corteza cerebral que recibe estos mensajes a través del nervio auditivo y los interpreta.

El oído actúa, entonces, como un transductor que transforma la señal acústica en impulsos nerviosos. Sus estructuras integran un sistema mecánico de múltiples componentes, que presentan diferentes frecuencias naturales de vibración.

Pero el oído no interviene solamente en la audición. Los conductos semicirculares, que forman parte del oído interno, brindan información acerca de los movimientos del cuerpo, fundamental para el mantenimiento de la postura y el equilibrio.

De este modo, su particular anatomía, su ubicación a ambos lados de la cabeza, sus estrechas relaciones con otros sentidos (visual, propioceptivo) y estructuras nerviosas especiales (sustancia reticular, sistema límbico, etc.), su doble función (audición y equilibrio), nos explican no sólo su capacidad para ubicar e identificar una fuente sonora, analizar, interpretar y diferenciar un sonido, y orientarnos en el espacio, sino que además nos da las bases para entender las consecuencias que el ruido ocasiona sobre el ser humano.

### a) El oído

Desde el punto de vista anatómico el oído se puede dividir en tres partes:

- I. Oído externo
- II. Oído medio
- III. Oído interno

- *Oído externo:*

Comprende el pabellón de la oreja y el conducto auditivo externo.

El primero es una lámina fibrocartilaginosa cuya función de captación y, en cierto grado, vehiculización y refuerzo de las ondas sonoras hacia el conducto auditivo externo, es de considerable importancia en ciertos animales con orejas amplias y móviles, y resulta poco relevante en el hombre. Su ausencia ocasiona en él una pér-



**Figura 46**  
Corte  
longitudinal del  
oído, mostrando  
oído externo,  
medio e interno



didada auditiva de no más de 15 decibeles y escasos inconvenientes en la ubicación de la fuente sonora.

Por su parte, el conducto auditivo externo, de 27 mm de largo y 8 mm de diámetro, fibrocartilaginosa en su tercio externo y óseo en el resto de su extensión oblicua y sinuosa, presenta paredes ricas en glándulas sudoríparas y sebáceas.

Anatómicamente, se relaciona con la articulación temporomaxilar, la glándula parótida, la fosa cerebral media y el hueso temporal. Su extremo interno está cerrado por la membrana del tímpano.

El conducto auditivo externo actúa como un resonador, con una frecuencia de resonancia de aproximadamente 3kHz, que provoca una amplificación de hasta 10-15 dB (decibeles). Cuando una onda sonora llega hasta él, sus estructuras transmiten la vibración mecánica que hace vibrar el tímpano y alcanza finalmente las células del órgano de Corti del oído interno.

- *Oído medio*

Está formado por una serie de cavidades ubicadas en el hueso temporal. De ellas la principal, llamada caja timpánica, aloja el tímpano y una cadena de huesecillos formada por el martillo, el yunque y el estribo; las res-

tantes (celdas paratimpánicas) constituyen el sistema neumático del oído medio.

Esquemáticamente para su descripción, se puede considerar la caja timpánica provista de seis caras o paredes:

- la *externa* está formada hacia arriba por una porción ósea y hacia abajo por una porción membranosa: la membrana del tímpano
- la *interna* presenta en su parte superior un orificio: la ventana oval, ocupada por la platina del estribo y en comunicación con el vestíbulo (oído interno); por debajo de ella, otro orificio, la ventana redonda, cubierta por una membrana, se comunica con la rampa timpánica del caracol (oído interno)
- la *superior* o techo de la caja timpánica está formada por una delgada lámina ósea, relacionada con la fosa cerebral media
- la *inferior* se relaciona con el golfo de la yugular
- la *posterior* presenta orificios que comunican esta caja con las demás celdas o cavidades neumáticas del hueso temporal
- la *anterior* donde desemboca la trompa de Eustaquio por medio de la cual se establece comunicación con la faringe y cuya función es equilibrar la presión del oído medio con la del exterior

El volumen total de la cavidad del oído medio es de 2 cm<sup>3</sup>, ocupado en su mayoría por aire.

Los huesos, ligamentos y músculos ubicados en ella representan sólo 0,5 a 0,8 cm<sup>3</sup>. La frecuencia de resonancia está entre 800 y 1500 Hz.

Para que la transmisión sonora sea efectiva, resultan de fundamental importancia las siguientes estructuras del oído medio y la interrelación de sus respectivas funciones:

- la *membrana del tímpano* que, como ya vimos, se ubica a modo de diafragma entre el oído externo y el medio. Esta membrana presenta una forma cónica, con su concavidad hacia abajo en dirección al conducto auditivo externo. Tiene un centro rígido, bordes flexibles fijos en la periferia, y un área de alrededor de 90 mm<sup>2</sup>. Al recibir la onda sonora que le llega a través del conducto auditivo externo, se produce en el mismo un movimiento de distintas características según sea la frecuencia de dicho estímulo sonoro. Ante bajas frecuencias, se comporta como un cono rígido,

mientras que a frecuencias altas responde solamente su parte central. El tímpano tiene además un importante papel para la protección sonora de la ventana oval.

- la vibración del tímpano se comunica a los *huesecillos*. De ellos, el *martillo* se encuentra unido por su mango al centro del tímpano y por el otro extremo al *yunque*, de tal modo que ambos se mueven siempre en forma conjunta actuando como una sola palanca. El otro extremo del yunque se une al tallo del *estribo*, el cual a su vez completa la cadena de transmisión de impulsos apoyando su platina en los bordes de la ventana oval que comunica con el oído interno. Los *huesecillos* se encuentran unidos entre sí por medio de ligamentos, articulados de tal modo que al moverse el martillo hacia adentro y hacia afuera, el estribo gira hacia atrás y hacia adelante respectivamente, desplazando su base hacia adentro y hacia afuera de la ventana oval. A su vez, sus movimientos están regulados por dos músculos con funciones distintas y complejas. Estas son, por un lado: reforzar los sonidos débiles (en el caso de la acción aislada del tensor del tímpano), y por otro: proteger contra los sonidos intensos mediante el hundimiento y fijación del estribo en la ventana oval y, finalmente, actuando sinérgicamente, inmovilizar el aparato de conducción para dificultar el paso de los sonidos, principalmente los de tono grave.

Cuando se transmiten sonidos intensos por esta cadena ósea, se produce un reflejo que, partiendo del sistema nervioso central, contrae los músculos del estribo y el tensor del tímpano. Con esto se logra la atenuación de hasta 30 dB en el sonido, lo cual permite la adaptación del oído a intensidades diferentes y protege al caracol de lesiones por ruidos excesivamente intensos.

- las *ventanas oval y redonda* relacionan el oído medio con el interno. A través de la primera se transmite la vibración del estribo a los líquidos del oído interno, lo cual produce la excitación de las células nerviosas correspondientes. Cada vez que el estribo hunde su platina en la ventana oval, comprime el líquido dentro del oído interno y este aumento de presión abomba la membrana que cubre la ventana redonda. Lo inverso ocurre cuando el estribo se mueve hacia afuera. De no existir este juego de presiones, permitido por la existencia de esta última membrana, la vibración no podría convertirse en impulsos nerviosos (ver más adelante fisiología del oído interno).

El oído medio tiene como función principal ajustar las características de la vibración que llega por un medio gaseoso, el aire, a las propiedades mecánicas diferentes del líquido coclear (oído interno). Esto es así porque, a medida que la onda sonora progresa desde el conducto auditivo externo, debe ir venciendo en mayor o menor grado factores de resistencia, que llamamos *impedancia*, y que tienen que ver con la rigidez del sistema, la masa y el frotamiento. Para una mejor transmisión, se debe emparejar la impedancia. A ello contribuyen dos hechos: por un lado, la diferencia de superficies entre el tímpano ( $90 \text{ mm}^2$ ) y la platina del estribo ( $3;2 \text{ mm}^2$ ). Esto provoca sobre la ventana oval y en consecuencia sobre el líquido del caracol (oído interno), una presión 22 veces mayor que la producida por la onda sonora percibida por el tímpano. Por otro lado, el sistema de palancas de la cadena de huesecillos también puede producir un cierto aumento de la presión aplicada en el estribo.

En síntesis, el oído externo y el medio dan lugar a un incremento neto de la presión de alrededor de 20-30 dB.

La transmisión del sonido también está influenciada por los efectos de resonancia del sistema de huesecillos y del conducto auditivo, de tal modo que ésta, desde el aire al caracol, resulta excelente entre 800 a 6000 ciclos/seg, pero disminuye francamente fuera de esos límites.

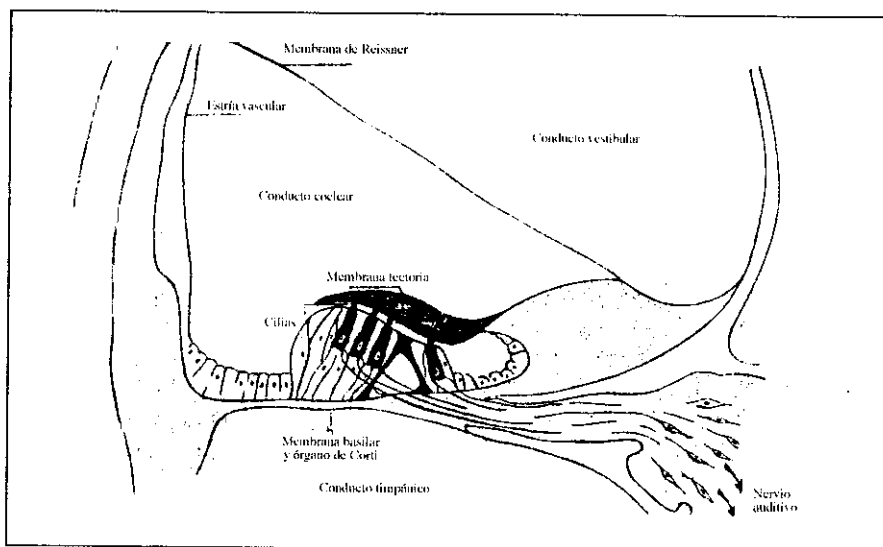
#### • *Oído interno*

El oído interno o laberinto se encuentra excavado en la parte inferior de la porción petrosa del hueso temporal. Está constituido por una serie de cavidades óseas comunicadas entre sí (laberinto óseo) y que a su vez alojan y encierran totalmente otra serie de cavidades con paredes membranosas blandas (laberinto membranoso).

Comprende dos aparatos (ver fig.46), no sólo desde el punto de vista anatómico, sino también funcional. Ellos son:

- el *caracol* o aparato coclear o laberinto anterior, cuya función es auditiva;
- y el *aparato vestibular* o laberinto posterior, que es el órgano del equilibrio.

Nos ocuparemos aquí exclusivamente del primero. Se trata de un tubo cónico enroscado en espiral (aproximadamente dos vueltas y tres cuartas partes) de 9 mm de diámetro y 5 mm de altura. Una sección transversal del



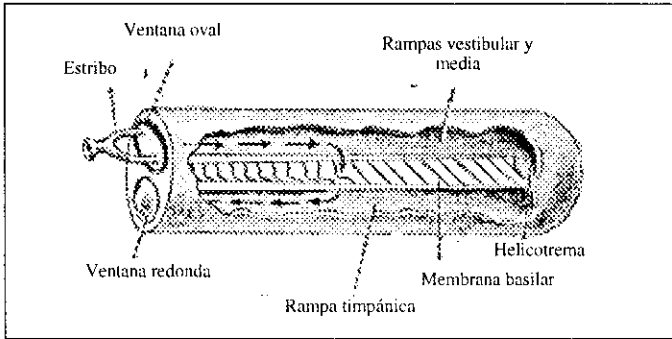
**Figura 47**  
Corte transversal  
del caracol

mismo (ver fig.47) muestra que está formado por otros tres tubos o rampas, separadas por membranas a lo largo de toda su extensión, salvo en su extremo distal en donde se comunican libremente entre sí. Estas rampas son:

- la *rampa vestibular*, conectada en su parte basal con la ventana oval y la platina del estribo (oído medio);
- la *rampa timpánica*, conectada en su parte basal con la ventana redonda, obturada por su correspondiente membrana que la relaciona con el oído medio;
- y la *rampa coclear*, ubicada entre las dos anteriores y que se aloja en el órgano de Corti. Está separada de la primera por la membrana de Reissner y de la segunda por la membrana basilar.

La membrana basilar, de 30 mm de largo, está formada por alrededor de 20.000 fibras dispuestas transversalmente en forma paralela, fijas al caracol por uno solo de sus extremos, y cuyo ancho aumenta gradualmente desde la base hasta el vértice del caracol. Esto hace que las fibras vibren como las lengüetas de una armónica pero con distinta frecuencia: las más cortas, cerca de la base del caracol, lo hacen con altas frecuencias, mientras las más largas, cercanas al vértice, con frecuencias bajas.

A su vez, las tres rampas están llenas por un líquido llamado *endolinfa*.



**Figura 48**  
Esquema funcional del laberinto

Funcionalmente, y debido a la delgadez de la membrana de Reissner, se considera al laberinto formado sólo por dos rampas: la vestibular y la timpánica.

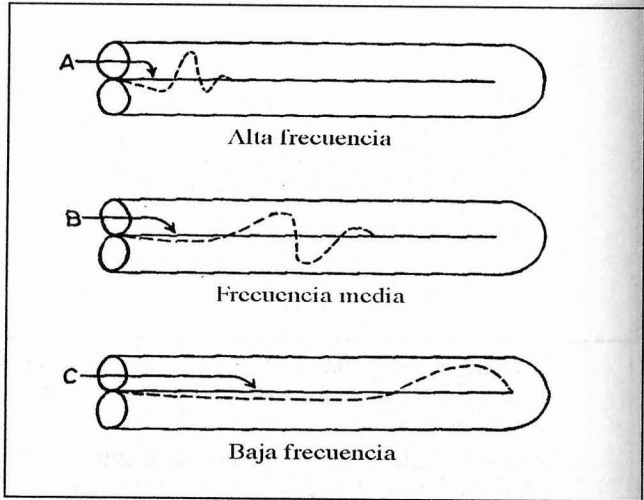
Cuando la cadena de huesecillos transmiten su vibración al oído interno, se produce un desplazamiento de la masa líquida del mismo (ver fig.48), que será menor a nivel de la base del caracol y mayor en el vértice. Esta diferencia de carga sobre la membrana basilar y la de longitud de sus fibras, son responsables de la distinta resonancia de la misma, que es de aproximadamente 7 octavas entre vértice y base.

En la superficie de la membrana basilar, y a todo lo largo de la rama coclear, se asienta el órgano de Corti (ver fig.47). Este es el órgano generador de impulsos nerviosos que dan respuesta a las vibraciones de la membrana. Está formado por dos tipos de células ciliadas: las internas, en número de 3 500 y las externas, cuyo número aproximado es de 20 000 y aumenta a medida que se acerca al vértice del caracol. Las cilias de su cara superior se proyectan hacia la cavidad coclear y penetran en la membrana tectoria. Esta, formada por fibras y una sustancia gelatinosa, corre a manera de voladizo en espiral sobre el órgano de Corti. La cara inferior de las células ciliadas está incluida en una red de terminaciones nerviosas que parten de ellas para formar el nervio auditivo.

La fig. 50 nos muestra el mecanismo por el cual la vibración de las fibras de la membrana basilar originaría el impulso nervioso. El movimiento de la fibra basilar hacia arriba desplaza las células ciliadas con ella, impulsándolas también hacia adentro; el movimiento hacia abajo las lleva consigo y simultáneamente hacia afuera. Esto provoca el rozamiento de las cilias contra la membrana tectoria dando lugar a la generación de un potencial alterno que estimula las fibras nerviosas de la base

**Figura 49**

Representación esquemática de las ondas a lo largo de la membrana basilar según su frecuencia

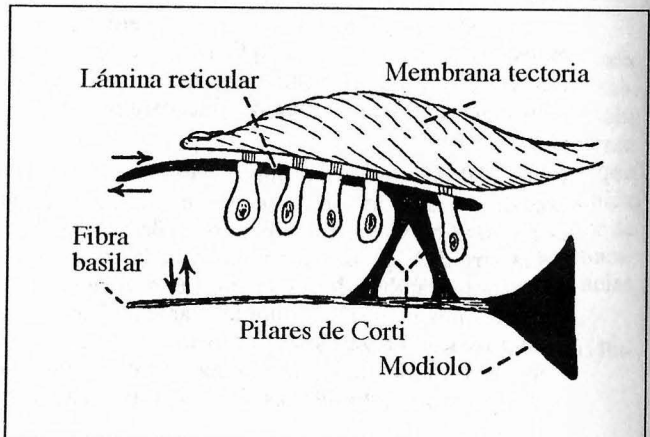


de las células. Además, la diferencia de potencial eléctrico presente entre el interior de las células y el líquido que las baña, sensibilizaría marcadamente la capacidad de las mismas para responder a ligeros movimientos de las ciliás.

Como vemos, la vibración de la membrana basilar resulta de vital importancia para la formación del impulso nervioso.

En resumen, el estímulo sonoro en forma de vibración aérea moviliza el tímpano, se amplifica en el oído externo y en el medio, a través de cuyos huesecillos transmite su energía al líquido coclear mediante la presión del estribo sobre la ventana oval. Esto origina un movimiento desfasado por el cual, cuando el

**Figura 50**  
Esquema de ubicación de membrana tectoria y su relación con los movimientos de las células ciliadas



estribo se hunde en el oído interno, presiona el líquido de la rampa vestibular, luego el de la rampa timpánica y abomba hacia afuera la membrana que cubre la ventana redonda (ver fig. 48).

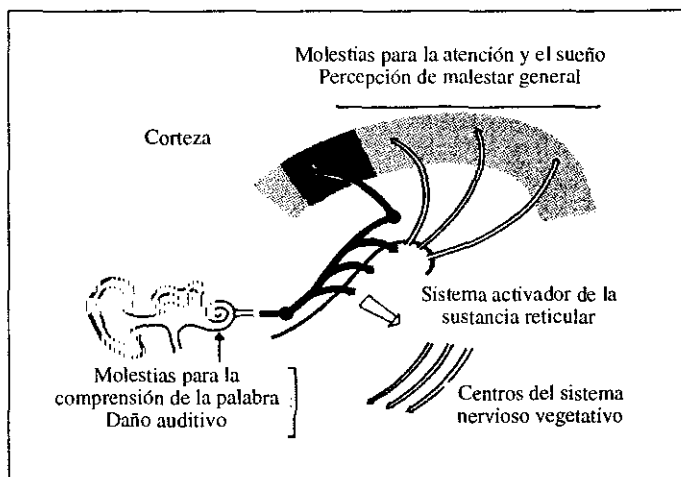
Este movimiento de vaivén del estribo produce, así, una onda que viaja siguiendo la membrana basilar, y cuyo comportamiento dependerá de la frecuencia del ruido al incidir (ver fig. 49). Todo esto excita las células ciliadas originando el impulso nervioso.

### b) Vía auditiva y corteza cerebral

Desde las células del ganglio de Corti la energía bioeléctrica alcanza el área auditiva de la corteza temporal, en el fondo de la cisura de Silvio de ambos hemisferios cerebrales. Previamente establece conexión con centros cerebrales relacionados con la función ocular y, por medio de colaterales enviadas a la sustancia reticular (ver fig.51) ascendente, se conecta con centros vegetativos y espinales. Existen además importantes conexiones de la vía auditiva con el cerebro.

Así como hay diferencias de transmisión de frecuencia en la membrana basilar y a distintas alturas de la vía auditiva, se sabe que algunas partes de la corteza responden a frecuencias elevadas y otras a frecuencias bajas.

Las fibras nerviosas cerca de la base del caracol pueden ser estimuladas con toda clase de frecuencias, pero cuando la excitación alcanza la corteza cerebral, cada neurona sólo responde a un margen estrecho de aquéllas. A su vez, algu-



**Figura 51**  
Vía auditiva y sus conexiones con centros nerviosos



nas neuronas de la corteza auditiva no responden a los sonidos del oído; se cree que asociarían información sonora con la procedente de otras zonas sensitivas del cerebro.

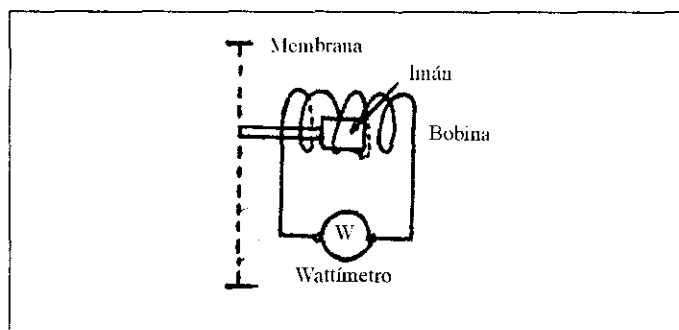
## 4. Percepción del sonido

### 4.1. Introducción

La evaluación objetiva del sonido como fenómeno físico no presenta ninguna dificultad. La energía transportada por una onda acústica se puede medir con un instrumento que transforma, por ejemplo, energía mecánica en eléctrica.

Un posible esquema es el siguiente: un imán se encuentra fijo en el centro de una membrana, la cual al vibrar lo desplaza dentro de una bobina.

**Figura 52**  
Esquema de medición de sonido



Este movimiento producirá una corriente inducida, cuya potencia tomada, por ejemplo en W (watts), será una medida de la energía (Energía por unidad de tiempo) transmitida por el aire a la membrana.

Un sonido leve provocará menos energía inducida. Un sonido fuerte será registrado por el aparato como una mayor energía. El problema es cuando se tiene que relacionar energía acústica con sensación.

### 4.2. Percepción de la presión sonora

En forma aproximada se puede decir que, cuanto mayor sea la presión sonora, el sonido será percibido como más fuerte, y cuanto mayor sea la frecuencia del sonido, éste se escuchará como agudo.

<b>Fuertes</b>	<b>Agudos</b>
a	a
u	u
m	m
e	e
n	n
t	t
o	o
<b>Presión</b>	<b>Frecuencia</b>
d	d
i	i
s	s
m	m
i	i
n	n
u	u
c	c
i	i
ó	ó
n	n
<b>Débiles</b>	<b>Graves</b>

Cuando se pulsa la cuerda de una guitarra o la tecla de un piano, lo que se escucha es un sonido puro.

Cada sonido puro tiene una frecuencia característica. Las notas musicales Do - Re - Mi - Fa - Sol - La - Si, son sonidos puros.

Este rango de frecuencia se denomina *octava*. El rango de frecuencia que el oído humano es capaz de percibir es muy amplio, se extiende entre los 20 y 20 000 Hz . A 1000 Hz la mínima presión captable como sonido es de

$$20 \mu Pa \text{ (Pascal)} = \frac{20 Pa}{1.000.000}$$

es decir, la millonésima parte de un pascal. La máxima presión soportable es de 20 Pa.

Estos datos son interesantes para entender por qué se adoptó para el manejo de estas magnitudes una escala logarítmica y no una escala directa.

Supongamos que se tiene que representar en un eje la unidad  $\mu Pa$  (micropascal) = 1 mm.

¿ Dónde se debe ubicar el otro extremo de 20 Pa?

Exactamente a 1.000.000 mm o sea a 1.000 de distancia del valor de presión mínima. Al valor 20 Pa se lo toma como valor

### 4.3. Sonidos puros

### 4.4. Representación gráfica del grupo de audición

mínimo de referencia y de esta forma se calcula el llamado nivel de decibeles

$$\text{dB} = 20 \log . ( P / P_0)$$

dB = decibel = valor relacionado con la presión sonora

P = valor de presión medido

P<sub>0</sub> = valor de presión de referencia = 20 : μPa.

Con esta conversión nuestra escala será ahora:

$$\text{dB mínimo} = 20 . \log . \frac{P_0}{P_0} = 20 . \log 1 = 20.0 = 0$$

dB mínimo : 0

$$\text{dB máximo} = 20 . \log_{20} \frac{20.000.000}{20} = 20 . \log 1.000.000 =$$

$$= 20 . \log 10^6 = 20 . 6 . \log_{10} 10 = 120$$

dB máximo = 120

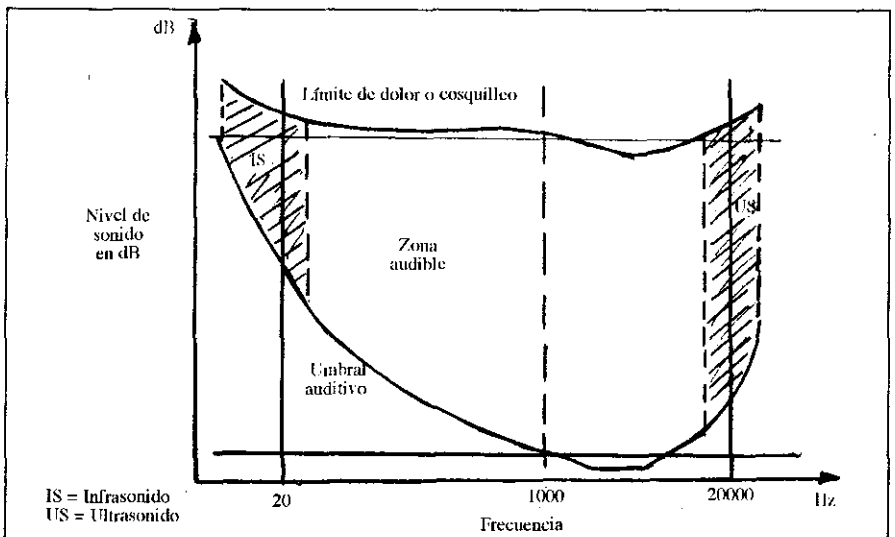
Adoptando una escala de 1 mm = 1 dB, se tendría en 120 mm = 12 cm, representado todo el rango de variaciones de presiones sonoras que interesa.

Por esta misma razón, para las frecuencias se adopta una escala logarítmica.

La fig.53 muestra los límites de la capacidad auditiva humana.

Cualquier sonido por encima del límite superior producirá cosquilleo o dolor. Toda combinación de frecuencia y presión acústica por debajo de la curva inferior, no será captable para

**Figura 53**  
Límites de la zona audible en el hombre



el hombre. El silbato de ultrasonido para llamar a los perros es un ejemplo. La frecuencia de estos silbatos es superior a 20.000 Hz. El perro puede escucharlos, pero el hombre no.

## 5. Magnitudes psicofisiológicas

Para describir los efectos del sonido sobre los sentidos auditivos, conviene definir tres magnitudes psicofisiológicas, las cuales guardan cierta correspondencia con las magnitudes físicas.

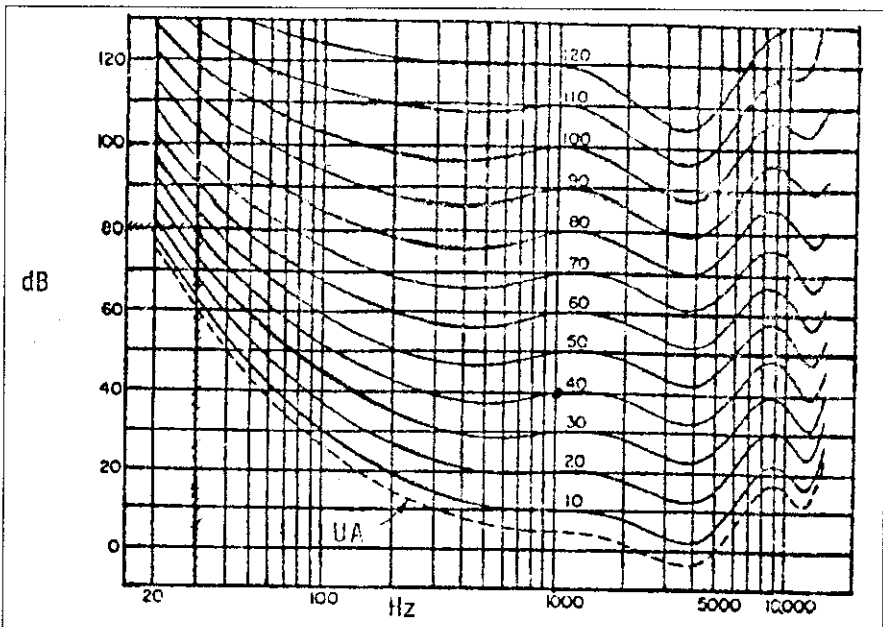
Es la característica de los sonidos que permite clasificarlos en fuertes o débiles. En principio la sonoridad depende de la presión acústica, pero también depende de la frecuencia.

La sonoridad no puede ser medida, ya que es una respuesta subjetiva. No obstante, es posible trazar curvas de igual respuesta subjetiva de sonoridad, para distintas combinaciones de dB y frecuencia (ver fig.54).

Por ejemplo, un sonido de 40 Hz y 80 dB produce la misma sensación de sonoridad que otro sonido de 1000 Hz y 40 dB. Fletcher y Munson, en 1933 adoptaron la unidad *fon*, como medida de la sonoridad. A la frecuencia de referencia de 1.000

### 5.1. Sonoridad

Figura 54  
Curvas  
isofónicas



Hz, se define como nivel de sonoridad en *fones*, al nivel de presión sonora de un tono puro, que produce subjetivamente la misma sonoridad que el sonido que se está evaluando.

La fig.54 reproduce las curvas de iguales niveles de sonoridad, denominados isofónicas, para tonos puros.

Observación:

A 1000 Hz, el nivel de sonoridad coincide con el nivel en dB; a otras frecuencias deja de coincidir. Por ejemplo, a altas frecuencias se requieren menores dB para producir el mismo efecto. A 4000 Hz, ya con 80 dB al sonido se lo percibe como de 90 fones; en cambio, a baja frecuencia, a 100 Hz, hacen falta 95 dB para que el sonido se perciba como de 90 dB.

El problema se complica cuando se quiere comparar si el nivel de sonoridad es el doble o la mitad de un sonido dado. Un sonido de 1000 Hz y 80 fones, no se aprecia como el doble de fuerte que otro de igual frecuencia y 40 fones.

Para resolver este problema Stevens introdujo la unidad *son*.

Un *son* es la sonoridad que produce un tono puro a 1000 Hz con un nivel de presión sonora de 40 dB. Un sonido que se aprecia el doble de fuerte tiene una sonoridad de 2 sones.

Estudiando las variaciones de la sonoridad de los sones, se pudo apreciar que para un tono puro la sonoridad se duplicaba cuando la intensidad aumentaba en 10 dB. Esta observación llevó a la siguiente fórmula.

$$S = 2^{(P - 40/10)}$$

**Ejemplo**

¿Qué sonoridad se tiene a 40 fones?

$$S = 2^{(P - 40/10)} = 2^{(40 - 40/10)} = 2^0 = 1$$

$$S = 1$$

La sonoridad en sones tiene una gran importancia práctica ya que traduce mejor la idea de sensación acústica.

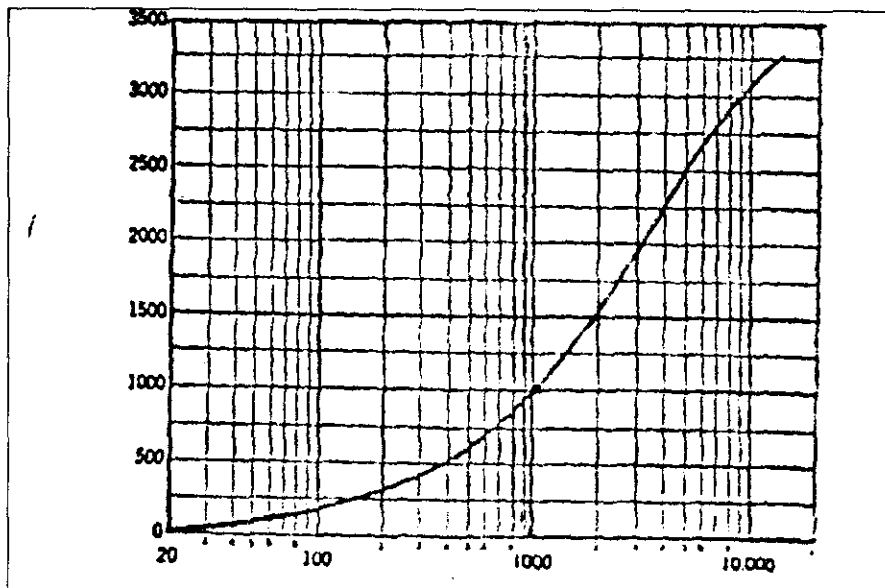
Suponiendo que, mediante mejoras en un equipo, se lograra disminuir la sonoridad de 90 a 80 fones, esto representa sólo un 11% de disminución pero, ¿cómo actúa esta mejora a nivel de carga acústica?

$$S = 2^{(P - 40/10)}$$

Para P = 90 fones

$$S = 2^{(90-40/10)} = 2^{(50/10)} = 2^5$$

$$S = 32 \text{ sones}$$



Para  $P = 80$  Sones

$$S = 2^{(80-40/10)} = 2^4 = 16$$

$$S = 16$$

Figura 55

Altura en  
función de la  
frecuencia

La sonoridad como sensación bajó a la mitad.

Cuando se escucha un violín, se dice generalmente que su sonido es agudo y cuando suena un contrabajo, se percibe como grave.

Agudo y grave son dos características descriptas por la *altura* del sonido.

El *mel* es la unidad de la altura. Un sonido de 1000 Hz y 40 dB tiene una altura de 1000 mel.

En principio, la altura depende de la frecuencia, pero esta relación no es directa. Un sonido de doble frecuencia que otro, no se percibe subjetivamente como de doble altura. La fig.55 empírica (Steven y Volkman) permite transformar frecuencia en altura.

Dos sonidos pueden percibirse como de igual sonoridad y de la misma altura; sin embargo, hay algo que nos permite distinguirlos como diferentes. Por ejemplo, la nota DO de un piano y la misma nota, tocada con igual intensidad, en una guitarra.

Esta propiedad se denomina *timbre*.

## 5.2. Altura

## 5.3. Timbre

## 6. Evaluación del ruido en el ambiente laboral

### 6.1. Concepto de ruido

Cuando un sonido comienza a ser desagradable subjetivamente se lo denomina ruido. Desde el punto de vista físico, el ruido está formado por una gran cantidad de sonidos de diferentes frecuencias y que no guardan entre sí ninguna relación armónica. Al no existir una frecuencia definida, no produce la sensación de una altura determinada. Todas las frecuencias presentes están tan cerca entre sí, que resulta imposible distinguirlas unas de otras.

Se reproducen a continuación algunos valores típicos de niveles de ruido en dB:

. Golpe de martillo sobre acero a 10 m de distancia	140
. Martillo neumático a 1 m de distancia	120
. Calderería	100
. Camión a 5 m	80-90
. Hablando en voz alta a 1 m	80
. Hablando normalmente a 1 m	70
. Conversación en voz baja	50-60
. Murmullo	30
. Respiración a 30 cm	10

### 6.2. Análisis de frecuencias

Para la evaluación del ruido se utilizan normalmente mediciones del nivel de sonoridad en dB. Sin embargo, para una mejor interpretación de la acción del ruido sobre el oído, conviene conocer qué frecuencias se encuentran presentes y qué energías están transmitiendo cada una de estas frecuencias.

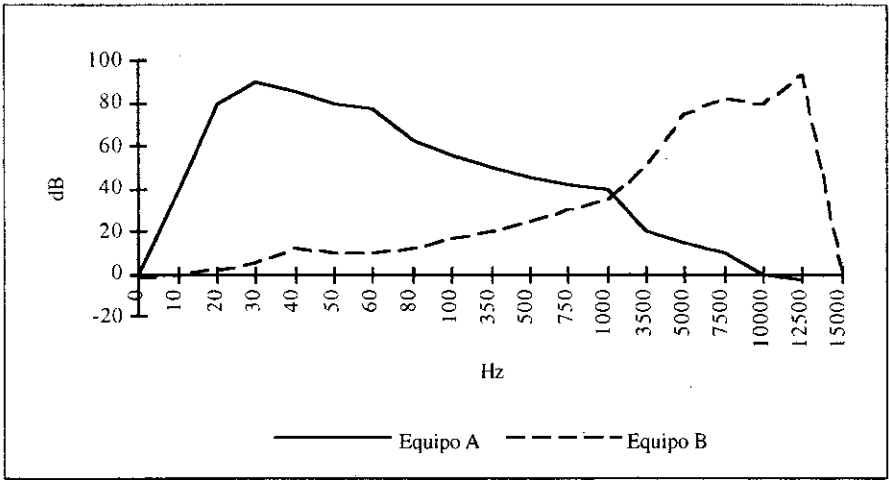
Con este fin se realiza el llamado análisis por banda. Ya se dijo que el oído humano puede escuchar dentro de un margen de frecuencia que va de 20 a 20.000 Hz.

A este intervalo se lo divide en octavas. La frecuencia de 1000 Hz es la de referencia. A partir de este valor, duplicando o dividiéndolo por dos, obtenemos las bandas de octavas:

125    250    500    1000    2000    4000    8000

Al realizar una medición por bandas de octavas se obtienen datos acerca de la distribución de la energía acústica para cada rango de frecuencia.

Esto permite, por ejemplo, determinar si los dB presentes están en frecuencias altas o bajas. En forma aproximada se pue-



**Figura 56**  
Representación de los resultados de mediciones de frecuencia y dB, para dos máquinas diferentes

de decir, que para un nivel dado de dB, las altas frecuencias son más perjudiciales que las bajas.

La fig. 56 pone en evidencia la importancia del análisis de frecuencia. El equipo A funcionando, tiene el mismo nivel de dB que el equipo B, pero al realizar el análisis de frecuencias, se observa que el equipo B tiene el nivel de altos dB desplazado hacia las altas frecuencias, exactamente lo contrario que el equipo A.

El equipo B producirá mayores molestias y por ende, tendrá más posibilidades de producir daños acústicos a la persona que lo use. Cuando se quiere realizar un análisis más detallado, se puede dividir la octava en medias o tercios de octavas. El análisis por tercios de octavas es el más utilizado.

Mediante la utilización de filtros de frecuencia, es posible realizar mediciones de dB que reproduzcan en forma bastante aproximada las variaciones de sensibilidad del oído para las diferentes frecuencias. Estos filtros están normalizados internacionalmente y se los denomina con las letras A, B, C y D, por lo que las mediciones en dB van acompañadas por la letra del filtro entre paréntesis.

Ejemplo:

40 dB (A).

Hasta 55 dB se recomienda el filtro A, de 55 a 85 dB el B y el C para valores superiores a 85 dB. El filtro D se utiliza para evaluar ruidos de tránsito.

No obstante esta división de los filtros por nivel de decibeles, el filtro A es el que se utiliza normalmente para estudiar el efecto nocivo y las molestias del ruido.

**6.3. Ponderación del ruido en forma global**



**6.4. Instrumentos  
para la  
evaluación de la  
exposición al  
ruido**

**a) Medidor de nivel sonoro**

Es el instrumento básico para la evaluación n del ruido.

Este es captado por el micrófono en forma de presión sonora. La señal eléctrica producida por el micrófono se amplifica, y debidamente "filtrada", se convierte por el indicador en un valor de lectura en dB. Existen indicadores a aguja y digitales.

• *Filtros*

Normalmente, los medidores de nivel sonoro incluyen filtros que corresponden a las redes de compensación, A, B, C y D. Cada filtro permite la medición de dB dentro de un rango de frecuencia prefijado.

El valor leído  $L_p$  (dB) corresponde a la suma ponderada de los n componentes del ruido de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$L_p \text{ (dB)} = 10 \cdot \log P_i^2/P_o^2$$

$L_p$  (dB) = valor medido en dB

$P_i$  = cada uno de los n valores medidos ( $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$ )

$P_o$  = Presión acústica en el umbral auditivo

• *Tipos de medidores*

La norma ANSI clasifica los medidores de nivel sonoro en 4 tipos.

*Tipo 1:* Medidor de precisión, para trabajos de investigación

*Tipo 2:* Medidor para ambientes laborales (mediciones de campo)

*Tipo 3:* Medidor para estudios aproximados, no aceptable para la evaluación del riesgo auditivo

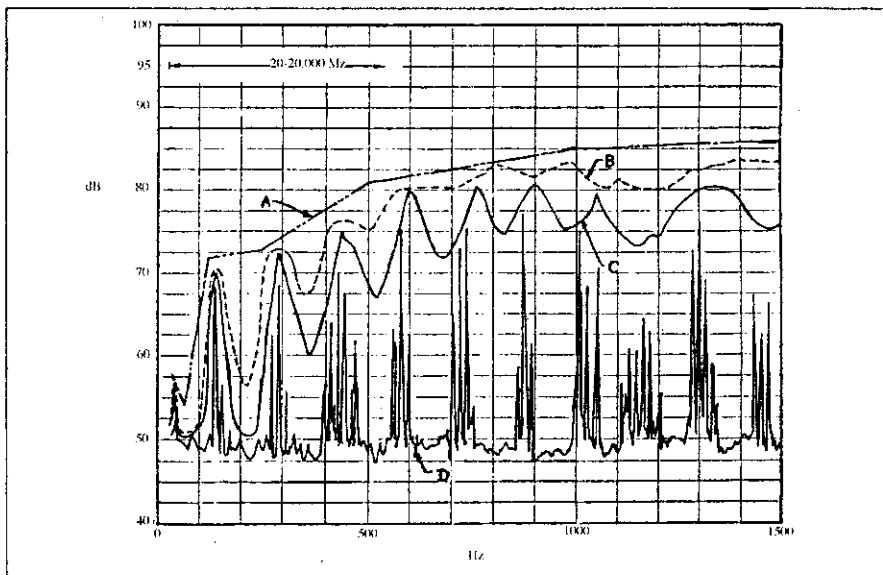
*Tipo 4:* Medidor para fines especiales

La ley 19587, decreto 351/79 establece que el medidor debe cumplir con la norma IRAM 4074, IEC 123 (1961) que corresponde a los medidores tipo 2 o IEC 179 (1965) correspondiente al tipo 1.

**b) Analizador de frecuencia**

Tal como se dijo en el punto 6.2 muchas veces es importante conocer qué frecuencias están presentes en el ruido en cuestión.

Para esto se utiliza el analizador de frecuencias sonoras. En realidad, la medición se realiza por rangos de frecuencia: por eso es que se habla de *ancho de banda pasante*. En re-



sumen, el analizador de frecuencia mide la energía que está transmitiendo el ruido para cada intervalo de frecuencia elegida. Esto permite trazar los gráficos espectrales del ruido (fig.57)

La norma IRAM 4081 o IECR 225 determina las características que deben reunir estos instrumentos.

### c) Medidor de ruido impulsivo

El ruido impulsivo se caracteriza por picos de energía que crecen súbitamente. La respuesta de los medidores de nivel sonoro común es muy lenta como para registrarlos adecuadamente. En este caso se utilizan instrumentos especiales. Los mismos indican el valor promedio del impulso y su duración.

La utilización de un osciloscopio unido a técnicas de video-grabación, amplía enormemente las posibilidades de registro y análisis de los ruidos impulsivos. Naturalmente esta posibilidad está limitada por la enorme inversión en instrumentos que se requiere.

Resulta muy complejo analizar la relación entre la carga acústica y las consecuencias sobre el sistema auditivo. La exposición al ruido de larga duración y su efecto sobre el ser humano, no puede deducirse a partir de mediciones individuales de presión sonora o de intensidad acústica. Hace falta integrar a este concepto, el factor tiempo de exposición.

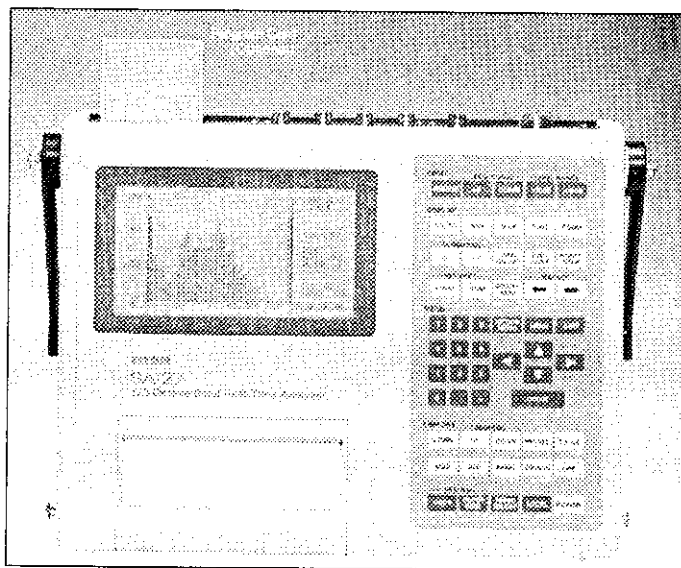
**Figura 57**

Espectros de un mismo ruido medidos con distintos anchos de banda

- A: bandas de octava
- B: bandas de 1/3 de octavas
- C: bandas angostas + 4%
- D: ancho constante, 2 Hz

## 6.5. Nivel sonoro continuo equivalente

**Figura 58**  
Analizador de  
frecuencia



El nivel sonoro y el tiempo de exposición son dos factores decisivos como causantes de pérdida auditiva.

Cuando el ruido es intermitente y su nivel varía durante el tiempo de exposición, resulta necesario introducir el concepto de nivel sonoro continuo equivalente ( $L_{eq}$ ).

El  $L_{eq}$  representa un nivel sonoro continuo que produce en la persona expuesta, el mismo efecto que el ruido real intermitente. Este es un concepto netamente empírico. Para poder definir el  $L_{eq}$  existen dos criterios: el de igual energía y el de igual efecto.

#### a) Criterio de igual energía

Según este criterio, el daño que produce el ruido está determinado por la energía total incidente sobre el oído de la persona expuesta.

De acuerdo con este criterio, el  $L_{eq}$  para un tiempo de exposición  $T$  (por ejemplo  $T = 8$  h) es el nivel sonoro calculado como promedio de la intensidad sonora en dicho tiempo:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{T} \cdot \int_0^T (P/P_0) \cdot dt \right]$$

Esta fórmula puede simplificarse en algunos casos concretos. Por ejemplo, cuando tenemos datos de niveles promedios  $L_i$  y sus correspondientes períodos de duración  $f_i$ , expresados como porcentaje del tiempo  $T$

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{1/100} \cdot 10^{L_i/10} \cdot f_i$$

$$T = 100 \{ f_1 + f_2 + \dots + f_i + \dots + f_4 \}$$

### b) Criterio de igual efecto

Uno de los efectos de la exposición al ruido es la variación temporaria del umbral auditivo, o sea del nivel de intensidad sonora mínima audible. Esta variación se determina 2 min después de la exposición y se la designa *T.T.S.* De acuerdo con esta idea, la pérdida auditiva permanente (PTS) es función de *T.T.S.* para exposiciones prolongadas.

En resumen, dos exposiciones serán equivalentes entre sí cuando provoquen el mismo *T.T.S.*

## 7. Datos de un informe sobre ruidos

Dada la importancia que puede llegar a tener la medición del ruido para su posterior evaluación como factor de carga acústica, el informe correspondiente debe contener los siguientes datos:

- Datos técnicos del instrumento utilizado, especificando el tipo de micrófono utilizado
- Método de calibración
- Croquis del lugar donde se efectúan las mediciones, indicando las fuentes de producción del ruido, los puestos de trabajo (fijos o móviles) y los puntos de ubicación de los instrumentos de medición (ubicación del micrófono).
- Datos técnicos de las máquinas existentes.
- Tiempo de funcionamiento de las máquinas
- Características generales del ruido (continuo, de impacto, etc.)

## 8. Consecuencias del ruido sobre el ser humano

Como ya se mencionó, las fibras de los nervios auditivos atraviesan los conductos auditivos internos para ganar los nódulos cocleares a partir de los cuales el mensaje se transmite a las neuronas aferentes.

Igual que los centros de la respiración, la circulación, los músculos óculomotores y palpebrales, las estructuras relacionadas con la audición también lo están con la formación reticular.

Las estaciones primarias de la audición están íntimamente conectadas con otras estructuras situadas en el mismo nivel del encéfalo, de tal modo que la estimulación de un solo órgano (el oído, por ejemplo) entraña una respuesta compleja: a raíz de un ruido fuerte se producirá un estremecimiento, se cierran los ojos, se gira la cabeza, se retiene la respiración, etc.

Experiencias con animales descerebrados mostraron que la percepción consciente del ruido no juega ningún rol en la respuesta vegetativa.

Las vías auditivas y sus conexiones con las estructuras activadoras (ver fig.51) explican muchos fenómenos: la activación se extiende a toda la esfera consciente y origina según la situación:

- trastornos de la atención
- trastornos del sueño
- sensación de cansancio.

Al mismo tiempo, al alcanzar centros vegetativos origina reacciones de ese carácter.

Por todo lo ya expuesto, se pueden dividir entonces las consecuencias del ruido en:

- 8.1. inespecíficas, que se clasifican a su vez en: psíquicas y vegetativas;
- 8.2. específicas, ocasionadas sobre el oído.

### 8.1. Consecuencias inespecíficas

a) **Psíquicas:** son sensaciones desagradables, seguidas de reacciones vegetativas (aumento de frecuencia del pulso, aumento de tensión arterial, aumento del tono muscular, etc). El grado de molestia está vinculado con la intensidad, tonalidad, duración y secuencia temporal del ruido, así como con factores psicológicos, estado anímico y capacidad de concentración del individuo.

En general la molestia aumenta con la intensidad y la frecuencia (o tono) del ruido. Entre 1.000 - 6.000 Hz se registran los ruidos más molestos.

El ruido puede contribuir a la aparición de alteraciones nerviosas en personas particularmente predisuestas.

b) **Vegetativas:** estas respuestas son independientes de las psíquicas. Se producen por igual en personas "acostumbradas" o no, y deben ser vistas como reacciones a la carga sonora,

al stress, y por lo tanto es incorrecto hablar en estos casos de "trastornos vegetativos".

Así como no existe un acostumbramiento al ruido, tampoco se puede asegurar que exista una enfermedad provocada por él. De todos modos la duración de esta carga podría traer el peligro de producir trastornos permanentes. Existen signos que retrospectivamente se pueden asociar al ruido, tales como piel pálida y tensa, palidez de mucosa de boca y fauces, y parestesias de extremidades.

Es interesante destacar que estas modificaciones se producen en forma significativa por encima de los 70 dB.

Una activación del sistema nervioso central y vegetativo, que se manifiesta con mayor atención, reacción cortical, espinal y autónoma, presenta como signos:

- cambios en los potenciales del electroencefalograma;
- aumento del tono muscular ;
- dilatación pupilar, a partir de 75 dB (A) y que aumenta rápidamente con el incremento del ruido dificultando la percepción visual de la profundidad, con reducción del campo visual en caso de exposiciones prolongadas.
- disminución de la movilidad y secreción gástrica;
- modificación del ritmo y profundidad de la respiración;
- vasoconstricción cutánea;
- modificación del ritmo cardíaco;
- aumento del pulso y la tensión arterial;
- aumento del gasto cardíaco, por el incremento de adrenalina;
- modificaciones en la composición sanguínea, tales como aumento de glucemia.

De todos modos el estado vegetativo previo propio del individuo influye en la respuesta vegetativa al ruido.

El electroencefalograma, electromiograma y el estudio de la amplitud del pulso en los dedos, son métodos aplicables para evaluar estas respuestas.

Estas se pueden presentar bajo la forma de *fatiga auditiva*, *trauma acústico* o *sordera profesional*. Se denomina *fatiga auditiva* a aquella perturbación temporaria resultante de la exposición al ruido. Se la evalúa por la elevación del umbral auditivo medido dos minutos después del cese de la exposición. La magnitud y duración de la elevación del umbral, depende de la intensidad del ruido, su frecuencia y duración. Parece existir

## 8.2. Consecuencias específicas

un nivel crítico alrededor de los 90 dB por encima del cual la fatiga aumenta marcadamente, salvo ruidos con amplitudes muy grandes, para los cuales existen reflejos que modifican el movimiento vibratorio del estribo disminuyendo así las consecuencias adversas.

En caso de ruidos de amplio espectro, como la mayoría de los industriales, las pérdidas auditivas se observan alrededor de los 4.000 Hz.

La elevación del umbral aumenta en proporción directa al logaritmo del tiempo de exposición produciéndose menor deterioro auditivo cuando el ruido es intermitente. Esto marca la importancia de establecer pausas de reposo mediante las cuales se limite el aumento del umbral a 12 dB para los 2.000 Hz, ya que de otro modo la acumulación de la fatiga conduce a la sordera.

Por el contrario, el *trauma acústico* es una lesión inmediata del aparato auditivo ocasionada por una exposición única a un ruido breve pero muy intenso (140-160 dB). En este caso se puede producir perforación o desgarro del tímpano, alteración de la cadena de huesecillos, de la membrana basilar o del órgano de Corti. Si la lesión del tímpano no fuera extensa, y de no existir infecciones posteriores, se puede lograr la recuperación total; de lo contrario persiste una hipoacusia conductiva para frecuencias altas (>8.000 Hz).

En cuanto a la *sordera* o *hipoacusia profesional* podemos decir que se trata de un déficit auditivo permanente debido a la exposición prolongada al ruido en la actividad laboral; obedece a un deterioro del órgano de Corti, es irreversible y transcurre en cuatro períodos evolutivos. Estos son:

- a) **Instalación del déficit permanente:** en la primeras semanas de exposición al ruido se presentan síntomas tales como zumbidos y sensación de oído tapado, que a menudo cede a las pocas horas de abandonar el trabajo. Unos meses más tarde, dependiendo de la susceptibilidad de cada persona, se produce un déficit permanente en forma de adaptación progresiva a ruidos intensos y prolongados. Este déficit puede alcanzar rápidamente los 50 dB a los 4000 Hz, a pesar de lo cual el individuo no lo nota ya que no está afectada su capacidad de percepción de la voz hablada. El desplazamiento del umbral no supera los 40 dB.
- b) **Período de latencia total:** el déficit progresa lentamente, aumentando a los 4.000 Hz y abarcando otras frecuencias superiores. Las pérdidas pueden llegar a 70 dB, pero el promedio se mantiene entre 20 y 40 dB. Tampoco están afectadas las frecuencias relacionadas con la conversación, por lo que todavía es posible oír la voz susurrada.

c) **Período de latencia subtotal:** comienzan a aparecer molestias en la conversación; a 2,50 m ya no se percibe la voz susurrada; pueden aparecer zumbidos. A los 4000 Hz el déficit varía entre 45 y 85 dB, pudiendo abarcar una amplitud de 2 o 3 octavas. La hipoacusia puede llegar a los 2000 y aún a los 1000 Hz.

d) **Período de sordera manifiesta:** la conversación normal ya no es percibida, los zumbidos se hacen intensos y muy molestos, y si bien existen variaciones de susceptibilidad individual, por las cuales algunas personas son inicialmente menos afectadas, con el correr del tiempo todas llegan a la misma pérdida auditiva. El promedio de las mismas pueden estar alrededor de los siguientes valores:

20 dB a 500 Hz

30 dB a 1000 Hz

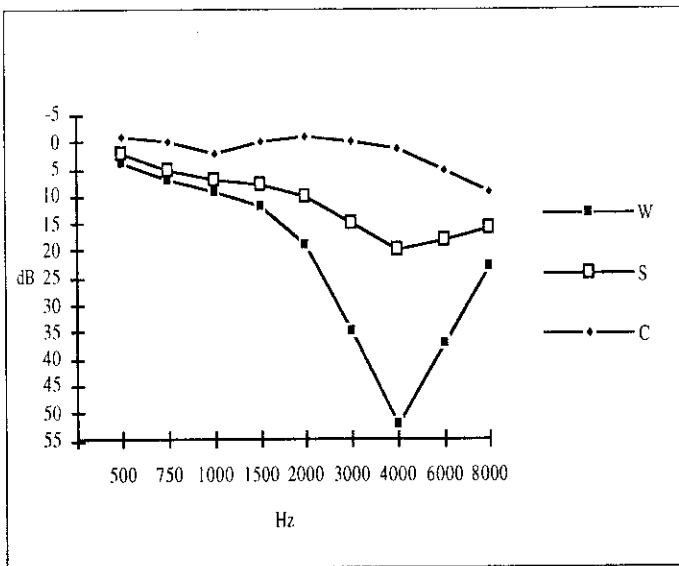
60 dB a 2000 Hz

90 dB a 4000 Hz

despreciable a 8000 Hz

Estadísticamente se indica que la pérdida auditiva alcanza su máximo entre diez a quince años de exposición a la frecuencia de 4000 Hz, si ésta permanece constante. Para frecuencias más bajas, continúa aumentando el umbral auditivo cuando la exposición se prolonga.

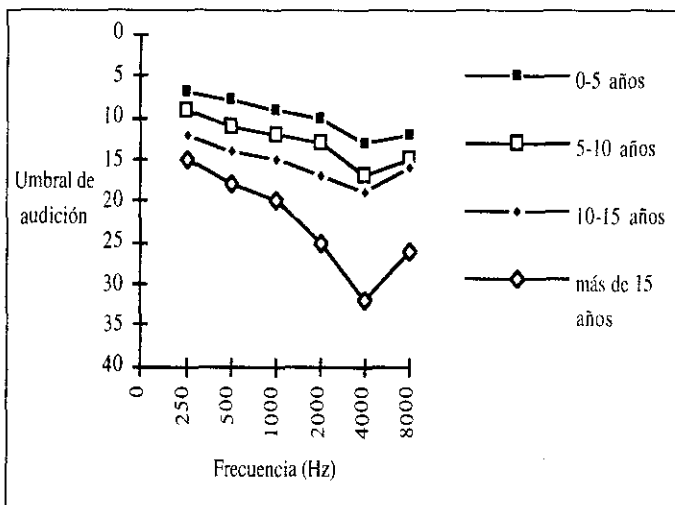
Dejando ahora de lado el estímulo "ruido", es conveniente recordar que además las hipoacusias en sus distintas formas (de conducción o de percepción) y grados, pueden tener otros va-



**Figura 59**  
 Pérdida auditiva a los diez años de exposición a ruidos en la industria textil  
 W: tejeduría  
 S: hilandería  
 C: grupo de control



**Figura 60**  
Evolución de la  
pérdida auditiva  
causada por el  
ruido



riados orígenes que van desde las enfermedades infecciosas, las intoxicaciones, las alteraciones vasculares y los traumatismos, hasta las afecciones de distinto tipo de la corteza cerebral, entre otras. También existe una pérdida de audición considerada normal para la edad, denominada presbiacusia.

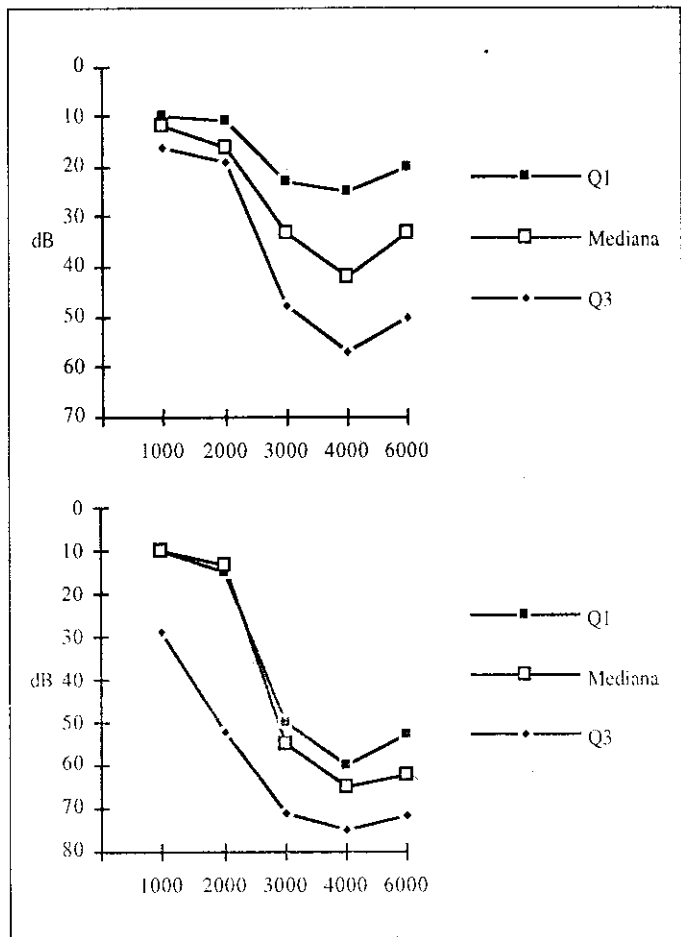
### 8.3. Otros efectos

Durante el desarrollo de nuestra vida laboral y de relación, el ruido nos afecta de otras muchas formas además de las ya citadas. Al respecto se describen perturbaciones en el sueño, el confort, la comunicación y el rendimiento.

Por electroencefalografía se estudió la duración y calidad del sueño con respecto al ruido, y se vio que existía una marcada disminución del tiempo total de sueño y de su profundidad, junto con una marcada prolongación de los períodos de sueño liviano y de la reacción del despertar. Asimismo a partir de un  $L_{50}$  de 40 dB (A) aumenta el porcentaje de personas que para conciliar el sueño recurren a fármacos. Todo lo antedicho muestra al ruido como perturbador de la función de reposo, lo cual conduce a una disminución de la eficiencia y bienestar.

El ruido puede entorpecer la comprensión del lenguaje, por un efecto llamado de *enmascaramiento*. Este consiste en el aumento del umbral de audibilidad de un sonido por la presencia del otro.

El *enmascaramiento* depende de la frecuencia y del nivel sonoro del ruido enmascarante. Para evaluarlo en la industria se analiza el ruido por bandas de octavas y a partir de esas mediciones se determina a qué distancia es posible la conversación entre dos personas. Recordemos además que este efecto per-



**Figura 61**  
Pérdida auditiva  
en grupos  
expuestos a  
ruidos en el  
trabajo luego de 4  
y 21 años

turba también el reconocimiento de señales acústicas de seguridad, por lo que es conveniente que ésta contraste con el ruido de fondo del ambiente.

En una conversación normal, con una intensidad de 65 dB a un metro de distancia, no sólo es importante oír el tono sino que es necesario entender. Una comprensión de sílabas del 40-56% está garantizada cuando el habla está 10 dB por encima del ruido ambiente. Esto corresponde a un entendimiento del 93-97% de las frases y del sentido. Si se tratara de un intercambio hablado de información sobre textos con palabras desconocidas o "difíciles", se hace necesario comprender un 80% de las sílabas para lo cual el contraste con el ambiente deberá ser de 20 dB. Recordemos además, que para la percepción de la palabra son importantes las frecuencias comprendidas entre 200 y

6000 Hz, las vocales están por debajo de 1500 Hz y las consonantes por arriba.

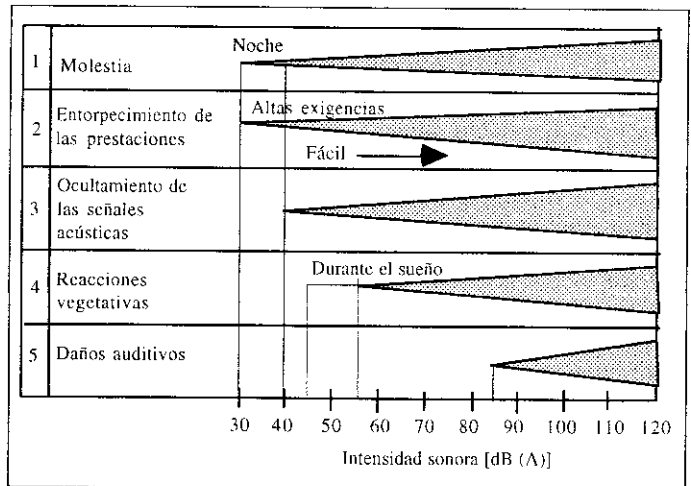
Finalmente, con respecto a las consecuencias del ruido sobre la eficiencia laboral, podemos decir que el mismo afecta poco el trabajo corporal, ya que por ejemplo sus influencias sobre el aparato circulatorio sólo se dan durante el reposo o con trabajos livianos. En el otro extremo se sabe por experiencia que trabajos mentales son más costosos en ambientes con ruido. Se producen trastornos en la concentración, aumento del tiempo de reacción, de la tensión y del esfuerzo de la voluntad. En consecuencia, aumenta la carga nerviosa y se acelera la fatiga.

En resumen acerca de las molestias al trabajo mental se puede decir que:

- un ruido intermitente o inesperado molesta mucho más que uno continuo;
- fuentes de ruido con altas frecuencias molestan más que con bajas frecuencias;
- son especialmente "sensibles" aquellas tareas que exigen una atención constante durante largo tiempo;
- o que están todavía en su fase de aprendizaje;
- ruidos con un determinado contenido de información (por ejemplo, una conversación) molestan más que otros sin sentido;

En cambio, se observa mejoría de la eficiencia, en situaciones de monotonía.

En la fig. 62 se resumen finalmente las consecuencias comentadas y se aprecia cómo éstas se presentan en forma progresiva desde niveles muy bajos de estímulos sonoros.



**Figura 62**  
Consecuencias  
del ruido en el  
hombre

## 9. Medidas de control y prevención

### a) Control en la fuente de emisión

#### 9.1. Medidas técnicas

En la lucha contra el ruido como producto del factor técnico, resulta válido un principio fundamental: *eliminar o disminuir el ruido en la fuente misma de su emisión*. Esto resulta no sólo más efectivo, sino que incluso es más económico que las correspondientes medidas de control de la transmisión o de protección personal.

Esta idea ya debe estar presente en el momento del proyecto y diseño de los sistemas laborales, máquinas, instalaciones, fábricas, oficinas. Los aspectos a tener en cuenta en la etapa de proyecto son:

- *Elección del proceso y tecnología de trabajo* adecuada.  
Ejemplo: Para la unión de partes metálicas, soldar en lugar de remachar.
- *Elección del material* adecuado tomando en cuenta, naturalmente, otros requisitos, por ejemplo los valores de resistencia mecánica. Fundición de aluminio, en lugar de chapa de acero, plástico en lugar de metal.
- *Elección de la geometría y de la forma* adecuada desde el punto de vista acústico. Formas rígidas y abovedadas, en lugar de superficies libres, capaces de vibrar.

Cuando la fuente de ruido no puede ser eliminada, quedan dos alternativas para intentar eliminar el ruido o por lo menos para disminuirlo.

### b) Aislamiento de la fuente de ruido, mediante encapsulado, revestimiento y paredes aislantes.

La condición básica para poder aplicar esta técnica es que la fuente de ruido pueda ser confinada a un espacio cerrado. Por ejemplo, un compresor de aire, un balancín, un molino a martillo. Las paredes aislantes evitan que el ruido se propague al resto del espacio. Para lograr esto el material debe poseer un alto grado de reflexión. Esto se logra mediante materiales de alta densidad, los cuales para vibrar requerirían una energía también elevada.

Las ondas de ruido se reflejan interiormente y no son transmitidas al exterior.

El cálculo de los factores de amortiguación del ruido para una pared única, arroja valores que hacen poco práctico, por su elevado peso, la utilización de este principio. Para ob-

viarlo se recurre al uso de un sistema "sandwich", consistente en placas rígidas (chapas), separadas por un material acústicamente blando, por ejemplo lana de vidrio, espuma de poliuretano, etc. Esta técnica se utiliza con éxito en la aislación de máquinas ruidosas.

### c) Control de la transmisión de la energía acústica por absorción

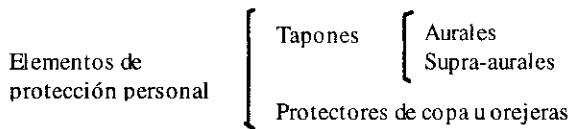
Aquí el mecanismo utilizado es la captación del ruido por materiales que absorben la energía acústica, transformándola por rozos en energía térmica. Con este fin, se fabrican placas perforadas. Estas placas se distribuyen en el espacio a proteger. Su efecto es mayor si se las ubica separadas de las paredes, ya que de esta manera se aprovechan todos sus lados.

## 9.2. Elementos de protección personal

### a) Tipos de Elementos

Superadas las etapas de control del ruido en la fuente de emisión y en sus mecanismos de transmisión, el último recurso que queda para disminuir los efectos de aquél sobre la salud de los colaboradores, es la utilización de elementos de protección personal.

El grado de protección alcanzado, no sólo depende de la calidad del elemento protector, sino también de su correcta utilización.



Resulta vital tener conciencia del peligro que significa el ruido como causante de dolencias no curables. La protección debe ser el resultado del convencimiento personal y no el mero respeto a una norma de seguridad: "Uso los tapones porque de esta forma estoy cuidando mi salud".

#### • Tapón Aurial

Existen en el mercado diferentes tipos de tapones aurales, en cuanto a su forma y material. Su acción protectora se basa en la obturación del canal auditivo.

Su calce debe ser perfecto, ya que una pequeña pérdida de hermeticidad anula el efecto de atenuación del ruido. Debido a las diferencias de tamaño y forma de los canales auditivos entre los individuos de la población laboral, se han venido utilizando con éxito taponos moldeados a medida.

En general, resultan más cómodos que los prefabricados.

El algodón colocado en los oídos, a modo de tapón, no es una buena opción. Tiene un bajo poder de atenuación y obliga al usuario a moldearlo con las manos, las cuales no siempre están lo suficientemente limpias.

- *Tapón Supra Aural*

Su efecto protector consiste en un sello que se forma contra el borde externo del canal auditivo. Su posición se asegura mediante una banda elástica.

- *Protectores de Copa u Orejeras*

Cubren totalmente el oído externo, formando una barrera, que impide el paso del ruido. Cuando su diseño es correcto, no impiden la comprensión del lenguaje hablado, ni la de los sonidos importantes para el normal desempeño de las tareas.

## b) Características de los Elementos de Protección Personal

- *Calidad de la atenuación*

Los diferentes fabricantes de elementos de protección auditiva deben poner a disposición de los usuarios, los gráficos de atenuación del ruido, para las diferentes frecuencias. Esto permite comprobar la calidad de la misma.

Como regla práctica se llega a establecer que los taponos se pueden utilizar hasta los 110 dB, y por encima de este valor se recomiendan los protectores de copa. Sin embargo, conviene destacar que cuando el nivel de ruido supera los 100 dB, la protección personal adecuada sólo deberá decidirse luego de un análisis de frecuencia.

En general, el uso de estos elementos de protección personal, produce al comienzo la sensación de cuerpos extraños; no obstante, esta etapa se supera bien, produciéndose el acostumbramiento.

Los responsables del manejo de la seguridad laboral deben advertir continuamente a los afectados por la carga acústica sobre los peligros que entraña la falta de protección personal. *La sordera provocada por el ruido es incurable.*

• *Condiciones de confort e higiene de los elementos de protección personal*

Protectores de copa	Tapones
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo peso (250 g)</li> <li>- Baja presión de ajuste</li> <li>- Posibilidad de equilibrar presión atmosférica</li> <li>- Regulación en altura de copa</li> <li>- Soporte regulable</li> <li>- Forma y profundidad de la copa anatómicamente conformadas</li> <li>- Intercambio simple de las almohadillas</li> <li>- Limpieza fácil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calce perfecto (incluso hablando)</li> <li>- Buena adaptación mediante un material blando y elástico</li> <li>- No debe desprender pelusa</li> <li>- Poroso al aire</li> <li>- En caso de tapones no desechables de uso personal, deben ser fáciles de higienizar</li> </ul>

**9.3. Examen médico**

Para comprender mejor este tema se hace necesario recordar una vez más algunos conceptos básicos.

- El sonido se produce por vibraciones del aire y se caracteriza por su intensidad o volumen, su tono, altura o frecuencia, y su timbre. La primera está dada por la amplitud de las vibraciones y se mide en decibeles, que representan subjetivamente el menor incremento o disminución de la sensación sonora perceptible por un oído normal (o la mínima intensidad sonora audible). La gama de intensidades audibles va desde 1 dB (umbral) hasta 120 dB (techo auditivo) en que la audición se hace dolorosa. El tono está dado por el número de ciclos por segundo (frecuencia). Los sonidos de pocos ciclos/seg. son los graves y aquellos con muchos ciclos/seg. son agudos. El oído humano percibe entre 30 y 16.000 ciclos/seg. (la voz hablada comprende frecuencias entre 500 y 4.000 ciclos/seg). El timbre está dado por armónicos agregados y no se puede medir, es lo que da el carácter individual al sonido y permite por ejemplo identificar si una nota es emitida por un piano o un violín.
- El líquido en el interior del caracol puede ser movilizado no sólo por vía de los huesecillos (vía aérea), sino también por vibraciones que afecten los huesos del cráneo (vía ósea) y que por lo tanto se transmitan al caracol óseo donde se aloja el oído interno, siendo percibidas como ruido.
- Los defectos auditivos, según su localización, pueden clasificarse en hipoacusias de conducción y de percepción. La primera se origina en trastornos del oído externo y medio, y la segunda se debe a lesiones del caracol y del nervio.

En cuanto a la exploración de la audición, ésta comprende el estudio de la vía aérea y ósea de ambos oídos en forma conjunta o por separado. Esto se puede hacer a través de la voz o de la

utilización de distintos instrumentos. Incluye diapasones para cada octava musical (64, 128, 512, 1024, 2048 ciclos/seg) con los cuales se puede detectar si se está en presencia de una hipoacusia de conducción o de percepción; y audiómetros, que son instrumentos electrónicos que investigan la audición cuantitativa y cualitativamente, permitiendo trazar gráficos de la misma. El equipo consiste en un oscilador electrónico que emite señales de tono puro en frecuencias de 125 a 8000 ciclos/seg; un amplificador y un atenuador, que amplifican la señal hasta 110 dB o la disminuyen hasta -10 dB, y auriculares que localizan la señal emitida, en un oído o en otro.

Como unidades adicionales se cuentan: un oscilador para medidas de conducción ósea, un generador de ruidos de enmascaramiento para aislar uno de los oídos y dar más precisión a la prueba; y un sistema de micrófonos para comunicarse con el examinado y que también sirven en caso de efectuarse pruebas de identificación de palabras (logoaudiometría). El individuo a ser examinado se ubica durante la prueba en una cabina aislada de ruidos y vibraciones.

Como ya se dijo, el audiómetro permite variar la intensidad entre -10 dB y 110 dB; y las frecuencias en octavas entre 125 y 16.000 ciclos/seg.

Existen distintas formas de audiometrías. De ellas la que más aplicación práctica tiene en el campo de la Medicina Laboral es la audiometría de tonos puros con conducción aérea. Mediante ella se determina el umbral auditivo de una serie de tonos puros de distintas frecuencias.

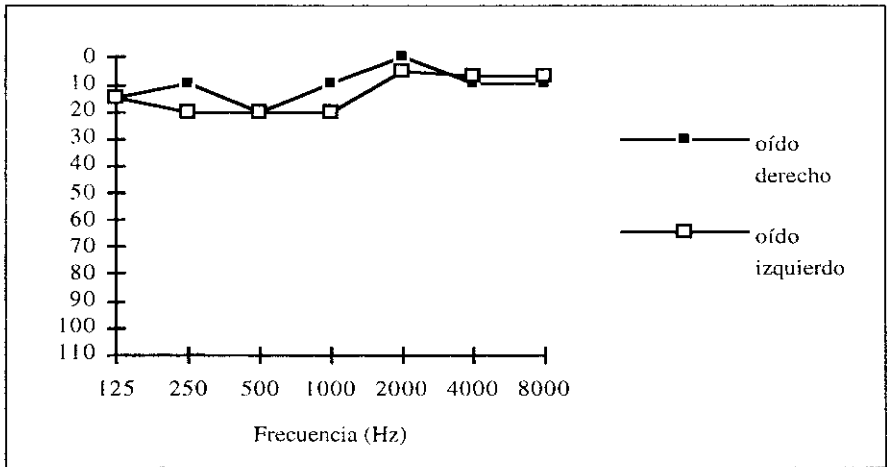
Para evitar errores es importante, entre otros aspectos la calibración periódica del audiómetro, así como asegurarse que el examinado no haya estado sometido a ambientes ruidosos en las 11 horas previas a la prueba.

Se comienza explorando la conducción área mediante auriculares, y luego la ósea mediante una "pastilla" que se ubica sobre la apófisis mastoides del hueso temporal. Hay distintas técnicas para evaluar el umbral de audición: se puede comenzar con sonidos menos intensos que van aumentando hasta hacerse audibles (umbral de audición para esa frecuencia) o proceder de manera inversa, o combinar ambos procedimientos. En cualquiera de los casos, los resultados hallados se vuelcan a un gráfico (audiograma) que muestra la intensidad en ordenadas y la frecuencia en abscisas.

Sobre el eje de cada octava se anota con cuántos decibeles se comienza a percibir el sonido: ése es el *umbral*.

La sensibilidad del oído es distinta para cada frecuencia; por eso, para facilitar la graficación, se ha ideado un artificio por el cual en los audiómetros los umbrales verdaderos han sido lle-





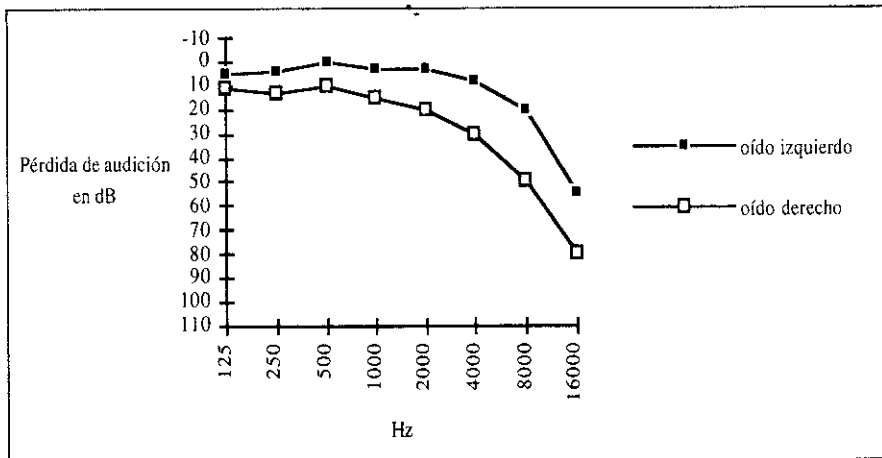
**Figura 63**  
Audiograma  
normal

vados a la línea cero de intensidad. De este modo se lee en el audiograma directamente la disminución en dB que el oído en estudio tiene con respecto a una normal para esa octava. Las curvas obtenidas al finalizar la prueba mostrarán el tipo y grado de pérdida de audición.

Así, cuando éstas muestran una disminución de igual grado tanto para la conducción aérea como para la ósea, se diagnostica hipoacusia de percepción o nerviosa, tal como la observada en el caso de las hipoacusias profesionales. En cambio, cuando la vía comprometida es la aérea y se mantiene intacta la ósea se está frente a una hipoacusia de conducción, tal como se ve en la esclerosis del oído medio.

Como ya dijimos, las hipoacusias se presentan en distintos grados de evolución. Estos pueden entonces, ser identificados por medio de audiogramas periódicos que mostrarán curvas distintas según el período evolutivo. Por ejemplo: en la hipoacusia profesional se afecta en un comienzo la faja comprendida entre los 3000 - 6000 Hz, especialmente en los 4.000 Hz, y sólo después de mucho tiempo se afectan otras frecuencias. Así se diferencian estos casos de otros tales como la presbiacusia o algunas intoxicaciones.

Debe recordarse además, que un estado previo a la pérdida auditiva, tal como la fatiga auditiva, puede ser también constatado con audiometrías efectuadas inmediatamente después de la exposición al ruido y que estos resultados podrían orientar en la identificación de aquellos individuos predispuestos a sufrir hipoacusias profesionales. De este modo la prueba tendría un carácter preventivo, que se sumaría al del diagnóstico preocupacional y al del control periódico (cada 3 meses el primer año y cada 6 meses luego) con que habitualmente se aplican.



**Figura 64**  
Audiograma  
correspondiente  
a la hipoacusia  
por edad

## 10. Aspectos legales

Se transcribe a continuación lo expuesto por el decreto 351/79 respecto de los límites admisibles de exposición. El citado decreto adopta el criterio de igual energía.

- “Ningún trabajador podrá estar expuesto a una dosis superior a 90 dBA de Leq para una jornada de 8 horas y 48 horas semanales (Anexo V, inc.2.1)
- Por encima de 115 dBA no se permitirá ninguna exposición sin protección individual ininterrumpida.
- No se permitirá el trabajo cuando los niveles sean superiores a 135 dBA, ni aún con el uso de protectores auditivos. El decreto citado fija el siguiente procedimiento para el cálculo del nivel sonoro:
  - si los ruidos son continuos y sus variaciones no sobrepasan los 5 dB se promediarán los valores obtenidos en una jornada típica de trabajo;
  - si los ruidos son continuos o sus variaciones sobrepasan los 5 dB se hará una medición estadística, clasificando los niveles en intervalos de 5 dB y computando el tiempo de exposición a cada nivel;
  - para el caso en que el nivel general ambiente sea estable dentro de los 5 dB y existan operaciones con nivel mayor que el del ambiente (pero también estable dentro de dichos límites, de duración no menor de 3 minutos y con ritmo de repetición no inferior a 1 minuto), se podrá efectuar el cómputo con el sólo uso de un cronómetro de precisión;

- cuando los ruidos medidos contengan tonos puros audibles se agregarán 10 dB a la lectura del instrumento antes de determinar la dosis. Se consideran tonos puros audibles aquellos que incrementen el nivel de una banda de tercio de octava en por lo menos 10 dB con respecto a sus contiguas”.

El Leq puede calcularse con la siguiente fórmula

$$Leq = 10 \cdot \log (10^{L_i/10} \cdot t_i) / t_i$$

Siendo:

$L_i$  = nivel sonoro medio de cada intervalo de 5 dB

$t_i$  = duración de cada intervalo de nivel  $L_i$ .

# Carga acústica

## Glosario técnico

- Banda audible* Banda de frecuencia sonora entre 16 Hz hasta 20 Hz (para el ser humano)
- Emisión sonora:* Sonido radiado por un emisor acústico (por ejemplo, ruido de un motor de coche dentro del capot)
- Impacto sonoro:* Sonido que actúa sobre el ser humano (ruido del motor dentro de la cabina del coche)
- Nivel de intensidad sonora:* Nivel de presión acústica evaluado psico-físicamente (percepción subjetiva del sonido)
- Nivel de presión acústica (dB):* Relación logarítmica entre la presión sonora efectiva existente ( $p$ ) y la presión sonora de referencia ( $p_0$ )
- Presión sonora de referencia:* Corresponde aproximadamente al umbral auditivo para una frecuencia de 1000 Hz y  $p = 20 \text{ N/m}^2$  (2.10 b)
- Ruidos:* Vibraciones irregulares, según su intensidad pueden ser desde molestos a dañinos
- Ultrasonido:* Sonido por debajo de 16 Hz

# III. Vibraciones mecánicas e impacto

## 1. Introducción

Las vibraciones mecánicas, dentro de los factores de carga de medio ambiente, se dan por fortuna en relativamente pocos puestos de trabajo. Esta es una de las causas por las que nunca han sido tema de investigaciones muy extensas, en comparación con otros factores, como por ejemplo, la carga acústica.

Las vibraciones mecánicas pueden provenir de vehículos que transitan superficies desparejas, como sucede casi siempre y en especial, con los autoelevadores.

El accionar de ciertas herramientas puede ser la causa también de vibraciones mecánicas. Esto sucede con los martillos neumáticos.

Otro ejemplo de máquinas que producen vibraciones son: molinos, prensas de forjas, balancines, grandes motores, etc.

Las vibraciones mecánicas a partir de cierto nivel pueden convertirse en un serio factor de riesgo, no sólo disminuyendo el rendimiento laboral sino poniendo en peligro la salud de las personas expuestas.

## 2. Fundamentos físicos

Las vibraciones son desplazamientos de pequeña magnitud alrededor de una posición de equilibrio. En el caso de las vibraciones mecánicas, las que se desplazan son partículas sólidas.

### 2.1. Conceptos básicos

Para que una vibración tenga lugar se debe dar una causa externa, por ejemplo, una fuerza, y una causa interna, propia del cuerpo, que es la *respuesta vibratoria*. Esta respuesta vibratoria es una característica de la elasticidad del cuerpo.

Como todo fenómeno ondulatorio, las vibraciones mecánicas se caracterizan por:

- . longitud de onda, amplitud
- . frecuencia
- . período

En las vibraciones mecánicas, por tratarse de movimientos de partículas sólidas, interesa también conocer la *aceleración* que alcanzan las mismas.

## 2.2 Tipos de vibraciones

Para entender bien el efecto de las vibraciones sobre el cuerpo humano, es importante distinguir entre vibraciones libres e inducidas.

### a) Vibraciones libres

Cuando se excita un sistema vibratorio, por ejemplo, golpeando un diapasón, y luego se lo deja libre, éste vibra en su propia frecuencia, que constituye una característica propia de cada sistema. Se la conoce como *vibración propia* o *libre*.

### b) Vibraciones inducidas

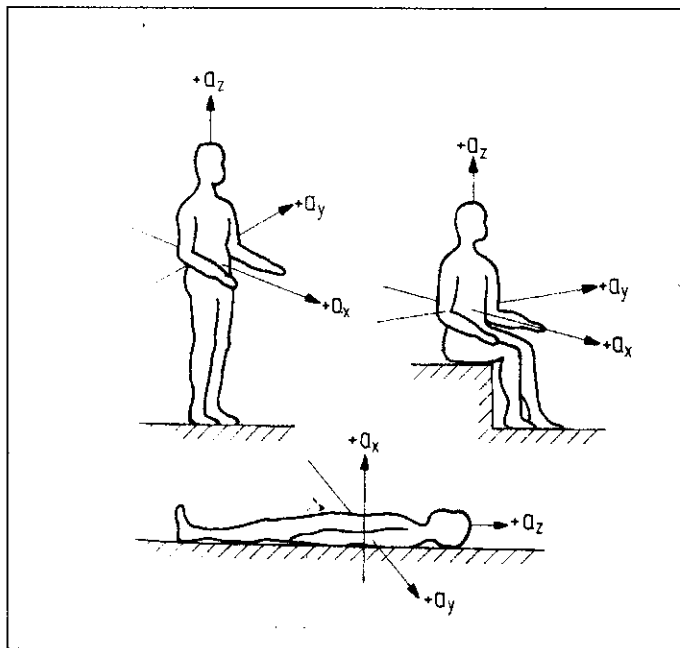
La frecuencia inducida es aquélla que el sistema vibratorio recibe de otro sistema activo. Por ejemplo, las paletas desbalanceadas de un extractor de aire, provocan un fenómeno vibratorio, la caja del extractor comienza a vibrar, inducida por la frecuencia del extractor.

### c) Resonancia

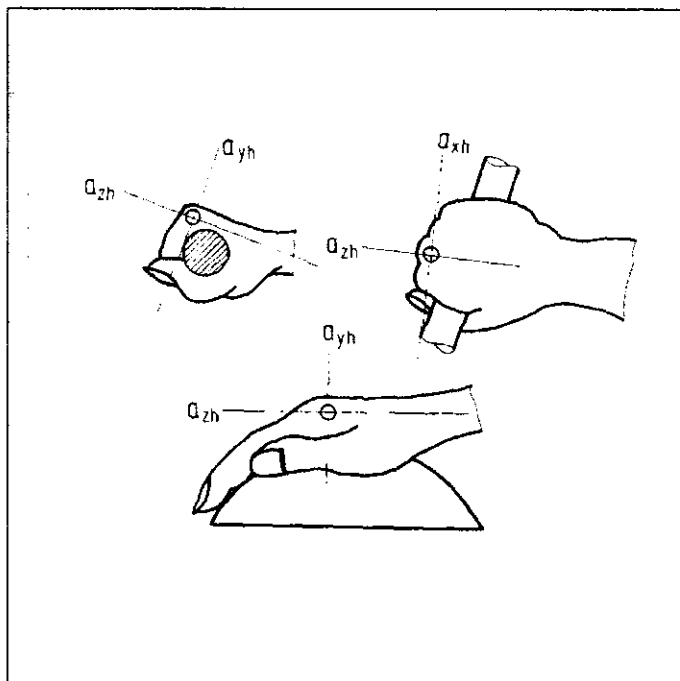
Cuanto más cerca esté la frecuencia inducida de la frecuencia propia, más violenta será la reacción vibratoria. El caso extremo es cuando ambas frecuencias coinciden, y entra el sistema en un fenómeno que se denomina *resonancia*. La frecuencia en la cual esto se produce se la conoce como *frecuencia de resonancia*.

### d) Dirección de vibración

La dirección de las vibraciones se estudia con referencia a un sistema de coordenadas, que como está referido al hombre, se denomina sistema de coordenadas fisiológicas.



**Figura 65**  
 Sistema de coordenadas fisiológicas (ISO 2631), cuerpo entero



**Figura 66**  
 Sistema de coordenadas fisiológicas (ISO-DIS 5349)

En la fig. 65 se representa el sistema de coordenadas fisiológicas recomendado por la norma ISO 2631.

Para el análisis de vibraciones del conjunto mano-brazo se utiliza el sistema de coordenadas indicado en la fig. 66.

Las vibraciones que se producen en estas direcciones se denominan *vibraciones de traslación*.

Las vibraciones alrededor de las direcciones señaladas, se denominan *de rotación*. Aún no se ha estudiado a fondo el efecto de éstas, pero en la mayoría de los casos, como por ejemplo en las vibraciones producidas por las turbinas de un avión, puede simplificárselas y considerarlas como si se tratase de una vibración de traslación, dado que el punto de contacto con el hombre está alejado del centro de rotación.

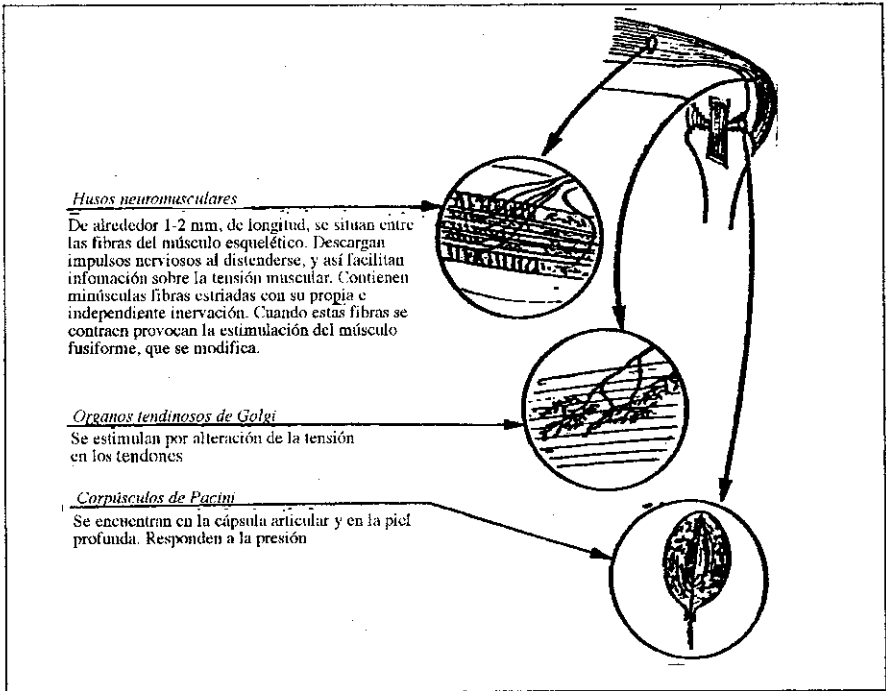
### 3. Fundamentos biológicos

#### 3.1. Percepción de las vibraciones (anatomía-fisiología)

Contrariamente a lo que ocurre en el caso de la percepción visual o auditiva, en las cuales los estímulos específicos (luz y sonido) actúan sobre órganos receptores especiales (ojo y oído respectivamente), la percepción de las vibraciones es el resultado de estímulos periódicos o no, recibidos por receptores no específicos (mecanorreceptores) distribuidos en todo el cuerpo. Estos están constituidos por formaciones nerviosas ubicadas en: a) músculos, b) piel y c) sistema vestibular (oído interno). Unos responden a sensaciones de desplazamiento, velocidad y aceleración de las distintas partes del cuerpo; en tanto otros son sensibles a fuerzas musculares o a presión en la piel.

- a) De los *receptores músculo-esqueléticos*, los correspondientes al huso neuromuscular (ver fig.67), son sensibles a fuerzas de estiramiento del músculo entre 0-200 Hz; mientras que los receptores tendinosos de Golgi miden la fuerza desarrollada por el músculo.
- b) Los *receptores cutáneos*, por su parte, son de dos tipos:
  - Corpúsculos de Pacini, con sensibilidad máxima para frecuencias de 40 Hz, y
  - Receptores de la base del pelo, para frecuencias de 250 Hz.





c) El *sistema vestibular* comprende el conjunto formado por:

- los receptores vestibulares.
- distintos centros nerviosos del tronco cerebral, cerebelo, etc.
- y las fibras y vías nerviosas que los conectan y aseguran la interacción de los mensajes vestibulares con las informaciones sensoriales provenientes del resto del organismo.

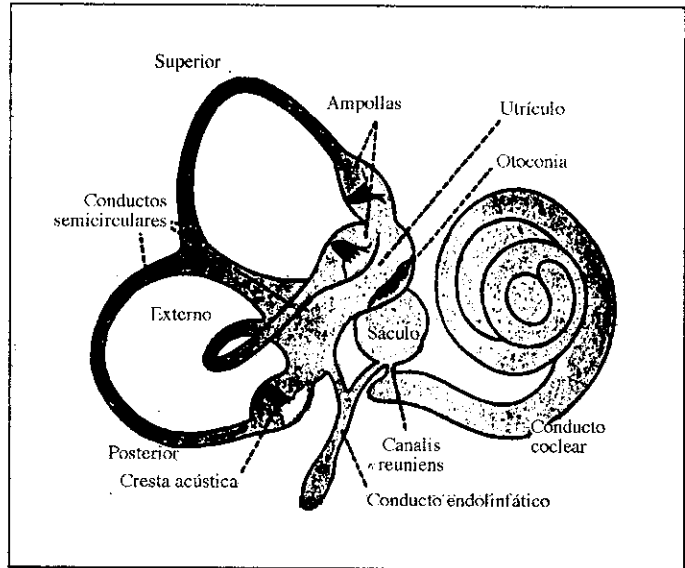
En el hombre, el aparato vestibular está constituido por tres canales semicirculares, el utrículo y el sáculo, tallados todos en el hueso temporal, cubiertos por dentro por una membrana y ocupados por un líquido viscoso: la endolinfa. Este conjunto forma la parte del oído interno relacionada con el equilibrio.

Dentro del aparato vestibular, los receptores vestibulares se encuentran ubicados:

- a modo de diafragma que obtura la desembocadura de cada canal semicircular
- en una formación especial del utrículo llamada mácula, integrada por células ciliadas y terminaciones del nervio vestibular.

**Figura 67**  
Formaciones nerviosas receptoras de vibraciones

**Figura 68**  
Representación  
esquemática del  
oído interno



Los cambios de posición de la cabeza al imprimir movimiento al líquido endolímfático de los canales semicirculares estimulan sus receptores sensoriales.

Simultáneamente la movilización de los cristales de calcio (otolitos) que se encuentran en suspensión en el interior del utrículo, al rozar las células ciliadas de la mácula (efecto de cizalla) provocan su excitación.

La información así generada, sumada a la aportada por los receptores visuales, detecta los movimientos del cuerpo y la posición relativa de sus distintos segmentos.

A su vez, cuando un movimiento vibratorio afecta la totalidad del cuerpo o alguna de sus partes, provoca una respuesta refleja muscular en forma de contracción espontánea y cíclica siguiendo la frecuencia del estímulo. Esta actividad, sumada a la percepción de cambios de presión a nivel de piel se integra en el sistema nervioso central y se interpreta directamente como sensación de vibración o, indirectamente, como molestias, dolor, etc.

### 3.2. Consecuencias de las vibraciones sobre el hombre

#### a) Generalidades

La carga por vibración se define por medio de la amplitud, velocidad, aceleración, frecuencia y duración de la misma.

El esfuerzo provocado por ella se expresa en forma de entorpecimiento en el trabajo, molestias, disminución de la eficiencia y daños en la salud.

3-4 Hz	fuerte resonancia en columna
4Hz	pico de resonancia en columna lumbar
5 Hz	muy fuerte resonancia en cintura escapular
4-5 Hz	resonancia del estómago
4-8 Hz	resonancia del hígado
6-12 Hz	máximo movimiento de riñón
20-30 Hz	resonancia entre cabeza y hombros
60-90 Hz	resonancia de globo ocular
100-200 Hz	resonancia de abdomen inferior

**Figura 69**  
Tabla de resonancias para vibraciones verticales

El tipo de consecuencias sobre el organismo, así como su magnitud, dependen de:

- *Características físicas de la vibración:* importa especialmente de ellas la frecuencia ya que cuando coincide con la frecuencia de excitación propia del tejido u órgano donde incide, provoca la aparición de *resonancia* (ver fig. 69). También puede presentarse el fenómeno inverso, es decir, *atenuación o absorción*.
- *Puerta de entrada al organismo:* el cuerpo entero o algún segmento o sistema en particular: pies y pelvis (en posiciones de pie y sentado respectivamente) espalda y cráneo (posición acostada), o sistema mano-brazo (trabajo con herramientas manuales).
- *Duración del estímulo:* los daños a la salud aumentan con la duración.

Si se toma en cuenta este último factor y el tiempo de aparición de los signos y síntomas, se pueden clasificar las consecuencias en agudas y crónicas (ver fig. 70)

La forma de presentación de las primeras consecuencias se dará por el comportamiento biomecánico del sistema interviniente, con reacciones fisiológicas generales (aumento del volumen minuto respiratorio y de la actividad muscular, por ejemplo) o locales (disminución de la irrigación periférica, disminución de la sensibilidad), a lo que se sumará percepción de molestia, incomodidad o dolor, y entorpecimiento en la eficiencia.

Las consecuencias crónicas se manifiestan como daños en los tejidos de los órganos involucrados.

VIBRACIONES SOBRE TODO EL CUERPO	VIBRACIONES SOBRE EL SISTEMA MANO/BRAZO
<b>A. Consecuencias agudas</b>	
<b>1. Comportamientos biomecánicos</b>	
De cabeza y tronco	Del sistema mano/brazo
<b>2. Reacciones fisiológicas</b>	
Aumento del volumen minuto respiratorio Aumento de la actividad muscular Trastornos vegetativos (disminución de la reflexibilidad)	Disminución irrigación periférica Aumento de la actividad muscular Trastornos del sistema periférico (disminución de la sensibilidad)
<b>3. Percepción subjetiva desagradable</b> incomodidad - dolor	
<b>4. Influencia sobre la eficiencia</b> coordinación motora fina entorpecida	
Disminución de percepción visual	
<b>B. Consecuencias crónicas</b>	
Daño a nivel de columna vertebral y estómago	Daños en huesos y articulaciones e irrigación periférica

**Figura 70**  
Consecuencia de las vibraciones mecánicas

Desde un punto de vista práctico, es necesario clasificar las vibraciones según su frecuencia ya que esta característica será la que determine el tipo de consecuencia adversa sobre el organismo.

### b) Efectos fisiopatológicos de las vibraciones según su frecuencia

- Las de *frecuencia muy baja* (0,2 - 0,7 Hz y hasta 2 Hz) son responsables del llamado *mal de mar o del transporte*. Este se presenta con distintos grados de compromiso:
  - en forma de náuseas tardías;
  - compromiso leve con síntomas de náuseas, palidez, sudor, que desaparecen al interrumpir el viaje;
  - compromiso mediano a serio, con vómitos que cesan poco tiempo después de detenerse el viaje, y
  - compromiso grave, en el que los vómitos y las fuertes náuseas no desaparecen sino muy lentamente. Los

síntomas se pueden prolongar durante días. Los vómitos se acompañan de relajación de la musculatura del cardias y esófago, y contracción pilórica, la glotis se cierra, se contrae el diafragma y se entorpece la respiración. Esto se acompaña de sensación depresiva, cefaleas y astenia.

El origen vestibular de este cuadro es innegable ya que experimentalmente se comprobó que la destrucción del oído interno evita su aparición. Sin embargo, la estimulación vestibular por sí sola no es la causa del problema, sino que éste reside en la dificultad de integración central de los mensajes provenientes de los distintos movimientos del cuerpo. Por ejemplo: durante un viaje, el sistema visual no detecta los movimientos del cuerpo en el espacio (sus puntos de referencia relativos están quietos) mientras que el sistema vestibular está captando la aceleración del movimiento del vehículo.

Pareciera que el sistema nervioso central deja en memoria la información sensorial correspondiente a una situación de movimiento dada (modelo interno). Si las señales de diferentes receptores son compatibles con ese modelo interno, no surgen inconvenientes, pero cualquier discordancia entre ellas produce dos efectos:

- reorganización del modelo interno (se sigue percibiendo el movimiento horas después de haber cesado),
- inducción de la secuencia de respuestas neurovegetativas ya mencionadas, que caracteriza el "mal del transporte".

La presentación de estos síntomas no está sujeta a la influencia de factores psíquicos, ni a otros tales como la alimentación, temperatura ambiente, presencia de olores, etc.

La solución se logra colocando al pasajero lo más cerca posible del centro de gravedad del vehículo, y permitiéndole que vea el horizonte o los objetos en movimiento que lo rodean.

- Las vibraciones de *baja frecuencia* (hasta <20 - 30 Hz), son características de vehículos y grandes maquinarias donde el hombre trabaja en posición sentada o de pie, y afectan por lo tanto al cuerpo en su totalidad.

Si el movimiento vibratorio es en *sentido vertical* y el hombre está en *posición sentada*, se produce un

desplazamiento simultáneo del tórax, la cabeza y la pelvis, siempre y cuando la frecuencia sea de  $<2$  Hz. Si en cambio, ésta es de 3-6 Hz, se produce resonancia y desfase de dichos segmentos. Estos movimientos están permitidos por una deflexión de la columna vertebral, donde se producen estiramientos importantes especialmente a nivel de la región comprendida entre las vértebras XI D (dorsal) y la II L (lumbar) o región lumbar.

Las vibraciones verticales producen también movimientos viscerales. El corazón presenta resonancia entre 5-6 Hz, los dolores de tipo infarto aparecen a los 4 Hz y persisten hasta los 11 Hz. El hígado presenta resonancia a los 4-8 Hz y el estómago a los 4-5 Hz, con aparición de fuertes dolores. Los movimientos de riñón son máximos entre los 6-12 Hz y pueden llevar a estiramientos del uréter y modificación de su peristaltismo.

También la aceleración de la vibración juega un rol importante. El umbral promedio para las mayores molestias se encuentra con una aceleración de 1 g (cerca de 10 m/seg<sup>2</sup>). Con valores de 1,5 g las vibraciones se vuelven peligrosas e insoportables.

El siguiente esquema resume las manifestaciones provocadas por las vibraciones verticales de baja frecuencia en el hombre sentado.

Frecuencia	Manifestación
1-4 Hz	fuertes molestias respiratorias
4-10 Hz	dolor en abdomen y tórax, reacciones musculares, resonancia pelviana, y fuerte disconfort
8-12 Hz	dolor en espalda
10-20 Hz	tensión muscular, cefaleas, trastornos visuales, dolores en raquis, trastornos en el habla, irritación de intestino y vejiga

Si el movimiento vibratorio es *horizontal* y en sentido *antero-posterior*, se presenta el máximo movimiento de la cabeza en la frecuencia de 2-3 Hz. En general, todas las resonancias críticas lo son entre 1-3 Hz y se deben a la flexión en la región lumbo-dorsal y cervical. Estos puntos de resonancia son los factores determinantes de los niveles de tolerancia.

En *posición de pie* la resonancia principal para las vibraciones verticales se encuentra alrededor de 4 Hz. En el curso de una aceleración en sentido antero-posterior aparece una resonancia neta a los 0,4 - 0,6 Hz

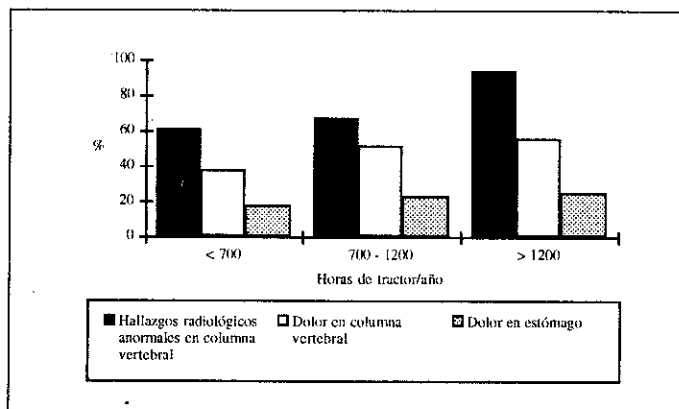
• *Daños en la salud provocados por vibraciones de baja frecuencia.*

La exposición a vibraciones repetidas diariamente en el lugar de trabajo, puede favorecer la aparición de enfermedades o cambios patológicos en distintas partes del cuerpo: a nivel de columna vertebral, como alteraciones de los discos intervertebrales y artrosis. Las anomalías radiológicas del raquis lumbar y torácico, se presentan con mayor frecuencia y a edades más tempranas en aquellos grupos de trabajadores expuestos en mayor medida (conductores de camión, colectivos, helicópteros, etc.). Un ejemplo se observa en la fig. 71, que muestra resultados de seguimientos realizados por Dupuis.

Además también se observó en ellos mayor frecuencia de trastornos del aparato digestivo (estómago e intestino), enfermedades de próstata y hemorroides.

Las vibraciones agravan patologías subyacentes y aceleran su aparición especialmente en aquellos que conducen ese tipo de vehículos desde su adolescencia.

Asímismo, se pueden observar trastornos de comportamiento tales como aumento del tiempo de reacción y errores de manualidad. La agudeza visual está disminuida por alteración del reflejo vestibulo-ocular y por resonancia del globo ocular. Estos problemas comienzan a los 4 Hz y se agudizan entre los



**Figura 71**  
Hallazgos radiológicos anormales y dolores

10 y 30 Hz. En 50 Hz y con una aceleración de 2 m/seg<sup>2</sup>, la agudeza visual es del 50%.

Otros efectos fisiopatológicos de las vibraciones de baja frecuencia se resumen en el esquema siguiente:

Frecuencia	Manifestación
2-15 Hz	consumo de O <sub>2</sub> es proporcional a la aceleración
15 Hz y 3 g	aumento de consumo de O <sub>2</sub> inferior al esperado por trabajos ligeros
2-10 Hz	hiperventilación, especialmente a los 6 Hz, que puede llevar a hipocapnia y afectar la función cerebral
20-40 Hz 60-80 Hz	disminución de la agudeza visual, por resonancia ocular

- Las *vibraciones de alta frecuencia* afectan a quienes trabajan con herramientas tales como martillos neumáticos, pulidoras, fresadoras, motosierras, etc., produciéndoles alteraciones circulatorias, óseas y articulares en el sistema mano-brazo. Si bien las de más alta frecuencia son atenuadas por las partes blandas, las que alcanzan los huesos con suficiente energía son transmitidas por el esqueleto y eventualmente ampliadas, a pesar de que las articulaciones pueden constituir un filtro para las mismas.

Las vibraciones de alta frecuencia que se encuentran en la banda audible, producen efectos neurosensoriales, debido a la activación anormal de los mecanorreceptores corporales. Existen modificaciones de células nerviosas a nivel de ganglios espinales y a nivel medular, y cambios en la ultraestructura de los corpúsculos de Pacini. Experimentalmente se comprobaron alteraciones en la cantidad y distribución intracelular de ARN (ácido ribonucleico = código genético celular) en animales.

Se observan cambios en la reflexividad espinal, con frecuencias entre 20 y 200 Hz y supresión del reflejo rotuliano entre 50 y 80 Hz. Se produce asimismo, ilusión de desplazamiento de miembros, diskinesia y problemas de mantenimiento de posturas.

Por su parte, las herramientas vibrantes producen alteraciones que están en relación con sus frecuencias dominantes. Aquellas en que el predominio está en < 40 Hz producen lesiones de huesos, articulaciones y tendones, dando lugar a edemas, dolor, enrojecimiento, descalcificación de los huesos de la mano (semilunar y



escafoides), artrosis y fracturas. Los cambios articulares aparecen por lo menos a los 2 años de comenzar el trabajo. De este grupo de herramientas las más peligrosas son las de frecuencias entre 10 y 15 Hz, 35 a 45 Kg de peso y que deben ser usadas verticalmente (por encima del nivel de hombros) ya que esta posición aumenta el trabajo estático de los miembros superiores con la consiguiente alteración circulatoria en los mismos.

Además de la fuerza de aprehensión y la dirección de las vibraciones, importa mucho la presencia de factores de medio ambiente (especialmente ruido y bajas temperaturas), que se potencian para precipitar el cuadro morboso descrito.

Cuando la frecuencia dominante está entre 40 y 300 Hz, las amplitudes están entre 5 y 10 mm.

En estos casos es característica la aparición de síndromes vasoespásticos de tipo Raynaud (fenómeno de los dedos muertos), ligada a la edad del trabajador y a su antigüedad en la tarea (ver fig. 72). Las crisis aparecen entre los seis meses y los dos años de comenzado el trabajo y pueden volver a aparecer hasta 10 años después de finalizado el mismo.

Especialmente dañinas parecen ser las vibraciones cuyas frecuencias coinciden con los rangos de mayor sensibilidad de los sensores cutáneos (150-250 Hz) estando el rango crítico entre 40 y 600 Hz. Máquinas pulidoras, fresadoras y motosierras llevan a un alto porcentaje de fenómenos circulatorios de este tipo. Los dedos se presentan fríos e insensibles, con una coloración que va desde el blanco hasta al azulado, luego de un tiempo cambian a rojos y dolorosos. La vasoconstricción que origina estos síntomas se acentúa en casos de trabajos a baja temperatura ambiente.

También aquí la posición de manejo de las herramientas puede agravar el problema.

Edad	Antigüedad en el trabajo	
	< 5 años	5 años
20 - 34 años	34%	60%
35 - 60 años	54%	74%

**Figura 72**  
Porcentaje de aparición de síndromes tipo Raynaud, según edad y antigüedad en el trabajo

Como otras afecciones posibles también se describen la enfermedad de Dupuytren (retracción palmar progresiva) y la keratodermia.

Cuando en las herramientas usadas predominan frecuencias mayores a 300 Hz aparecen problemas tróficos y sensitivos en las manos, caracterizados por dolor, tumefacción, parestesias y coloración roja a violeta de la piel. Se pueden presentar al mes o dos meses de iniciar el trabajo, son duraderos y si a la agresión mecánica se suma el frío, el cuadro descripto regresa a la normalidad con mucha lentitud.

Los efectos vasculares provocados por las vibraciones de alta frecuencia se presentan con vasodilatación (cuando la amplitud de la vibración es pequeña) y vasoconstricción cuando la amplitud es grande.

### c) Perjuicio de la eficiencia

Como ya se mencionó, a cada movimiento vibratorio corresponde una contracción muscular como respuesta refleja del sistema nervioso central. El producto de esta estimulación continua es la fatiga del sistema nervioso central, que se manifiesta en forma de:

- disminución de dichos reflejos y de su intensidad,
- entorpecimiento de la elaboración mental de la información y conducción motora de los movimientos, lo cual conlleva una evidente disminución de la habilidad.

A esa actividad muscular aumentada se le atribuye el incremento del metabolismo observado en estos casos, responsable a su vez de la frecuencia del pulso, y de la aceleración en la respiración.

Por otra parte, la pérdida de la agudeza visual, la atenuación de la audición y la kinetosis, producto de la estimulación de los canales semicirculares, contribuye a la sensación de incomodidad y sobre todo a la conformación de una situación de trabajo riesgosa.

Finalmente, el dolor y entumecimiento producidos por las alteraciones óseas, articulares y circulatorias, refuerzan el cuadro de riesgo y disminución de la eficiencia.

## 4. Medición de las vibraciones

Los datos obtenidos mediante la medición de las vibraciones mecánicas e impactos, sirven en principio de base para:

- Evaluación de los efectos de las V.M. sobre el hombre.
- Control de la efectividad de las medidas correctivas introducidas.
- Detección de la posible fuente de vibración.

Generalmente las vibraciones se transmiten por contacto directo con pies y piernas, asentaderas, tronco y cabeza, manos y brazos.

El efecto de las vibraciones depende en gran medida, del lugar de contacto y de la postura corporal en la que se reciban. Por esta razón es importante señalar exactamente ese lugar.

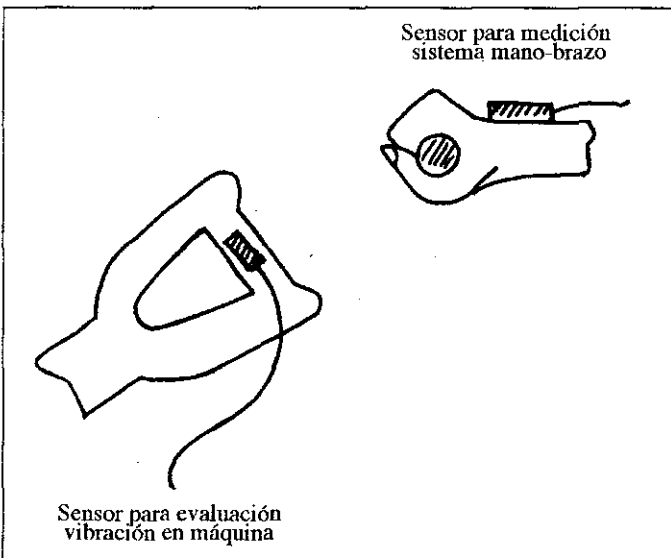
Los elementos de contacto pueden ser: superficies de asientos, plataformas, manivelas, mangos o manijas, etc.

Los instrumentos de medición se colocan tanto sobre la persona, como sobre la superficie que está haciendo de transmisor de la vibración.

La norma ISO-DIN 5349 recomienda colocar los sensores lo más cerca posible del punto de contacto.

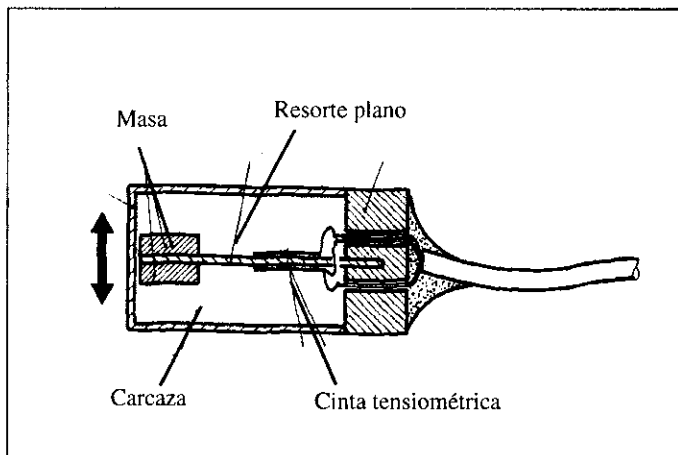
### 4.1. Objetivos

### 4.2. Puntos de medición



**Figura 73**  
Ubicación de sensores

**Figura 74**  
Corte  
esquemático de  
un sensor



### 4.3. Sensores

El elemento capaz de captar las ondas vibratorias y transformarlas en una forma de energía fácil de conducir, amplificar y medir, se denomina *sensor*.

La fig. 74 muestra en corte, la conformación básica de un sensor.

La carcasa del sensor se fija al elemento que se quiere medir. Su masa, al estar unida a éste por un elemento elástico, produce una aceleración relativa. Esta aceleración es la que emite una señal proporcional a la vibración.

La transformación de una vibración mecánica en una eléctrica se realiza mediante tres principios:

- *principio inductivo*: la masa hace mover un imán dentro de una bobina, generando una corriente eléctrica.
- *principio resistivo*: la masa produce cambios de tensión mecánica sobre una resistencia, cuyo coeficiente de resistividad varía con el estado de tensión mecánica.
- *principio piezo-eléctrico*: la masa ejerce presiones mecánicas sobre un cristal piezo-eléctrico. Estos cristales tienen la propiedad de producir tensión eléctrica cuando son deformados elásticamente.

### 4.4. Amplificadores, registradores y transmisores telemétricos

La señal eléctrica producida por los sensores es muy débil para ser utilizada directamente.

Para ello se utiliza un *amplificador* que refuerza la misma.

La señal amplificada puede medirse con un voltímetro. Sin embargo, resulta más conveniente visualizar las vibraciones mediante un osciloscopio.

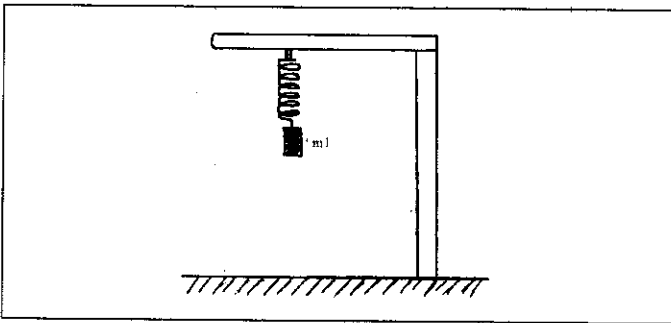
La técnica de grabación en cintas magnéticas se utiliza cada vez con mayor frecuencia, ya que facilita mucho el análisis de las vibraciones.

Cuando las condiciones del medio ambiente laboral ponen en riesgo el instrumento de medición o, cuando las características propias del puesto de trabajo lo requieren, (mediciones sobre vehículos) se puede recurrir a la telemetría.

El registro y evaluación de las vibraciones mecánicas permiten obtener las magnitudes características: frecuencia (Hz), velocidad (m/s) y aceleración (m/s<sup>2</sup>).

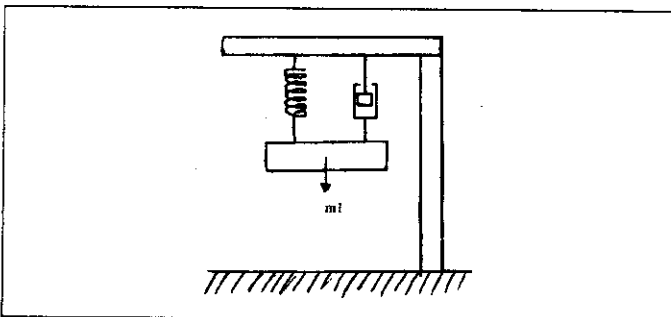
## 5. El hombre como sistema vibratorio

Un *sistema vibratorio libre* se puede visualizar fácilmente mediante un resorte y una masa.



Si se estira el resorte y se lo deja libre, el sistema oscilará con su frecuencia característica.

Si ahora se le agrega un amortiguador, el sistema deja de vibrar libremente, y en pocos ciclos las vibraciones se frenan. Este es un *sistema vibratorio amortiguado* (ver fig. 76).



### 5.1. Tipos de sistemas vibratorios

**Figura 75**

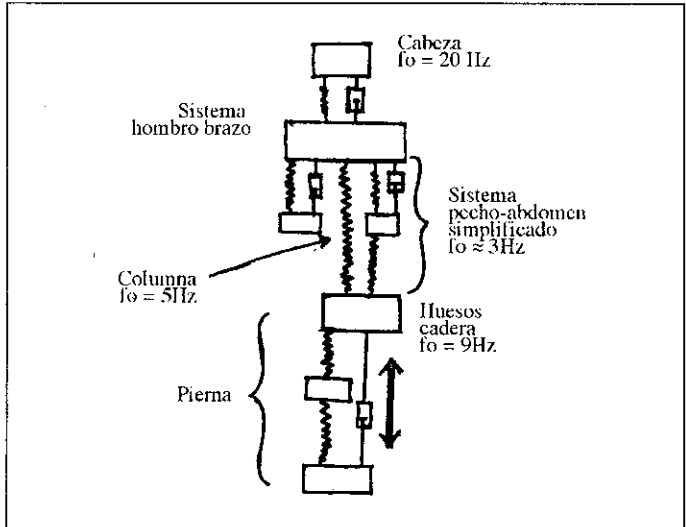
Sistema vibratorio sin amortiguación

**Figura 76**

Sistema vibratorio amortiguado

**Figura 77**

El hombre como sistema vibratorio para el caso de vibraciones verticales



## 5.2. Modelo "masa-resorte-amortiguador" para el hombre

En forma aproximada se puede construir un modelo "masa-resorte-amortiguador" para describir el comportamiento del organismo humano frente a la vibración.

Las partes relativamente rígidas (cabeza, hombros) se comportan como la masa del sistema vibratorio; las articulaciones y sus ligamentos como resortes; los músculos con sus reflejos, como los amortiguadores.

## 6. Evaluación objetiva de las vibraciones

### 6.1. Evaluación objetiva

Se obtiene por la medición de las magnitudes características del fenómeno vibratorio.

Ejemplo:

Colocando sensores en el mango de un martillo neumático, se miden la frecuencia y la aceleración de la fuente de vibración. Los efectos de esta vibración se obtienen mediante sensores ubicados en distintas partes del cuerpo del operador del martillo neumático.

### 6.2. Evaluación subjetiva

El hombre no posee un órgano específico para percibir las vibraciones. La descripción de esta sensación sólo puede realizarse en forma global.

Algunos autores utilizan la siguiente escala para clasificar esta sensación:

- apenas desagradable
- poco desagradable
- bastante desagradable
- desagradable
- muy desagradable
- sumamente desagradable

El tipo de vibración y su frecuencia juegan un rol muy importante en la evaluación de los efectos sobre el organismo.

En general, se puede decir que las vibraciones de baja frecuencia producen efectos mecánicos desagradables sobre los órganos. Las frecuencias entre 3 y 5 Hz producen irritaciones sobre los diferentes sistemas mecánicos del organismo (columna vertebral, vísceras, etc.). Las altas frecuencias (por encima de 100 Hz), no se aprecian como muy desagradables ya que son amortiguadas por los tejidos epidérmicos. El efecto es más bien de carácter nervioso.

La aceleración que provocan las vibraciones mecánicas, medidas en  $m^2/S$  es la otra magnitud importante. Se ha podido comprobar que las aceleraciones superiores a  $9,31 m^2/S$ , actúan disminuyendo el rendimiento laboral. El otro factor de importancia es la duración de la exposición a la vibración. A partir de un determinado momento, aparece una pérdida de sensibilidad.

Este hecho explica la disminución de la destreza manual que acompaña a trabajos en los cuales la persona está sometida a vibraciones.

#### a) Fundamentos

Cuantitativamente el efecto de las vibraciones se clasifica mediante el *índice K*, que integra tanto la influencia de la frecuencia, como la de la aceleración.

*K* se calcula en función de las magnitudes medidas, de frecuencia y aceleración. Los valores de *K* dependen también de la postura, por lo que se puede distinguir entre efectos sobre personas paradas, sentadas, etc. La otra posibilidad es determinar los valores de *K* para cada uno de los sistemas vibratorios del organismo, por ejemplo, sistema mano-brazo, pies y piernas.

Dickman desarrolló una escala en base a los valores *K*, que reproduce muy bien los efectos de la vibración. (Tabla fig. 78).

#### 6.3. Evaluación de los efectos de la vibración sobre el ser humano

#### 6.4. Descripción cuantitativa del efecto vibratorio, factor K

Indice de percepción K	Descripción de la percepción	Condición de soportabilidad
menor a 0,1	imperceptible	
0,1	umbral de percepción	
0,1-0,4	apenas perceptible	permanencia en vivienda, sin interrupciones o con interrupciones breves
0,4-1,6	bien perceptible	permanencia en vivienda, con largas interrupciones
1,6-6,3	fuertemente perceptible	trabajo corporal sin interrupciones
6,3-100	muy fuertemente perceptible	trabajo corporal con largas interrupciones. Viajes sobre vehículos por períodos prolongados

**Figura 78**

Escala de vibración según Dickman

La denominación "breve" respecto de la interrupción significa que la vibración se interrumpe mediante pausas de alrededor de 10 minutos.

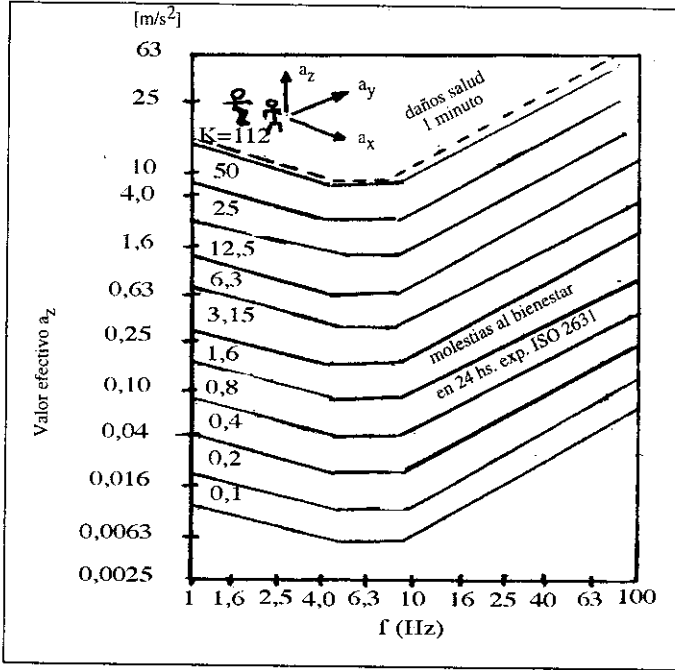
La relación entre pausa y duración de la vibración no debe superar 0,1.

$$\frac{\text{pausa}}{\text{duración de la vibración}} = 0,1 = \frac{1}{10}$$

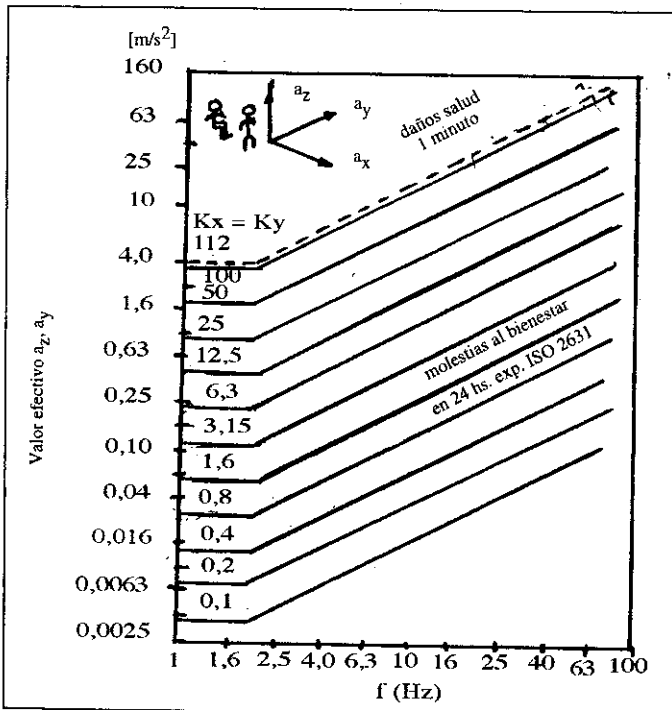
Una interrupción es "larga" cuando su extensión es de por lo menos una hora y cuando la relación de pausa/duración de la vibración arroja valores entre 0,1 y 1.

Se reproducen a continuación los límites de tolerancia Kz para aceleraciones por vibraciones para personas paradas y sentadas en la dirección Z y en las direcciones Xe y (VDI 2057) (fig.79 y fig.80).





**Figura 79**  
Límites de tolerancia  $K_z$  para aceleraciones por vibración en personas sentadas y paradas (VDI 2057)



**Figura 80**  
Límites de tolerancia  $K_x$  y  $K_y$  para aceleraciones por vibración en personas sentadas y paradas (VDI 2057)

### b) Ejemplo de utilización de las gráficas:

Un operario se encuentra parado sobre una plataforma de un cargador por vibración. Los valores medidos son los siguientes:

$A_z$  = aceleración en la dirección vertical = 25 m/seg<sup>2</sup>

$f$  = frecuencia predominante = 10 Hz

$K_z$  = valor leído en gráfico, supera el límite  $K_z = 112$ .

#### Comentario:

Es de esperar un daño en la salud para exposiciones mayores a 1 minuto. Se deberá encarar una aislación de la plataforma, para evitar que la persona reciba tan alta vibración.

### c) Evaluación de la carga vibratoria, con interrupciones (VDI 2057)

Otra posibilidad de obtener valores límites para la acción de las vibraciones, lo ofrece la hoja 3 del proyecto de norma del VDI (Centro de Ingenieros Alemanes) No. 2057.

Esta norma contempla la posibilidad de interrupciones en la exposición a las vibraciones.

El tiempo total (T) de observaciones se divide en n fases  $T_i$ , cada una de las cuales presenta un índice de percepción promedio  $K_i$ . La duración mínima de una fase es de 1 minuto. La máxima duración de cada fase está dada por la condición consistente en que el valor mínimo del índice de percepción  $K_i$  dentro de cada fase no sea menor que un 60% del  $K_{max}$ . Este último se obtiene de las mediciones. El valor fijado promedio es de 0,8  $K_{max}$ , para  $K_i = 0,8 K_{max}$ .

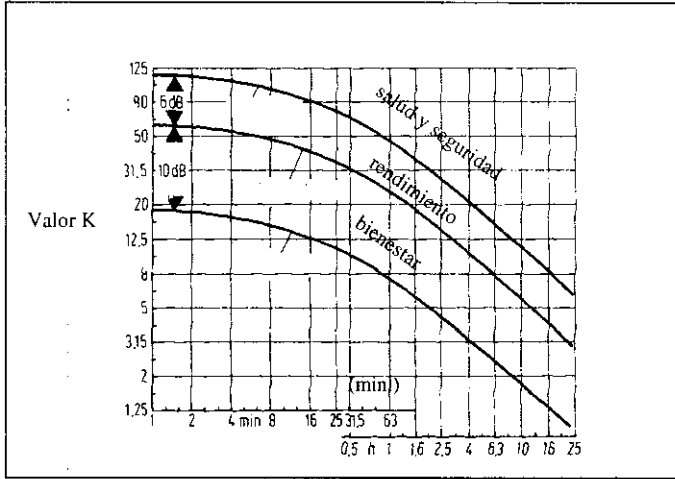
Para cada  $K_i$  se determina el factor de sollicitación "i"

$$\alpha_i = \frac{T_i}{T_{perm.}}$$

$T_i$  = período de exposición real.

$T_{perm.}$  = período de exposición permitido.

El  $T_{perm.}$  surge de la fig. 81 de acuerdo al criterio elegido.



**Figura 81**  
 Tiempos de exposición a las vibraciones mecánicas en función de los factores K (VDI 2057)

Este gráfico presenta tres criterios límites:

- La curva superior da los valores límites con los cuales, de existir esos valores de K, se esperan daños permanentes.
- La curva central representa los valores con los que las vibraciones producen una disminución del rendimiento laboral.
- La curva inferior da los valores con los cuales se afecta el bienestar

**Ejemplo:**

Si  $K = 12.5$ , el T perm. es de 16 min. para bienestar, 3 horas para rendimiento y 8 hs. para daños en la salud.

El factor de sollicitación  $\alpha T$  resulta de la suma de todos los  $\alpha_i$ . Si  $\alpha_i$  es menor a 1, no se ha alcanzado el correspondiente límite (de bienestar, de rendimiento o de salud) y por lo tanto esta exposición estará dentro de lo permitido.

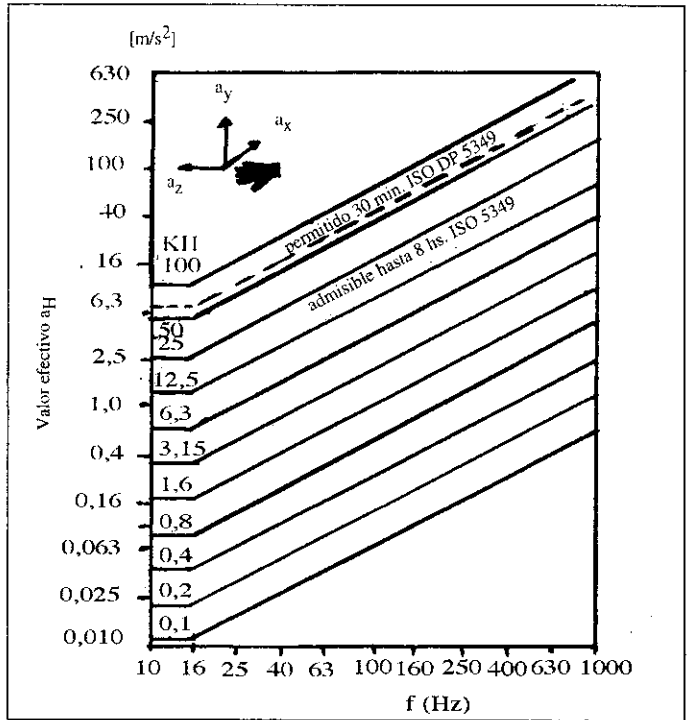
**d) Efecto de las vibraciones sobre el sistema mano-brazo**

Se describe a continuación el efecto de las vibraciones mecánicas para el sistema mano-brazo en base a un estudio realizado por Hettinger. La tarea analizada fue el corte con motosierra.

El comportamiento del sistema mano-brazo para trabajo con motosierra depende de:

- espectro de frecuencia
- amplitud

**Figura 82**  
Límites de tolerancia para el sistema mano-brazo (VDI 2057)



- dirección de la vibración (X. y Z.)
- posición del sistema mano-brazo
- fuerza de agarre (sostén)
- variaciones temporales.
- duración de la exposición.

Las aceleraciones registradas fueron de hasta  $80 m/seg^2$ . El espectro total de frecuencias fue de 10 hasta 1.000 Hz, con picos de amplitud para 16 y 200 Hz.

La fig. 82 muestra los límites de tolerancia  $K_h$  (H de Hand = mano) para el sistema mano-brazo, según las recomendaciones 2056 del VDI (Centro de Ingenieros Alemanes).

Como puede observarse, los valores extremos de aceleración están por encima de los límites recomendados.

## 7. Medidas de protección

En general se recomienda mantener los valores de vibración lo más bajo posible.

Entre las medidas recomendadas se pueden citar:

- a) Eliminar o reducir al máximo las vibraciones en las fuentes de producción, por ejemplo mediante medidas constructivas o modificación del proceso. Evitar sobre todo el rango de frecuencia entre 0,5 a 20 Hz, que es el más peligroso para el hombre.
- b) Eliminar o amortiguar la conducción de las vibraciones mediante elementos apropiados que absorban las mismas. Por ejemplo, uso de asientos con amortiguación para vehículos, tales como, sobre todo, los autoelevadores. Este tipo de vehículo, al no tener suspensión propia, transmite todos los impactos y las vibraciones al conductor.
- a) Limitación del tiempo de exposición,
- b) Introducción de un régimen de pausas adecuado,
- c) Rotación de puestos de trabajo.
- d) Las personas que corran riesgos no deben ser expuestas a ambientes donde haya vibraciones (personas con daños en columna, personas embarazadas, etc.).

### 7.1. Medidas técnicas

### 7.2. Medidas organizativas

Se han diseñado guantes especiales para el trabajo con martillos neumáticos. Estos guantes tienen un relleno, que hace de amortiguador. Los comunes no tienen ninguna acción protectora.

### 7.3. Elementos de protección personal

Tomando en cuenta la frecuencia y la aceleración, las vibraciones no son soportables cuando están:

- por debajo de 2 Hz, con una aceleración de 3-4 g.
- entre 4 y 14 Hz, con una aceleración de 1,2-3,2 g.
- sobre 14 Hz, con una aceleración de 5-9 g.

### 7.4. Límites recomendados

Desde el punto de vista de la ergonomía, para tractores, camiones y máquinas de construcción cuyas frecuencias principales están entre 2 y 5 Hz durante ocho horas de trabajo, se recomienda un límite de aceleración de 0,3-0,45 m/seg<sup>2</sup>, ya que entre 2-5 Hz (especialmente a 4 Hz) se entorpece la

conducción, acentuándose este efecto a medida que aumenta la aceleración. Con aceleraciones de la vibración en el asiento, de 0,5 m/seg<sup>2</sup> aumentan los errores y cuando se llega a 2,5 m/seg<sup>2</sup>, éstos son tantos que la conducción se convierte en peligrosa.

## 8. Apéndice vibración

### Cálculo de los valores de K (persona de pie)

Cuando actúan simultáneamente vibraciones verticales y horizontales de diferente frecuencia, se obtienen componentes  $K_x$  y  $K_y$  horizontales y la componente  $K_z$  vertical.

El valor K total se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$K = K_{x2} + K_{y2} + K_{z2}$$

#### a) Vibración vertical

Magnitud física actuante

$1 < f < 4$  Hz  $K_z = 10 a z \sqrt{f}$   $a$  [ m/seg<sup>2</sup> ] = aceleración de la vibración

$4 < f < 8$  Hz  $K_z = 20 a z$   $v$  [ m/seg<sup>2</sup> ] = velocidad de la vibración

$8 < f < 80$  Hz  $K_z = 160 a z$   $s$  [m] = desplazamiento de la vibración

#### b) Vibración horizontal

$1 < f < 2$  Hz  $K_x (y) = 28 a x (y)$

$2 < f < 80$  Hz  $K_x (y) = 56 a x (y) 1/f$

## Vibraciones mecánicas e impacto

### Glosario técnico

- Aceleración de la vibración:* Variación de la velocidad de las partículas vibrantes dentro de la unidad de tiempo. Se mide en  $\text{cm/s}^2$
- Amplitud:* La máxima extensión de una vibración durante un período.
- Desplazamiento de la vibración:* Es el desplazamiento alrededor de la posición de equilibrio que produce la vibración sobre las partículas en movimiento. Se mide en cm.
- Frecuencia* Es el número de vibraciones por unidad de tiempo. Su unidad es el herzio (Hz) ; un Hz = 1 vibración por segundo. Es una de las magnitudes características de los fenómenos vibratorios. Equivale a la inversa del período ( $f = 1/T$ ).
- Frecuencia propia* La frecuencia a la que vibra un sistema, el cual ha sido excitado y se lo deja vibrar sin otra influencia externa.
- Período* El lapso de tiempo dentro del cual se lleva a cabo un ciclo de vibración completo.
- Resonancia* La coincidencia de una frecuencia de excitación con la frecuencia propia de un sistema vibratorio.
- Velocidad de vibración:* Velocidad de vibración de las partículas. Su unidad es  $\text{cm/s}$ .

# IV. Iluminación

## 1. Fundamentos físicos

La energía eléctrica se puede aprovechar de dos formas para producir luz:

- por *incandescencia*: un filamento de Wolframio se calienta a una temperatura muy elevada hasta que comienza a emitir luz (lámparas incandescentes).
- por *descarga eléctrica*, dentro de una masa gaseosa o de un vapor metálico (tubos fluorescentes).

Del 100% de la energía eléctrica que consume una lámpara incandescente solamente 5-15% se transforma en luz, el resto se pierde como calor. La vida útil de una lamparita eléctrica se calcula en aproximadamente 1000 horas, siempre y cuando no se supere la tensión nominal. Un 10% más de tensión, es decir, si en lugar de 220 V tenemos 240 V, la vida útil se reduce a un cuarto, es decir, 200 horas.

Los tubos fluorescentes trabajan por el principio de descarga eléctrica. Un tubo de vidrio herméticamente cerrado contiene un gas a baja presión.

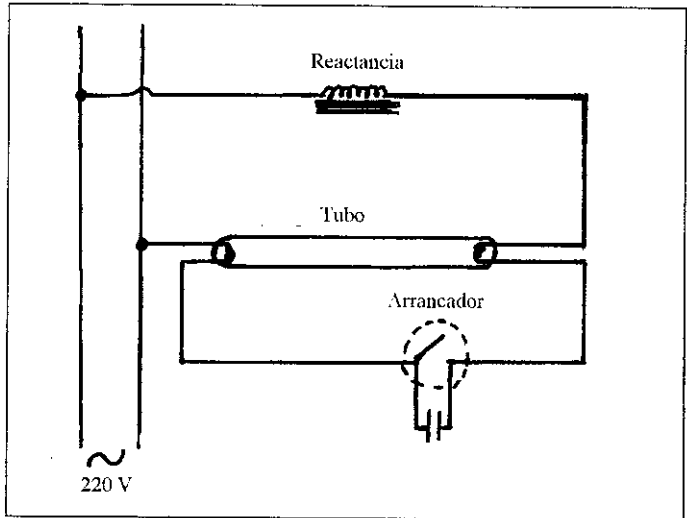
Cuando el tubo fluorescente se conecta a la tensión el arrancador se encuentra cerrando el circuito. La corriente eléctrica circula por los filamentos calentándolos. Los filamentos, al calentarse, cargan el gas de iones, es decir, el gas adquiere la capacidad de conducir la electricidad. Luego de breves instantes (1 a 2 seg.), el arrancador se abre y la tensión queda ahora apresada entre ambos filamentos. Como el gas se encuentra ionizado, la corriente se transmite por el gas excitándolo. La radiación producida de esta forma tiene una longitud de onda de 253.7 nm; se trata de una radiación

### 1.1. Producción de la luz



**Figura 83**

Esquema de conexión de un tubo fluorescente



ultravioleta. Para que la misma pueda ser utilizada como luz, debe sufrir una transformación. De esto se encarga el recubrimiento interior de los tubos fluorescentes. Esas sustancias absorben las radiaciones ultravioletas y emiten luz, es decir, se comportan como transformadores de radiaciones.

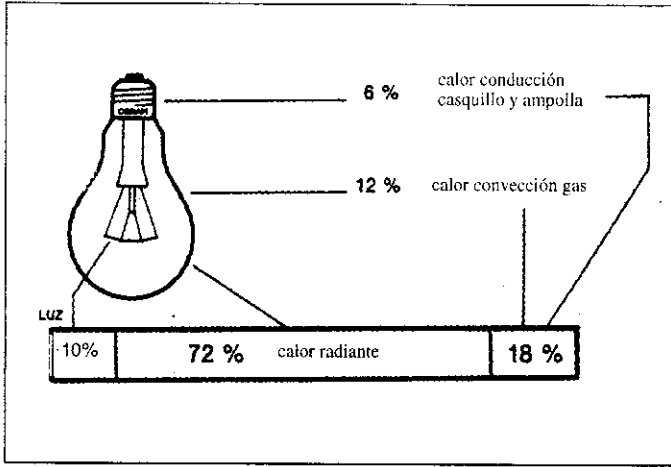
Nota: algunas de las sustancias empleadas son: Wolframato de Calcio, Wolframato de Magnesio, Silicato de Zinc, Silicato de Cadmio, Borato de Cadmio, etc.

## 1.2. Magnitudes luminosas y método de medición

La sensación ligada al efecto luminoso se traduce por "bien iluminado" o "mal iluminado", por "claro" u "oscuro". Estas valoraciones subjetivas, deben hacerse corresponder a magnitudes físicas objetivas, de modo de poder medir y comparar adecuadamente.

En todo fenómeno luminoso intervienen dos elementos: la fuente luminosa (sol, lámpara, una linterna) y el objeto a iluminar (una calle, un libro, una máquina). Las siguientes magnitudes se utilizan para valorar los efectos de la luz:

- flujo luminoso
- rendimiento luminoso
- intensidad luminosa
- iluminancia
- luminancia
- grado de reflexión.



**Figura 84**  
Transformación de la energía eléctrica en luz y calor

#### a) Flujo luminoso

El *flujo luminoso* o potencia luminosa es la energía por unidad de tiempo que se emite como luz.

Como se dijo anteriormente, una lámpara incandescente transforma en promedio un 10% de potencia en luz, el resto se pierde en forma de calor. Este 10% de potencia eléctrica radiada como luz es el flujo luminoso.

El flujo luminoso se representa por la letra griega  $\phi$  (fi) y su unidad es el *lumen* (lm). Un Watt de potencia radiada en forma de luz equivale a 683 lm para una longitud de onda de 55 nm.

La medición del flujo luminoso se realiza mediante una esfera hueca dentro de la cual se coloca la fuente a medir.

Este dispositivo se denomina *esfera integradora de Ulbricht*.

Lo que hace esta esfera es volver a transformar en energía eléctrica la luz radiada por la fuente, mediante células fotoeléctricas.

Tipo de fuente	Flujo luminoso (lm)
Lámpara de efluvios	0,6
Vela de cera	10
Lámpara de 100 incandescente	1380
Tubo fluorescente 40 W	3200
Lámpara mercurio 400 W	23000
Lámpara de sodio de alta presión 400 W	48000
Lámpara de sodio baja presión	33000

**Figura 85**  
Tabla de Flujo luminoso (lm) de algunas fuentes

**Figura 86**  
Tabla de  
rendimiento  
luminoso de  
distintas fuentes

Tipo de fuente	Potencia instalada [W]	Rendimiento [lm/W]
Lámpara de Efluvios	0,3	2
Incandescente 40 W/220V	40	11
Fluorescente 40 W	40	80
Mercurio a alta presión 400 W	400	58
Sodio alta presión 400 W	400	120
Sodio baja presión 180 W	180	183

### b) Rendimiento luminoso

El *rendimiento luminoso* o coeficiente de eficacia luminosa de una fuente de luz es un índice que relaciona flujo luminoso producido (en lumen) con la potencia consumida (en Watt).

Se representa con la letra griega  $\eta$  (eta) y su unidad es el *lumen por Vatio* (lm/W).

$$\eta = \text{lm/W}$$

Una lámpara ideal tendría un coeficiente de eficacia lumínico de 683 lm/W, es decir cada Watt que se consume se transformaría en 683 lm. En la realidad esto nunca se logra.

La fig. 86 reproduce una tabla con valores de rendimiento luminoso de algunas fuentes.

### c) Intensidad luminosa

Mediante el flujo luminoso se mide el total de la energía radiada por una fuente. La *intensidad luminosa* en cambio, mide la cantidad de energía irradiada en una determinada dirección.

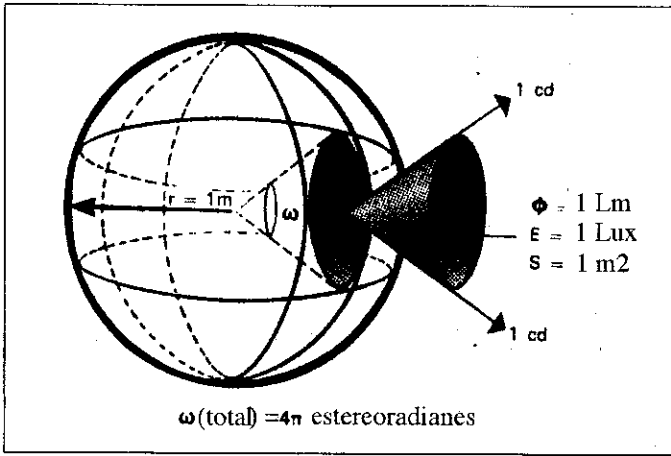
Si se imagina una esfera hueca de 1 m. de radio, y dentro de esta esfera una fuente que esté emitiendo un flujo luminoso de 1 lumen, la cantidad de luz que atraviesa cada metro cuadrado de la superficie de la esfera equivale a una *candela*, que es la unidad de intensidad luminosa.

El cono que forma el centro de la esfera y el casquete esférico cuya área es 1 m<sup>2</sup> representa la unidad de ángulos sólidos o espaciales. Su unidad es el *estereoradian*. Una esfera tiene en total 4  $\pi$  estereo-radian.

Los ángulos sólidos se representan con la letra griega  $\omega$  (omega).

En forma general, la intensidad luminosa se define como la cantidad de luz emitida por cada estereo-radian. Su unidad queda expresada como

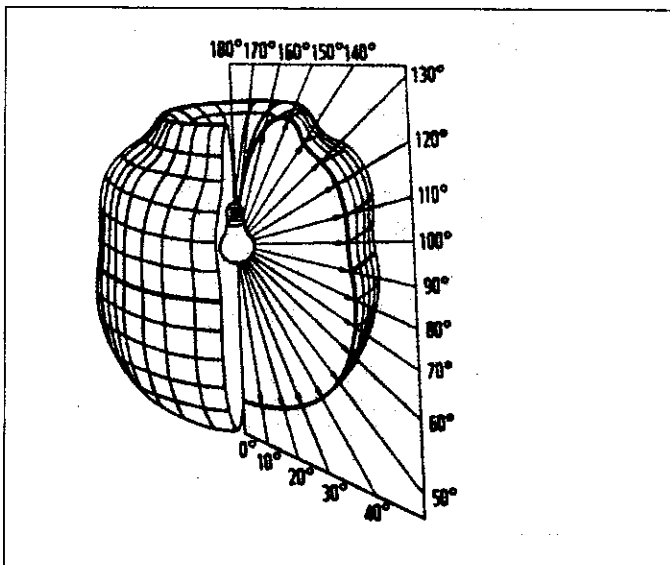
$$1 \text{ candela [cd]} = 1 \text{ lumen/1 estereoradian} = 1 \text{ lm/1str}$$



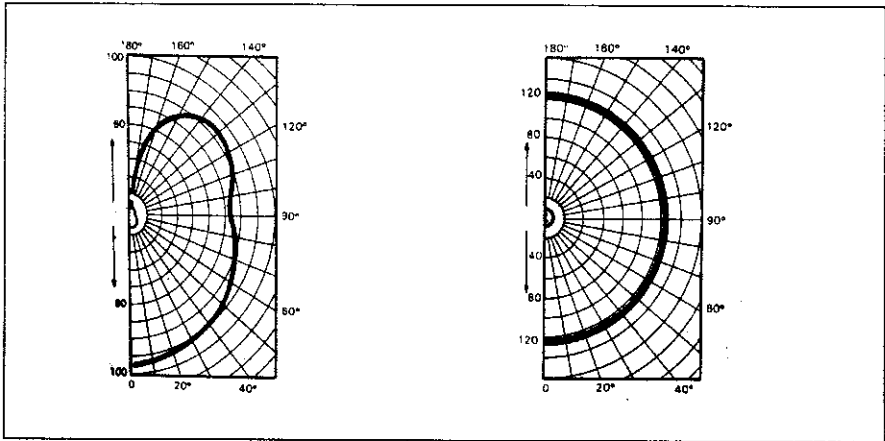
**Figura 87**  
 Representación del ángulo sólido.  
 Relaciones entre flujo luminoso, intensidad luminosa e iluminancia

• Distribución luminosa, curvas y superficies fotométricas:

Si se observa una lamparita eléctrica colgando de su portalámpara, se puede comprobar que no todo el espacio a su alrededor se encuentra igualmente iluminado. Las zonas que rodean el portalámparas están menos iluminadas que las que rodean al filamento. Este hecho se puede presentar en superficies de igual iluminación. Para cada dirección se determina la intensidad luminosa. Representando mediante vectores las intensidades luminosas para cada dirección alrededor de la fuente, se obtienen las *superficies de distribución luminosa*.



**Figura 88a**  
 Sólido fotómetro de una lámpara incandescente



**Figura 88b**  
Curva  
fotométrica de  
una lámpara  
incandescente

**Figura 88c**  
Curva  
fotométrica de un  
tubo fluorescente

Esta forma de representación resulta muy complicada por lo que se recurre a una simplificación. Se hace pasar un plano de simetría, y se obtiene una curva de intersección entre la superficie del sólido fotométrico y el plano de simetría (ver fig. 88b y 88c)

La curva fotométrica de una fuente luminosa permite conocer la intensidad luminosa para cada dirección deseada.

- Medición de la intensidad luminosa

La medición de la intensidad luminosa requiere aparatos especiales y se realiza normalmente en laboratorios. Básicamente se trata de la comparación entre la intensidad luminosa de una fuente conocida, tomada como patrón y la luz de la fuente desconocida.

#### d) Iluminancia

La *iluminancia* o iluminación de una superficie, se obtiene del cociente entre el flujo luminoso y el valor en m<sup>2</sup> de la superficie.

$$E = \phi / S$$

La unidad de iluminancia es el *lux*, que se define como la iluminación producida por una fuente que emite un flujo luminoso de un lumen sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup>.

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lm} / 1 \text{ m}^2$$

- Medición de la iluminancia

Para medir la iluminancia se utiliza un aparato denominado *luxómetro*. Este posee una fotocélula que transforma luz en energía eléctrica. La cantidad de

Mediodía de verano, al aire libre, con cielo despejado	100.000 lux
Con cielo cubierto	20.000 lux
Puesto de trabajo bien iluminado	1000,00 lux
Alumbrado público	20,40 lux
Noche de luna llena	0,25 lux
Luz de estrellas	0,01 lux

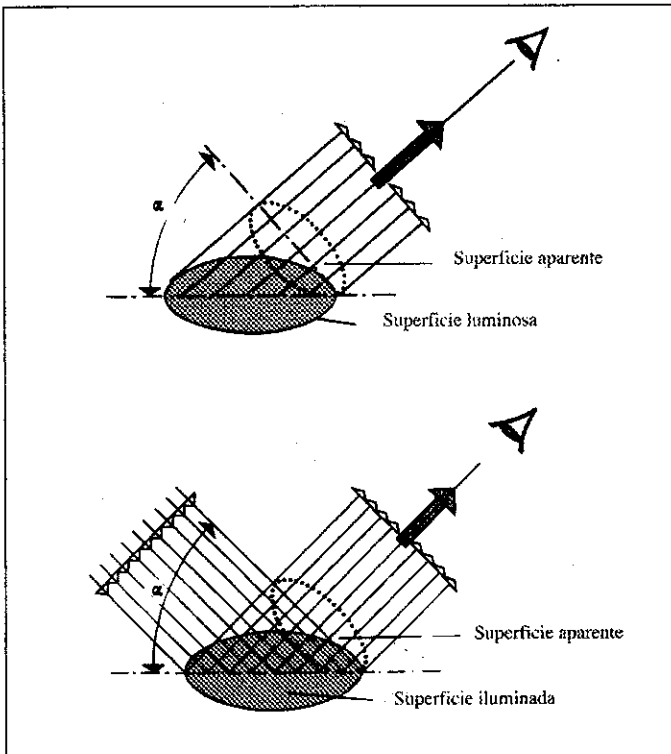
**Figura 89**  
Tabla de valores tipos de iluminancia

corriente eléctrica generada es proporcional a la iluminación que incide sobre la fotocélula.

Un miliamperímetro calibrado directamente en lux permite la lectura de la iluminancia.

e) Luminancia

La *luminancia* de una superficie, en una dirección determinada, se obtiene dividiendo la intensidad luminosa en dicha dirección por la superficie perpendicular a la dirección dada.



**Figura 90a**  
Luminancia directa provocada por una superficie luminosa

**Figura 90b**  
Luminancia indirecta de una superficie iluminada

Conocido el ángulo  $\alpha$  que forman la superficie luminosa y la superficie perpendicular a la dirección de observación y al tamaño de la superficie luminosa  $S$ , se puede calcular la superficie perpendicular, también denominada superficie aparente.

$$S_a = \text{superficie aparente} = S \cdot \cos \alpha$$

$$L = I / S_a = I / S \cdot \cos \alpha$$

La unidad de luminancia es la candela por  $m^2$  ( $Cd/m^2$ ) denominada *nit* (nt). Tiene también un submúltiplo, el *stilb* o candela por  $cm^2$ .

Las superficies con luz propia generan luminancia directa. Los objetos iluminados tienen luminancia indirecta.

La sensación de mayor o menor iluminación captable por el ojo depende de la luminancia.

Una fuente de luz genera una cantidad total de radiaciones visibles, de la cual una porción incide en un objeto determinado. La cantidad de luz por unidad de superficie que ese objeto refleja y que puede verse en una dirección definida es la luminancia.

La percepción de la luz es en realidad percepción de diferencia de luminancia.

El aparato de medición de la luminancia es similar al luxómetro y se denomina *luminancímetro* o *nitrómetro*.

## f) Grado de reflexión

La luminancia de una superficie no sólo depende de la cantidad de lux que incidan sobre ella, sino también del grado de reflexión de esta superficie. Una superficie negro mate absorbe el 100% de la luz incidente, una superficie blanco brillante refleja prácticamente el 100% de la luz.

Todos los objetos existentes poseen grados de reflexión que van entre estos dos extremos, es decir, entre 0% y 100%. El grado de reflexión relaciona iluminancia con luminancia.

$$\text{Luminancia (Asb)} = \text{grado de reflexión} \times \text{Iluminancia (lx)}$$

Por ejemplo, una pared pintada de amarillo tiene un grado de reflexión del 60%; si sobre ella incide una iluminancia de 100 lux, la luminancia resultante es de 60 asb.

Se reproducen a continuación dos tablas con valores de grado de reflexión.

Color	Grado de reflexión
Blanco	70-85
Gris claro	45-65
Gris	25-40
Gris oscuro	10-20
Negro	5
Amarillo	65-75
Marrón claro	30-50
Marrón oscuro	10-25
Verde claro	30-55
Verde oscuro	10-25
Rosa	45-60
Rojo claro	25-35
Rojo oscuro	10-20
Celeste	30-55
Azul oscuro	10-25

**Figura 90**

Tabla de grados de reflexión de distintos colores

Elemento	Grado de reflexión
Ciclo raso	70-90
Paredes	40-60
Piso	15-35
Muebles	25-45
Máquinas-aparatos	30-50
Tableros instrumentos (fondo)	20-40
Tableros instrumentos (centro)	80-95

**Figura 91**

Tabla de grados de reflexión recomendados para las superficies en puestos de trabajo

**Figura 93**

Tabla de resumen de las Magnitudes Luminotécnicas

Denominación	Símbolo	Unidad	Definición de la unidad	Relaciones
Flujo luminoso	$\phi$	lumen (lm)	Flujo luminoso de una fuente de radiación monocromática, con una frecuencia de $540 \times 10$ Hertz y un flujo de energía radiante de 1/683 vatios	$\phi = I \cdot \omega$
Rendimiento luminoso	$\eta$	lumen por vatio (lm/W)	Flujo luminoso emitido por unidad de potencia (1 vatio)	$\eta = \frac{\phi}{W}$
Intensidad luminosa	I	candela (cd)	Intensidad luminosa de una fuente puntual que irradia un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido unitario (1 estereorradian)	$I = \frac{\phi}{\omega}$
Iluminancia	E	lux (lx)	Flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie de un m <sup>2</sup>	$E = \frac{\phi}{S}$
Luminancia	L	candela por m <sup>2</sup> (cd/m <sup>2</sup> )	Intensidad luminosa de una candela por unidad de superficie (1 m <sup>2</sup> )	$L = \frac{I}{S}$



## 2. Fundamentos biológicos

### 2.1. Percepción visual

Se entiende por percepción visual el resultado de la suma de:

- recepción de los estímulos luminosos por parte del correspondiente órgano sensorial (el ojo).
- e integración de los mismos a nivel de corteza cerebral (percepción consciente).

El ojo como órgano de recepción, toma energía (luz) del medio ambiente y la convierte en otra forma de energía adecuada al organismo, es decir, en impulso nervioso bioeléctrico. Sólo mediante la intermediación e integración de esos impulsos en el cerebro se puede conocer el mundo circundante. De modo que las principales operaciones para “ver” están unidas a funciones cerebrales; es en ese nivel donde se localiza la imagen visual y el ojo es, simplemente, el órgano receptor periférico.

A la totalidad de órganos y estructuras nerviosas que están comprometidos en esos procesos, se les llama *aparato de la visión* (ver fig. 95). Este controla en la vida diaria por lo menos el 90% de nuestras actividades. Además, en cada trabajo, especialmente si es fino, juega un rol decisivo. Si se tiene en cuenta la gran cantidad de funciones nerviosas que son reprocesadas en el proceso visual, no es de extrañar que el aparato visual sea un origen frecuente e importante de cansancio general.

### 2.2. Aparato de la visión

#### a) Anatomía

Desde el punto de vista anatómico, el aparato visual está compuesto por los globos oculares, unidos al encéfalo por los nervios y vías ópticas, y un conjunto de estructuras (ver fig. 94) que le proporcionan:

- protección (párpados).
- sostén y movilidad dentro de las órbitas óseas que los contienen (ligamentos y músculos),
- irrigación (vasos sanguíneos)
- inervación (nervios)
- limpieza y lubricación (aparato lagrimal).

A su vez, el globo ocular (ver fig. 95) está formado por:

- una pared, compuesta por tres túnicas superpuestas:
  - . la externa, formada por la córnea y la esclerótica

- . la media o tracto uveal, formada por el iris, el cuerpo ciliar y la coroides
- . y la interna o retina
- y un contenido:
  - . el humor acuoso, que ocupa la cámara anterior y posterior
  - . el cristalino y la zónula de Zin que lo sostiene
  - . y el humor vítreo.

## b) Fisiología

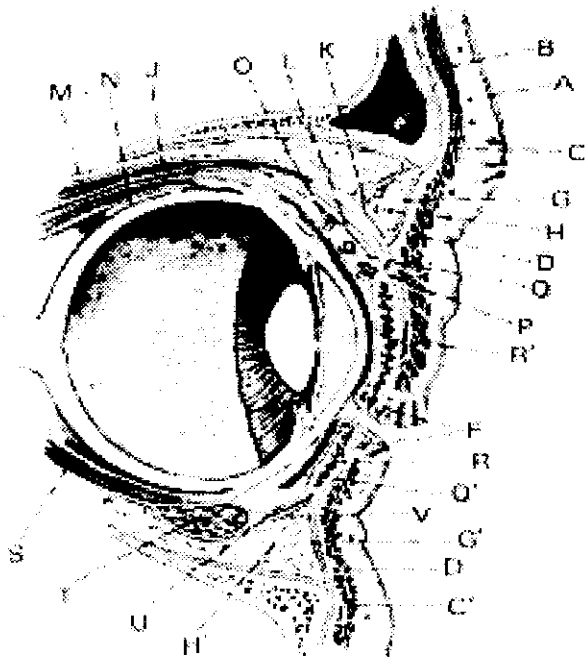
A su vez, como órgano receptor, el ojo, en la mayoría de sus relaciones, es comparable a una cámara fotográfica: la retina corresponde a la película sensible, mientras que la córnea (transparente), el cristalino y la pupila (dada por la apertura del iris) son análogos al mecanismo de la cámara.

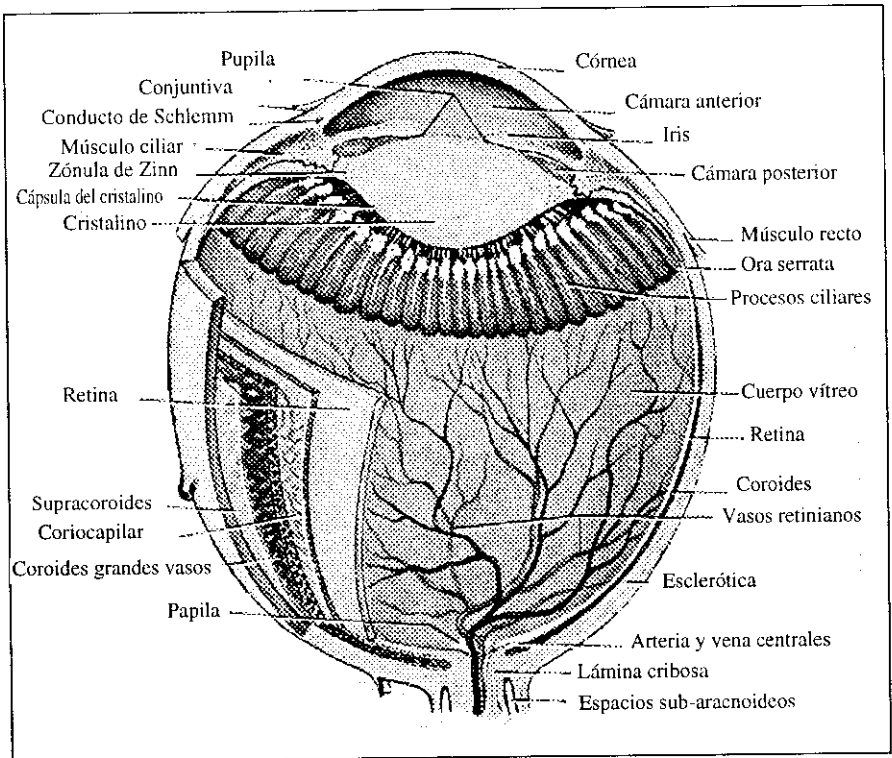
La córnea y el cristalino son un sistema de superficies que, a modo de lentes, provocan la concentración de la luz que reciben, sobre la retina.

**Figura 94**

Corte de párpados, órbita y su contenido

**Referencias:** A. Piel del párpado - B. Músculo frontal - C y C'. Músculo orbicular (porción orbitaria) - D. Músculo orbicular (porción preseptal) - F. Músculo orbicular (pretarsal) - G y G'. Septum orbitario - H y H'. Grasa orbitaria - J. Músculo elevador - K. Aponeurosis del elevador - L. Músculo de Müller - M. Músculo recto superior - N. Tendón del oblicuo superior - O. Glándula de Krause - P. Glándula de Wolfring - Q y Q'. Conjuntiva - R y R'. Tarso - S. Músculo recto inferior - T. Músculo oblicuo inferior - U. Músculo tarsal inferior (homólogo del músculo de Müller del párpado superior) - V. Fascia cápsulopalpebral (Beard)





**Figura 95**

Esquema que muestra las distintas capas del globo ocular

Los correspondientes receptores de la retina son células especializadas llamadas conos, para la visión diurna, y bastones (más sensibles) para la nocturna. En ellas el impulso "luz" se transforma fotoquímicamente en energía nerviosa. Existen aproximadamente 130 millones de bastones y 7 millones de conos.

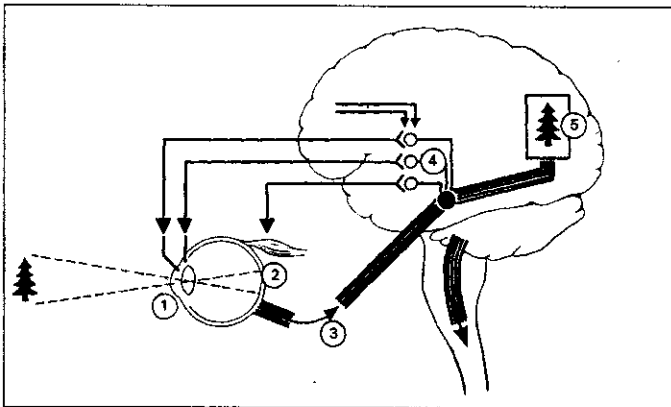
En la parte posterior del ojo, a unos pocos grados del eje óptico se encuentra la fovea. Esta importante formación se aprecia como un adelgazamiento de la retina, adonde la luz llega en forma directa. Sus células, que son solamente conos, están unidas cada una a su propia fibra del nervio óptico. Esta es la razón por la cual la fovea es la zona de mayor agudeza visual de la retina; presenta la más alta calidad de resolución que puede alcanzar hasta un ángulo de 12 segundos. Por eso, el hombre ubica su mirada de tal modo, que el cuadro visual caiga en esta zona, también llamada de visión central, y en consecuencia, ve nítido aquel objeto que fija en la fovea, mientras que a medida que los objetos se alejan de ella se vuelven borrosos. Como esta zona puede abarcar sólo un ángulo visual de 1 grado, se hacen necesarios rápidos y continuos movimientos del

globo ocular para enfocar claramente distintas partes del campo visual, de tal modo que, aun en corto tiempo, igualmente se logre un cuadro nítido del entorno.

Fuera de la fovea el número de conos es marcadamente inferior, y cada fibra nerviosa está unida a más de un cono y bastón o a varios de ellos.

A medida que nos alejamos de la fovea aumenta el número de bastones. Estos son más sensibles y reaccionan al estímulo lumínico ya a partir de niveles de iluminación de  $0,01 \text{ cd/m}^2$  (los conos necesitan niveles mayores a  $50 \text{ cd/m}^2$ ). Sin embargo no permiten ninguna diferenciación fina de forma ni de color. Funcionan como órganos de recepción principalmente nocturna.

Finalmente, es de suma importancia tener en cuenta las siguientes operaciones esenciales para la visión (ver fig. 96).



**Figura 96**  
Representación  
esquemática del  
aparato de la  
visión

Los rayos de luz del objeto observado caen a través de la abertura anterior del ojo (1) en el interior del mismo y sobre la retina (2). Aquí se transforma la energía luminosa en energía bioeléctrica o impulso nervioso, el cual viajando a lo largo del nervio óptico (3), llega al cerebro. En una primera serie de conexiones (4) se disparan impulsos que controlan el sistema óptico de los ojos; desde ese centro se regulan: la apertura de pupilas, la curvatura del cristalino y todos los movimientos del globo ocular. Sobre la base de las informaciones que se van produciendo, se va adaptando todo el aparato óptico en forma permanente a las condiciones y necesidades visuales (intensidad luminosa, distancias, etc.)

Estos mecanismos de regulación transcurren en forma automática, es decir, sin intervención consciente.

Simultáneamente, los impulsos nerviosos alcanzan la corteza cerebral (esfera consciente) donde terminan formando una imagen del mundo exterior (5). Aquí nacen nuevos impulsos, que servirán para los correspondientes pensamientos, sentimientos y reacciones.

### 2.3. Propiedad del aparato visual

#### a) Acomodación

Se entiende por tal, la capacidad del ojo de enfocar claramente objetos a distintas distancias. Por ejemplo: vemos claramente un dedo puesto frente a nuestro rostro, mientras el fondo permanece borroso; si luego observamos el fondo, dejaremos de percibir el dedo.

Logramos ver claramente un objeto cuando el cuadro que proporcionan la córnea y el cristalino, cae en la fovea de la retina. Esto se consigue mediante el cambio de curvatura del cristalino dado por la contracción de los músculos ciliares. Cuando los músculos de la acomodación están relajados, el sistema está preparado para la visión "de lejos". Si el cuadro se acerca, los músculos se contraen y evitan de este modo la visión borrosa.

Este proceso está al mismo tiempo acoplado con la apertura de la pupila. El ojo acomodado a la visión cercana muestra una pupila pequeña, mientras que cuando está acomodado para la lejanía, ésta se encuentra dilatada. La estrechez de la pupila reduce la aberración óptica que es grande en la periferia del cristalino, y aumenta la agudeza visual para objetos cercanos. Cuanto más cerca esté el objeto, mayor será el esfuerzo de acomodación.

El punto más próximo que el ojo puede ver claramente se llama "punto cercano" y representa la fuerza de acomodación.

Esta disminuye con el cansancio, de modo que luego de trabajos prolongados con alta exigencia visual, dicho punto se aleja. También la edad influye en esta propiedad. La pérdida progresiva de elasticidad del cristalino que se produce con el correr del tiempo, tiene como consecuencia un alejamiento del punto cercano, por falta de capacidad de acomodación. En la tabla siguiente se observa tal fenómeno:

Edad (años)	Distancia al punto cercano (cm)
16	8
32	12,5
44	25
50	50
60	100

El tiempo de acomodación también aumenta con la edad. Mediante el uso de anteojos se puede conseguir la corrección óptica correspondiente.

Determinadas condiciones del puesto de trabajo, tales como nivel de iluminación y contraste, influyen marcadamente en la acomodación. La escasez en los mismos hace perder velocidad y precisión.

#### b) Apertura de las pupilas

El tamaño de las mismas está regulado por:

- *la cantidad de luz*. En la vida diaria éste es el factor más importante. Así como en una cámara fotográfica la apertura del diafragma previene la sub o sobre-exposición de la película, del mismo modo la apertura de las pupilas regula la llegada de luz a la retina.

Con el aumento de luz se dispara un reflejo nervioso que adecua el tamaño de la pupila, sin intervención consciente (según se vio en la fig. 96). Esto demanda un tiempo que varía entre décimas de segundo a un segundo.

Sin embargo, con una brusca e intensa iluminación siempre se produce una sobre-exposición ya que la pupila se cierra con una velocidad menor que la de la luz.

- *la distancia al objeto observado*: en la visión cercana la pupila se estrecha, con la lejana se amplía.
- *estímulos vegetativos*: el miedo, la alegría, el dolor, los pensamientos tensionantes y las tareas intensas dilatan las pupilas; el cansancio y la monotonía las estrechan.

#### c) Adaptación de la retina

Cuando por la noche miramos los faros de un coche, éstos nos encandilan; sin embargo, esto no ocurre durante el día.

Si durante el día vamos a un cine donde la película ya comenzó, el lugar nos parece totalmente oscuro; al cabo de unos minutos nos parece más claro y comenzamos a

percibir detalles. Estas experiencias son consecuencia de una adecuación inmediata de la sensibilidad de la retina a las condiciones dominantes de iluminación. En la oscuridad aumenta la sensibilidad varias veces (predominio de bastones), por eso nos encandilamos de noche. Lo contrario ocurre durante el día.

Los procesos de adaptación dependen de factores fotoquímicos y nerviosos, gracias a lo cual podemos ver tanto a la luz de la luna como a pleno sol, aunque la diferencia de iluminación tiene una relación de 1:100.000.

El tiempo de adaptación a la oscuridad es más largo, cuanto mayor sea la diferencia de claridad. El paso de la luz del día a un lugar oscuro produce una rápida adaptación en los primeros cinco minutos, y luego transcurre lentamente. Una adaptación total se logra recién después de una hora (a los 25 minutos se alcanza aproximadamente el 80% de la sensibilidad final).

La adaptación a la claridad es más rápida. Una quinta parte de la sensibilidad ya cambia en los primeros 0,05 segundos. Tiene dos fases: una nerviosa al principio y fotosensible en segundo término. La reducción de la sensibilidad involucra toda la retina incluyendo la fovea, y en forma simultánea para ambos ojos.

Finalmente, la sobreiluminación de la retina produce un trastorno llamado encandilamiento, que puede ser:

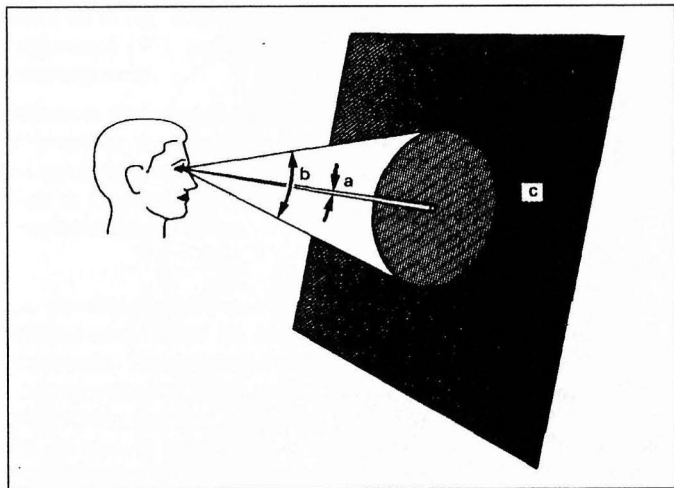
- *relativo*: por diferencia de claridad de las distintas superficies de un campo visual.
- *absoluto*: por ejemplo el producido por el sol
- *de adaptación*: al salir de un lugar oscuro a uno claro.

## 2.4. Campo visual

Es la parte del mundo circundante que se puede abarcar sin mover ni la cabeza ni los ojos y ver nítidamente dentro de un pequeño cono (con un ángulo visual de  $1^\circ$ ). A medida que nos apartamos de este eje, los objetos se ven borrosos. Por ejemplo: si quisiéramos leer sin movilizar los ojos, podríamos abarcar claramente sólo un pequeño grupo de letras; en realidad, se lee saltando por grupos de aproximadamente doce letras.

De acuerdo con lo que observamos en la fig. 96, se pueden diferenciar en el campo visual tres zonas:

- 1) *zona de visión nítida*, con un ángulo visual de  $1^\circ$  (a);
- 2) *campo medio*, con un ángulo visual de  $40^\circ$  (b), y
- 3) *campo periférico* que corresponde a un ángulo visual entre  $40^\circ$  y  $70^\circ$  (c)

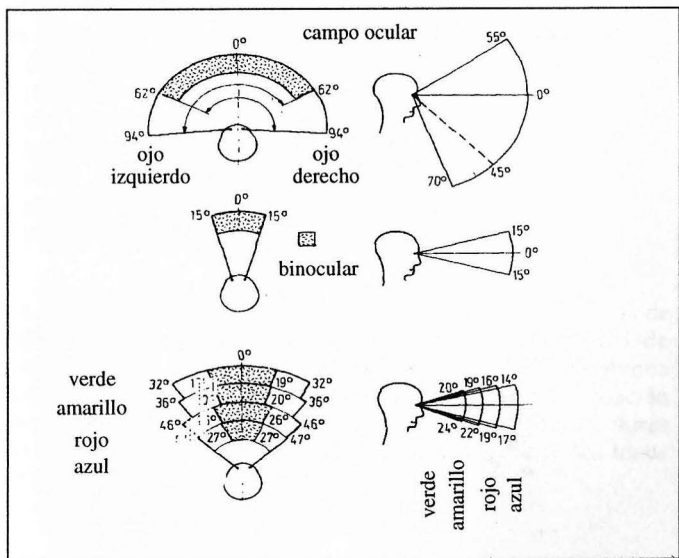


**Figura 97**  
Campo visual

En el campo medio no es posible la visión clara, pero sí la percepción de movimientos y de contrastes fuertes. Dentro de este campo la vista pasa rápidamente de un objeto a otro de modo que la percepción visual permanezca inalterada.

Por último, en el campo periférico, limitado por la frente, nariz y pómulos, se perciben predominantemente movimientos.

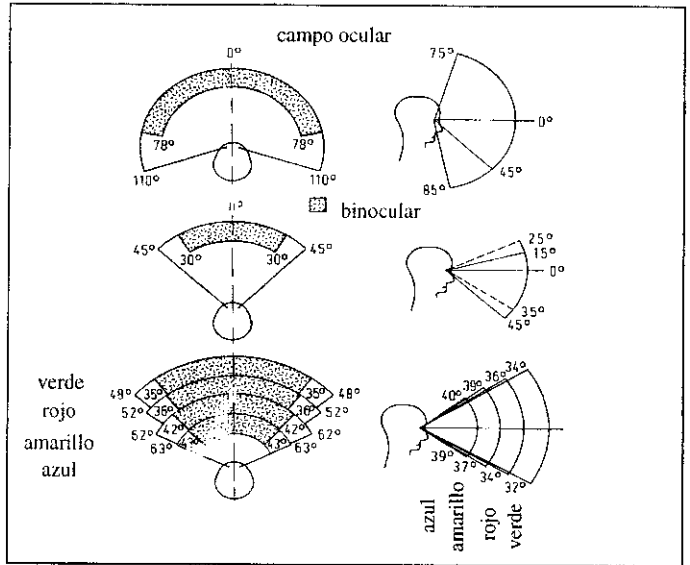
En las fig. 98, 99 y 100 observamos que, con respecto al plano vertical, en posición descansada, la cabeza está  $10^\circ$  y  $15^\circ$  inclinada hacia el tronco y por lo tanto, los ojos están cerca de  $15^\circ$  a  $20^\circ$  inclinados hacia abajo.



**Figura 98**  
Tamaño del campo visual manteniendo la cabeza y los ojos sin movimiento



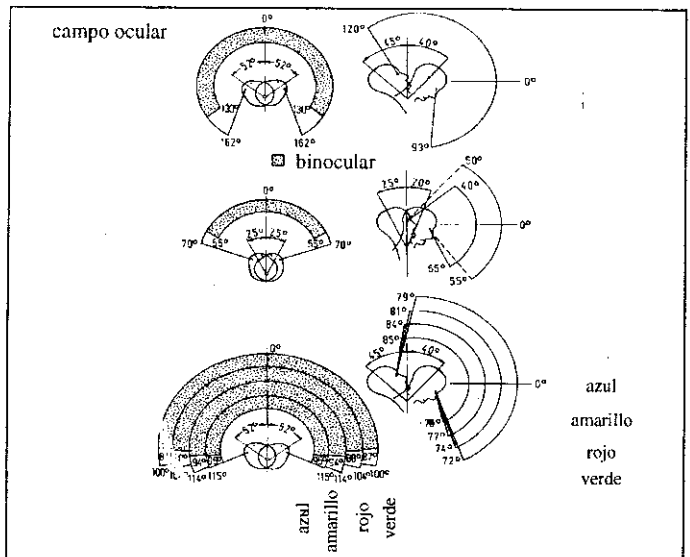
**Figura 99**  
Tamaño del campo visual manteniendo la cabeza fija y moviendo los ojos



persona sentada tiene un campo visual óptimo de cerca de 25° - 35° por debajo de la línea horizontal (fig. 98).

Hay que recordar que los cambios ocasionados por la variación de posiciones influyen en el campo visual. Aproximadamente los mismos valores corresponden a la posición de pie. Los objetos se deben situar en un ángulo visual de 10° a 35°. Los movimientos de los ojos y cabeza aumentan esas áreas según

**Figura 98**  
Tamaño del campo visual ampliado



se ve en la fig. 100. No se debe ubicar objetos por encima de la horizontal ( $0^\circ$ ), para evitar problemas de encandilamiento y convergencia.

Mientras tanto, en el plano horizontal, la superficie para ubicar objetos es mayor (movimientos más fáciles). El ángulo recomendado es de aproximadamente  $15^\circ$  para ubicar objetos. Este se amplía a  $30^\circ$  si hay movimiento de ojos y a  $65^\circ$  si hay movimiento de cabeza.

La condición para una visión aguda con ambos ojos es el entrecruzamiento de sendos ejes ópticos sobre el objeto observado. De esa forma caen ambas imágenes sobre las partes correspondientes de la retina. Si luego se fija la vista sobre un objeto más alejado, se deberá abrir el ángulo de ambos ejes a fin de que se vuelvan a cruzar sobre el nuevo objeto. Los movimientos de los globos oculares, provocados por la acción coordinada de los músculos externos del ojo, posibilitan así la *visión espacial*.

## 2.5. Visión espacial

Existen tres mecanismos por los que se tiene percepción de distancia de los diferentes objetos del campo visual:

## 2.6. Visión de profundidad

- 1) *tamaño relativo*: mediante este mecanismo el cerebro interpreta automáticamente las distancias por comparación de los tamaños de los objetos (menor tamaño = mayor distancia).
- 2) *paralaje*: la comparación se hace a partir del movimiento de dos objetos a distintas distancias con respecto al ojo.
- 3) *esteropsia*: es posible gracias a la correspondencia del lugar de formación de la imagen en las dos retinas; cada una capta parcialmente la imagen. Los detalles no captados por una, son captados por la otra; el cerebro hace la integración tomando en cuenta todos los detalles. Este mecanismo no sirve para distancias mayores a 60 m, y a su vez, es perjudicado por trastornos específicos del globo ocular, y por la visión monocular (ver más adelante).

La visión de los colores es consecuencia de la estimulación de los conos, para lo cual es necesario un alto nivel de iluminación. La percepción alterada de los colores abarca desde la ceguera total para ellos, hasta una pequeña desviación en personas de visión normal; en otros casos, algunos colores no se ven o se ven falseados (generalmente cambian los tonos de rojo y verde).

## 2.7. Visión cromática

## 2.8. Capacidad visual

La misma está dada por:

- 1) la agudeza visual,
  - 2) la sensibilidad al contraste, y
  - 3) la velocidad de percepción.
- 1) Por *agudeza visual* se entiende la capacidad de reconocer las superficies u objetos mas pequeños. Está ligado a la aptitud de resolución del sistema óptico.

Para una agudeza visual normal es necesario que ocurran además permanentemente pequeños movimientos oculares (de aproximadamente 1° de ángulo) ya que los receptores retinales se cansan rápidamente.

La dependencia de la agudeza visual con respecto a las condiciones de iluminación y al tipo de tarea visual, obedece a las siguientes reglas:

- la agudeza crece con el nivel de iluminación y llega a un máximo con 5.000 abs (abs = 0,32 Cd/m<sup>2</sup>); entre 1 y 5.000 abs aumentará aproximadamente 150%,
- la agudeza aumenta con la diferencia de nivel luminoso,
- la agudeza es mayor para objetos oscuros sobre fondo claro, que para la situación inversa.

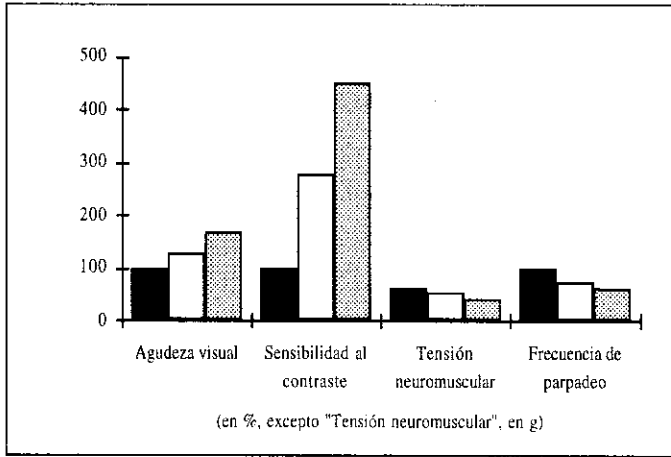
- 2) *Sensibilidad al contraste*: es la posibilidad de apreciar la menor diferencia de iluminación.

Se define por el reconocimiento de sombras, irregularidades, etc, fundamentales al apreciar formas (tareas de control, inspección, etc). Con respecto a ella son válidas las siguientes reglas:

- la sensibilidad es mayor para grandes superficies que para pequeñas,
- también es mayor para bordes definidos,
- crece con la intensidad de la iluminación ambiente, siendo máxima entre 200 y 10.000 abs,
- y es mayor cuando la periferia del campo visual es más oscura que el resto.

- 3) *Velocidad de percepción*: es el tiempo que transcurre entre la presentación de un objeto y su reconocimiento. Esta propiedad, fundamental en tareas de conducción de vehículos, lectura de instrumentos, etc, aumenta cuanto más alto es el nivel de iluminación ambiente y mayor la diferencia de iluminación entre el objeto y el entorno.

En la fig. 101, que muestra el resultado de experiencias de laboratorio realizadas por Lukkiesch y Moss, se aprecia la clara relación existente entre intensidad de iluminación, tensión



**Figura 99**  
Relación entre intensidad de iluminación y agudeza visual, sensibilidad al contraste, tensión neuromuscular y frecuencias de parpadeo

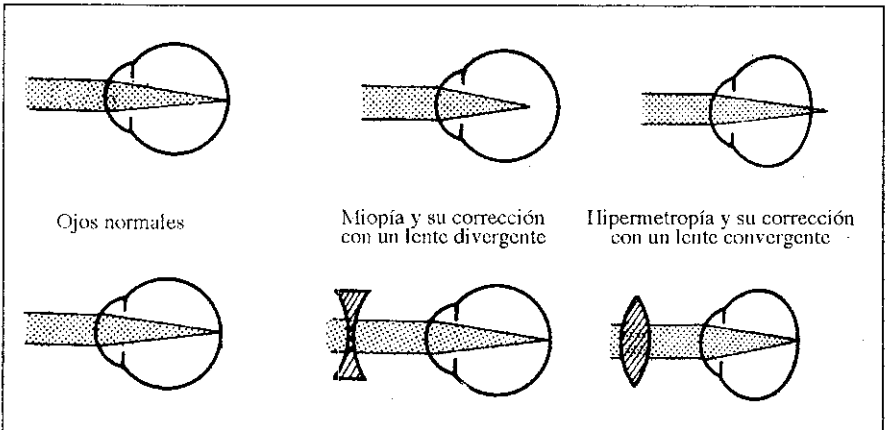
nerviosa y frecuencia de parpadeo (como indicador indirecto de cansancio).

La visión normal puede estar alterada por trastornos propios del aparato visual (por ejemplo: vicios de refracción), o como consecuencia de condiciones relativas al medio de trabajo (ejemplo: iluminación inadecuada - agentes irritantes - etc.) o a la edad del individuo (ej.: presbicia - cataratas).

Los vicios de refracción comprenden a:

1. **Miopía:** el aumento del diámetro anteroposterior del ojo hace converger los rayos en un plano anterior al de la retina, provocando disminución de la agudeza visual para ver de lejos y mayor facilidad para ver de cerca.
2. **Hipermetropía:** el diámetro anteroposterior disminuido del ojo hace que los rayos luminosos formen la imagen en un plano posterior al de la retina. Esto produce incomodidad, por necesidad de recurrir a más mecanismos auxiliares para conseguir agudeza visual (músculatura externa forzada) además de cefaleas, lagrimeo, dolor ocular. Si el defecto es muy importante existe dificultad en la visión cercana.
3. **Astigmatismo:** en este caso los rayos convergen en distintos planos como consecuencia de las diferencias de curvatura en los medios ópticos. Si el defecto es pequeño, se compensa, en caso contrario, se produce disminución de la agudeza visual.
4. **Presbicia:** la causa de esta alteración es la pérdida de la elasticidad de las estructuras ópticas como consecuencia de la evolución natural del individuo. Se manifiesta por disminución de la agudeza visual para visión cercana.

## 2.9. Alteraciones del aparato visual



**Figura 102**  
Representación  
esquemática de  
los distintos  
vicios de  
refracción

La falta de reconocimiento de la presencia de estos cuadros o la de una apropiada corrección óptica, llevan a situaciones de cansancio visual, caracterizadas por cefaleas, dolor ocular, irritación de conjuntivas y párpados, lagrimeo, etc. El esfuerzo excesivo como consecuencia de condiciones de trabajo no ergonómicas (iluminación, distancias, tiempos de presentación, etc. inadecuados) lleva a manifestaciones similares, y favorece la aparición de cansancio general, con la consecuente disminución de la seguridad y la eficiencia.

Factores de medio ambiente tales como irritantes físicos o químicos, radiaciones y altas temperaturas, provocan alteraciones de las estructuras ópticas, en forma de conjuntivitis y cataratas, entre otras. El estrabismo, como los accidentes o la deficiencia visual acentuada de un ojo, pueden llevar a una visión monocular, con la consiguiente pérdida de profundidad, del 33% de la visión total y un sexto del campo visual.

## 2.10. Evaluación de la capacidad visual

Se debe diferenciar entre un estudio de rutina hecho en el consultorio de una fábrica, de aquel otro más minucioso y realizado con instrumental más sofisticado, a cargo del oftalmólogo. De todos modos, con el primero se puede estudiar agudeza visual de cerca y de lejos, visión cromática, detección del punto cercano, detección de foria o tropia (estrabismo latente o verdadero) y campo visual.

### 3. Técnica de iluminación y su relación con la fisiología de la vista

El objetivo de toda técnica de iluminación es proporcionar al aparato visual la cantidad y calidad de luz necesaria para captar la información visual. Con el fin de poder diseñar adecuadamente la iluminación necesaria, se requieren conocimientos básicos de fisiología.

Para poder captar la información visual, es necesario cumplir con tres condiciones mínimas:

1. El detalle que se quiere reconocer debe poseer un contraste mínimo respecto del resto del objeto o de las superficies adyacentes. Esta diferencia de contraste puede darse por:
  - diferencia de luminancia entre objetos del mismo color
  - diferencia de color entre objetos que poseen la misma luminancia
  - en general estos casos se combinan, obteniéndose contrastes por luminancia y color.
2. El detalle a reconocer debe superar un tamaño mínimo, de lo contrario resulta irreconocible. Con la ayuda de lupas, microscopios, etc. se puede aumentar las imágenes de objetos muy pequeños y hacerlos visibles.
3. Ya sea el detalle a reconocer, o el medio circundante, deben poseer una luminancia mínima. Un objeto fácilmente reconocible de día se vuelve invisible de noche. El ojo humano necesita una cantidad mínima de luz para poder ver. Su capacidad de adaptación tiene un límite definido.

De estas tres condiciones, la primera, el contraste, no siempre puede ser variado a voluntad. Lo mismo ocurre con el tamaño. Para ver un objeto muy pequeño puede intentarse acercarlo lo más posible a la vista pero esto también está limitado. El ojo tiene una distancia de visión óptima dada por la acomodación del cristalino. La única variable efectiva es la cantidad de luz.

Un estudio realizado en un puesto de trabajo con tareas de clasificación muestra claramente la relación entre cantidad de luz y resultado del trabajo. En este estudio, con 30 lux de iluminación se obtuvo un rendimiento de 100%.

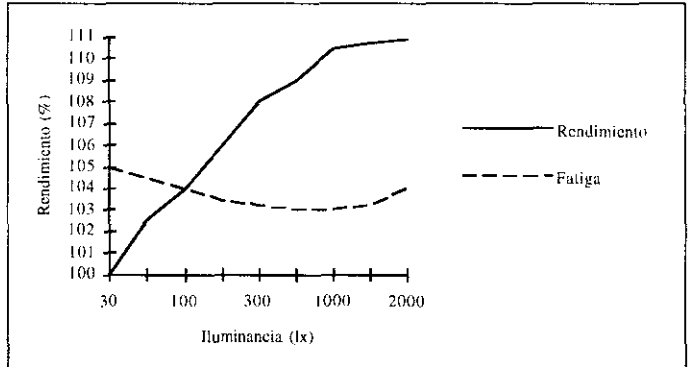
Incrementando la iluminación a 1000 lux el rendimiento aumentó a 110% y disminuyó la fatiga. Todo esto se encuentra graficado en la fig. 103.

#### 3.1. Objetivos

#### 3.2. Condiciones mínimas

#### 3.3. Relación entre la cantidad de luz y rendimiento laboral

**Figura 103**  
Influencia de la iluminancia sobre el rendimiento



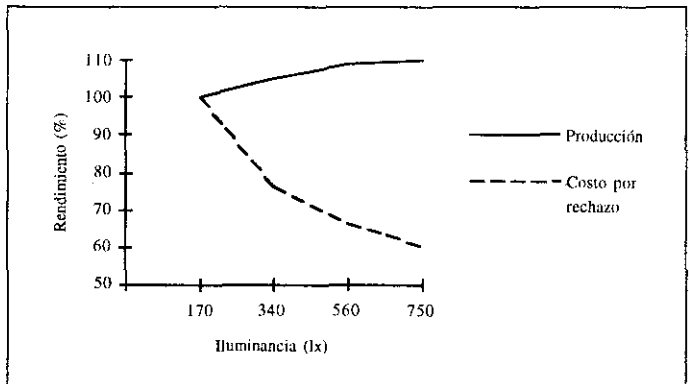
Lo mismo pudo comprobarse en un taller textil (ver fig. 104): al aumentar la iluminación de 170 a 750 lux, el rendimiento pasó de 100 a 110,5%, y los costos por fallas bajaron de 100% a 60,4%<sup>1</sup>.

## 4. Recomendaciones

Para la realización de tareas visuales complicadas que requieran un alto grado de sollicitación al aparato ocular, son necesarias luminancias de adaptación iguales o superiores a 100 cd/m<sup>2</sup>.

Desde el punto de vista técnico, los valores de iluminación se dan en lux, ya que son más fáciles de medir y relacionar con los artefactos generadores de luz.

**Figura 104**  
Influencia de la iluminancia sobre el producto y los rechazos (Vallat)



<sup>1</sup> GRANDJEAN, *Fisiología del puesto de trabajo*, 2da. edición, Thun, München, 1967

Escala	Iluminancia nominal (lux)	Clasificación de las tareas visuales
1	15	-
2	30	Orientación Sólo permanencia transitoria
3	60	-
4	120	Tareas visuales sencillas Detalles grandes, con alto contraste
5	250	-
6	500	Tareas visuales normales Detalles medianos con contraste moderado
7	750	-
8	1000	Tareas visuales complejas Detalles pequeños con bajo contraste
9	1500	-
10	2000	Tareas visuales muy complejas Detalles muy pequeños con muy bajo contraste
11	3000	-
12	5000 y más	Casos especiales p.ej. salas de operación

**Figura 105**  
Tabla de valores orientativos de iluminación nominal (lux) para diferentes tareas

Se reproduce en la fig. 105 una tabla con valores de lux ordenados en una escala de acuerdo con la norma DIN 5035.

La capacidad de la vista para captar diferencias de luminancia depende del nivel de iluminación general del campo visual. Esta habilidad alcanza su máximo para luminancias que varían entre 65 y 3.000 cd/m<sup>2</sup>. Dentro de este ámbito, la vista es capaz de apreciar diferencias de luminancia de un 2%. Con baja iluminación (una calle oscura 0,03 a 3 cd/m<sup>2</sup>) la diferencia de luminancia debe alcanzar entre un 15 a un 30% para poder distinguirlas entre sí.

- Cuanto más bajos sean los grados de reflexión de los objetos de trabajo, tanto mayor deberá ser la iluminación.

El ojo capta la luz reflejada por los objetos y no la luz que proviene directamente de la fuente. Aquí se cumple la fórmula citada anteriormente.

*Luminancia = Coeficiente de reflexión x iluminancia*  
es lo que                      característica                      cantidad de luz  
capta el ojo                      de los objetos                      de la fuente

Los objetos de bajo coeficiente de reflexión absorben mucha luz, de modo que para poder verlos habrá que aumentar la cantidad de luz que reciben.

- El rendimiento visual máximo se logra cuando la superficie de trabajo propiamente dicha posee la cantidad de luminancia adecuada y el ambiente circundante se encuentra iluminado lo mínimo imprescindible pero no totalmente a oscuras. En caso de que se requiera un cambio muy frecuente de visión entre el área de trabajo y el ambiente circundante, esta diferencia no debe ser mayor a 10:1.



En muchos casos de trabajos nocturnos, se comete el error de iluminar demasiado el área de trabajo y por razones de economía energética, se mantiene el resto del ambiente a oscuras. Esta es una de las causas de accidentes ya que la vista se adapta a los altos niveles de iluminación. La adaptación a la oscuridad lleva un tiempo, en consecuencia, por unos instantes la visión es dificultosa. Durante este período el riesgo de no ver un obstáculo es muy alto. A la inversa, cuando la vista se encuentra habituada a un bajo nivel de iluminación, y de pronto se mira a un área muy iluminada puede aparecer el fenómeno de encandilamiento. En el caso de tubos fluorescentes el peligro de encandilamiento disminuye, si se colocan los tubos transversales a los puestos de trabajo, y no en forma paralela a los mismos.

Los valores de cálculo con los que se planifica una instalación de luz se basan en datos válidos para las luminarias y las lámparas nuevas. Con el tiempo el envejecimiento de los artefactos y la suciedad depositada sobre los mismos produce alteraciones. Un buen mantenimiento de la instalación resulta imprescindible si se desea mantener la iluminación a nivel necesario.

La vista constituye el principal órgano de información. Su correcto funcionamiento depende de la cantidad y de la calidad de la luz.

Finalmente, en el diseño de las condiciones visuales del trabajo se deben prevenir aquellos cambios que redunden en disminución de la agudeza visual tales como:

- dificultad para la visión cercana o lejana, o visión cromática, por trastornos o cambios fisiológicos del sistema óptico y escasa transformación del estímulo luminoso en la retina.
- y los relacionados con la edad, que disminuye las propiedades visuales y aumenta la sensibilidad para las molestias.

En cuanto a los factores psicológicos, son aquellos que, partiendo del medio ambiente, influyen en la sensibilidad y forma de relación del trabajador. Ellos son importantes para la conexión visual con el entorno y la distribución de luz y color en el ambiente.

# Iluminación

## Glosario técnico

- Flujo luminoso* Cantidad de luz que una fuente irradia en un segundo. Se representa por la letra griega  $\phi$ . Su unidad es el *lumen* (*lm*). Un lumen es el flujo luminoso de la radiación monocromática caracterizado por una frecuencia de  $540 \times 10$  Hertz y por un flujo de energía radiante de 1/683 vatios.
- Grado de reflexión* Relación porcentual entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente sobre una superficie.
- Iluminancia* La relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y la extensión de la superficie. Se representa por la letra latina E y su unidad es el *lux* (*lx*).
- Intensidad luminosa* Flujo luminoso emitido por una fuente puntual por unidad de ángulo sólido ( $\omega = \text{omega}$ ), en una dirección determinada. Su unidad es la *candela* (*cd*). Se representa por la letra latina I.
- Luminancia* La intensidad luminosa que incide sobre una superficie visible; es una medida relacionada con la impresión de luminosidad captada por el ojo. Su unidad es la *candela por metro cuadrado* ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Se representa por la letra latina L.
- Rendimiento luminoso* La relación entre el flujo luminoso emitido medido en lumen, y la potencia eléctrica consumida, medida en watt. Su unidad es *lm/w* y se representa por la letra griega  $\eta$ .

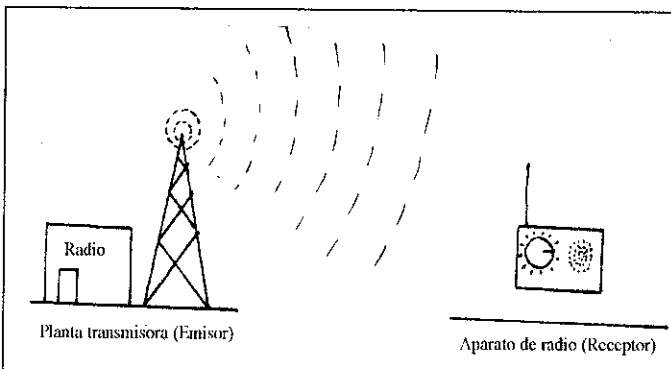
# V. Radiaciones electromagnéticas

## 1. Introducción al concepto de radiaciones electromagnéticas

Cuando se enciende un aparato de radio, se establece la recepción de una energía muy singular. Su origen está en la planta transmisora, la cual lanza al espacio energía en forma de ondas.

Estas ondas viajan por el espacio y son captadas por la antena del radio-receptor. Su energía es relativamente pequeña, por eso es que el receptor tiene un circuito de amplificaciones para transformarla en una señal audible.

A diferencia del sonido, que necesita un medio material para ser transmitido, las ondas electromagnéticas se transmiten aún en el vacío. El sol es una gigantesca fuente de energía electromagnética. Esta energía enviada por el sol cruza el vacío a una velocidad de 300.000 km/seg. La luz forma sólo una parte de su total de energía. El sol envía también calor, como radiación infrarroja.



**Figura 106**  
Esquema emisor-receptor

El efecto que provoca el “tostado” sobre la piel se debe a la acción de la radiación ultra-violeta. La piel se defiende generando un pigmento protector.

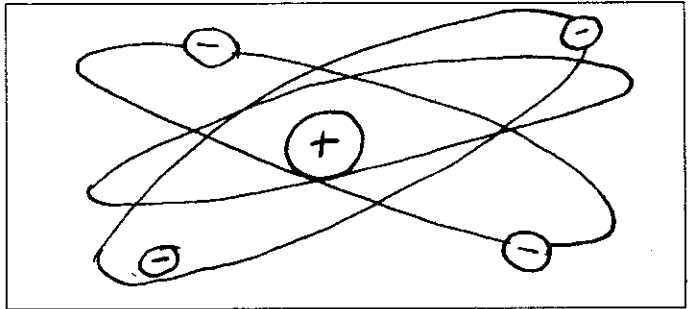
Como todo fenómeno ondulatorio, la onda electromagnética queda definida por las siguientes propiedades:

- intensidad de la radiación
- frecuencia de la radiación
- longitud de la onda.

#### • Concepto de ionización

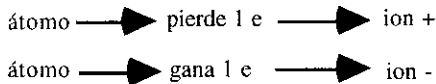
La unidad básica de la materia se denomina *átomo*. Este está formado por un núcleo y una cantidad de electrones girando a su alrededor.

**Figura 107**  
Esquema del  
átomo



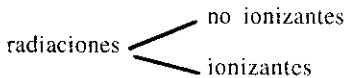
Eléctricamente el átomo se comporta en forma neutra, siempre y cuando haya igual cantidad de *protones* (carga positiva del núcleo) y de *electrones* (carga negativa de la periferia).

Si por algún medio se elimina o se agrega un electrón, el átomo ya no queda neutro y se transforma en un *ión*.



Ciertas ondas electromagnéticas son tan potentes que provocan la ionización de la materia que las absorbe. Por ejemplo, los llamados rayos X pueden producir iones en el tejido vivo donde inciden.

Otras radiaciones en cambio no poseen esta propiedad, por lo que se denominan radiaciones no ionizantes.



Las radiaciones electromagnéticas actúan sobre el organismo humano. Su acción difiere mucho en tanto se trate de radiaciones no ionizantes o ionizantes, por lo que cada una de ellas requiere un tratamiento individual.

## 2. Radiaciones no ionizantes

Son radiaciones electromagnéticas que no son capaces de producir ionización.

### 2.1. Definición

Recordemos que están incluidas en esta categoría las siguientes radiaciones.

### 2.2. Efecto sobre el hombre

- 1) Radio
- 2) Microondas
- 3) Radar
- 4) Infrarrojas
- 5) Luz visible
- 6) Ultravioleta
- 7) Láser

Las tres primeras producen efectos térmicos y moleculares; las zonas ultravioleta y visible producen reacciones fotoquímicas y fluorescentes; en tanto en la gama del infrarrojo los efectos son térmicos, al igual que en los láseres de alta intensidad.

De todos modos, el espectro de radiaciones no ionizantes es tan amplio que todos sus efectos se presentan simultáneamente.

#### a) Efectos biológicos

Los peligros que acarrearán estas radiaciones sobre la materia orgánica en la cual inciden están relacionados con su longitud de onda y su energía. Las de mayor longitud de onda (radiofrecuencia, microonda) y menor energía, representan menor riesgo.

Las de radiofrecuencia inducen corrientes de desplazamiento en semiconductores, responsables de la transformación de energía electromagnética en calor. Pero para que exista aumento de temperatura de un cuerpo por este mecanismo, el diámetro del mismo debe ser igual por lo menos al décimo de la longitud de onda de la radiación que lo afecte. Por ejemplo: radio-frecuencias con una longitud de onda mayor a 20 m [frecuencia menor a 15 Megahertz (Mhz)] no acarrearán peligros de calentamiento para el cuerpo humano.

Se han observado cambios morfológicos y funcionales en organismos humanos y animales, como consecuencia de exposiciones agudas o crónicas a radiofrecuencias. Estos fenómenos pueden ser clasificados en:

- térmicos
- no térmicos

• Efectos Térmicos:

Los hombres y animales pueden absorber entre 20 y 100% de la energía de estas radiaciones (con frecuencias > 15 Mhz) y transformarla en calor. La capacidad está en relación directa con el contenido de agua de los tejidos, la superficie corporal expuesta, la densidad de potencia<sup>1</sup> y el espesor y distribución del tejido adiposo (que determinará la profundidad de penetración de la radiación).

Cuando la cantidad de calor producido por absorción de energía es mayor que la que puede ser disipada en el ambiente, la temperatura del cuerpo aumenta. Esto está influenciado por factores que:

I) reducen la exposición a la radiación o favorecen la disipación de calor:

- exposición intermitente. Ej.: antena rotativa
- corrientes de aire
- ropa protectora, etc.

II) o tienen efecto contrario:

- duración de la exposición: la absorción aumenta a medida que el tiempo se prolonga
- humedad y temperatura ambiente altas, que interfieren la disipación
- tipo de ropa

<sup>1</sup> densidad de potencia = potencia radiante/área expuesta = W/cm<sup>2</sup>

- tejidos del cuerpo: gruesas capas adiposas facilitan la penetración y entorpecen la disipación
- reflexiones: conducen a una concentración de la energía radiante.

Se han comprobado marcadas diferencias individuales de sensibilidad a estas radiaciones. Por su parte, a nivel de los tejidos estas diferencias están dadas por:

- el grado de vascularización de los mismos (que determina la posibilidad de intercambio térmico con el medio ambiente)
- la frecuencia de mitosis (divisiones celulares)
- y el grado de diferenciación celular.

Así, tejidos del ojo (especialmente el cristalino), testículos y sistema nervioso central, muestran gran sensibilidad a las radiaciones por radiofrecuencia. En el primer caso, la formación de cataratas es la consecuencia de la muy baja capacidad de difusión térmica (por deficiencia en vasos sanguíneos) de este tejido, unida a la inhibición de las mitosis y diferenciación celular que se produce por el aumento de temperatura.

La afección del sistema nervioso central y por su intermedio el trastorno funcional de distintas partes del cuerpo, es el resultado de la conjunción de varios factores:

- la forma esférica del cráneo, que al facilitar la difracción y reflexión de la radiación, crea áreas de energía más concentradas que otras
- el grosor de los huesos craneanos y el alto contenido lipídico del tejido cerebral, que facilita la penetración e impide la disipación del calor
- y la estructura reticular de estos tejidos (especialmente a nivel cortical e hipotalámico), que los hace más sensibles.

• Efectos no térmicos:

Incluyen los específicos de campos eléctricos y magnéticos, las influencias desmoduladoras y la excitación de niveles moleculares de energía. El primero de estos efectos no se da en el cuerpo humano ya que no posee estructuras histológicas libres mayores de 15 mm pasibles de ser polarizadas bajo la influencia de dichos campos electromagnéticos. Por el contrario, el efecto

desmodulador sí es posible en aquellos órganos, como corazón y sistema nervioso central, que poseen una actividad eléctrica especial. Al respecto, existen investigaciones que muestran alteraciones en la frecuencia y amplitud de las ondas del electrocardiograma y electroencefalograma. Es posible que esto sea expresión de una estimulación directa de las radiaciones de radiofrecuencia sobre las membranas responsables de dicha actividad eléctrica.

Finalmente, la energía de tales radiaciones puede provocar la vibración de macromoléculas, moléculas y átomos, y por medio de este mecanismo, catalizar (acelerar) reacciones enzimáticas y químicas, a pesar de estar ese efecto limitado a bandas de frecuencia muy estrechas.

Otro tipo de radiación no ionizante, proveniente de hornos, procesos por arco y metales o vidrio fundidos, es la *infrarroja*. Cuando es de onda corta ( $< 1,5$  nm) produce efectos directos sobre la piel: quemaduras, vasodilatación y aumento de la coloración. Cuando la acción es intensa y sobre los párpados, origina la aparición de enrojecimiento y ampollas, mientras que si la exposición se repite y a dosis menores, da lugar a inflamación crónica de los mismos. Si la intensidad fuera alta y la longitud de onda más larga, se llegaría a afectar la córnea, mientras que otras estructuras del ojo, como iris, cristalino y retina, se dañan con longitudes de onda más cortas. El dolor que se asocia a todas estas manifestaciones excluye la aparición de otras. Por este mismo motivo, la probabilidad de que se produzca una quemadura de retina durante un proceso industrial es bastante rara, salvo en aquellos casos, como los láseres, en que intensas fuentes de irradiación llegan a producir muy altas dosis en fracciones de segundo, antes de que el dolor se haga evidente.

La exposición continua a radiaciones infrarrojas de onda corta es responsable de afecciones crónicas del cristalino, también conocidas como cataratas de los vidrieros.

La parte *visible* del espectro tiene efectos transitorios que no causan daños a las estructuras oculares, salvo en aquellos casos (cuerpos altamente incandescentes) en que la cantidad de energía es suficientemente alta como para producir efectos térmicos.

Por último, la radiación *ultravioleta* proveniente del sol o de fuentes de luz del tipo fluorescente, incandescente o de descarga gaseosa, u operaciones de soldadura, soplete con plasma de arco eléctrico y láseres, es causa de



distintos tipos de afecciones.

La absorción de la energía ultravioleta inicia cambios químicos en algunas sustancias de la piel que pueden manifestarse al cabo de dos o más horas, en forma de intenso enrojecimiento, ampollas y descamación. Estos síntomas desaparecen al cabo de unos días sin dejar secuelas. Tal efecto depende de la longitud de onda de la radiación y de la pigmentación y grosor de la piel.

Las bandas de longitud de onda más bajas (< 320 nm) del espectro ultravioleta están relacionadas con la aparición de cáncer de piel, en personas expuestas crónicamente a ellas, como las que cumplen sus tareas a la intemperie. En estos casos las dosis diarias exceden a las suficientes para producir quemaduras en piel y ojos, propias de los trabajadores industriales.

El enrojecimiento y posterior oscurecimiento de la piel son consecuencias normales de la exposición a rayos ultravioletas. Por el contrario, cuando la piel contiene abundante material fotosensible esto da lugar a reacciones anormales de fotosensibilidad que se presentan en forma inmediata y ante dosis muy pequeñas. Estas manifestaciones acompañan a enfermedades tales como lupus y porfirias, o a la ingesta de algunos medicamentos.

La conjuntiva y la córnea del ojo también se ven afectadas por esta radiación; al igual que para la piel, los síntomas se presentan varias horas después de la exposición y se expresan como dolor, inflamación, fotofobia y lagrimeo; ceden varios días después y no dejan ni secuelas ni favorecen la tolerancia a esta agresión.

Tales quemaduras por efecto térmico son muy frecuentes en trabajos de soldadura.

Cabe recordar además, que junto con el resultado bactericida y virusida de las radiaciones ultravioletas (Ej.: lámparas para desinfección de aire y distintas superficies) de 250 nm de longitud de onda, se producen en el hombre los efectos adversos detallados anteriormente (eritemas de piel, queratitis, conjuntivitis).

Por último, la radiación de menor longitud de onda (<250 y <160 nm) produce disociación del O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> del aire que, en presencia de ciertos compuestos químicos (tetracloruro de carbono y tricloroetileno) dan origen a gases tóxicos.

### 2.3. Descripción de las distintas radiaciones no ionizantes, aparatos no ionizantes, aparatos de medición y medidas de protección

#### a) Radio-Frecuencia (RF)

Las ondas de radio-frecuencia tienen una frecuencia entre 100 khz y 300.000 Mhz, con longitudes de onda entre 3.000 m y 1 mm.

Se los puede clasificar en:

*onda larga* = 150 - 285 Khz

*onda media* = 525 - 1605 Khz

*onda corta* = 2 a 25 Mhz

*ultracorta* = 41 Mhz a 108 Mhz.

Las transmisiones de TV se realizan con onda ultracorta de 41 Mhz a 12 Ghz.

#### b) Micro-Onda (MO)

Abarcan una gama de ondas electromagnéticas que en parte se superponen con las de radio-frecuencia y que llegan hasta la zoná de las radiaciones infrarrojas.

Los aparatos de micro-onda se pueden clasificar en:

- *Emisores de micro-onda abiertos* : son emisores de radar, que trabajan en una frecuencia de 0,1 a 30 Ghz, con longitudes de onda de entre 3 y 0,01 m. La característica de las ondas de radar, es que se emiten en forma de un haz compacto, en pequeños impulsos de 0,1 a 50  $\mu$ s [micro-segundos = 1 seg (1.000.000)]. Las potencias utilizadas son, por ejemplo, en un radar de buques, 20 w; en aeropuertos 1 kw, y en estaciones satelitales hasta 100 Mw. En medicina se utilizan emisores de micro-onda de hasta 0,3 kw.
- *Emisores de micro-onda cerrados*: los emisores de micro-onda cerrados son hornos. Se están usando cada vez más como aparatos domésticos. En la industria también se los utiliza como hornos de secado, vulcanizado, etc. La frecuencia utilizada es de 2,5 Ghz, con longitud de onda 0,12 m. Los hornos de micro-onda domésticos tienen una potencia inferior a 1,5 Kw y en la industria llegan a 150 Kw.

#### • Campo de aplicación de los RF y MO

- Telecomunicaciones, radio, televisión, radar.
- Calefacción por alta frecuencia con fines terapéuticos (Diatermia) e industriales, equipos de soldadura de plásticos, etc.
- Aparatos e instrumentos científicos.

• Aparatos de medición

Se utilizan aparatos que miden la energía inducida. El campo electromagnético produce una corriente eléctrica inducida en la bobina de un instrumento eléctrico.

Pueden usarse calorímetros, en los que se utiliza el incremento de temperatura de un elemento que absorbe las ondas de radio-frecuencia y convierte la energía electromagnética en energía térmica.

• Medidas de protección

- *Establecer límites de exposición.*

Se debe respetar los valores de exposición que figuran en la tabla de la fig.108.

Mientras que, por encima de 30 Khz los valores están limitados por el efecto térmico, para bajas frecuencias lo decisivo es el efecto irritante, que independientemente del tiempo de exposición, resulta como consecuencia de los valores picos.

En la Unión Soviética, como resultado de las investigaciones sobre los efectos no-térmicos en la salud, los valores límites son de 100 a 1000 veces menores.

Para los hornos de micro-onda, el valor máximo de las radiaciones difusas a 5 cm, no debe superar los 50 w/m<sup>2</sup>.

En puestos de trabajo, a la salida de hornos semi-abiertos y en tareas de control y observación con permanencia continua, los valores de intensidad de campo a nivel de ojos, debe ser un 20% menor, que los de la tabla.

Para personas con marcapasos y para los que llevan prótesis metálicas, se deben determinar aún valores límite de exposición.

**Figura 108**

Tabla de valores límite efectivos para la exposición de personas a campos magnéticos

Frecuencia	Intensidad de campo eléctrico inducido (v/m)	Intensidad de campo magnético (a/m)	Densidad de potencia (w/m <sup>2</sup> )
1 Khz-30 Khz	1500	350	-
30 Khz-2 Mhz	1500	7,5/f	-
2Mhz-30 Mhz	3000/f	7,5/f	-
30 Mhz-3Ghz	100	0,25	25
3 Ghz-12 Ghz	100 f/3000	0,25 f/3000	25 f/3000
12 Ghz-100 Ghz	200	0,5	100

- Protección frente a efectos biológicos

Las instalaciones de alta potencia se deben disponer de tal manera que las radiaciones emitidas no incidan directamente sobre las personas. En el caso de antenas de radio y radar, elevando la altura de las instalaciones.

Las zonas en donde se superen los valores límites, deben estar señalizadas como zonas de peligro. Se deberá lograr que las fuentes se desconecten automáticamente ante la presencia de personas en ellas.

Los trabajos imprescindibles dentro de zonas que superen los valores límite, sólo serán permitidos si se advierte sobre el peligro a la persona encargada de la tarea, proporcionándole los elementos de protección necesarios, especialmente de protección ocular. Estos trabajos se realizarán bajo la supervisión de un especialista.

Todas las instalaciones que puedan producir fugas de ondas electro-magnéticas peligrosas deberán ser sometidas a un control técnico anual.

### c) Radiaciones infrarrojas

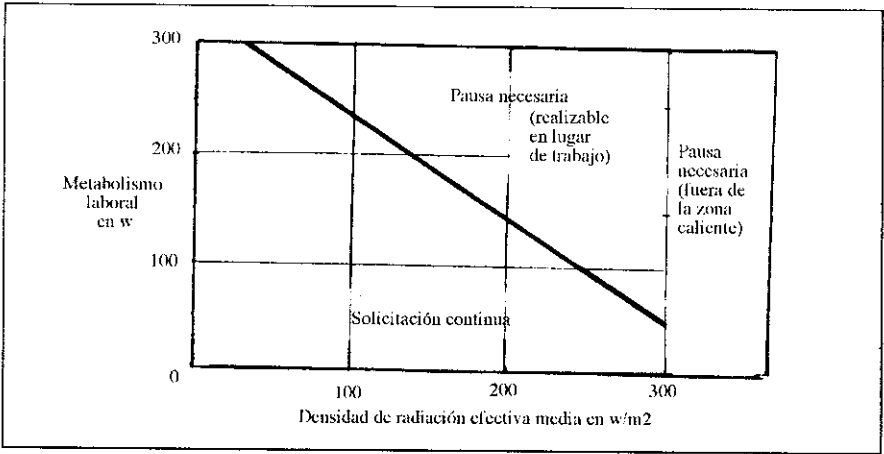
Las radiaciones infrarrojas se ubican inmediatamente por encima del espectro de luz visible con una longitud de onda de 0,78 mm a 80 mm. En especial las radiaciones de menor longitud de onda, entre 0,78 mm a 2 mm, se caracterizan por su alto poder térmico. Aparecen sobre todo en procesos térmicos, como por ejemplo en la fabricación de vidrio, en la industria del acero y en los procesos de soldadura. Su medición se expresa en unidades de potencia por  $m^2$  ( $W/m^2$ ).

- Medidas de protección

Se intentará separar las fuentes de radiación infrarrojas del contacto con las personas. En caso de no ser esto posible se procurará aislar las fuentes de radiación, mediante pantallas. Se pueden utilizar cortinas de agua, mallas de alambre, placas metálicas, etc.

El sistema de placas sandwich ha dado buen resultado: consiste en dos chapas de metal, separadas por un elemento aislante, por ejemplo, lana de vidrio, lana mineral, etc. Debe evitarse el uso de amianto en cualquiera de sus formas.

Si los medios técnicos no son suficientes, se deberá recurrir a la protección mediante la vestimenta. Para



carga por rayos infrarrojos de baja intensidad, se usan prendas de algodón. En caso extremo se puede recurrir a prendas de tejido reflexivo.

Para evitar las cataratas por rayos infrarrojos se deben usar anteojos. El cristal actuará como filtro para las radiaciones peligrosas pero no debe dificultar la visión. También es recomendable el uso de cristales espejados.

Cuando la carga radiante es continua y de valores elevados, se deberán implementar pausas de recuperación, las cuales se otorgarán en función del esfuerzo muscular, de la temperatura efectiva y de la radiación térmica.

La norma DIN 33403 T3, establece que las pausas recomendadas para densidades de radiación superiores a  $300 \text{ w/m}^2$  deben hacerse efectivas en lugares alejados de la zona con carga radiante.

**Figura 109**  
Límites de  
solicitud  
continua, bajo  
carga térmica por  
calor radiante

#### d) Radiaciones ultravioleta

Son radiaciones de onda corta, dentro del rango de 10 a 360 nm. de longitud de onda. Aparecen sobre todo, en los procesos de soldadura por arco-eléctrico.

El sol es la principal fuente de emisión de rayos ultravioletas. Una gran parte de estos rayos son filtrados por la atmósfera, especialmente por una delgada capa de ozono.

Investigaciones recientes han confirmado la sospecha de que ciertos compuestos químicos gaseosos destruyen la capa de ozono, originando los llamados "agujeros de ozono". Los fluoroclorados, como el Freon, serían los responsables de este fenómeno.

• Medidas de protección

*1. Uso de pantallas:*

Se debe tratar de aislar la fuente de radiación mediante pantallas, por ejemplo, en el caso de máquinas de soldar automáticas para que las radiaciones no se reflejen, dañando a personas ubicadas dentro de la zona de rebote del haz.

Conviene separar los puestos de trabajo donde se realicen operaciones de soldado por arco-eléctrico, mediante cortinas absorbentes de radiación. El tejido de fibra de vidrio se presta muy bien a este fin.

*2. Filtro de protección:*

Cuando se observa el arco de soldadura, se deben utilizar vidrios especiales. Conviene tener bien identificado el origen de estos vidrios, marcando sobre su superficie los datos del fabricante, quien deberá además proveer toda la información técnica necesaria, como por ejemplo, el grado de protección.

Para trabajos de soldadura sobre cabeza, el filtro debe estar confeccionado en vidrio compuesto (dos láminas de vidrio y en el medio una película de celuloide transparente) o de material plástico especial, para evitar accidentes por astillado.

*3. Protección personal*

En caso de radiación ultravioleta intensa se deben utilizar elementos de protección para todo el cuerpo: por ejemplo, guantes y delantales de cuero, máscaras y protectores de cuello. No se debe olvidar que las radiaciones reflejadas también dañan.

*4. Protección ante el ozono y el fosfógeno*

En caso de existir el peligro de formación de ozono, se dispondrá de una instalación de aspiración. Este se forma con el oxígeno del aire por efecto del arco eléctrico. Pequeñas concentraciones son ya tóxicas.

Ciertos desengrasantes como el tricloroetileno, se descomponen por efecto de las radiaciones ultravioletas. El producto de la descomposición es el fosfógeno, un gas mortal, y por lo tanto hay que evitar tener depositado este gas cerca de las mismas.

*5. Lámparas de Mercurio*

Es un accidente poco frecuente pero puede ocurrir, que el recubrimiento interior que funciona como filtro de las radiaciones ultravioletas, esté dañado, con lo cual

estarían incidiendo directamente sobre las personas. En caso de notarse una luminosidad violeta intensa, se deberán descartar estas lámparas en forma inmediata.

### 3. Radiaciones ionizantes

Las radiaciones electromagnéticas capaces de arrancar electrones de los átomos y moléculas, se denominan ionizantes. Es decir, su energía es lo suficientemente elevada y concentrada como para transformarlos en iones. Los rayos X y las sustancias radiactivas poseen esta propiedad.

Esta radiación, capaz de producir iones directa o indirectamente por interacción con la materia, provoca daños en las células de los tejidos vivos que originan alteración o destrucción de las mismas y pueden llevar a la muerte del organismo afectado.

La exposición a tales radiaciones puede tener consecuencias inmediatas (desde enrojecimiento de la piel hasta muerte celular) o tardías (proliferación benigna o maligna, cáncer de tejidos, ciertas enfermedades de la sangre, leucemia, etc.)

Especialmente sensibles son los genes en los cromosomas (material genético responsable de la herencia) de las células germinales (o de reproducción). Aún dosis mínimas pueden dar lugar a mutaciones: estos son cambios irreversibles, que por su carácter recesivo sólo se manifiestan totalmente cuando se unen a otro gen dañado, permaneciendo mientras tanto encubiertos por los genes sanos y, por lo tanto, se notan en forma tardía.

Si bien todas las radiaciones ionizantes producen el mismo efecto, las diferencias en cuanto a su capacidad de producir daño depende de la densidad de ionización que resulte a lo largo de su recorrido.

Este efecto, o *eficacia biológica relativa*, es mayor, por ejemplo, en el caso de los rayos alfa o de los neutrones que originan ionización menos difusa en su recorrido que los rayos X. También dicha eficacia varía según el efecto sea agudo o retardado, tendiendo a ser baja para los primeros.

#### 3.1. Definición

#### 3.2. Efecto de las radiaciones ionizantes sobre el hombre

• Efectos sobre la célula

Todas las radiaciones ionizantes disipan energía :

- por *ionización* de los átomos: expulsión de un electrón y producción de un ión negativo (electrón) y uno positivo (átomo residual).
- por *excitación*: separación incompleta de electrones en el átomo generador.

A nivel celular, la cantidad de energía existente en los daños por radiación es relativamente pequeña. Así, la energía disipada por una dosis letal de radiación es aproximadamente una millonésima parte de la que la célula gasta en sus procesos metabólicos normales, en un día. De este modo al estar afectada sólo una de las 20 millones de moléculas de esa célula, se deduce que deben existir mecanismos intracelulares multiplicadores (propios de las lesiones por radiación) para que se produzca la muerte celular.

Tanto la ionización como la excitación afectan a todos los tipos de moléculas que componen la célula, los que experimentan cambios radioquímicos por acción directa o indirecta de la radiación.

La *acción directa* es responsable de los cambios radioquímicos (ruptura de enlaces químicos y otros acontecimientos intramoleculares) en las moléculas del protoplasma, que llevan por sí mismos al daño o la muerte celular. Dichos cambios afectan a moléculas que desarrollan funciones vitales para la célula, por lo que pueden destruirla aún en pequeño porcentaje. Tal es lo que acontece con la alteración estructural y química del ADN y las enzimas que afectan la herencia celular, la síntesis de proteínas y las reacciones enzimáticas.

Por su parte la *acción indirecta* afecta a las moléculas de agua (70% de la masa celular) de las células irradiadas, dando lugar a la formación de productos altamente reactivos llamados radicales o especies activadas; por su pequeño tamaño actúan a distancia y se combinan con elementos moleculares biológicamente importantes ocasionando daño o muerte celular.

En síntesis: si bien sólo una pequeña parte de las moléculas expuestas resultan dañadas, aún luego de una dosis letal, al ser éstas elementos claves para la vida y la reproducción celular, serán de todos modos responsables de la muerte de esas células o de sus hijas después de la división o mitosis. Aunque el daño del ADN es el factor más importante en este proceso, no se puede excluir del mismo a otras moléculas



dañadas. Así, la alteración de éstas en forma independiente, sumada a la desorganización de partículas subcelulares y de membranas, llevan a la muerte celular aún antes de la división (muerte en "interfase"). Las células pueden recobrar su aptitud para reproducirse luego de un cierto tiempo, dependiendo de la dosis recibida y del tejido afectado.

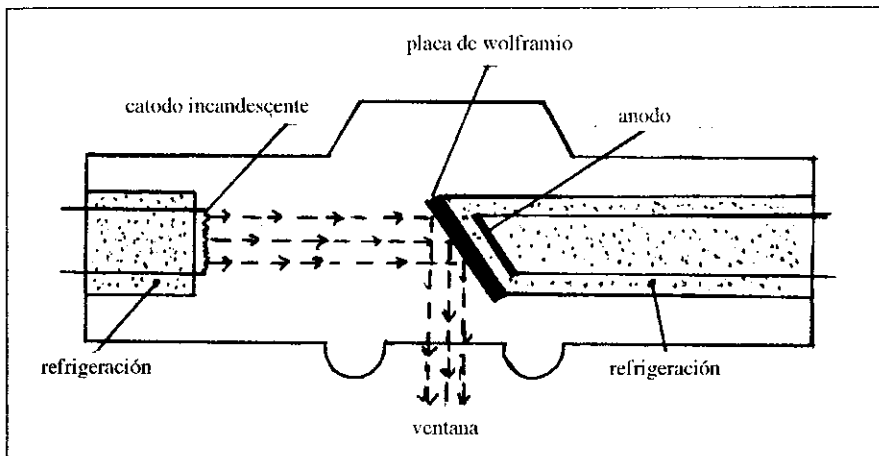
Los daños moleculares producidos por la radiación se expresan a nivel celular de tres maneras:

- a) *desaparición de figuras mitóticas en los tejidos proliferantes*, debido a la incapacidad de estas células para dividirse por el bloqueo mitótico sufrido;
- b) *muerte celular* que puede ser de tipo reproductiva: luego de dosis relativamente bajas, en tejidos proliferantes, se manifiesta recién en la primera o subsiguiente reproducción celular, o por interfase: dosis elevadas en tejidos no proliferantes producen la muerte inmediatamente antes de la división.
- c) y *mutaciones en las células hijas*.

Evidentemente los daños y muertes celulares se manifiestan en los tejidos en forma de despoblación de los mismos, al no poder reemplazarse las células perdidas, debido al bloqueo de las células-base. Los tejidos rápidamente proliferantes tales como el hematógeno (productor de sangre) y el epitelio intestinal son especialmente sensibles a esto. Su alteración conlleva hemorragias, infecciones, escasa respuesta inflamatoria, aumento del edema intersticial, etc. Este último efecto, cuando se presenta a nivel cerebral, puede, por sí solo, ocasionar la muerte del individuo. Finalmente, la suma de daños en los distintos sistemas orgánicos y su consecuente mal funcionamiento, es la causa del malestar percibido por el individuo después de la irradiación.

En la siguiente tabla se han sintetizado las dosis capaces de producir daño en caso de irradiación del cuerpo entero:

- = 25 Rem : efectos poco comprobables clínicamente. Por ejemplo: cambios en el sistema sanguíneo o reproductor.
- = 75 Rem : dosis críticas, en general se comienza con enrojecimiento de la piel.
- = 100 Rem: enrojecimiento de la piel y cambios posteriores en la misma.
- = 200 Rem: marcados cambios sanguíneos, primeras muertes.
- = 400 Rem: 50% de muertes.
- = 600 Rem: 100% de muertes.



**Figura 107**  
Esquema de un tubo de rayos X

Los daños con irradiación de segmentos corporales, dependiendo del órgano afectado y de la superficie, son proporcionalmente menores. Con alrededor de 5 J/Kg (500 Rem) se produce enrojecimiento, a partir de 25 J/Kg (2.500 Rem) mueren todas las células expuestas.

### 3.3. Descripción de las distintas radiaciones ionizantes, aparatos de medición y medidas de protección

#### a) Rayos X

Fueron descubiertos por W.C. Roentgen en el año 1895, quien los describió como "una forma de radiación"

##### • Producción

Los rayos X se producen con la ayuda de un tubo catódico, como se describe en la siguiente figura.

##### • Principio constructivo de un tubo de rayos X

Dentro de un tubo de vidrio herméticamente cerrado, se encuentran un ánodo de cobre, cubierto por Wolframio y un cátodo de alambre del mismo metal. Dichos elementos se conectan a una fuente de tensión eléctrica; ésta hace fluir una fuerte corriente de electrones entre el cátodo y el ánodo. Los mismos, al chocar con la placa de Wolframio provocan la formación de calor y 1% de su energía se transforma en radiación electromagnética, cuya longitud de onda es proporcional a la diferencia de tensión aplicada.

##### • Aplicaciones

Su uso más difundido es la radiografía, en medicina. Los huesos absorben más cantidad de rayos X que los tejidos blandos. La placa de la radiografía está compuesta por una sustancia que se oscurece con la

presencia de los rayos X, lo cual permite distinguir por contraste las estructuras duras (huesos), de las blandas.

En la industria, se lo utiliza como un método no destructivo de ensayo de materiales. Los cordones de soldaduras en gasoductos y en recipientes sometidos a presión, se controlan por rayos X.

## b) Sustancias radiactivas. Conceptos básicos

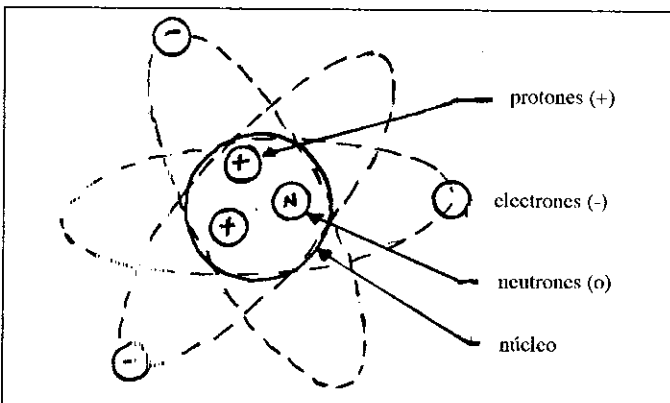
### • Estructura atómica de la materia

Para entender el origen de las radiaciones atómicas, es necesario referirse nuevamente a la estructura del átomo.

La materia está compuesta por átomos; éste es un modelo físico que permite explicar una serie de fenómenos, entre ellos, el de la radioactividad.

Una de las primeras observaciones realizadas sobre ciertos minerales es que si se dejaba una placa fotográfica cerca de ellos, aunque la película estuviese cubierta por un material opaco, es decir, que no permitiese el paso de la luz, terminaba velándose. Por lo tanto, tales minerales emitían alguna forma de energía que atravesaba el papel y velaba la película. El comportamiento de emitir energía de ciertas sustancias, sin una causa externa, se denomina radioactividad.

La causa de este comportamiento se explica por una de las leyes básicas del universo: la búsqueda del equilibrio estable. Así como el agua fluye de un nivel superior a uno inferior, o como las diferencias de temperatura tienden a equilibrarse, los átomos tienden a pasar de un estado inestable a otro más estable. Para



**Figura 111**  
Modelo atómico  
de la materia

ello, desprenden partículas del núcleo, las que dan origen a los fenómenos de radioactividad natural o espontánea.

Tal proceso se puede provocar también artificialmente.

Hay elementos que normalmente son estables, pero que si se los bombardea con neutrones, se desintegran, dando lugar a las reacciones atómicas en cadena. La energía liberada es enorme en comparación con las pequeñas cantidades de masa que entran juego.

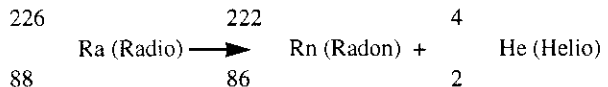
#### • Tipos de radiaciones

Las radiaciones emitidas por efecto de la radioactividad son:

##### • Rayos Alfa

Están compuestos por partículas de alta energía originadas por la descomposición de átomos pesados: los núcleos de helio.

Ejemplo:



El número superior indica el peso atómico, es decir, el número total de protones y neutrones. El número inferior es el número atómico, que corresponde al número de neutrones.

El radio, con un peso atómico de 226, se transforma en un elemento más liviano, el Radon, con peso atómico 222 y emite núcleos de Helio.

##### • Rayos Beta

Son radiaciones de partículas de alta energía, que forman haces de electrones de alta velocidad, provenientes del núcleo.

Los neutrones se descomponen en protones, liberando un electrón.

1 n (neutrón)  $\longrightarrow$  1 protón + 1 electrón (Estos electrones liberados forman los rayos beta)



##### • Rayos Gamma:

Son ondas electromagnéticas de alta energía, con longitudes de onda muy pequeñas y propiedades muy similares a los rayos X. Sin embargo, su origen es

distinto. Surgen como consecuencia de los electrones desprendidos en la transformación de los neutrones.

Ejemplo:

Un átomo estable de cobalto posee 27 protones y 32 neutrones; por lo tanto, su peso atómico es 59. Hay otra forma de cobalto, que es inestable, posee 1 neutrón más que su "pariente", el cobalto estable, su peso atómico es 60. El neutrón se descompone en un protón y un electrón; este último provoca la emisión de rayos gamma.

$60/33 \text{ Co (Cobalto)} \rightarrow 60/32 \text{ Ni (Níquel)} + 1 e \Rightarrow \text{Rayos Gamma}$

El cobalto inestable se transforma en níquel estable, emitiendo rayos gamma.

En la industria se utilizan prácticamente con exclusividad estos rayos, provenientes de la reacción mencionada.

#### • Magnitudes

Actividad: representa la cantidad de átomos que se transforman por segundo. Su unidad es el *becquerel* (*Bq*). Un Becquerel representa una transformación por segundo.

$$1 \text{ Bq} = 1/\text{S} = \text{S}^{-1}$$

La unidad moderna es el *curie* (*Ci*), equivalente a  $370.000.000.000 = 3,7 \times 10^{10}$  transformaciones por segundo.

En un gramo de Radio 226 se llevan a cabo aproximadamente esa cantidad de transformaciones.

#### • Dosis de energía

Es la relación entre la energía de radiación absorbida por cada unidad de masa. La unidad de la dosis de energía es el *gray* (*Gy*). Un Gray equivale a un Joule por Kilogramo.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$

Anteriormente se utilizaba el *rad*. Un Rad es igual a 0,01 Gy

La potencia de la radiación se mide en Gy por segundo

$$\text{Potencia} = \text{Gy/s}$$

- Dosis de ionización

Es una unidad asociada al origen de los rayos X. Como los rayos X se determinan por el pasaje de carga eléctrica y ésta se mide en *coulomb*, la dosis de ionización se expresa en Coulomb por kg de masa; anteriormente se utilizaba como unidad el *roentger*.

Un Roentger es una dosis de energía capaz de producir en 1 cm<sup>3</sup> de aire seco a 760 mm de presión, una cantidad  $2,08 \cdot 10^9$  (2.080.000.000) pares de iones.

$$1 R = 258 \cdot 10^{-6} C/kg$$

- Dosis equivalente

La dosis equivalente se determina por el concepto de igual efecto final de las radiaciones sobre un organismo vivo.

Corresponde al producto de la dosis de energía y un factor que establece la equivalencia de los efectos. Por ejemplo: los rayos alfa tienen aproximadamente entre 10 y 20 veces más efecto que los rayos gamma; es decir, una dosis 10 a 20 veces menor de rayos alfa, alcanza para producir el mismo efecto de enrojecimiento en la piel que el producido por una dosis de rayos gamma.

El factor de equivalencia para los rayos X y gamma es 1, para los rayos alfa, haces de neutrones rápidos y protones, de 10 a 20.

Hasta el 31 de diciembre de 1985 se utilizaba la unidad *R.E.M* (rem)

$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ J/Kg.}$$

La potencia de la dosis equivalente se expresa en J/Kg.s = W/kg.

La dosis absorbida de radiación se expresa en una unidad denominada *Gray* (Gy), que mide la cantidad de energía de radiación absorbida por cualquier clase de materia.

Biológicamente, no sólo es importante la cantidad de radiación, sino también su tipo: dosis iguales de radiación no producen necesariamente los mismos efectos biológicos. Existe otra unidad que tiene en cuenta estos efectos diferentes, ponderando la dosis absorbida mediante un "factor de calidad" que es distinto para cada tipo de radiación. Esta unidad, que se emplea para medir la dosis absorbida equivalente, es el *Sievert* (Sv).

Magnitud	Unidad S.I.	Símbolo	Unidad antigua	Símbolo	Relación de equivalencia
Dosis de energía	Gray	Gy	Rad	rd	1 Gy = 100 rd 1 rd = 1 cGy
Potencia de la dosis de energía	Gray por segundo	Gy/s	Rad por segundo	rd/s	1 Gy/s = 100 rd/s
Dosis equivalente	Joule por kilogramo = Sievert	J/Kg Sv	REM	rem	1 J/Kg = 100 rem = 1 Sievert
Actividad	Becquerel	Bq	Curie	Ci	1 Bq = 27,03 p Ci 1 Ci = 37 GBq
Dosis de ionización	Coulomb por kilogramo	C/Kg	Roentgen	R	1 C/Kg = 3876 R 1 R = 258 m c/Kg
Potencia	Coulomb	C/Kg.s	Roentgen por segundo	R/s	1 A/Kg = 3876 R/s

Se considera que la exposición de la tiroides, por ejemplo, a 1 Sievert de radiación alfa, origina la misma probabilidad de daño que la correspondiente a 1 Sievert de radiación beta o gamma. Ahora bien, los diferentes órganos del cuerpo presentan una sensibilidad diferente a la radiación y, por lo tanto, el tamaño del riesgo por unidad de dosis equivalente es distinto para cada órgano. Además, la irradiación de los órganos de la reproducción puede crear el riesgo de daños hereditarios. El riesgo global de la exposición de todo el organismo a la radiación es, por ende, la suma de los riesgos particulares de daño de cada uno de los órganos afectados.

Si la dosis recibida por cada órgano se multiplica por un factor de ponderación adecuado, la suma de los productos es la *dosis absorbida equivalente efectiva*. Esta magnitud también se mide en unidades Sievert y constituye un indicador del riesgo radiológico para la persona expuesta.

Desde el punto de vista de los efectos de la radiación en el hombre, el Sievert es una unidad muy grande, por lo que las dosis equivalentes suelen expresarse en *Milisievert (mSv)*, mil veces menor que el Sievert.

Como promedio, la dosis equivalente efectiva que recibe un individuo por año, de fuentes en dosis bajas de todo tipo, es aproximadamente 2,4 mSv (ver fig. 113).

**Figura 112**  
Tabla de unidades nuevas y antiguas en radiología

Fuentes naturales de radiación	
Dosis anuales causadas por fuentes naturales de radiación en zonas de actividad normal:	Dosis equivalente efectiva anual
Rayos cósmicos al nivel de mar	0,37 mSv
Radón (222Rn y 220Rn proveniente del 238U y 232Th)	1,30 mSv
Potasio (40K)	0,30 mSv
Otras fuentes	0,40 mSv
TOTAL (redondeado)	2,40 mSv

Fuentes artificiales de radiación	
	Dosis equivalente efectiva anual
<b>Dosis anuales por las aplicaciones médicas de las radiaciones:</b> (corresponde a aproximadamente del 20 al 45% de la exposición anual a la actividad normal)	0,4-1,0 mSv
<b>Dosis anuales causadas por los ensayos de explosivos nucleares:</b> (corresponde a aproximadamente el 1% de la exposición anual a la actividad normal)	0,01 mSv
<b>Dosis anuales procedentes de la producción de energía nucleoelectrónica:</b> (corresponde a menos del 0,1% de la exposición anual a la actividad normal)	0,0002 mSv

**Figura 113**

Exposición media individual a distintas fuentes de radiación. Con mucho, la mayor fuente de exposición a la radiación son los productos de vida corta resultantes de la desintegración del radio 222 y del radón 220 procedentes del uranio y del torio presentes en la naturaleza

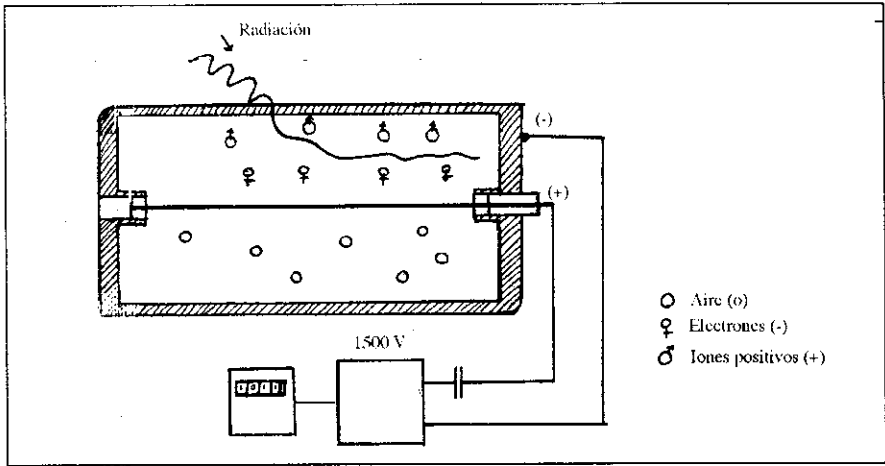
En el sistema internacional de unidades, el Gray reemplaza a la unidad empleada anteriormente, el *Rad*, que es 100 veces más pequeña. Del mismo modo el Sievert reemplaza al *rem*, que es también 100 veces menor. Ambas unidades se definen en función de la cantidad de energía, medida en *Joule*, absorbida por kilogramo de masa:

$$1 \text{ Gy (o 1 Sv)} = 1 \text{ J} \cdot \text{Kg}^{-1}$$

Esta cantidad de energía corresponde a la cantidad de energía calórica para elevar la temperatura de 1 litro de agua en  $0,00024^\circ \text{C}$ .<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Extraído del folleto "La realidad sobre la radiación en dosis bajas", de James Daghish, de la División de Información Pública del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), con el asesoramiento del Dr. Abel J. González, titular de la División de Seguridad Nuclear de OIEA. Esta versión en castellano ha sido preparada por el Departamento Información Técnica de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).



**Figura 114**

Esquema de un contador Geyger

#### • Aparatos de medición

En la detección y medición de las radiaciones ionizantes existen 3 principios diferentes:

**Películas Sensibles:** Las radiaciones tienen la propiedad de ennegrecer las películas fotográficas, atravesando el envoltorio donde se encuentran. Las personas que corren el peligro de recibir una dosis de radiaciones ionizante deben llevar una plaquita sensible, la cual se controla periódicamente. Dichas plaquitas constituyen un dosímetro simple e imborrable.

**Contador Geyger:** El principio del contador Geyger se basa en la propiedad que tienen las radiaciones ionizantes, de crear iones en la materia donde son absorbidas. En el caso del contador, la materia es el aire contenido en un tubo.

Normalmente, el aire es un aislante eléctrico. La tensión establecida entre el tubo exterior y el electrodo interior es lo suficientemente alta como para provocar un pasaje de corriente eléctrica, en cuanto el aire se ioniza por efecto de la radiación. En ausencia de iones, no existe tal pasaje.

La cantidad de corriente provocada por la ionización es proporcional a la cantidad de iones causada por las radiaciones.

#### • Dosímetros de fluorescencia

El haz de rayos ionizantes incide sobre un cristal especial que reacciona con descargas luminosas. La cantidad de luz es en este caso una medida de energía de las radiaciones ionizantes.

- Medidas de protección

Las principales normas de seguridad se encuentran contenidas en la ley 17.557 que reglamenta la instalación y el uso de equipos de rayos X.

Respecto del uso de radio-isótopos y radiaciones ionizantes, los mismos se encuentran reglamentados en el decreto No. 842/58.

A estas disposiciones hay que agregar el Convenio Internacional n° 115 sobre la protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes, adoptado el 22 de junio de 1960 en la 44° Reunión de la OIT, celebrada en la ciudad de Ginebra. Nuestro país se adhirió a dicho convenio, instrumentando esta adhesión mediante la ley 21.664.

El organismo encargado de supervisar directamente el manejo, tenencia y desecho de materiales radioactivos es la Comisión Nacional de Energía Atómica (CONEA)

- Valores límite

En la tabla de la fig. 115 figuran los valores límite admisibles de las dosis de radiación para personas expuestas durante el ejercicio de sus actividades.

En un cuarto año calendario, la dosis recibida debe ser como máximo la mitad de los valores límite anuales.

Menores de edad y mujeres fértiles hasta la edad de 45 años no deben recibir dosis superiores a 1/10 de los valores límite de la categoría A.

En caso de extrema gravedad (control de catástrofes, reparaciones urgentes) las dosis anuales pueden duplicarse y las dosis a lo largo de la vida, pueden hasta quintuplicarse, respecto de la categoría A.

**Categoría A:** Actividades con peligro de radiación externa, por ejemplo manipuleo de sustancias radiactivas cerradas (encapsuladas)

**Categoría B:** Actividades con peligro de incorporación o contaminación; por ejemplo, manipuleo de sustancias radiactivas abiertas

- Zona de protección

Se deberán marcar en forma bien clara las diferentes zonas de protección.

Zona del cuerpo	Personas expuestas profesionalmente Categoría A Año calendario	Personas expuestas profesionalmente Categoría B Año calendario
Cuerpo entero	50 m J/Kg	15 mJ/Kg
Médula ósea	(5 rem)	(1,5 rem)
Manos, antebrazos, pies, pantorrillas, tobillos, incluyendo la piel correspondiente	600 mJ/Kg (60 rem)	200 mJ/Kg (20 rem)
Piel, en caso de que sea lo único que quede expuesto a la exposición radioactiva, excepto la piel de manos, antebrazos, pies, pantorrillas y tobillos	300 mJ/Kg (30 rem)	100 mJ/Kg (10 rem)
Hueso, tiroides	300 mJ/Kg (30 rem)	100 mJ/Kg (10 rem)
Otros órganos	150 mJ/Kg (15 rem)	50 mJ/Kg (5 rem)

**Figura 115**  
Tabla de valores  
límite de dosis  
para personas  
expuestas  
profesionalmente

• Zona de prohibición

Deberá delimitarse perfectamente, colocándose las correspondientes señales de peligro para sustancias radiactivas, con las indicaciones de **“Zona prohibida, no entrar”**.

El acceso sólo estará permitido por razones de extrema urgencia y bajo el control del responsable de la supervisión de radiaciones.

• Zona de control

Debe estar bien delimitada y señalizada con la leyenda **“Zona de control”**. El acceso sólo será permitido para realizar trabajos de mantenimiento o corrección de procesos.

• Zona de supervisión interna

Por el bajo valor de exposición, pueden acceder a ella incluso visitas (por ejemplo, las instalaciones de una central nuclear).

• Zonas de supervisión externa

Son las zonas lindantes con una instalación donde se usa energía atómica, pero que se vigilan por control ecológico.

Además de estas señalizaciones de las diferentes zonas, se deberán marcar con carteles identificatorios todos los aparatos, dispositivos, instrumentos y recipientes que contengan radioactividad.

Los datos a consignar son:

- tipo del radionucleido
- compuesto químico
- fecha de envase
- responsable del área en la fecha de envase

**Figura 113**

Tabla de valores límite de dosis y valores límite de zonas

• Proceso de trabajo

Los procesos de trabajo deberán organizarse de tal manera que eviten al máximo la exposición del personal a las radiaciones.

Ambito	Valor límite de la dosis	Límite de cada zona
Zona de prohibición	Categoría A Categoría B	3 mJ/Kg (0,3 m rem/m)
Zona de control	Categoría A Categoría B	
Zona de supervisión interna	1/10 Categoría A	3/10 Cat. A para una permanencia de 40 h/semana  1/10 Cat. A para una permanencia anual continua
Zona de supervisión externa	1,5 mJ/Kg . año (0,15 rem/año)	3/500 Cat. A para una permanencia anual continua

El manejo de las sustancias radiactivas deberá realizarse con manipuladores a distancia. Estos aparatos reproducen los movimientos de la mano, permitiendo todas las operaciones de asir, mover, posicionar.

- Equipo de protección personal

Para el manipuleo de sustancias radiactivas abiertas, se deberán utilizar ropas de protección especial y equipos de seguridad. Al trabajar con las mismas se deberá tener especial cuidado de advertir y controlar a las personas encargadas de estas tareas, para evitar la incorporación de radiactividad mediante hábitos equivocados (comer, beber, fumar, en las zonas de peligro).

- Adiestramiento

Las personas que por razones de su actividad, tienen acceso a las zonas de prohibición y control, deben ser instruidas en los métodos de trabajo e informadas de los peligros y medidas de protección. El adiestramiento debe ser repetido como mínimo cada seis meses. Toda persona que se inicie en una tarea que implique el riesgo de tomar contacto con sustancias radiactivas o que puede llegar a estar expuesta a las radiaciones ionizantes, deberá recibir la instrucción adecuada.

## Radiaciones electromagnéticas

### Glosario técnico

<i>Electrones</i>	Partículas de masa muy pequeña, que poseen una carga eléctrica negativa y que provienen generalmente de la capa exterior del átomo (rayos $\beta$ ).
<i>Positrones</i>	Partículas de igual masa que los electrones, pero de carga positiva.
<i>Protones</i>	Partículas provenientes del núcleo del átomo, con una carga positiva. El núcleo del átomo del hidrógeno está formado por un protón.
<i>Neutrones</i>	Partículas eléctricamente neutras, con una masa equivalente aproximadamente a la del protón.
<i>Ionización</i>	Pérdida del estado de neutralidad eléctrica, por desprendimiento o ganancia de electrones.
<i>Radiación ionizante</i>	Radiación electromagnética, capaz de producir la ionización de los átomos del medio donde es absorbida.
<i>Radiación no ionizante</i>	Radiación electromagnética, que no produce efectos de ionización, en el medio donde actúa. Puede producir otros efectos, distintos al de ionización (calentamiento, reacciones fotoquímicas, fluorescente, etc.)

# VI. Condiciones hipo e hiperbáricas

## 1. Conceptos básicos

El ser humano está dotado de sentidos específicos: la vista, el tacto, la audición, el olfato y el gusto, que le permiten captar la realidad externa.

Existen, sin embargo, algunas sensaciones, que no responden a un sentido individual. Tal es el caso de la respuesta a los cambios de presión atmosférica. Esta es una magnitud climática que a nivel del mar puede variar aproximadamente un 5% alrededor de su valor normal de 1000 *Hectopascals* = 750 mm de mercurio (Valor exacto: 1013 Hectopascals).

Las variaciones de presión atmosférica tienen una influencia decisiva sobre las condiciones climáticas.

Estos pequeños cambios de presión atmosférica no tienen prácticamente acción sobre el estado fisiológico del hombre, ni sobre su capacidad de rendimiento laboral; a pesar de lo cual, cierto número de personas sensibles, en el caso de baja presión atmosférica, se quejan de sufrir un estado de malestar general.

Tal sensación se atribuye a variaciones de la intensidad del campo eléctrico terrestre, que acompañan a los cambios de la presión atmosférica. Al hablar de condiciones hipo (baja) e hiper (alta) báricas (presión) se hace referencia a cambios de presión, de mucha mayor magnitud.

## 2. Fundamentos físicos

En física se define la presión como el cociente entre fuerza y superficie. Supóngase un cuerpo de peso igual a 32 kg apoyado en una de sus caras, de 4 x 4 cm de lado.

La fuerza con la que este cuerpo aprisiona una hoja de papel es de 36 kg, pero si se quiere calcular la presión habrá que dividir los 36 kg por la superficie de la cara de apoyo, que en este caso es de 4 x 4 = 16 cm<sup>2</sup>.

$$P = F/S = 32 \text{ kg}/16 \text{ cm}^2 = 2 \text{ kg/cm}^2$$

En el sistema internacional de medidas, la fuerza se expresa en *newton* (N), que equivale aproximadamente a 0,1 kg.

$$1 \text{ Kg} = 10 \text{ N} \qquad 1 \text{ N} = 1/10 \text{ kg}$$

La unidad de presión resulta entonces:

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa}$$

La capa gaseosa que envuelve la tierra tiene un espesor de aproximadamente 500 km.

Por cada m<sup>2</sup> de superficie terrestre, la atmósfera ejerce una fuerza de aproximadamente 100 K N (*Kilonewton* = 1000 N)

$$P = 100\text{KN/m}^2 = 100.000 \text{ Pa} = 1.000 \text{ HPa}$$

En nuestro país, la presión atmosférica se expresa en *Hectopascuales*.

$$1 \text{ HPa} = 100 \text{ Pa}$$

La presión atmosférica normal es de 1000 HPa equivalente a los 750 mm de columna de mercurio.

El aire seco es una mezcla de 20,95 % de oxígeno, 0,03% de anhídrido carbónico, y 79,02% de nitrógeno. Contiene además pequeñas cantidades de hidrógeno, y los llamados gases nobles.

La presión atmosférica disminuye con la altura, empero esta disminución no es proporcional, por ejemplo: a 5.500 m de altura, la presión atmosférica es la mitad de la normal tomada a nivel del mar.

Además de los gases mencionados, la atmósfera contiene vapor de agua. A diferencia del oxígeno, carbónico y nitrógeno, cuyas proporciones relativas permanecen constantes, la cantidad de vapor de agua solamente depende de la temperatura.

Otro aspecto importante para entender el comportamiento del organismo bajo condiciones hiperbáricas, es que los líquidos



no son comprimibles, es decir, su volumen permanece constante, independientemente de la presión que se ejerce sobre los mismos. Los gases en cambio, disminuyen su volumen al aumentar la presión: si la presión aumenta al doble, el volumen se reduce a la mitad. Un globo inflado a nivel del mar, ocupa por ejemplo un volumen de 5 litros, llevado a 5.500 m de altura, donde la presión atmosférica es la mitad, su volumen se duplica, es decir, es de 10 litros.

Sumergido a 10 m de profundidad en el agua, la presión se duplica, el volumen será entonces de 2,5 litros.

Otro fenómeno importante es que el grado de volubilidad de los gases en líquidos aumenta al aumentar la presión, y, por el contrario, disminuye al disminuir la presión. Esto puede comprobarse fácilmente al observar una botella herméticamente cerrada de agua gasificada.

Si se le mantiene en reposo no se observan burbujas en el interior del líquido. Sin embargo, al abrir la tapa del envase, se produce una súbita formación de burbujas: esto ocurre porque una cantidad de gas carbónico se desprende del agua, al disminuir la presión.

La solubilidad de los gases aumenta también al disminuir la temperatura.

En las fábricas de gaseosas, el líquido se enfría para que aumente la cantidad de gas disuelto en el mismo.

### 3. Consecuencias sobre el ser humano

Si bien son relativamente pocas las personas involucradas en trabajos afectados por condiciones de presión atmosférica fuera de lo normal, sus consecuencias orgánicas son bien conocidas y de tal gravedad, en muchos casos, que merecen ser tenidas en cuenta especialmente para poder prevenirlas.

Se presentan durante la construcción de túneles bajo el agua (trabajos en Caissons), y en el buceo. En el primer caso, para que el Caisson se mantenga libre de agua, debe tener una presión interior equivalente a la de la columna de agua que soporta. Del mismo modo, el aire que respira un buceador debe estar en correspondencia con la profundidad a la que se encuentra, para igualar la presión del tórax con la del agua. Siendo así, el cuerpo no experimentará ninguna consecuencia adversa.

#### 3.1. Condiciones hiperbáricas

Por encima de ciertos límites, las presiones parciales de los gases contenidos en la sangre se alteran. Al aumentar la presión atmosférica, el volumen de los gases disminuye; éstos se liberan y se disuelven en otros tejidos.

Especialmente peligroso resulta el nitrógeno, que por su afinidad con el tejido graso se disuelve en el sistema nervioso central, en la grasa de los huesos y en el tejido subcutáneo. Si la descompresión posterior se hace en forma lenta, los gases pueden ser expulsados por medio de la respiración; si en cambio es brusca, se originarán burbujas, dando lugar a diversas manifestaciones.

Las enfermedades por hiperpresión se presentan en:

- a) la fase de compresión;
- b) la fase de isopresión;
- c) durante la descompresión

#### a) Daños por compresión

El *barotrauma* es característico de esta fase; puede ser definido como el daño que sufre un trabajador en Caisson o un buceador, debido a las diferencias de presión entre el entorno y sus cavidades aéreas (oído medio, cavidades paranasales y pulmón).

Normalmente, la presión entre el exterior y el oído medio está equilibrada por medio de la trompa de Eustaquio, pero si ésta se encuentra obstruida (por ejemplo, por un resfriado) la hiperpresión exterior origina consecuencias de distinto grado: primero, se presenta dolor; luego, si la presión es muy alta (>0,5 bar), se rompe el tímpano y el agua que entra da lugar a vértigos, pérdida de orientación e infecciones. Si el tímpano permaneciera intacto, se produce congestión e inflamación de las mucosas del oído, especialmente de la caja del tímpano.

El barotrauma de las cavidades paranasales, si bien resulta desagradable, no trae consecuencias tan serias como el anterior.

Por el contrario, el barotrauma a nivel pulmonar puede tener final mortal. Se puede producir por defecto del equipo de buceo o cuando se llega muy profundo sin él, o se pierde la conciencia; también cuando un buzo con casco hace un descenso tan brusco que no alcanza la provisión de aire.

En el caso del buceo libre, es decir, sin tanques de oxígeno, se da el siguiente fenómeno: el buceador llena sus

pulmones en la superficie, entre un 75% a 100% de su capacidad. Si desciende 10 m por ejemplo, su tórax queda sometido a una presión de 2 bares, con lo que los pulmones pasan de tener un volumen máximo a un mínimo, lo cual equivale a la espiración, pero sin haber dejado escapar el aire. La presión en los pulmones se ha duplicado. La adaptación a la presión reinante en el agua se logró mediante la compresión del pulmón.

Esto se encuentra representado en la fig. 118

La reducción del volumen pulmonar hace que la diferencia de presión entre el tejido y el espacio pulmonar sea la misma que en la superficie, no presentándose de esta forma peligro de daño alguno, por estar las presiones equilibradas.

Todo lo contrario ocurre cuando este equilibrio se pierde, por ejemplo, cuando la persona se sumerge en un líquido a 1 m de profundidad y pretende respirar aire atmosférico mediante un tubo conectado al aire libre. Su tejido pulmonar queda sometido a una sobrepresión de 0,1 bar respecto al volumen pulmonar, con lo que puede producirse el barotrauma.

El principio del equipo de buceo consiste, justamente, en ajustar automáticamente la presión del aire inspirado a la presión exterior reinante.

#### b) Enfermedades en la fase de isopresión

Esta fase se caracteriza por mantener una presión aumentada y constante, durante un tiempo prolongado. Los problemas son consecuencia de la presión parcial de cada gas en la sangre. Así, de acuerdo con la profundidad alcanzada se presenta embriaguez por nitrógeno o

#### Figura 118

Representación esquemática del comportamiento del volumen pulmonar en función de la profundidad de buceo.



El aire, a medida que la inmersión progresa, es comprimido de tal forma que el tórax, para la misma cantidad de aire, pasa de la posición de inhalación a la de exhalación.

intoxicación por oxígeno: la primera aparece como una narcosis producida en buceadores a más de 40 m de profundidad. Primero se manifiesta por pérdida del sentido crítico, con marcada tendencia a la risa y la locuacidad; más tarde, adormecimiento, falta de concentración y narcosis.

Por su parte, la intoxicación por oxígeno, que depende también de la profundidad y la duración, se presenta especialmente cuando se respira oxígeno puro.

Se producen daños en el tejido pulmonar (hasta llegar a atelectasia y edema), y en el sistema nervioso central. Esto último se manifiesta como convulsiones, calambres, disminución del campo visual, trastornos en la coordinación de los movimientos, y confusión.

Los síntomas provenientes del sistema nervioso central cesan bruscamente al corregirse el oxígeno, mientras los pulmonares tardan más tiempo y requieren tratamiento adecuado.

### c) Daños por descompresión

Los accidentes más frecuentes se producen en esta fase y se destaca la llamada *enfermedad del Caisson*, provocada por el corto tiempo de retorno a la superficie. Como ya se dijo, se produce la formación de burbujas gaseosas que originan embolias. Estas se alojan en las grandes articulaciones, provocando la muerte de los tejidos donde se enclavan, con el consiguiente dolor. La cronicidad de esta situación, por sucesivas descompresiones, conduce a defectos radiológicos (por ejemplo, esclerosis subcondrales y procesos articulares deformantes).

Si los émbolos se alojan en la piel, dan lugar a enrojecimiento y pérdidas de sensibilidad, localizados y pasajeros. Si afectan el sistema nervioso central, originan severas manifestaciones neurológicas.

En los años 1962 y 1964 respectivamente, Seusig y Drube y Alnor y cols. publicaron la siguiente estadística de manifestaciones relacionadas con la enfermedad de Caisson:

- 35% artralgias
- 33% trastornos neurológicos
- 13% mialgias
- 8% trastornos de piel
- 11% trastornos de otros órganos

Durante la fase de descompresión, y debido a una disminución de la respiración, se produce una sobredilatación del pulmón con pasaje directo de aire al sistema vascular (embolia) así como posible neumotórax. Frecuentemente estos pacientes no pueden ser recuperados.

Si se toma en cuenta el momento de aparición, se pueden clasificar los síntomas como:

- a) accidentes descompresivos, que se presentan dentro de las 24 horas posteriores a la inmersión;
- b) formas tardías, que se observan luego de años de exposición.

Los accidentes descompresivos pueden ser leves (dolor articular o en partes blandas, progresivo, que no cede con analgésicos comunes, acompañado de picazón y erupciones en la piel), o graves.

Las formas graves comprenden tres cuadros característicos: el accidente vestibular (sordera súbita, zumbidos en los oídos, vértigo, náuseas y vómitos, pérdida del equilibrio, desorientación, hipotensión y shock), el respiratorio (dificultad para respirar, dolor en el tórax, sensación de asfixia, tos perruna y coloración azulada de la piel y las mucosas), y el neurológico (con distintos signos cambiantes de irritación o déficit del sistema nervioso central, hasta llegar a convulsiones, pérdida del habla y coma).

El tratamiento consiste en someter al individuo a la recompresión inmediata para luego proceder a la descompresión programada según una "tabla de tratamiento" adecuada al cuadro clínico y a su evolución.

Las formas tardías son consecuencia de las microembolias sucesivas, que a lo largo de años llevan a lesiones irreversibles (pérdida de agudeza visual, dolores articulares rebeldes, artritis deformantes).

La disminución de presión atmosférica origina la de la presión parcial de  $O_2$  en el aire. La suficiente provisión de  $O_2$  a una presión adecuada, es esencial para el funcionamiento del organismo humano, especialmente en el caso de tejidos como el cardíaco y el del sistema nervioso central que no sobreviven a la falta del mismo.

La primera respuesta a la caída brusca de la presión parcial de oxígeno es la emergencia respiratoria acompañada de palpitaciones; a esto le siguen manifestaciones de apatía, palidez y sudoración. Los síntomas psíquicos característicos

### 3.2. Condiciones hipobáricas

son, en una primera etapa, euforia y sobrevaloración de las propias capacidades, seguidas de depresión y falta de deseos de hablar (cuadro similar al de la embriaguez). Si bien existen diferencias individuales en cuanto a la tolerancia, se pueden observar estos cuadros ya a partir de los 2000 metros de altura en personas débiles o ancianas y a partir de los 3000 metros en el resto.

Mediante simulación en cámaras de clima, se observó que hasta los 6000 metros tienen lugar marcadas limitaciones en la eficiencia, y con una presión parcial de  $O_2$  a 4 kPa se produce pérdida del conocimiento. A los 6000 metros, los no aclimatados sólo pueden sobrevivir si respiran oxígeno puro.

A los 7500 metros la caída de oxígeno trae consecuencias psíquicas que se muestran claramente en los tests de escritura; en ellos se observa cómo la capacidad psicofísica va disminuyendo hasta que el individuo se vuelve totalmente incapaz de escribir una frase con claridad. El mayor peligro en estos casos radica en la mala evaluación de la propia capacidad y en los errores y fallas en las reacciones, que pueden llevar a accidentes fatales.

En puestos de trabajo a gran altura, la tolerancia y la capacidad dependen del tiempo de permanencia en el mismo, ya que el organismo pasa por una serie de mecanismos de adaptación llamados *aclimatación a la altura*. La primera fase de ellos, en el ascenso agudo, se caracteriza por el aumento de ventilación y del volumen minuto circulatorio, para compensar parcialmente la disminución de oxígeno. Sin embargo, esto sólo equilibra en parte el déficit de  $O_2$ , ya que se produce simultáneamente un aumento de requerimiento de energía para sustentar el trabajo respiratorio y cardíaco aumentado.

La segunda fase, que comienza ya al primer día del ascenso, comprende cambios bioquímicos en los glóbulos rojos circulantes.

Finalmente, la tercera fase se caracteriza por un aumento del volumen sanguíneo, del número de glóbulos rojos y de su contenido de hemoglobina (sustancia transportadora de  $O_2$ ). Esta fase es relativamente lenta (3-4 semanas) y al final se consigue un aumento de la capacidad de transporte de  $O_2$  que permite un mayor metabolismo energético con poca sobrecarga cardíaca.

En resumen, se puede establecer que hasta los 2000 metros no hay limitaciones de las capacidades corporales; entre 2000 y 4000 metros hay una disminución del 20% de dichas capacidades tanto en respuestas momentáneas máximas como en las de larga duración. Con mayor permanencia a esa altura se consigue una aclimatación que aumenta la capacidad

nuevamente; por sobre los 4000 metros y hasta los 5000 metros, la capacidad permanece limitada aún después de la aclimatación. Por encima de los 5000 metros sólo pueden brindarse prestaciones de corta duración.

Son también dignas de atención las influencias secundarias de la altura sobre el hombre. Motores a combustión no adecuados a la altura, producen más cantidad de monóxido de carbono; éste tiene una afinidad 300 veces mayor por la hemoglobina que por el oxígeno, pudiendo así limitar su transporte.

Algo similar sucede con el hábito de fumar: a una altura normal, ya proporciona monóxido de carbono a la sangre; con la altura, debido a la combustión incompleta del tabaco, este efecto se ve aumentado.

## 4. Medidas preventivas

Para los trabajadores sometidos a hiperpresión las medidas higiénicas deberán ser estrictas. Se recomienda no emplear a jóvenes con menos de 21 años ni a adultos que sobrepasen los 50 años de edad, así como someterlos a un cuidadoso control médico antes de la inmersión, que asegure, por ejemplo, la ausencia de procesos inflamatorios que pudieran obstruir la trompa de Eustaquio (resfríos, otitis, angina, etc.). Se debe adiestrar a estos obreros en las maniobras necesarias para mantener abierta esa vía (maniobra de Valsalva), y, sobre todo, hacerlos conscientes de la importancia de respetar estrictamente los tiempos de inmersión y descompresión.

Personal especializado deberá vigilar permanentemente la profundidad de inmersión y el tiempo de trabajo, el tipo de aire a respirar (si es normal o mezclado) así como las condiciones físicas (temperatura, presión) de las cámaras de descompresión y su correcto funcionamiento.

Para los trabajos en altura las personas con trastornos cardíacos o circulatorios, hipertensión, enfisema, bronquitis, anemia y trastornos del aparato digestivo no son aptas; tampoco personas de edad avanzada. Será conveniente en todos los casos adecuar el tiempo y la intensidad del trabajo a la fase de aclimatación del trabajador y proveerlo de los elementos de protección que correspondan a las condiciones particulares del terreno (vestimenta aislante del frío, anteojos con filtro para radiaciones ultravioletas, etc.)

# Condiciones hipo e hiperbáricas

## Glosario técnico

- Estado hiper-bárico* Condiciones ambientales caracterizadas por presencia de aire a mayor presión que la presión atmosférica normal.
- Estado hipo-bárico* Condiciones ambientales, caracterizadas por la presencia de aire a menor presión que la presión atmosférica normal.
- Presión atmosférica* Efecto del peso de la masa atmosférica, que se ejerce por cada m<sup>2</sup> de superficie de la tierra. En condiciones normales, este valor es de 1000 HPa (mil hecto-pascales)
- Presión de vapor de agua* Es el efecto sobre la presión atmosférica debido a la presencia de vapor de agua. Su presión no depende de la presión atmosférica total, sino de la temperatura. Para la temperatura corporal de 37 °C y para un grado total de saturación de humedad, como ocurre en los pulmones, su valor es constante y equivalente a 6,3 kPa.
- Presión parcial de los gases* Efecto de presión ejercido por cada componente gaseoso de una mezcla de gases. En la atmósfera los gases nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y con ciertas restricciones el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), se comportan como gases ideales, su presión parcial equivale a su participación porcentual en la mezcla. El O<sub>2</sub> tiene una presión parcial de 20,95 kPa en 100 kPa de presión total.



# Referencias bibliográficas

- ARAUJO COUTO (1987), *Temas de Saude Ocupacional*, Hudson.
- FANGER (1973), "Thermal confort, analysis and applications",  
in *Environmental Engineering*, Mc Graw-Hill, New York.
- GRANDJEAN, Etienne (1979), *Physiologische arbeitsgestaltung*,  
Landsberg, Ecomed.
- GUYTON, Arthur C. (1967), *Tratado de fisiología médica*,  
México, Ed. Interamericana (3 ed.)
- HALL, Eric J. (1976), *Radiation and Life*, Pergamon Press.
- INSTITUTO TERRITORIAL, *Curso general de higiene industrial*,  
Temas Docencia, Barcelona.
- MANGOSIO, Jorge (1994), *Fundamentos de higiene y seguridad  
en el trabajo*, Buenos Aires, Nueva Librería.
- ROHMERT, Walter *et al.* (1982), *Arbeitsmissenschaft*, Lockay  
Druck.
- ROHMERT, Walter; RUTENGRAY, Joseph (1983), *Praktische  
Arbeitsphysiologie*, Thieme.
- ROVEDA, José; ROVEDA, Carlos (1973), *Manual de oftal-  
mología*, López Libreros Editores.
- SCHMIDTKE, Heinz (comp.) (1981), *Lehrbuch der Ergonomie*,  
Munich, Carl Hanser.
- TABOADA, J.A. (1983), *Manual de luminotecnia*, Madrid, Ed.  
Dossat (4 ed.).
- VALENTIN, H.; KLOSTERKÖTTER, W.; CELUVERT, G. *et al.* (1979),  
*Arbeitsmedigin*, Thieme.
- WENZEL, Hans; PIEKARSKI, Claus (1980), *Klima und Arbeit*,  
Munich, Ministerio Bávaro del Trabajo
- WERNER, Antonio; MÉNDEZ, Antonio; SALAZAR, Estela (1990),  
*El ruido y la audición*, Ad Hoc.

# Glosario de términos médicos

**adiposo:** relativo a la grasa

**artralgia:** dolor en las articulaciones

**astenia:** falta de energía - debilidad general del cuerpo.

**atelectasia:** disminución del volumen del tejido pulmonar por ausencia de aire en sus alvéolos

**bactericida:** que destruye a las bacterias.

**cefalea:** dolor de cabeza.

**células ciliadas:** células provistas de cilias.

**cianosis:** coloración azulada de piel y mucosas.

**cilias:** apéndices móviles de las membranas ciliares en la superficie de los tejidos especializados.

**cutáneo:** relativo a la piel.

**dérmica:** relativa a la piel o dermis.

**edema:** infiltración líquida de ciertos tejidos.

**embolia:** obstrucción de un vaso sanguíneo producida por la acción de un émbolo de cualquier origen (gaseoso, grasa, etc.)

**endógeno:** que se forma en el interior.

**fisiológico:** que corresponde al funcionamiento normal del organismo.

**fotofobia:** rechazo a la luz.

**glucemia:** índice de azúcar en sangre.

**hipertermia:** temperatura aumentada.

**hipocapnia:** reducción del ácido carbónico en sangre.

**histológico:** relativo a los tejidos.

**keratodermia:** aumento del espesor de la capa córnea de la piel.

**keratosis:** mareo, vértigo, inseguridad postural.

**lipídicos:** relacionados con las grasas.

**lípidos:** sustancias parecidas a las grasas, componentes de las células.

**mialgias:** dolor en los músculos.

**narcosis:** sopor, insensibilidad.

**mitóticos:** relacionado con la mitosis o división celular.

**morfológico:** relativo a la forma.

**mutaciones:** cambios. Se aplica en general para describir cambios genéticos.

**narcosis:** sopor, insensibilidad.

**parestias:** sensaciones no objetivables, espontáneas, irritativas (hormigueos, pinchazos, frío, calor, etc.).

**peristaltismo:** movimientos involuntarios de contracción en forma de nudo, del tubo digestivo o de cualquier otro conducto provisto de fibras musculares.

**subcutáneo:** que se ubica por debajo de la piel.

**termorregulador:** que regula la temperatura.

**tisular:** relativo a los tejidos orgánicos

**vascularización:** presencia de vasos sanguíneos.

**vasoconstricción:** disminución del calibre de los vasos sanguíneos.

**vasodilatación:** aumento del calibre de los vasos sanguíneos.

**vegetativo:** que vegeta. / **funciones vegetativas:** las básicas de los seres vivos (respiración, nutrición, desarrollo, etc.)/ **sis-**

**tema nervioso vegetativo (simpático y parasimpático):** dirige las funciones autónomas.

**virucida:** que destruye los virus.

# Índice analítico

- aclimatación, 48, 50, 69, 222, 223
- acomodación, 172
- agotamiento circulatorio o síncope de calor, 52
- agudeza visual, 141, 142, 144, 170, 221
- barotrauma, 218, 219
- cámaras de clima, 52, 222
- cáncer, 193
- cansancio, 75, 172
- carga por frío, 53, 78
- carga térmica, 33, 35, 52, 59, 68, 69, 71, 77
- cataratas, 52, 191, 192, 197
- cefalea, 139
- centro termorregulador, 44, 46
- clima, 222
- columna lumbar, 137
- columna vertebral, 140, 141, 149
- confort, 33, 47, 51, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 73, 74, 75, 118
- congelamiento, estadios, 54
- consumo de O<sub>2</sub>, 72
- déficit de sal, 51
- deshidratación, 48, 51, 52
- eficiencia, 53, 55, 118, 120, 136, 137, 144
- enfermedad de Dupuytren, 144
- enfermedad de caisson, 217, 218
- enmascaramiento, 118, 125
- equilibrio, 40, 44, 45, 48, 50, 68, 93, 97, 131, 135, 157, 203, 219, 221
- evaporación de sudor, 45, 46
- fatiga auditiva, 115, 126
- formación reticular, 114
- golpe de calor, 51
- límites de exposición, 195
- mal del mar o del transporte, 138
- muerte celular, 198, 200, 201
- mutaciones, 199, 201
- oído, 114, 116, 123, 124, 125, 126, 134, 135, 139, 218, 221
- pausas de recuperación, 77
- percepción auditiva, 93
- presbiacusia, 118, 126
- quemaduras, 54, 192, 193
- rendimiento, 33, 48, 51, 59, 60, 69, 70, 71, 73, 118, 131, 149, 159, 160, 162
- resonancia, 94, 95, 97, 99, 132, 137, 140, 141, 157
- ruido, 93, 96, 101, 108-129, 143
- sobrecarga circulatoria, 48
- sordera profesional (hipoacusia), 116-118, 124-126
- stress térmico, 47, 48, 52, 64
- temperatura central, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 54, 55, 68, 69
- temperatura periférica, 44, 48, 53
- trauma acústico, 115, 116
- umbral auditivo, 110, 113, 115, 117, 125, 129
- visión cercana, 172
- visión de lejos, 172

**Se terminó de imprimir en el mes de junio de 1997  
en los Talleres Gráficos Nuevo Offset  
Viel 1444 - Capital Federal**

# Riesgos del medio ambiente físico de trabajo: ¿perder la salud para ganarse la vida?

*Nora Escobar, Julio César Neffa, Víctor Vera Pinto*

El trabajo más que una penosa obligación social, es un derecho humano fundamental, una de las actividades más nobles que desarrollan los seres humanos, la que estructura su personalidad y constituye uno de los derechos más preciados del hombre. No es en sí mismo un castigo o una pena que los trabajadores arrastran hasta su muerte, si bien el uso de la fuerza de trabajo provoca normalmente la fatiga. Cuando esto se hace frecuente, cuando las condiciones y medio ambiente de trabajo (CyMAT) no son adecuadas, la fatiga se hace patológica, aumenta la propensión a enfermarse y accidentarse y "ese" trabajo degradado termina por deteriorar la salud.

Tenemos así la carga física de trabajo y el esfuerzo muscular que requiere la actividad; y por otra parte, los problemas de *higiene* (término ambiguo y muy poco adecuado a pesar de su amplia difusión y uso indiscriminado) y de *seguridad en el trabajo*, términos que para simplificar llamamos riesgos ocupacionales o riesgos provocados por los factores del medio ambiente (físico, químico, biológico o factores tecnológicos y de seguridad del medio ambiente de trabajo). Estos dos grupos de factores son los más conocidos e identificados por sus repercusiones directas sobre la salud, de acuerdo con el tiempo de exposición a los riesgos, la intensidad en sí y la existencia o no de medidas de prevención. Pero el proceso laboral se desarrolla en un contexto dado por las *condiciones de trabajo*; estos son factores de otra naturaleza, debido a que se refieren a formas institucionales, a las relaciones sociales de producción, a los modos de organización de las empresas u organizaciones, de gestión del trabajo y de la producción. Precisamente son las condiciones de trabajo las que explican en buena medida el impacto diferenciado de los riesgos ocupacionales sobre la salud de los trabajadores.

Con la crisis económica y los procesos de reconversión del sistema productivo, continúa teniendo vigencia la dramática expresión que forma parte de la pregunta subtítulo del libro: **en nuestros días, al trabajar para ganarse la vida se pierde la salud.**

En los capítulos de esta publicación se analizan de manera específica y en profundidad los riesgos del medio ambiente físico de trabajo. Su identificación, control y prevención se ubican en la base del mejoramiento de las CyMAT.

*Nora Escobar es médica de la UBA, realizó estudios de especialización en el Instituto para Estudios del Trabajo y Organización de Empresas (REFA de Alemania) y Médica del Trabajo de la Academia de Medicina del Trabajo de la Universidad Libre de Berlín; Víctor José Vera Pinto es Ingeniero Metalúrgico de la UTN Facultad Regional Buenos Aires, con estudios de posgrado en el Instituto para el Estudio del Trabajo y de Organización de Empresas (REFA) de Darmstadt, Alemania, habiéndose especializado en temas de ergonomía; Julio César Neffa es doctor en Economía del Trabajo de la Universidad de París e investigador del CONICET y ha publicado varios libros acerca de las condiciones y medio ambiente de trabajo.*

**ASOCIACIÓN TRABAJO Y SOCIEDAD  
PIETTE - CONICET**