

# **HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO Volumen 1**

**Ing. Jorge Enrique Mangosio**

**HIGIENE INDUSTRIAL  
SEGURIDAD INDUSTRIAL  
ACCIDENTES DE TRABAJO  
AGENTES QUIMICOS  
CORRECCION DEL AMBIENTE DE TRABAJO  
PROTECCION CONTRA INCENDIOS  
SEGURIDAD ELECTRICA**

Edición 2008

# CAPITULO 1

## Higiene Industrial

### 1 Introducción

#### 1.1 Salud Ocupacional

La salud ocupacional tiene como finalidad promover y mantener el más alto grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las profesiones; evitar todo daño a la salud causado por las condiciones de trabajo; protegerlos en sus ocupaciones de los riesgos resultantes de la presencia de agentes nocivos; ubicar y mantener a los trabajadores en tareas adecuadas a sus aptitudes fisiológicas y psicológicas y, en suma, adaptar el trabajo al hombre y cada hombre a su trabajo. (Definición del Comité de Expertos OIT/OMS).

En el enfoque primitivo su función consistía en proveer tratamiento a trabajadores afectados por accidentes o condiciones ambientales adversas y en controlar los riesgos tóxicos evidentes. Su acción se originaba en reclamos por compensaciones.

En el concepto moderno tiene su fundamento en la obligación moral y legal del empresario de proteger la salud de los trabajadores. Se considera además que es un esfuerzo tendiente a reducir los costos de producción, debido a que la aplicación de sus principios puede lograr aumento de eficiencia en el trabajo, reducción de las pérdidas directas e indirectas por accidentes, reducción de las indemnizaciones por incapacidades y disminución del ausentismo, o bien reducción a las primas de seguros.

El trabajo puede tener efectos perjudiciales o beneficiosos sobre la salud. Las condiciones de trabajo pueden ser causa de incapacidad o de agravamiento de incapacidades preexistentes o potenciales. Pero también pueden mejorar la salud fisiológica y psicológica.

Los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales se engloban en la denominación general de infortunios laborales.

Accidentes de trabajo es toda lesión corporal sufrida en ocasión o como consecuencia del trabajo que se realiza. Es un hecho repentino y violento, de resultados inmediatos. Generalmente su acción es mecánica o traumatizante.

Enfermedad profesional es aquella de aparición previsible, de manifestación lenta y gradual, resultante de una acción débil e insensible pero prolongada, originada en las condiciones en que se realiza el trabajo.

Un programa de salud ocupacional considera no solo la prevención de accidentes y enfermedades profesionales, sino que se extienden al campo más amplio de la salud integral del trabajador. Es la Salud Pública aplicada a la población activa.

En todo programa de Salud Ocupacional deben participar la Medicina del Trabajo, la Higiene Industrial, y la Seguridad Industrial. La Ergonomía, que estudia los

sistemas hombre-ambiente-máquina sirve a su vez de valioso apoyo a las tres disciplinas.

## **1.2 Medicina del Trabajo**

La Medicina del Trabajo es la rama de la medicina destinada a satisfacer necesidades y problemas médicos dentro de un programa de salud ocupacional. (Definición de la American Industrial Hygiene Association).

Son funciones del médico del trabajo

1. Evaluar la capacidad física y las características mentales y emocionales de cada individuo para que le sean asignadas tareas compatibles con su salud, a fin de que pueda trabajar sin incurrir en riesgos indebidos para él, para sus compañeros y para la empresa.
2. Ayudar al personal a preservar, y aún mejorar la salud, brindándole un servicio de salud de carácter preventivo,
3. Proveer asistencia médica en casos de emergencia, de lesiones y enfermedades profesionales, y donde fuera posible, ofrecer tratamientos simples en el ámbito de dispensario a los empleados que estando trabajando estuvieran afectados por lesiones o enfermedades no ocupacionales.

## **1.3 Higiene Industrial y Seguridad Industrial**

La Higiene Industrial es la ciencia que tiene por objeto el reconocimiento, evaluación y control (de los factores ambientales o tensiones que se originan en el lugar de trabajo que puedan causar enfermedad, perjuicios a la salud o ineficacia entre los trabajadores o entre los ciudadanos de la comunidad).

La Seguridad Industrial es la ciencia que tiene por objeto la prevención de accidentes en el trabajo. Su acción se manifiesta sobre el individuo y sobre las fábricas y máquinas.

Los accidentes de trabajo son generalmente producto de causas personales o causas mecánicas.

La eficiencia del sistema hombre-máquina depende de la integración de las características biológicas del operador con el diseño de las máquinas. La ergonomía considera a los controles de las máquinas como prolongación de los miembros del hombre y a los instrumentos de medición e indicadores como prolongación de sus sentidos. Este concepto implica que la capacidad y limitaciones del individuo deben ser considerados en los proyectos de máquinas,

Se estima que la aplicación de la ergonomía puede ser una contribución importante en la lucha por la reducción de la fatiga industrial, prevención de accidentes y aumento de la eficiencia en el trabajo.

## **1.4 Leyes sobre Seguridad en Higiene en el Trabajo**

La Ley 19587 y su Decreto Reglamentario 351/79 son un documento al cual se referirá este texto en sus diversos capítulos y su lectura es indispensable para

todo profesional o estudiante de Ingeniería. Su ámbito de aplicación a todos los establecimientos y explotaciones del país, sin distinción de su naturaleza o actividad que se detalle en los mismos.

El decreto 351/79 es un decreto reglamentario de la ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Aunque no está claramente explicitado, este decreto está dirigido fundamentalmente a la industria manufacturera. Especifica las características constructivas que deberán tener los establecimientos y las condiciones de higiene y seguridad en los ambientes laborales, considerando detalladamente los distintos factores de incidencia y escenarios posibles. Asimismo, establece las normas fundamentales sobre protección personal del trabajador; equipos necesarios al efecto; obligaciones de capacitación; exámenes de aptitud física; y registros obligatorios.

La ley 24557/95, denominada ley de riesgos del trabajo establece el sistema vigente en materia de previsión y *prevención* de los riesgos del trabajo y de reparación de los daños derivados del mismo. Crea las figuras de las **Aseguradoras de Riesgo de Trabajo** – ART-, instituyéndose el seguro obligatorio con carácter general, y la posibilidad de optar por el auto seguro para empleadores que reúnan ciertos requisitos. Se determinan las obligaciones de las partes a los fines de la prevención; las contingencias y situaciones cubiertas por el sistema; el régimen de prestaciones; el régimen financiero del sistema; los entes que tienen a su cargo la regulación y supervisión de la normativa; y los derechos y deberes de las partes y prohibiciones.

Los objetivos de la ley se encuentran en el Capítulo I, y son:

- a) Reducir la siniestralidad laboral a través de la prevención de los riesgos derivados del trabajo;
- b) Reparar los daños derivados de accidentes de trabajo y de enfermedades profesionales, incluyendo la rehabilitación del trabajador damnificado;
- c) Promover la recalificación y la recolocación de los trabajadores damnificados;
- d) Promover la negociación colectiva laboral para la mejora de las medidas de prevención y de las prestaciones reparadoras.

Este de prevención de riesgos del trabajo, se trata de un seguro a cargo de una Aseguradora de Riesgos del Trabajo (ART) que debe cubrir a la empresa y al trabajador ante consecuencias producidas por accidentes laborales. En este sentido, si se produce un accidente laboral, el ART se debe encargar de las prestaciones médicas y del pago de los jornales caídos a partir del décimo día de la licencia del trabajador, a cambio de una tarifa mensual – que se fija según la cantidad de trabajadores y el nivel de riesgo de su actividad y el de la propia empresa –. Debe cubrir las indemnizaciones a los familiares de la víctima en caso de accidentes mortales. También debe cubrir los accidentes ocurridos entre la casa del trabajador y su trabajo (in itinere).

En la LRT se dispuso que la SRT se responsabilice de la construcción, desarrollo y mantenimiento de un registro de siniestralidad laboral. En este sentido, luego de

recolectar y procesar la información que arrojen los instrumentos se confrontará con la información suministrada por SRT en los últimos años.

El decreto 170/96 es el decreto reglamentario de la Ley 24577/95. A través de este decreto se establecen las pautas y contenidos a los que deberán ajustarse los Planes de Mejoramiento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo, se crea una clasificación de los empleadores afiliados según el grado de cumplimiento del Plan, y se precisa el alcance de los derechos y obligaciones de los empleadores y trabajadores y de las prohibiciones.

El Decreto 911/96 - Salud y Seguridad en la Construcción, reglamentario de la Ley 19587 para la Industria de la Construcción, deroga el decreto 351/79 y la Resolución 1069/91 (Salud y seguridad en la Construcción) y toda otra norma que se oponga a sus disposiciones.

A través de este decreto, se establecen detalladamente las distintas normas que deben cumplirse para protección y seguridad de los trabajadores de la construcción, tanto en lo que respecta a las condiciones que debe reunir el ámbito de trabajo, como en lo que hace las características de los equipos y elementos a utilizar por los trabajadores.

Esta reglamentación se debe aplicar en todo el ámbito del territorio de la República Argentina. Rige para los trabajadores en relación de dependencia de las empresas constructoras, tanto en el área física de obras en construcción como en los sectores, funciones y dependencias conexas, tales como obradores, depósitos, talleres, servicios auxiliares y oficinas técnicas y administrativas.

En el artículo cuarto, se establece que el *comitente* será solidariamente responsable, juntamente con el o los contratistas, del cumplimiento de las normas del presente Decreto.

También establece para el comitente la obligación de incluir en el respectivo contrato la obligatoriedad del contratista de acreditar, antes de la iniciación de la obra, la contratación del seguro que cubra los riesgos de trabajo del personal afectado a la misma en los términos de la Ley 24557 o, en su caso, de la existencia de autoseguro y notificar oportunamente a la SRT el eventual incumplimiento.

En los casos de obras donde desarrollen actividades simultáneamente dos o más contratistas o subcontratistas, la coordinación de las actividades de higiene y seguridad y medicina de trabajo estarán bajo la responsabilidad del contratista principal, si los hubiere, o del comitente, si existiera pluralidad de contratistas. En los instrumentos de dicha coordinación deberá constar la obligación de todos los responsables respecto al cumplimiento de la normativa específica.

Establece asimismo, por un lado obligaciones de los empleadores y por otro lado, derechos y obligaciones de los trabajadores.

El empleador es el principal y directo responsable, sin perjuicio de los distintos niveles jerárquicos y de autoridad de cada empresa y de los restantes obligados definidos en la normativa de aplicación, del cumplimiento de los requisitos y deberes consignados en el decreto.

Los empleadores deberán capacitar a sus trabajadores en materia de higiene y seguridad y en la prevención de enfermedades y accidentes de trabajo, de acuerdo a las características y riesgos propios, generales y específicos de las tareas que cada uno de ellos desempeña. La capacitación del personal se efectuará por medio de clases, cursos y otras acciones eficaces y se complementarán con material didáctico gráfico y escrito, medios audiovisuales, avisos y letreros informativos.

Los programas de capacitación deben incluir a todos los sectores de la empresa, en sus distintos niveles:

- Superior: dirección, gerencia, jefaturas.
- Intermedio: supervisores, encargados, capataces.
- Operacional: trabajadores de producción y administrativos.

Entre los derechos y obligaciones de los trabajadores se establecen:

- Gozar de CYMAT que garanticen la preservación de su salud y seguridad.
- Someterse a los exámenes periódicos de salud establecidos en las normas de aplicación.
- Recibir información completa y fehaciente sobre los resultados de sus exámenes de salud, conforme a las reglas que rigen la ética médica.
- Someterse a los procesos terapéuticos prescritos para el tratamiento de enfermedades y lesiones de trabajo y sus consecuencias.
- Cumplir con las normas de prevención establecidas legalmente y en los planes y programas de prevención.
- Asistir a los cursos de capacitación que se dicten durante las horas de trabajo.
- Usar los elementos de protección personal o colectiva y observar las medidas de prevención.
- Utilizar en forma correcta los materiales, máquinas, herramientas, dispositivos y cualquier otro medio o elemento con que desarrolle su actividad laboral.
- Observar las indicaciones de los carteles y avisos que indiquen medidas de protección y colaborar en el cuidado de los mismos.
- Colaborar en la organización de programas de formación y educación en materia de salud y seguridad.
- Informar al empleador todo hecho o circunstancia riesgosa inherentes a sus puestos de trabajo.

El decreto 1338/96 modifica al Decreto 351/79 Las modificaciones introducidas por este decreto atienden a la superposición entre funciones que la Ley 24557 impone a las aseguradoras con los Servicios de Higiene y Seguridad en el Trabajo que establece el Decreto 351/79. Así se deroga el Título II y VII del anexo I de dicho decreto, y en lugar de ello se establece: Opción del establecimiento de contar con Servicios internos o Externos de Medicina del Trabajo y de Higiene y Seguridad en el Trabajo; creación del concepto de "cantidad de trabajadores equivalentes" a fin de determinar las horas de asignación profesional para la

prestación de los servicios; redefinición del objetivo de los servicios de Medicina del trabajo y de Higiene y Seguridad en el Trabajo; profesionales habilitados para prestar los servicios; y funciones de contralor y registración de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo.

## **1.5 Higiene Industrial**

El punto de partida de la Higiene Industrial es la premisa de que los factores ambientales que contribuyen a crear las situaciones de riesgo pueden ser identificados y medidos, y en consecuencia pueden determinarse las modificaciones necesarias para corregir condiciones que de otro modo resultarían perjudiciales para la salud.

Los tres términos incluidos en la definición de Higiene Industrial, reconocimiento, evaluación y control, delimitan en una secuencia lógicamente ordenada tres aspectos de la actividad del higienista industrial.

Ellos implican que por medio del examen sistemático de las condiciones de trabajo y del ambiente, usando instrumental de la Física y de la Química, es posible descubrir riesgos potenciales para la salud, determinar su magnitud y predecir la naturaleza y extensión de los efectos sobre los individuos expuestos. Finalmente, por medio de la ingeniería es factible proyectar, instalar y operar sistemas adecuados de control que reduzcan las tensiones ejercidas sobre el individuo a límites compatibles con la salud.

Un programa de Higiene Industrial implica la aceptación de las siguientes premisas:

1º - De las condiciones ambientales del trabajo resulta un efecto nocivo sobre la salud de las personas expuestas a una enfermedad profesional.

2º Es posible identificar y determinar la magnitud de los agentes o factores ambientales considerados responsables.

3º - Existe una correlación demostrable entre la magnitud de los agentes ambientales implicados y la naturaleza y extensión de los daños sobre la salud de los individuos.

4º - Existen niveles de tolerancia en el individuo que pueden establecerse y en consecuencia puede calcularse la magnitud de la corrección de los factores ambientales.

5º - Las instalaciones o equipos necesarios para el control pueden proyectarse mediante la aplicación de técnicas de Ingeniería.

El ingeniero especializado en Higiene Industrial, trabaja en estrecha colaboración con el médico y comparte con él la responsabilidad por el mantenimiento de la salud, productividad y bienestar de los trabajadores en la industria. La importante diferencia entre ambos profesionales es el distinto punto de ataque de los problemas de salud ocupacional: el ingeniero centra su atención sobre las condiciones de trabajo y el medio físico, en tanto que el médico centra su interés en el hombre. Pero para entender cabalmente la interacción existente entre las dos fases que integran el sistema Hombre-Medio Ambiente Laboral se

requiere la complementación de los conocimientos y técnicas de ambas disciplinas.

La metodología de la Higiene Industrial, requiere la evaluación de magnitudes en el ambiente físico y en el hombre.

Aquellas magnitudes pertenecientes' al ambiente físico determinan lo que convencionalmente se llaman "Tensiones ejercidas por el medio sobre el individuo" o "Tensiones Ambientales" y aquellas otras que son tomadas en el hombre mismo se denominarán "Respuesta Biológica".

Se considerarán en primer término las mediciones en el medio físico.

#### a) Mediciones en el Medio Físico

El hombre puede sobrevivir y actuar en condiciones muy diversas de tensiones externas, pero sólo en un ambiente favorable puede realizar una tarea sostenida y eficiente y al mismo tiempo permanecer en buenas condiciones de salud.

Debe insistirse en que el objetivo del análisis y de las mediciones física del medio es dar una respuesta expresable en términos médicos o fisiológicos al problema de la capacidad del hombre para soportar las tensiones del medio y del trabajo.

Ninguna medición de factores ambientales, por precisa que sea la técnica aplicada, tiene un significado intrínseco que por sí solo informe sobre la respuesta biológica del individuo expuesto.

La energía consumida por un hombre durante el trabajo está determinada por la requerida por el trabajo físico, más la necesaria para mantener las funciones del organismo dentro de los límites compatibles con el estado fisiológico normal. Esta última varía considerablemente en las condiciones del medio, la demanda del trabajo, las características individuales y el grado de fatiga. Cuando un individuo abandona el estado de reposo y comienza un trabajo físico las funciones fisiológicas se desplazan a partir de; nivel de equilibrio inicial buscando alcanzar el nuevo nivel superior que exige la mayor demanda de energía. Este nivel es tanto más elevado cuanto mayor es la intensidad del trabajo. Cuando el trabajo cesa se produce un retorno progresivo a los valores anteriores, requiriéndose un cierto período de ajuste durante el cual la energía consumida decrece, pero es superior en cualquier instante a la que corresponde al nivel de reposo.

Si la misma tarea se realiza en condiciones ambientales adversas es necesario un mayor esfuerzo del organismo para contrarrestar el efecto del medio. Por ejemplo, sin un trabajo se realiza en un ambiente a elevada temperatura, a la energía requerida por el trabajo físico se le agrega el esfuerzo fisiológico necesario para mantener la temperatura del cuerpo tan próxima al nivel normal como sea posible. Si el organismo fracasa en este esfuerzo, el *trabajo físico* no puede mantenerse por un tiempo apreciable, pues algunas funciones fisiológicas pueden alcanzar niveles riesgosos para la salud. Las condiciones adversas del medio pueden volver difícil o imposible una tarea intrínsecamente fácil.

La temperatura y humedad del aire, el calor radiante, el movimiento del aire, la presión, las vibraciones y los ruidos, las radiaciones y los contaminantes

atmosféricos (partículas, gases y vapores), son los factores del ambiente de influencia primordial en la salud y eficiencia del individuo.

El instrumental moderno permite evaluar la magnitud de estas variables con la precisión necesaria, pero en todos los casos se requiere el conocimiento de los principios físico biológicos que rigen la acción del factor considerado sobre el individuo, con el fin de interpretar correctamente el resultado obtenido y determinar su representatividad en términos de una respuesta biológica.

#### b) Mediciones en el individuo

El Método de la Higiene Industrial consiste en buscar la forma de efectuar sobre el individuo mediciones objetivas, sea de actividades fisiológicas o de cualquier otra alteración biológica capaz de revelar un principio de deterioro de la salud, que sea índice de un desequilibrio o de un esfuerzo de adaptación del organismo para soportar una condición adversa del medio, que en ciertos casos puede no tener una manifestación externa sensible, y en otros se evidencia como una reducción de la capacidad de trabajo, pero que al prolongarse en el tiempo o al aumentar la intensidad de los factores ambientales que le originan puede conducir a una enfermedad o incapacidad permanente.

Estas mediciones en el hombre pueden realizarse con el individuo en reposo y en condiciones ambientales normales, en cuyo caso sólo pueden revelar efectos que subsisten cuando las tensiones del medio han desaparecido, pero la tendencia moderna es hacia la medición de las respuestas biológicas del hombre sometido a esfuerzo, como el medio más eficaz de detectar los primeros signos de alteración del organismo.

#### c) Correlación entre las mediciones en el medio y en el hombre

La Higiene Industrial tendría escaso significado si se basara exclusivamente en la Ingeniería y en la Física y la Química, pero el trabajo de equipo entre médicos e ingenieros y la integración de las ciencias te ha proporcionado el fundamento biofísico adecuado que establece el vínculo de unión entre el hombre y el medio; de igual manera el diagnóstico médico no puede decir por sí solo si un determinado perjuicio sobre la salud ha tenido su origen en una condición ambiental. Esta interpretación sólo es factible cuando los resultados del diagnóstico pueden relacionarse con la descripción cuantitativa de las condiciones del medio examinándose ambos grupos de observaciones a la luz de correlaciones previamente establecidas entre tensiones ambientales y respuestas biológicas.

En ciertas ocasiones la vinculación de un perjuicio sobre la salud o la reducción de la capacidad laboral con los factores ambientales o el trabajo es obvia, como en el caso de intoxicación por plomo, o la extenuación por calor, o la fatiga por trabajo prolongado; pero en general la Higiene Industrial debe considerar condiciones más complejas en donde la relación de causalidad no puede establecerse mediante el estudio del individuo aislado. El cáncer, por ejemplo, puede tener su origen en las, condiciones de trabajo, pero no es factible determinar esto con certeza. Hay, una probabilidad de que esto sea cierto si se trabaja con algunos contaminantes.

En otras enfermedades tales como la bronquitis crónica, los trastornos cardíacos, el reumatismo o las enfermedades mentales, el trabajo puede ser una causa concurrente en asociación con otras influencias tales como el medio exterior al trabajo, factores hereditarios o hábitos personales.

En estos casos el uso de método epidemiológico para el estudio de grupos de individuos hace posible descubrir la influencia que las condiciones ambientales y el trabajo pudieron haber tenido en la etiología de la enfermedad y de esta forma permite la evaluación del riesgo laboral.

El establecimiento de una correlación entre respuestas biológicas y dosis puede encararse en dos formas diferentes que conviene vincular. (La palabra "dosis" se emplea aquí en sentido general comprendiendo los conceptos "tensión ambiental y "tiempo" cuando corresponda).

El primer método consiste en la medición de la variación en la intensidad de la respuesta en función de la variación de la dosis en un individuo o grupo de individuos.

Esta forma de estudio, la más racional, presupone una comprensión de la naturaleza intrínseca de la respuesta, dado que parte de la base de que la intensidad de su variación es medible.

Mediante este método es posible fijar una dosis admisible a partir de la intensidad tolerada de la respuesta, siendo esta intensidad el valor promedio que corresponde a la población estudiada. Un caso sencillo que ilustra este procedimiento es el que corresponde a la intoxicación por monóxido de carbono. La dosis está dada por el producto de la concentración en el aire por el tiempo de exposición; la respuesta biológica está medida por el porcentaje de saturación de carboxihemoglobina en la sangre.

El segundo método consiste en la determinación del porcentaje de individuos dentro de un grupo, que responde a un nivel particular de la dosis. Este método informa sobre la variabilidad de la respuesta en la población y permite también la fijación de valores admisibles pero con un criterio diferente. Si se admite que la variabilidad de la respuesta en la población en función del crecimiento de la dosis puede representarse por una curva de probabilidad normal (es decir que el porcentaje de individuos que responden en función de la dosis es una línea recta cuando se representan las ordenadas en escala de probabilidad y las abscisas en escala logarítmica) se deduce que cualquiera sea la intensidad de la exposición habrá siempre un cierto número de individuos afectados. La magnitud de la dosis admisible resulta de aceptar un porcentaje probablemente afectado dentro de la población, porcentaje que deberá ser tanto menor cuanto más importante sean los perjuicios que resultan de una respuesta positiva, lo que a su vez depende de la seriedad de la enfermedad y de la mayor o menor facilidad de su detección precoz.

En los estudios toxicológicos tendientes a determinar las dosis permisibles de contaminantes mediante la experimentación sobre animales se aplica con frecuencia estos procedimientos.

d) Límites de tolerancia

A medida de que la tecnología avanza es posible disponer de métodos e instrumental más refinado para la medición de las tensiones del medio y las respuestas biológicas del individuo expuesto. Ello posibilita una reducción en la intensidad detectable de los daños o alteraciones producidas en la salud del hombre. Este desarrollo ha coincidido en los países altamente industrializados con una evolución del concepto sobre la finalidad de los servicios de salud ocupacional. Existe hoy en los gobiernos, sindicatos y empleadores no sólo un deseo de aumentar la capacidad y eficiencia de los trabajadores sino también una mayor preocupación por la obligación moral y legal de protegerlos de los riesgos emergentes del trabajo. La combinación de estas circunstancias ha tendido a que el establecimiento de los límites de tolerancia se base en condiciones cada vez más estrictas, es decir, que implican una menor alteración biológica en el individuo expuesto.

Las condiciones ambientales adversas al exigir al individuo un mayor esfuerzo de adaptación tienden a producir desarreglos o daños funcionales o anatómicos que a su vez se manifiestan luego como incapacidades, sin embargo, puede requerirse a veces un período prolongado de exposición o una extensión considerable de los daños producidos antes de que la incapacidad se evidencie en términos fácilmente mensurables. A partir de una cierta condición crítica la incapacidad tiende a aumentar rápidamente. Una misma tensión ambiental que sólo causaría molestias a una persona con buena salud, podría llevar a la muerte a otra que hubiera sobrepasado dicha condición; hay una variación en la susceptibilidad.

Cuando el problema del control ambiental se encara en una etapa avanzada del deterioro de la salud de las personas expuestas la determinación de correlaciones entre tensiones y efectos sobre el individuo resulta relativamente sencilla; pero en el período inicial del proceso, deben buscarse correlaciones con los cambios fisiológicos que preceden el desarrollo de las enfermedades. La evaluación de la respuesta biológica no debe hacerse en términos de incapacidades, sino en términos de las primeras alteraciones biológicas. Más que enfermedades, corresponde medir desviaciones de la salud. Una de las mayores dificultades radica en el hecho de que las respuestas de los organismos tienden a ser, en ese caso, cada vez menos específicas.

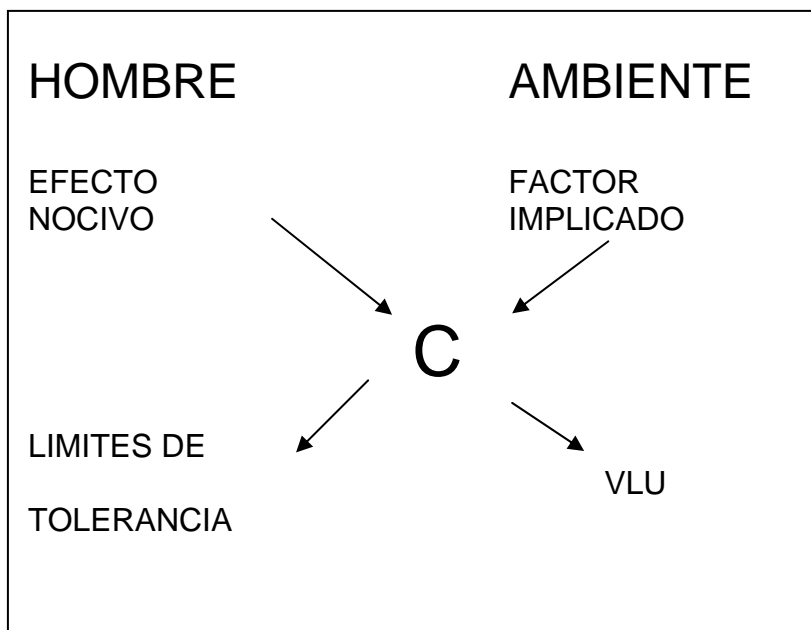
La fijación de límites admisibles involucra el concepto de que existen niveles de exposición que caen dentro de la capacidad de tolerancia del hombre. Por ejemplo, muchas sustancias extrañas al organismo pueden ser eliminadas por los sistemas metabólicos, siendo sometidas a transformaciones químicas. Este procedimiento no implica necesariamente un daño para el organismo.

El criterio para fijar los niveles admisibles de exposición ha tendido con el tiempo a desplazarse según la siguiente escala:

1. - Mortalidad ocupacional
2. - Estados patológicos
3. - Alteraciones bioquímicas
4. - Alteraciones fisiológicas
5. - Perturbaciones psicológicas

Los índices de mortalidad ocupacional han sido usados durante largo tiempo para detectar los riesgos inherentes al trabajo. Pero aún un hecho tan concreto como la muerte, que es en general consecuencia de múltiples circunstancias, puede no ser un índice fehaciente de correlación con un factor ambiental determinado,

En general, cuando las condiciones impuestas por una etapa han sido logradas, se tiende a cumplir los requisitos más estrictos del peldaño anterior, desde el criterio basado en los índices de mortalidad hacia las respuestas psicofisiológicas, cada vez menos específicas.



### 1.6 Clasificación de los Factores Ambientales

Los factores ambientales pueden agruparse en las siguientes categorías: a) Factores Físicos, b) Factores Químicos, e) Factores Biológicos y d) Factores Ergonómicos.

#### A) Factores Físicos

Se pueden nombrar entre los factores físicos a la temperatura, humedad y movimiento M aire, factores relacionados con el confort higrotérmico y la carga térmica, a los ruidos y vibraciones relacionados con la acústica sanitaria y el control de ruidos; a las radiaciones ionizantes (rayos X, rayos gamma y rayos ultravioleta) relacionadas con la protección radiológica, a las radiaciones no ionizantes (V H F, U H F) relacionadas con las comunicaciones y radares; a la presión atmosférica relacionada (trabajos a presión o bajo agua).

#### B) Factores Químicos

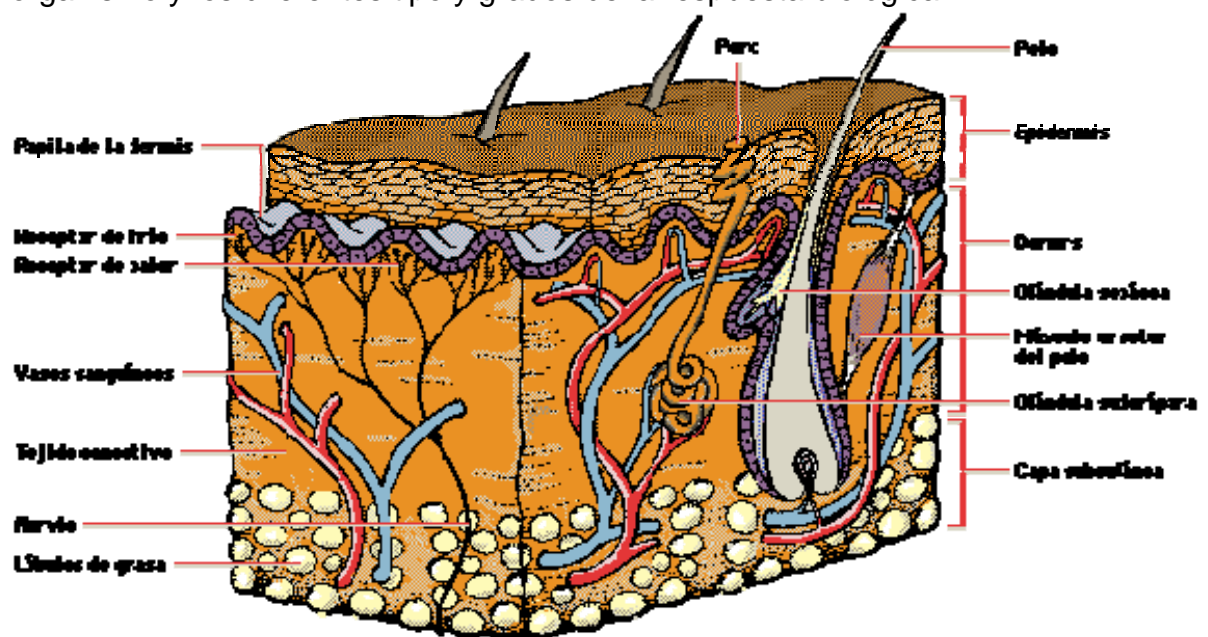
El control de los agentes químicos contaminantes del aire, en relación con la protección de la salud en el trabajo, requiere el conocimiento de la forma de contacto de dichos agentes con el organismo, su modo de acción y la forma en que son o pueden ser eliminados.

Los posibles medios de contactos son los siguientes:

Contacto con la piel Inhalación por vía respiratoria Absorción por vía bucal

El contacto con la piel es el que afecta a mayor número de personas en el trabajo. La inhalación por el aparato respiratorio es a su vez de primordial importancia para la salud ocupacional. La absorción oral es de escasa significación, excepto cuando se superpone a la inhalación o en el caso de tratarse de agentes extremadamente tóxicos.

Para comprender los procesos de absorción por el aparato respiratorio es necesario conocer los mecanismos de la respiración y circulación y su papel en el ingreso y eliminación de los agentes contaminantes, Deben estudiarse las características físicas y químicas de estos agentes, su acción específica sobre el organismo y los diferentes tipo y grados de la respuesta biológica.



Los agentes químicos pueden ser clasificados de acuerdo con su estado físico, su composición química o su acción fisiológica,

### 1. Clasificación según el estado físico

Es de la mayor importancia práctica. El estado físico de los contaminantes condiciona el comportamiento en el aire y su modalidad de acción en el aparato respiratorio. Los principios de separación de los contaminantes son diferentes según el estado físico y en consecuencia son también distintos los equipos de muestreo y de tratamiento de aire o las características de funcionamiento.

El siguiente cuadro resume la clasificación:

Contaminates del aire	Partículas	Sólidas	Polvos
			Humos Químicos
		Líquidas (nieblas)	

Los **polvos** son partículas sólidas, de tamaño relativamente grande (1/4 a 20 micrones) capaces de estar temporalmente suspendidas en el aire. Se generan en operaciones de manipulación, trituración, molienda, impacto, detonación o calcinación de materiales inorgánicos tales como rocas, minerales, metales, carbón, maderas, cereales, etc. Sedimentan por acción de la gravedad.

Los **humos químicos** son partículas aerodispersadas generadas por condensación a partir del *estado gaseoso*, generalmente después de la volatilización de metales fundidos. Su tamaño es menor que el de los polvos, no sobrepasando el 1/2 a 3/4 de micrón. La mayoría están comprendidos entre 0, 1 y 0,0 1 de micrón.

Las **nieblas** son gotas en suspensión en el aire que se generan sea por condensación a partir de] estado gaseoso o por la dispersión mecánica de un líquido en operaciones que produzcan salpicaduras, espumas o atomizaciones.

Los gases son fluidos que en condiciones normales no tienen forma, que ocupan el espacio M recipiente que los contiene y que pueden pasar al estado líquido o sólidos por efecto de variaciones de presión y temperatura.

Los **vapores** son la forma gaseosa de sustancias que en condiciones normales se presentan líquidas o sólidas.

Otros términos de aplicación común son:

**Aerosoles.** dispersión de partículas sólidas o líquidas en un medio gaseoso.

**Humos:** partículas resultantes de la combustión incompleta, compuestas principalmente de carbono.

## *2. Clasificación según la composición química*

Las clasificaciones varían según el aspecto de la composición que se desea destacar. La mayor dificultad para establecer una clasificación racional radica en que no es posible establecer una correlación general entre la estructura química y los efectos biológicos de los contaminantes, si bien en ciertos casos pueden señalarse algunas tendencias a leyes cuya extrapolación a nuevas sustancias debe hacerse con cautela y sujeta a la posterior confirmación experimental].

## *3. Clasificación fisiológica (tomado de P.A. Patty Industrial Hygiene and Toxicology) (4)*

Esta clasificación ofrece dificultades: por ejemplo la acción fisiológica de muchos gases y vapores depende de la concentración. Un vapor a cierta concentración puede actuar como anestésico, mientras que a menor concentración puede no ser anestésico, pero sí dañar el sistema nervioso, e) sistema hematopoyético o alguna víscera.

## **1.- Irritantes**

Sustancias de acción corrosiva, inflaman las superficies húmedas y mucosas. El factor concentración es más importante que el tiempo de exposición. Su acción depende principalmente de las propiedades físicas (volatilidad, solubilidad)

### **a) Irritantes del tracto respiratorio superior**

Ejemplos: Aldehídos (acroleína, formaldehído, acetaldehído, paraformaldehído), nieblas y polvos, álcalis, amoníaco, ácido crómico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, dióxido de trióxido de azufre, óxido de etileno.

### **b) Irritantes intermedios**

Ejemplos: Bromo, Cloro, Óxidos de Cloro, Flúor, Iodo, Ozono, Bromuro de cianógeno, Cloruro de carboxihemoglobinem), cianógeno, Sulfato de dimetilo, Sulfato de dietilo, Cloruros de azufre, Tricloruro de fósforo y Pentacloruro de fósforo.

### **e) Irritantes de los pasajes respiratorios terminales y espacios pulmonares:**

Ejemplos: Tricloruro de arsénico, Bióxido y Tetróxido de nitrógeno, Fosgeno.

## **2.- Asfixiantes**

Ejercen su acción interfiriendo con la oxidación de los tejidos.

### **a) Asfixiantes simples**

Gases fisiológicamente inertes, actúan por dilución del oxígeno atmosférico reduciendo su presión parcial por debajo de la requerida para mantener una saturación de oxígeno en la sangre suficiente para la respiración normal de los tejidos. Ejemplos: Dióxido de carbono, Etano, Helio, Hidrógeno, Metano, Nitrógeno.

### **b) Asfixiantes químicos**

Agentes que reducen la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre (anoxia anémica). Ejemplo: Monóxido de carbono (produce carboxihemoglobinemia), Anilina, Metil y Dimetilánilina, Toluidina, Nitrobenzeno (producen metahemoglobinemia o ferrilhemoglobinemia).

Agentes que inhiben la oxidación combinándose con catalizadores celulares (anoxia histotóxica). Ejemplos: Acido cianhídrico, Nitrilos. Agentes que producen parálisis respiratoria (anoxia por éxtasis), Ejemplo: Acido sulfhídrico.

### **3.- Anestésicos y narcóticos**

Producen anestesia sin efectos sistémicos serios, tienen acción depresiva sobre el sistema nervioso central, determinada por su presión parcial en la sangre que afluye al cerebro. Ejemplos: hidrocarburos acetilénicos, hidrocarburos olefinicos, eter etílico, eter isopropílico, hidrocarburos parafínicos, cetonas alifáticas, ésteres (estos compuestos se enumeran en orden decreciente de acción).

### **4.- Tóxicos sistémicos**

#### **a) Sustancias que causan daño en una o más vísceras.**

Ejemplos: La mayoría de los hidrocarburos halogenados.

#### **b) Sustancias que atacan el sistema hematopoyéticos.**

Ejemplos: Benceno, Fenoles, Tolueno, Xileno, Naftaleno.

#### **c) Tóxicos de] sistema nervioso.**

Ejemplos: plomo, bisulfuro de carbono, alcohol metílico, tiofeno

#### **d) Metales tóxicos.**

Ejemplos: plomo, mercurio, cadmio, antimonio, manganeso, berilio

#### **e) Tóxicos inorgánicos no metálicos.**

Ejemplos; compuestos de arsénico, fósforo, selenio, azufre y flúor.

### **5.- Sensibilizantes**

Son sustancias que producen reacciones alérgicas. Ejemplos: Isocianales, dióxido de azufre, polen, pelos orgánicos, etc.

### **6.- Partículas no clasificadas como tóxicos sistémicos**

Existen varios tipos:

- a) Polvos productores de fibrosis, Sílice, Asbestos
- b) Polvos inertes: Carborundum, Carbón
- e) Enzimas proteolíticas: (detergentes enzimáticos)
- d) Irritantes: Acidos, Alcalis
- e) Bacterias y otros microorganismos

### **7.- Cancerígenos**

Producen tumores.

Ejemplos: Benceno, Asbestos, Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PCA), cte.

## **C) Factores biológicos**

Los riesgos biológicos para la salud en el trabajo comprenden infecciones originadas por virus, bacterias, hongos y protozoarios

Pueden tener origen laboral infecciones tales como SIDA, Antrax, Tuberculosis, Infecciones Fungosas, Brucelosis, Fiebre Tifoidea, Paludismo, Fiebre Amarilla, Anquilostomiasis, cte.

Las condiciones patológicas resultantes de la acción de factores biológicos se consideran de carácter laboral en la medida en que pueda demostrarse que han sido producidas o agravadas por circunstancias emergentes del trabajo.

## **D) Factores ergonómicos**

Se refieren a factores tales como la posición del cuerpo en relación con la tarea, repetición de movimientos monotonía y aburrimiento, tensiones originadas por el trabajo y la fatiga.

### **1.7 Bibliografía**

1) Durán, Julio César - "Apuntes de Higiene Industrial"

2 )Patty, F.A,- Industrial Hygiene and Toxicology - Y' Edición - John Wiley & Sons (1978) - ISBN 0-471-16046-6.

3) WHO – Epidemiology Of Occupational Health – European series N° 20 – ISBN 92 890 1111 4

4) Enciclopedia OIT –<http://www.mtas.es/inhst/EncOIT/index.html> o también <http://www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/sid/servicio/enciclopedia/index.htm>

## CAPITULO 2

### Seguridad industrial

#### 2.1.Introducción

La Seguridad Industrial es el conjunto de técnicas que tienen por objeto la prevención de los accidentes. A través del tiempo el énfasis puesto sobre la seguridad industrial ha ido cambiando.

Al producirse la revolución industrial se incremento el número de establecimientos industriales, los cuales disponían de gran cantidad de mano de obra debido a la desocupación en el agro debido a la introducción de nuevas técnicas. En tal situación, poca fue la atención puesta para resguardar la salud de los trabajadores.

A medida de que transcurre el siglo XIX aumentan las presiones sociales originadas en sentimientos humanitarios, así como movimientos de trabajadores para prevenir y compensar los accidentes de trabajo.

En efecto, se sostuvo que el accidente era de responsabilidad del empleado y no del empleador,

Distintos países emitieron leyes para resguardar al trabajador de los accidentes de trabajo.

Nuestro país lo hizo en 1915 con la Ley 9688, reemplazada luego por la actualmente por la Ley de Accidentes N° 24028 en 1991. En estas leyes se establecía claramente el principio de la responsabilidad del empleador. Posteriormente, esta ley fue reemplazada por la denominada Ley de Riesgos del Trabajo N° 24557 de 1995.

Esta ley es una ley de seguros, tal es así su concepción, que la definición de accidentes y enfermedades profesionales que usa, aparecen el Artículo 6 con "Contingencias", expresando lo siguiente:

*"ARTICULO 6°. - Contingencias.*

*1. Se considera accidente de trabajo a todo acontecimiento súbito y violento ocurrido por el hecho o en ocasión del trabajo, o en el trayecto entre el domicilio del trabajador y el lugar de trabajo, siempre y cuando el damnificado no hubiere interrumpido o alterado dicho trayecto por causas ajenas al trabajo. El trabajador podrá declarar por escrito ante el empleador, y éste dentro de las setenta y dos (72) horas ante el asegurador, que el in-itinere se modifica por razones de estudio, concurrencia a otro empleo o atención de familiar directo enfermo y no conviviente, debiendo presentar el pertinente certificado a requerimiento del empleador dentro de los tres (3) días hábiles de requerido.*

2. Se consideran enfermedades profesionales aquellas que se encuentran incluidas en el listado de enfermedades profesionales que elaborará y revisará el Poder Ejecutivo anualmente, conforme al procedimiento del artículo 40 apartado 3 de esta ley. El listado identificará agente de riesgo, cuadros clínicos y actividades, en capacidad de determinar por sí la enfermedad profesional.

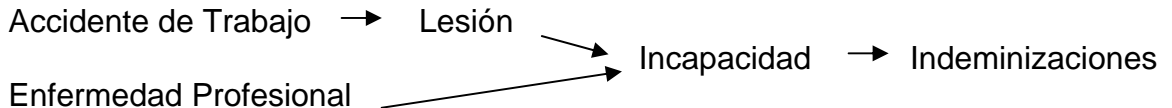
Las enfermedades no incluidas en el listado como sus consecuencias en ningún caso serán consideradas resarcibles.

3. Están excluidos de esta ley:

- a) Los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales causados por dolo del trabajador o por fuerza mayor extraña al trabajo;
- b) Las incapacidades del trabajador preexistentes a la iniciación de la relación laboral y acreditadas en el examen preocupacional efectuado según las pautas establecidas por la autoridad de aplicación.”

**Tal es el interés del legislador por proteger a la aseguradora de cualquier dolo eventual que ha olvidado definir accidente de trabajo**

Para que exista accidente de trabajo, el trabajador debe sufrir una lesión. Un hecho cualquiera, por ejemplo, un choque automovilístico, en que el trabajador escape sin lesiones, no es un accidente de trabajo, aunque sí un accidente en general. Esto se deriva de la siguiente secuencia:



Las lesiones determinarán incapacidades, las cuales pueden dar lugar a indemnizaciones.

En cuanto a incapacidades la legislación establece:

**“ARTICULO 7°. - Incapacidad Laboral Temporaria.**

1. Existe situación de Incapacidad Laboral Temporaria (ILT) cuando el daño sufrido por el trabajador le impida temporariamente la realización de sus tareas habituales.

2. La situación de Incapacidad Laboral Temporaria (ILT) cesa por:

- a) Alta médica;
- b) Declaración de Incapacidad Laboral Permanente (ILP);
- c) Transcurso de un año desde la primera manifestación invalidante;
- d) Muerte del damnificado.

**ARTICULO 8°. - Incapacidad Laboral Permanente.**

1. *Existe situación de Incapacidad Laboral Permanente (ILP) cuando el daño sufrido por el trabajador le ocasione una disminución permanente de su capacidad laborativa.*
2. *La Incapacidad Laboral Permanente (ILP) será total, cuando la disminución de la capacidad laborativa permanente fuere igual o superior al 66%, y parcial, cuando fuere inferior a este porcentaje.*
3. *El grado de incapacidad laboral permanente, será determinado por las comisiones médicas de esta ley, en base a la tabla de evaluación de las incapacidades laborales, que elaborará el poder ejecutivo nacional y, ponderará entre otros factores, la edad del trabajador, el tipo de actividad y las posibilidades de reubicación laboral.*
4. *El Poder Ejecutivo nacional garantizará, en los supuestos que correspondiese, la aplicación de criterios homogéneos en la evaluación de las incapacidades dentro del Sistema Integrado de Jubilaciones y Pensiones (SIJP) y de la LRT.*

*ARTICULO 9°. - Carácter provisorio y definitivo de la ILP.*

1. *La situación de Incapacidad Laboral Permanente (ILP) que diese derecho al damnificado a percibir una prestación de pago mensual, tendrá carácter provisorio durante los 36 meses siguientes a su declaración.*

*Este plazo podrá ser extendido por las comisiones médicas, por un máximo de 24 meses más, cuando no exista certeza acerca del carácter definitivo del porcentaje de disminución de la capacidad laborativa.*

*En los casos de Incapacidad Laboral Permanente parcial el plazo de provisionalidad podrá ser reducido si existiera certeza acerca del carácter definitivo del porcentaje de disminución de la capacidad laborativa.*

*Vencidos los plazos anteriores, la Incapacidad Laboral Permanente tendrá carácter definitivo.*

2. *La situación de Incapacidad Laboral Permanente (ILP) que diese derecho al damnificado a percibir una suma de pago único tendrá carácter definitivo a la fecha del cese del período de incapacidad temporaria.*

*ARTICULO 10. - Gran invalidez.*

*Existe situación de gran invalidez cuando el trabajador en situación de Incapacidad Laboral Permanente total necesite la asistencia continua de otra persona para realizar los actos elementales de su vida.”*

*Las Aseguradoras de Riesgos de Trabajo (ART), son entes de gestión responsables de administrar las prestaciones y de promover la prevención. Deben acordar con los empresarios los planes de seguridad e higiene, y controlar, supervisar que se lleven a cabo.*

*Las ART, además tienen la obligación de vigilar que la empresa asegurada cumpla con las normas de seguridad e higiene. Si no cumpliera, deben denunciarla ante la SRT.*

Un gran progreso, entendiendo por progreso la defensa de los derechos del trabajador, es el establecer la categoría de “Gran Incapacidad”, que no se encuentra en la legislación anterior.

## 2. 2. Definiciones de accidente

El concepto de accidente, así como el de seguridad, ha ido variando a medida de que se producían cambios tecnológicos.

Heinrich (1930) (1) define al accidente como un *"evento no planeado ni controlado en el cual la acción, o reacción de un objeto, sustancia, persona o radiación, resulta en lesión o probabilidad de lesión"*.

Lesión es el daño o alteración morbosos o funcional de los tejidos del organismo. Esta definición pone énfasis en la prevención de lesiones. Sin embargo, actualmente el concepto se va desplazando hacia la faz organizativa: así, Blake (1950) (2) define el accidente como *"una secuencia no planeada ni buscada que interfiere o interrumpe la actividad laboral"*.

Aquí se separa el concepto de accidente del concepto de lesión.

Alrededor de 1970, la industria aeroespacial comenzó a estudiar en forma intensa la prevención de accidentes. Asociado a un accidente, además de las lesiones o pérdidas de vidas humanas, existen importantes pérdidas de capital y prestigio empresarial.

Estos sistemas tecnológicos de alta complejidad necesitaban otros conceptos, no basados sólo en la prevención de lesiones sino en el resguardo del sistema.

Así se van asociando a la seguridad otras técnicas para lograr la confiabilidad de todo el sistema, es decir, para asegurar su funcionamiento.

Johnson (3) (1973) define accidente como *"una transferencia indeseada de energía, debido a la falta de barreras o controles que producen lesiones, pérdidas de bienes o interfieren en procesos, precedidas de secuencias de errores de planeamiento y operación; los cuales:*

*a) no se adaptan a cambios en factores físicos o humanos, y*

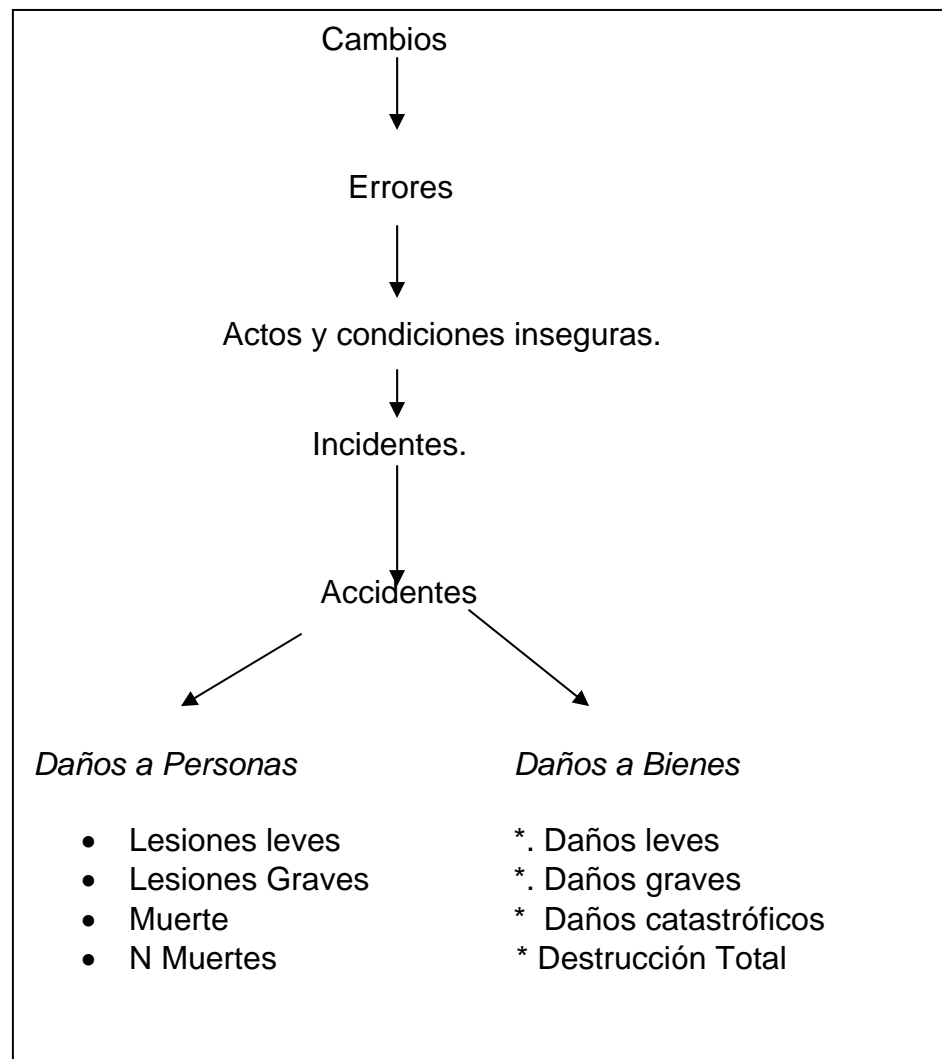
*b) producen condiciones y/o actos inseguros, provenientes del riesgo de la actividad, que interrumpen o degradan la misma."*

Un incidente es similar a un accidente, pero no causa lesiones o daños a bienes o procesos.

Peligro es el potencial que en una actividad (o circunstancia) ocurra una transferencia indeseada de energía debida a variaciones aleatorias de operaciones normales o cambios en factores Físicos o humanos.

A su vez, Riesgo es la probabilidad de que en un período de actividad, un peligro origine un accidente con consecuencias definidas.

Los eventos de interés pueden ordenarse en orden de interés crecientes y de decreciente frecuencia.



### 2.3 Teorías sobre el origen de los Accidentes

#### Teoría secuencial o de Heinrich

De acuerdo con esta teoría un accidente se origina por una secuencia de hechos. Esto se visualiza mejor imaginando las causas como fichas de dominó, colocadas muy próximas unas de otras; al caer una de ellas origina la caída de las demás.

Heinrich postulaba una serie de factores:

A = Herencia y medio social B = Acto inseguro C = Falla humana D = Accidentes E = Lesión

A -> B -> C --> D -> E

Obviamente pueden configurarse otros tipos de secuencias

### **Teoría Multifactorial**

La presencia simultánea de todos los factores A, B, C, ..., implica el accidente E. Por ejemplo, un accidente automovilístico puede producirse por la concurrencia de niebla, deficiente estado de los neumáticos y agotamiento del conductor.

### **Teoría probabilística**

Se ha comprobado que los accidentes en una industria de magnitud se distribuyen al azar en el tiempo de acuerdo con la Ley de Poisson.

Sea X donde m es el valor medio absoluto.

$$P(t) = m^t e^{-m} / t$$

p(t) Probabilidad de ocurrencia del accidente en el tiempo t

t = tiempo

Esto estaría en contradicción con lo expresado anteriormente, dado que todos los accidentes tienen causas definidas, pero siempre seguirán produciéndose accidentes en el hogar, en la industria, en el tránsito, etc.

Este enfoque es muy útil para la administración y para el estudio de eventos poco probables.

Por ejemplo, se puede comprobar si hay desviaciones del valor medio  $X = m$ , que se ha obtenido durante un período de tiempo dado.

Los valores con un 99% de confianza estarán entre:

$$m - 2\sigma < X < m + 2\sigma$$

De este modo pueden construirse gráficos y tener una idea acerca de las variaciones en las condiciones de seguridad.

### **Relación inversa entre frecuencia y magnitud de accidentes**

Si se grafican las frecuencias de accidentes de una magnitud dada (número de muertes, valor de, las pérdidas de bienes, etc.) en un papel log-log, puede verse que tiene la forma de una recta con pendiente negativa (ver figura Fig.1)

Se toma por ejemplo el número de accidentes de todo tipo en la (omisión de Energía Atómica de E. U. A. (USAEC) durante el período 1943/1970 (4)

Se puede observar que ocurrieron 295 accidentes mortales, de los cuales 247 fueron con una muerte, 13 con dos muertes, 3 con tres muertes, 2 con cuatro muertes y 1 con cinco muertes.

La frecuencia de accidentes con un solo deceso será mucho mayor que aquellos con varias muertes,

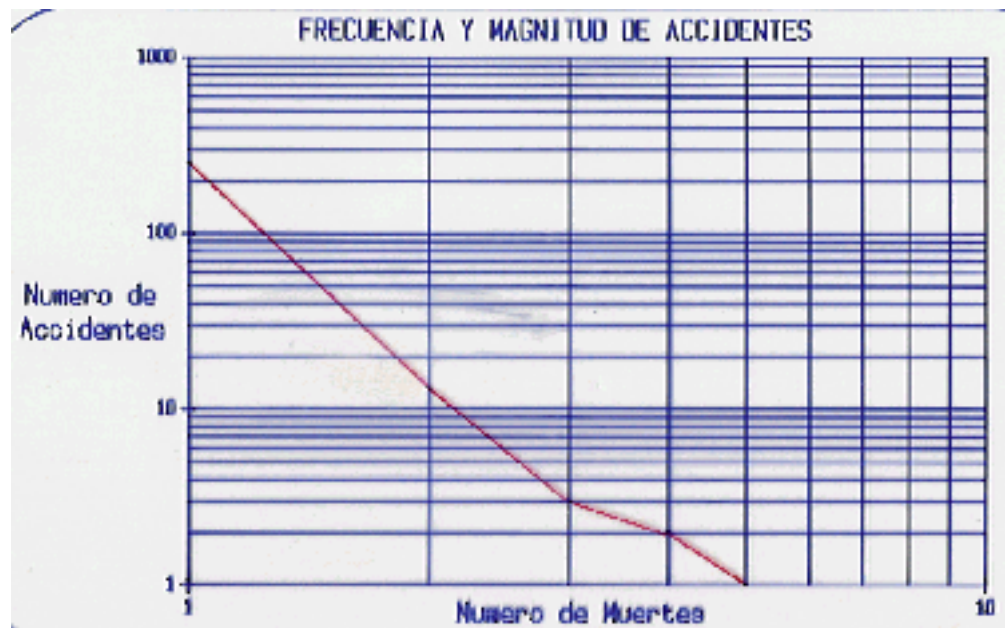


Fig. 1 . Frecuencia y Magnitud de Accidentes

También es congruente con este principio lo establecido por Heinrich: de cada 330 eventos (situaciones peligrosas o casi accidentes) 300 no involucran Lesión, 29 lesiones leves y un lesión grave.

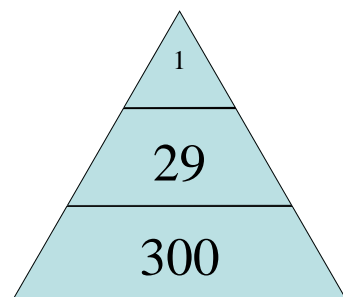


Fig. 2 Triángulo de Heinrich.

## 2.4 Estadísticas de Accidentes de Trabajo

### Registro de accidentes

La importancia de los datos estadísticos sobre accidentes es evidente,

Constituyen el registro de la experiencia pasada y son la guía de acciones futuras, reflejando además el resultado y la efectividad de los programas de seguridad desarrollados.

Los datos de casos aislados y obtenidos de una muestra pequeña, constituyen una base pobre para la evaluación.

Las estadísticas masivas, en cambio, son una herramienta útil, porque representan la experiencia colectiva de muchos individuos. Son indispensables para el manejo adecuado de las empresas y deben consistir en una clasificación adecuada y ordenada, una presentación comprensible, y un análisis inteligente de los hechos de modo que permitan extraer informaciones útiles sobre un problema específico.

Las consecuencias de una lesión según normas ANSI pueden ser muerte, incapacidad permanente total, permanente parcial o temporal total.

La nueva legislación argentina (Ley de Riesgos del Trabajo) ha añadido la Gran Incapacidad:

### Tasas de gravedad, frecuencia e incidencia

Con el objeto de medir el grado de seguridad en el funcionamiento de una industria se usan tasas que ayuden a evaluar la magnitud del problema

La Ley Argentina N° 19.587 Decreto 351/79 **especificaba** tres tipos de índices que están basados en normas de la O.I.T.

Tasa de frecuencia =  $\frac{\text{Nro. de accidentes durante el año} \times 1.000.000}{\text{Total de horas - hombre trabajadas en el año}}$

Tasa de incidencia =  $\frac{\text{Nro. de accidentes durante el año} \times 1.000.000}{\text{Promedio de trabajadores durante el año}}$

Tasa de gravedad =  $\frac{\text{Total de días de trabajo perdidos en el año} \times 1.000}{\text{Nro. de horas - hombre trabajadas durante el año}}$

El número de días perdidos de trabajo se calcula tomando el número de días realmente perdidos más una carga de tiempo (llamada "baremo") de acuerdo con la gravedad de la lesión.

Así, por ejemplo, a una muerte se deben cargar 6000 días, por una amputación de una pierna (entre cadera y rodilla), 4500 días, etc.

Actualmente las estadísticas

## 2.5 El Análisis de Accidentes

Se entiende por análisis *“a la distinción o separación de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos”* (Diccionario Manual de la Real Academia). Dado un hecho, que es el accidente, se buscarán todas sus partes o componentes.

### Fuentes y Causas de Accidentes

Se toma por principio que los accidentes no suceden porque sí, sino que tienen diferentes causas definidas.

Fuentes de accidentes es cualquier actividad humana. En ella se encontrarán tres factores elementales de los accidentes: el hombre, el material y la máquina.

Por ejemplo, en el esmerilado de una pieza un hombre sufre una lesión en los ojos; los tres factores elementales aquí presentes son: el hombre, la pieza y la amoladora. Se estudiarán dos tipos de normas para el análisis de accidentes: la correspondiente a la OIT, que es la norma adoptada por nuestro país, y la norma americana ANSI Z 16.2.

Normas de la Organización Internacional del Trabajo y Normas Americanas

Las normas de la OIT clasifican los accidentes de acuerdo con cuatro factores:

#### **Forma del accidente**

#### **Agente material**

#### **Naturaleza de la lesión**

#### **Ubicación de la lesión**

Estos cuatro factores permiten analizar a los accidentes y extraer conclusiones.

La forma del accidente se refiere a las características del acontecimiento que ha tenido como resultado directo la lesión, es decir, la manera en que el objeto o sustancia en cuestión ha entrado en contacto con la persona afectada.

El agente material clasifica los accidentes de trabajo ya sea según el agente material relacionado con la lesión o según el agente material relacionado con el accidente.

Cuando esta clasificación se utiliza para designar un agente material relacionado con la lesión, las rúbricas elegidas para los fines de clasificación deberán referirse al agente material que ha ocasionado directamente la lesión, sin tener en cuenta la influencia que este agente haya podido ejercer en la fase inicial del acontecimiento ya clasificado según la forma del accidente.

Cuando esta clasificación se utiliza para designar al agente material relacionado con el accidente, las rúbricas elegidas para los fines de clasificación deberán referirse al

agente material que por razón de su naturaleza peligrosa ha contribuido a precipitar el acontecimiento ya clasificado según la forma del accidente. Esta es la forma adoptada en el país.

La naturaleza de la lesión clasifica lesiones provocadas por accidentes de trabajo o los accidentes en el trayecto, exceptuando la enfermedad profesional.

La ubicación de la lesión. Indicar la parte del cuerpo donde se encuentra la lesión. Antes de clasificar como lesiones múltiples, debe tratarse de identificar la lesión más grave.

La norma Americana ANSI Z 16.2 provee un método de computar hechos básicos relacionados con lesiones experimentadas en el trabajo y con los accidentes que producen esas lesiones; este procedimiento no intenta ser aplicado al análisis o compilación de hechos relacionados con accidentes que no resultan en lesión.

Se define al accidente como un evento que resulta en daño físico a una persona.

El daño físico involucra lesión traumática y enfermedad, así como otros efectos adversos, ya sean mentales, neurológicos o sistémicos resultantes de una exposición o circunstancia.

Se reconoce que la ocurrencia de una lesión frecuentemente es la culminación de una secuencia de eventos relacionados y que una variedad de condiciones o circunstancias pueden contribuir a la ocurrencia de un simple accidente; pero la inclusión de hechos subsidiarios o relacionados complicaría el procedimiento estadístico hasta hacerlo impracticable.

El procedimiento registra un solo hecho pertinente acerca de cada accidente en cada una de las categorías de análisis.

Como se ve, el análisis de accidentes desde este punto de vista es limitado, y la misma norma especifica que no intenta idear un método óptimo de investigar accidentes.

Por eso el procedimiento más completo se llamará investigación del accidente y se verá más adelante.

Las categorías son las siguientes:

- Naturaleza de la lesión
- Parte del cuerpo afectado
- Fuente de la lesión
- Tipo de accidente
- Condición insegura
- Agente del accidente
- Parte del agente
- Acto inseguro

### **Categorías analíticas. Definiciones y reglas para la selección.**

Naturaleza de la lesión

Identifica la lesión en términos de sus características físicas principales.  
Como regla básica principal, nombrar la lesión básica antes de su secuela.  
Cuando una lesión es obviamente más severa que otra, seleccionar a la misma; en el caso de haber varias de igual importancia, clasificar como lesiones múltiples.

Parte del cuerpo afectado

Indica la parte del cuerpo afectada por la lesión previamente identificada.

Fuente de la lesión

Identifica el objeto, sustancia, exposición, movimiento corporal que directamente produce o influye la lesión previamente identificada.

### **Tipo de accidente**

Identifica el evento que directamente resultó en lesión.

Condición insegura

Identifica la condición física insegura o circunstancia que permite u ocasiona la ocurrencia de este tipo de accidente.

Agente del accidente

Identifica el objeto, sustancia o lugar en el cual existía la condición peligrosa.

Parte del agente

Identifica la parte particular del agente del accidente alrededor de la cual existe la condición peligrosa.

Acto inseguro

Identifica la violación de un procedimiento seguro que directamente permite u ocasiona la ocurrencia del tipo de accidente ya mencionado.

Para un análisis de accidente, de acuerdo con la norma ANSI Z 16.2, es conveniente usar una serie de preguntas.

### Factor

### Preguntas

Naturaleza de la lesión

¿Cuál es la lesión?

Parte del cuerpo afectado

¿Qué parte del cuerpo fue afectada por la lesión nombrada en a)?

Fuente de la lesión	¿Qué objeto o sustancia infligió la lesión nombrada en a)?
Tipo de accidente	¿Cómo entró en contacto la persona lesionada con el objeto o sustancia nombrado en c)?
Condición insegura	¿Qué condición peligrosa (física o ambiental) o circunstancia causó o permitió la ocurrencia del evento nombrado en d)?
Agente del accidente	¿De qué objeto o sustancia es una característica la condición insegura físico o ambiental nombrada en d)?
Parte del agente	¿A qué parte específica del objeto o sustancia nombrado en f) se aplicó la condición insegura nombrada en e)?
Acto inseguro	¿Qué acto inseguro causó o permitió la ocurrencia del evento nombrado en d)?

#### Informes estadísticos

El objeto de estos informes es disponer de datos de manera de poder traer conclusiones; deben presentarse en forma accesible a personas especializadas en el tema, dado que pueden circular a nivel gerencial en comisiones asesoras e inclusive fuera de la empresa. Es conveniente que conste de tres partes. a) Introducción, b) Presentación de datos, e) Conclusiones. En la introducción se precisará el periodo en estudio, se indicará si durante el mis-no hubo variaciones de las condiciones de seguridad en la empresa y se definirán los distintos índices a usar, (índice de gravedad, índice de frecuencia, cte.). La presentación de datos constituye el núcleo del informe y se debe hacer en forma sencilla, de ser posible gráficamente. Lo primero a presentar son los índices de gravedad y de frecuencia, que pueden ser comparados con los de años anteriores. Si la empresa cuenta con varios establecimientos es interesante compararlos entre sí, así como discriminar los índices para los distintos tipos de accidentes. Una información de mucha importancia es la discriminación de los accidentes de acuerdo con la parte M cuerpo humano afectada. Finalmente debe investigarse la importancia del factor humano en el accidente; por ello conviene discriminar de acuerdo con la hora de la ocurrencia. Puede apreciarse que, en general, el mayor porcentaje de accidentes ocurren en las últimas horas del turno mañana o del turno tarde. También es útil reconocer la relación entre el número de accidentes y la edad d los trabajadores,- en general, los jóvenes acaparan el mayor porcentaje de accidentes, debido a imprudencia. Las

personas de edad avanzada también tienen un número elevado de accidentes debido al deterioro físico

Hasta la aparición de la Ley de Riesgos del Trabajo, que puso en cabeza de las aseguradoras la realización de estadísticas existía la obligación por parte de las empresas de emitir un **Informe Anual Estadístico**, (Decreto 351/79, Resolución Ministerial 2661. Este informe tiene por objeto informar al Ministerio de Trabajo que sobre la base de estos datos debe elaborar estadísticas de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.

## **2.6 Costos de los Accidentes de Trabajo**

Heinrich (1) ha determinado que los costos indirectos de los accidentes son cuatro veces mayores que los costos directos, Se puede hacer un esquema de los distintos costos:

### **Costos directos**

1. Indemnización
2. Gastos médicos

### **Costos indirectos**

1. Costo del tiempo perdido por el empleado accidentado
2. Costo de tiempo perdido por otros trabajadores que tienen que suspender el trabajo a) Por curiosidad b) Para ayudar c) Otros
3. Costo del tiempo perdido por el capataz y los directivos
  - a) Asistiendo al lesionado
  - b) Investigando las causas del accidente
    - e) Arreglando para que la actividad productiva del lesionado sea atendida por otro empleado
  - d) Seleccionando y entrenando a otro trabajador
  - e) Preparando formularios oficiales o asistiendo a juicios
4. Costo del tiempo empleado en atención del accidentado si no es pagado por la compañía de seguros
5. Costo del daño causado a la máquina, herramienta y otras propiedades así como por inutilización del material
6. Costo incidental debido a interferencias de la producción, falta de cumplimiento a término de pedidos, etc.
7. Costo a desembolsar por el empleador de acuerdo con las leyes sociales.  
Costo de] pago de salarios íntegros del trabajador accidentado a su regreso al trabajo, aun cuando su rendimiento no sea pleno
9. Costo por pérdida de productividad del accidentado y de las máquinas paradas
10. Gastos correspondientes a costos fijos como luz, calefacción, etc.
11. Otros

## **2.7 Principios de Prevención de Accidentes**

La prevención de accidentes se realiza mediante los siguientes principios básicos.

- 1) Creación y mantenimiento del interés en la seguridad
- 2) Búsqueda de las causas de los accidentes
- 3) Acción correctiva basada en los hechos causantes

#### 1) Creación y conservación del interés

La prevención de los accidentes industriales requiere interés de parte de todos; lo cual significa que tanto la empresa como los trabajadores deben interesarse y participar activamente en los programas de seguridad que se establezcan

#### 2) Búsqueda de las causas de accidentes

La tarea de investigar hechos es de vital importancia. Es necesario saber la hora y el lugar del accidente, la persona lesionada, la importancia y la frecuencia del accidente, el costo y el tipo de lesión, etc. Es necesario también conocer el acto inseguro que lo originó y el riesgo mecánico o físico si lo hubo.

#### 3) Acción correctiva basada en los hechos

Si se encuentra, por ejemplo, que los trabajadores resbalan y caen sobre pisos grasosos, es claro que cualquier acción correctiva que se tome debe encaminarse a estos hechos en particular. Es más, deberá investigarse por qué se derrama grasa en los pisos, por qué no se limpia.

Investigaciones ulteriores podrían analizar la conveniencia del uso de calzado de seguridad, abrasivos y otros materiales contra el resbalamiento, cubiertas de piso, métodos de lubricación y manejo de grasa, etc..

## **2.8 Investigación de accidentes**

Se entiende por investigación de accidentes a la acción de indagar y buscar con el propósito de descubrir relaciones causas-efecto.

Una investigación no está limitada a la aplicación de una norma de tipo estadístico sino que trata de encontrar todos los factores del accidente con el objeto de prevenir hechos similares, delimitar responsabilidades, evaluar la naturaleza y magnitud del hecho, e informar a las autoridades y al público.

La labor del investigador o investigadores concluirá en un informe a ser elevado a aquella autoridad que ordenó la investigación.

Los pasos a seguir en un proceso de investigación son los siguientes:

Recolección de información

Análisis de los datos

Conclusiones

Recomendaciones

Este proceso es obvio y cada uno de ellos puede constituir un capítulo del informe de la investigación.

## **Etapas de la investigación**

### **Recolección de información**

El primer paso de un proceso de investigación es obtener información sobre lo ocurrido.

Se debe llegar al lugar del hecho lo antes posible a fin de evaluar la magnitud de los daños, asegurar el lugar y ubicar testigos circunstanciales.

Los pasos a realizar en esta etapa son los siguientes:

Asegurar el lugar mediante vigilancia, a fin de poder conservar las evidencias, e impedir su desaparición, ya sea intencional o fortuita.

Buscar evidencias transitorias, tales como manchas de agua, huellas, derrames de líquido, etc.

Tomar fotografías, hacer mapas y diagramas.

En lo posible las fotografías deberán ser tomadas por un fotógrafo profesional, teniendo en cuenta la posibilidad de ubicar el lugar donde fueron tomadas. Esto se logra mediante anotaciones sobre la fotografía o mejor aún, haciendo entrar en la misma algún punto de referencia. Esto es de vital importancia en el caso de evidencias transitorias; es común fotografiar indicaciones de instrumentos. La señalización en mapas permite ubicar la zona del accidente y el uso de diagramas sirve para indicar la zona afectada, localizar la posición de los lesionados, etc.

El objeto de estas técnicas es ayudar al investigador a formarse una imagen visual de lo ocurrido.

Recolectar objetos físicos.

En el lugar donde ocurrió un accidente quedan por lo general, objetos tales como trozos provenientes de roturas o proyectados. Además, en ciertos casos es necesario tomar muestras de materiales para determinar características físicas y químicas de los mismos (por ejemplo: material de estructuras para ser analizado, muestras de aceite, de combustible, etc.)

Entrevistas con testigos.

La información recolectada a través de entrevistas con testigos constituye la parte más importante de la etapa de recolección de información.

Primeramente se tomarán las referencias del individuo como nombre, edad, cargo, etc.

Posteriormente se debe pedir al mismo una descripción de los hechos y recién entonces hacer las preguntas pertinentes. Es importante no tratar de inducir respuestas en concordancia con la idea del investigador.

Análisis de los datos

A partir de los primeros datos recolectados se formularán hipótesis que conducirán a la búsqueda de datos para su conformación o rechazo. Este proceso de formulación de hipótesis y búsqueda de datos es ayudado mediante técnicas analíticas.

La recolección indiscriminada de datos así como la formulación de hipótesis no basadas en datos son de poca utilidad.

### **Análisis de los Datos**

Se verán dos técnicas analíticas en particular: el análisis secuencial y el análisis por cambios.

Dentro de las teorías causales sobre el origen de los accidentes se encuentran la Teoría Secuencial y la Teoría Multifactorial.

La Teoría Secuencial propuesta originalmente por Kepner y Tregoe.

sostiene que los accidentes se originan debido a una encadenación de hechos, constituyendo lo que se denomina una cadena causal. La Teoría Multifactorial sostiene que la concurrencia simultánea de los factores origina el accidente. Esto es un caso de causalidad conjuntiva.

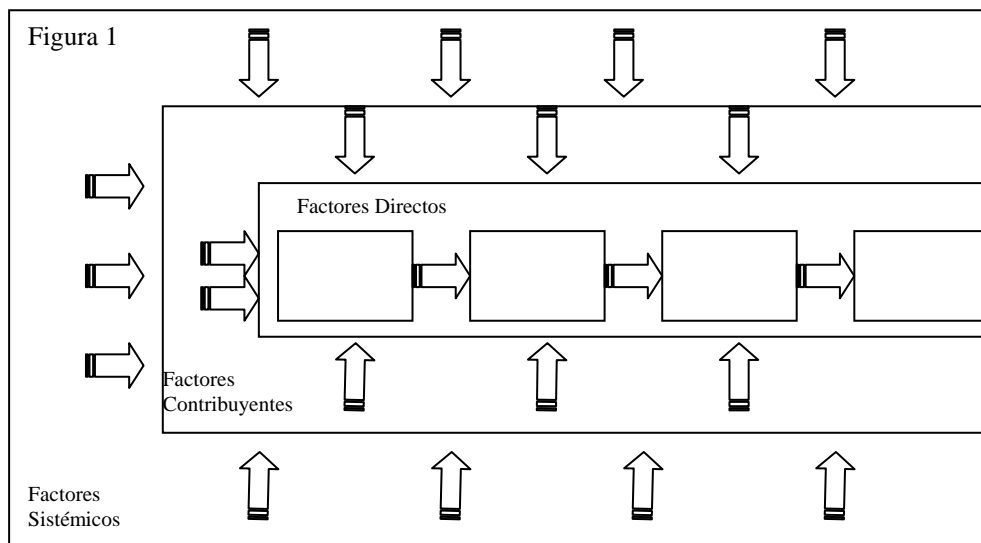
Ambas teorías no son contradictorias sino que se complementan como se podrá ver al hacer un análisis secuencial de un accidente.

## El análisis secuencial

El uso de diagramas secuenciales es muy útil para organizar una investigación, confirmando o negando la validez de los datos recogidos.

Esta técnica puede ser muy útil en la investigación de accidentes automovilísticos.

Los factores causales de un accidente pueden ser clasificados como: directos, contribuyentes o sistémicos



Generalmente un accidente no es el resultado de una sola secuencia de eventos, sino de varias secuencias en forma simultánea.

Existen dos formas de hacer un análisis secuencial:

Mediante secuencias de transferencia de energía.

Este tipo de estudio no sólo revela lo ocurrido, sino que también descubre que barreras o controles fallaron o no fueron incluidos como medida de prevención.

Mediante secuencias de eventos y factores causales.

Consiste en graficar en forma secuencial eventos y factores causales directos, contribuyentes y sistémicos.

Este tipo de análisis incluye a las secuencias de transferencias de energía.

Los criterios generalmente adoptados para graficar secuencias son los siguientes:

- Colocar los eventos en cadenas de izquierda a derecha.
- Colocar los eventos encadenados en serie o en cadenas en paralelo para representar secuencias simples o secuencias simultáneas.
- La parte central del diagrama debe reservarse para los eventos que conducen directamente al accidente.
- Los eventos supuestos por el investigador deben distinguirse de los demás por algún tipo de notación.
- Los eventos que no tengan un orden secuencial deben dejarse en suspenso hasta la finalización del diagrama.

Los criterios de descripción de eventos son los siguientes:

- Describir en forma simple el hecho ocurrido, no estados, condiciones o circunstancias.
- Basarse solamente en hechos comprobados.
- Cuantificar los eventos en la medida de lo posible.
- La descripción debe hacerse de modo que provengan del evento precedente.
- En el caso que una condición combinada con un evento, produzca otro evento, es preferible usar para la misma algún símbolo distinto como un óvalo.

*Ejemplo de aplicación:* se analiza un accidente descrito en la revista Seguridad Industrial YPF.

El accidente se produjo cuando el trabajador se disponía a realizar una soldadura en un tambor de 200 litros.

Al comenzar la operación se produjo una explosión, desprendiéndose el fondo del tambor que golpeó al operario en la cara y atravesó el techo de fibrocemento del galpón.

El trabajador, que murió como consecuencia de las heridas, realizaba tareas de soldadura desde hacía seis años. El tambor no había sido inertizado ni se le habían retirado los tapones.

Construcción del diagrama secuencial: dado que el obrero tenía seis años de experiencia en la función, se lo considera como causante directo del accidente, aunque como causas contribuyentes se consideran la falta de inertización y el hecho que no se destaparan los recipientes al llegar al taller.

Además, es probable, (por eso se incluye en un óvalo) que el sistema de supervisión y control no funcionara en forma aceptable.

La secuencia se desarrolla hasta que se produce la lesión en el trabajador y se continúa hasta que la tapa llega al techo para tener una secuencia meticulosa de las transferencias de energía.

Esta técnica analítica, que ha sido utilizada con éxito en la investigación de accidentes automovilísticos, puede ser utilizada provechosamente en la investigación de accidentes de trabajo.

En el caso analizado permite identificar factores sistémicos (supuesto como: falta de supervisión y control, factores indirectos como: falta de inertización y retiro de tapones, y factores directos, trabajador descuidado).

De este modo, la gerencia puede determinar dónde debe dirigir sus esfuerzos para prevenir hechos similares.

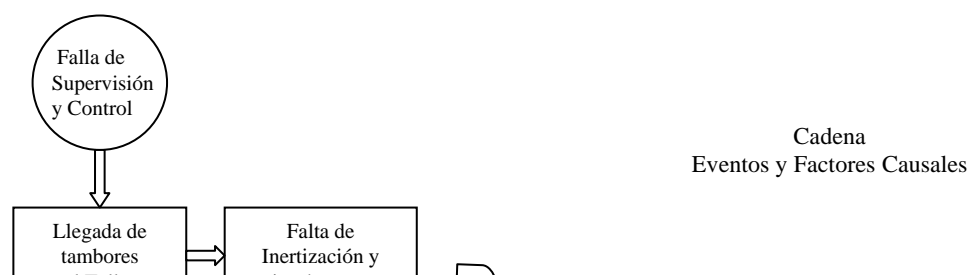


Figura 3

### El análisis por cambios

La experiencia indica que uno de los factores más importantes en la generación de accidentes son los cambios que se generan en un sistema, en un proceso o en una tarea.

Intuitivamente se dice, cuando ocurre un accidente: ¿qué pasó?, es decir, ¿qué cambios ocurrieron?

En toda investigación de accidentes debe establecerse un marco de referencia de condiciones en las que no ocurren accidentes y luego comparar con la situación accidental.

El proceso de análisis por cambios se ha derivado de una metodología de análisis de problemas ideado por Kepner y Tregoe.

Estos autores definen como problema a toda desviación de una norma o de algo establecido. En este caso, un accidente es un hecho que no debiera ocurrir y que no está planeado.

El proceso de análisis por cambio involucra seis pasos:

Considerar la situación accidental.

Establecer una situación similar pero sin accidentes.

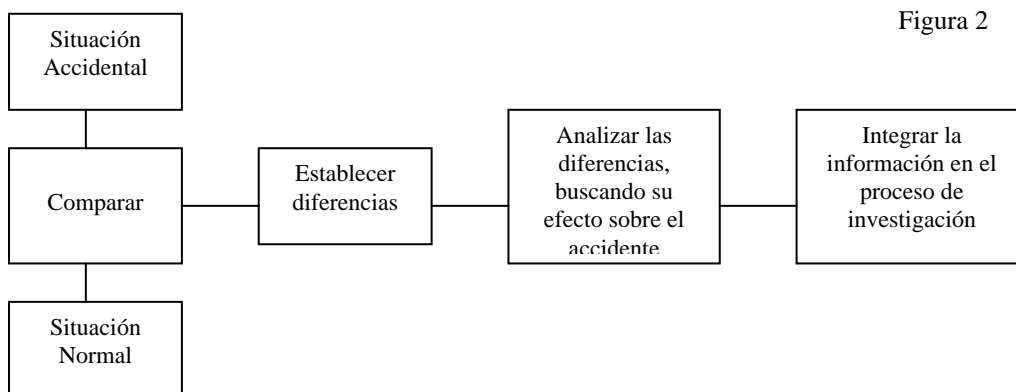
Comparar las situaciones 1) y 2).

Establecer todas las diferencias, aunque parezcan irrelevantes.

Analizar las diferencias para encontrar relaciones entre ambas situaciones.

Integrar la información en el proceso investigado.

En la figura 3 se presentan en forma esquemática los seis pasos anteriores.



Ejemplo: se analizará el mismo caso.

Para realizar este tipo de análisis es conveniente utilizar una planificación estándar que se muestra en la figura 2.

Del examen de la misma surge que los principales cambios son: la falta de cumplimiento de procedimientos correctos y la falta de controles de dirección, referidos a una situación "normal", es decir, la situación en que se deberán realizar tareas.

Ambas técnicas analíticas son complementarias, ya que su aplicación simultánea permite detectar distintos aspectos característicos de un accidente.

Así, por ejemplo, en el caso precedente analizado, el análisis secuencial determinó como causante principal del accidente el error del trabajador, mientras que el análisis por cambios producidos en la ejecución de la tarea descrita, demuestra diferencias con respecto al procedimiento operativo habitual.

En síntesis, la aplicación de metodologías sistemáticas en el análisis de accidentes de trabajo, permite evaluar ciertas causales de los mismos que de otra forma podrían pasar inobservadas.

### Planillas de análisis por cambios

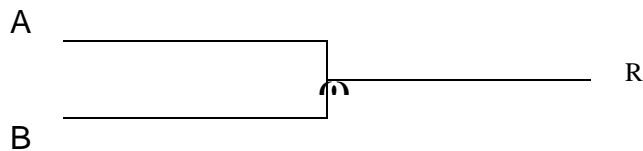
FACTORES	SITUACION PRESENTE	SITUACION ANTERIOR COMPARABLE	DIFERENCIAS	CAMBIOS
¿Qué? Objeto Energía Defecto Dispositivo Protector	Falta de inertización Con tapones puestos	Inertizado Sin tapones	Falta de inertización Con tapones	No se cumple con procedimientos correctos
¿Dónde? En el objeto En el proceso Lugar	-----	-----	NO	NO
¿Cuándo? En tiempo En proceso	-----	-----	NO	NO
¿Quién? Operador Compañeros Supervisor Otros	-----	-----	NO	NO
Tarea Objeto Procedimiento Cualidad	Procedimiento o cambiado	Procedimiento común	SI	Cambios en Procedimiento
Condición de Trabajo Medio Ambiente Sobretiempo En horario Relaciones	-----	-----	NO	NO
Evento Desencadenante	-----	-----	NO	NO

Controles de la Dirección	NO	SI	Falta de control	Falta de controles de
Cadena de controles	NO	SI	Análisis de peligros	la Dirección
Análisis de peligros	NO	SI	Vigilancia	
Monitoreo	NO	SI	Revisión de riesgos	
Revisión de riesgos				

### El Arbol de causas

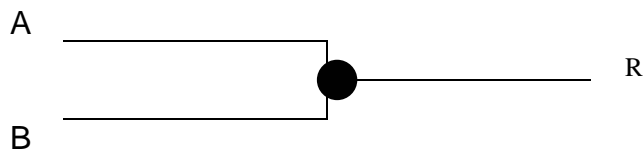
El árbol de causas es un método secuencial de análisis de los datos, que usa compuertas lógicas para describir eventos

En la cadenas causales pueden usarse dos tipos de compuertas lógicas, las compuertas “y” y las compuertas “o”. Las compuertas “y” se representan de la siguiente manera

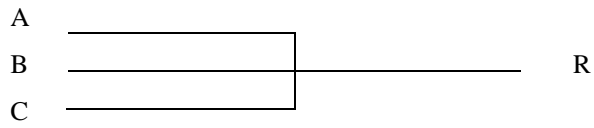


Como puede verse, las causas A y B solo conducen a R cuando ambas están presentes. Por lo tanto A y B son necesarios, pero no son condiciones suficientes. No pueden, por si mismas, causar R.

Una segunda posibilidad de combinar las causas A y B, es mediante una compuerta “O”.

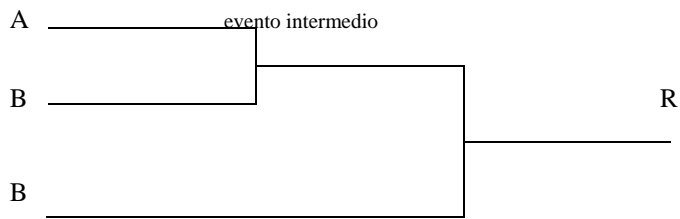
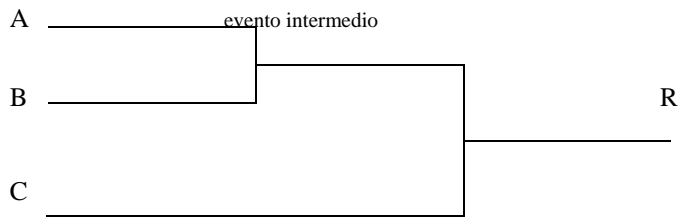


Las causa A y B llevan a R, cuando al menos una de ellas esté presente. Ambas son causas necesarias y suficientes. Este tipo de compuertas lógicas no se usa en análisis retrospectivos, como son los análisis de accidentes de trabajo, sí se usan en los análisis prospectivos (también llamados “árboles de eventos)

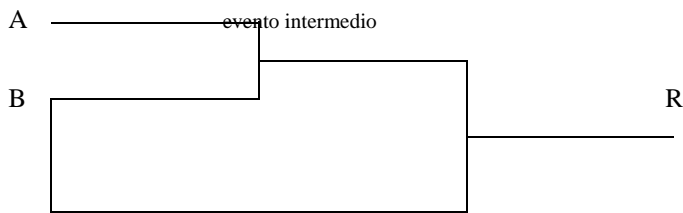


### Configuraciones

Hay tres tipos de eventos: los eventos iniciales, los eventos intermedios y los



o bien,



eventos repetitivos.

Los árboles de causas tienen diferentes características: la longitud, la forma y la complejidad difieren.

La complejidad C está relacionada con la cantidad de compuertas "y" que tiene un árbol de eventos.

$$C = \frac{\text{n}^\circ \text{ de compuertas y}}{\text{total de eventos iniciantes o repetitivos}}$$

### **Conclusión o síntesis**

La síntesis es la recomposición de lo separado por el análisis, es decir la integración de los factores en un conjunto coherente.

La síntesis o conclusión es el resultado que engloba dentro de sí al cúmulo de apreciaciones que se hicieron a lo largo del proceso de investigación.

Es evidente que no hay una sola causa del accidente, sino un conjunto de causas.

La incorporación de causas probables en una conclusión es legítima, y no debe desdeñarse su uso.

### **Recomendaciones**

Son todos aquellos cambios que deben realizarse para evitar la repetición del accidente; deben ser medidas de orden práctico.

Si se llevan a cabo, el paso del tiempo constituirá la mejor prueba de su efectividad.

## **2.9 Educación para la seguridad**

### **Conceptos generales'**

Para lograr que el comportamiento de las personas en su actividad diaria sea seguro es necesario educar para la seguridad, es decir, enfocando los problemas desde este punto de vista.

La falta de este enfoque puede llevar a resultados trágicos.

Puede citarse el caso de un ingeniero químico que penetró a un laboratorio en el cual había una pérdida de gas; abrió las ventanas para ventilar, y mientras esperaba que se disipara el gas encendió un cigarrillo, con los resultados de esperar.

Este tipo de hechos, en que se descuenta el conocimiento técnico del accidentado, hacen pensar en la necesidad de un enfoque específico sobre el tema.

La educación para la seguridad es el proceso de ampliar y aumentar los conocimientos acerca de la seguridad con el propósito de inculcar una actitud atenta frente al peligro, y desarrollar la conciencia de eliminar los accidentes.

Además de dichos conocimientos generales es necesario poseer una habilidad práctica, que se logra mediante el **adiestramiento para la seguridad**.

Este adiestramiento es el proceso de desarrollar la aptitud en el empleo de métodos seguros de trabajo y el comportamiento durante emergencias.

Por ejemplo: si un trabajador es instruido acerca de los distintos tipos de fuego, triángulo del fuego, etc., de poco le servirá si trabaja en una planta petroquímica y no conoce la localización de los elementos extintores portátiles, las tomas de la red general de incendio., y su función en caso de incendio.

La propaganda es una forma de educación que trata de localizar la atención de un problema sin profundizar. Se realiza mediante afiches que dan la impresión sobre un riesgo, o mediante películas que en general narran la historia de un accidente. Los conceptos aquí desarrollados son de aplicación en la empresa. No tratan otros tipos de educación para la seguridad en o para otras tareas, como la Seguridad Vial, la Seguridad en el Hogar aunque también pueden aplicarse a esos temas.

Resulta evidente que a medida de que se asciende menor es el tiempo que se dedica directamente a la seguridad. Sin embargo los requerimientos cualitativos en los distintos niveles son distintos.

A nivel Directorio y Gerencia Superior es necesario conocimientos para fijar políticas y conocer leyes-, a nivel intermedio (Gerencia media) se requieren conocimientos de normas técnicas (Decreto 351/70, Código de la construcción, Ley 7229 para Bs. As., Normas IRAM Y redacción de normas y procedimientos de seguridad); a nivel administrativo y operativo se aplican esas normas y procedimientos para hacer el trabajo en forma segura.

## 2.10 El Riesgo

La mera consulta de un diccionario sobre el significado de los vocablos usados comúnmente en seguridad, indica la ambigüedad de nuestro idioma sobre los distintos términos usados.

Según el Diccionario Manual de la Real Academia Española.

**Peligro** es: “Riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal. // Paraje, paso, obstáculo u ocasión que aumenta la inminencia de un daño”

**Riesgo** : “efecto de dañar”, definiendo a daño como “Causar deterioro, perjuicio, menoscabo, dolor o molestia”

**Detrimento** es: “Destrucción leve o parcial. //Pérdida, quebranto de salud o intereses”.

De esto se desprende que es necesario tener un léxico más preciso para usos en Seguridad.

En general la palabra riesgo se usa en seguridad más frecuentemente que peligro.

Se puede decir que peligro es algo eminente, que sucederá indefectiblemente si se hace o se deja de hacer tal o cual cosa.

Por ejemplo: Peligro - “No abrir la puerta con el tren en movimiento”

En cambio, Riesgo tiene un doble significado, como:

a) La probabilidad de que suceda algo: “Correr el riesgo de morir en la operación”

b) Consecuencia: riesgo de muerte.

Otro concepto más específico es el valor medio de la consecuencia, o sea la esperanza matemática de la consecuencia que también suele definirse como riesgo

$$X = E(x) = \sum p_i x_i$$

y el daño es ese valor medio multiplicado por el número total de eventos N que nos da la pérdida por la sociedad, organización o empresa.

Ejemplo :

$$D = E(x) \cdot N$$

Consideramos el caso de la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos, que entre 1943/1970 tuvo los siguientes casos de accidentes de todo tipo:

	Cantidad de Muertes	Número de Accidentes (1943/1970)
1	247	
2	13	
3	3	
4	2	
5	1	
-	<u>        </u> Total	266

El total de muertes es 295.

La esperanza matemática dará el valor medio de la consecuencia.

$$E(x) = \sum p_i \cdot x_i = \frac{f_i}{f_t} x_i$$

$$= \frac{247}{266} \times 1 + \frac{13}{266} \times 2 + \frac{3}{266} \times 3 + \frac{2}{266} \times 4 + \frac{1}{266} \times 5$$

$$= 1,1085 \frac{\text{muertos}}{\text{accidentes}}$$

El daño que sufría la organización, es decir, el número total de muertes.

$$D = NT \times E(x) = 266 \times 1,1085 = 294,86$$

## 7.2. Clasificación de los riesgos

Los riesgos pueden ser clasificados de distintas maneras, una de las formas más comunes es la siguiente : a) con respecto a las personas; b) con respecto a la consecuencia; c) con respecto al origen.

### a) Con respecto a las personas

Se pueden considerar dos tipos de riesgo : el riesgo individual y el riesgo social.

El riesgo individual es el que afecta a una persona considerada en forma aislada. A su vez el riesgo individual puede ser clasificado como voluntario o involuntario, aunque la línea divisoria no es siempre clara.

Riesgo voluntario es aquél que es posible aceptar o rechazar, como por ejemplo: fumar, viajar en moto, etc.; e involuntario en cambio es aquél que no es posible de evitar; por ejemplo: caídas accidentales, enfermedades. Desde el punto de vista

laboral, se presupone que el trabajador está aceptando un riesgo inherente a su actividad, en cambio, no se supone lo mismo para el resto de la comunidad.

Por ejemplo: cuando se calculan riesgos individuales se considera que toda la población está expuesta; sin embargo para algunas actividades es preferible expresar el riesgo en función de la población realmente expuesta. Por ejemplo: los accidentes laborales: para ello existen diversos índices de riesgo que son considerados más adelante.

El riesgo social está relacionado con el número de individuos afectados por una clase de eventos, enfermedad, etc.

El riesgo social es el detrimento que sufre la sociedad como consecuencia de una enfermedad, tipo de accidente, etc. Expresado en número de distintos tipos de consecuencia.

$$D = E (X) N_T$$

b) Con respecto a las consecuencias

Los distintos tipos de consecuencias pueden ser:

- a) muerte
- b) lesiones
- c) días de trabajo perdidos
- d) daños materiales a bienes (costo en \$)
- e) reducción de la esperanza de vida

Generalmente los riesgos se expresan sobre la base de la consecuencia.

c) Con respecto al origen

Se puede distinguir entre riesgos naturales y riesgos inducidos por el hombre. Por ejemplo: la electrocución por rayos versus los accidentes automovilísticos.

### 7.3 .Tasas de Riesgo

Toda tasa es una proporción. Se establece una relación entre el número de individuos afectados por muerte, lesión, días de trabajo perdidos o días de esperanza de vida perdida y la población total, durante un período de tiempo. O sea el número de individuos que padecieron el riesgo sobre el número total de individuos expuestos. También se puede hablar de costo de una clase de eventos, divididos el número total de eventos.

En las tasas de riesgo específicas se relaciona la consecuencia con un grupo particular, por ejemplo: el IFAM (Índice de Frecuencia de Accidentes Mortales) que da el número de muertes por 100 millones de horas-hombre, en una actividad industrial; la tasa de gravedad de accidentes, etc.

En la Tabla 5.1 se dan distintos tipos de tasas de riesgo.

**T A B L A 2.1**

**TASAS DE RIESGO**

**OBSERVACIONES**

Riesgo individual =  $\frac{\text{Muerte}}{\text{persona-año}}$

Es el riesgo de muerte de un individuo de una población dado, en un período de tiempo, generalmente anual.  
Por ejemplo: en la Argentina el riesgo individual de muerte por accidente en general (1977)

es  $r_i = 4,325 \cdot 10^{-4} \frac{m}{p.a}$

IFAM =  $\frac{\text{muerte}}{10^8 \text{ H-h}}$   
Índice de frecuencia de accidentes mortales

Da el número de muertes por 100 millones de horas-hombre en una actividad industrial, o sea, el número de accidentes mortales de un grupo de 1000 personas durante toda su vida laboral.

Tasa de gravedad (TG) =  $\frac{\text{N}^\circ \text{ de jornadas de trabajo perdido.}}{10^3 \text{ Horas-Hombre}}$

Tasa de Gravedad, de acuerdo con la Ley 19587

Nº total de accidentes  
TI =  $\frac{\text{N}^\circ \text{ promedio de trabajo en el año}}{10^3}$

Tasa de incidencia de acuerdo con la Ley 19587

por ejemplo 7.4 Actitud comunitaria hacia el riesgo

**Un factor muy importante a tener en cuenta es la magnitud del accidente, en número de muertos.**

Si se comparan dos tipos de riesgo:

El primero se produce con una frecuencia de una vez al año y con una magnitud de 1 muerto por accidente.

$\frac{1 \text{ accidente}}{\text{Año}} \times \frac{1 \text{ muerto}}{\text{Accidente}} = \frac{1 \text{ muerto}}{\text{Año}}$

Comparado con otro riesgo:

$$\frac{1 \text{ accidente}}{10.000 \text{ año}} \times \frac{10.000 \text{ muertos}}{\text{Accidentes}} = \frac{1 \text{ muerto}}{\text{Año}}$$

El segundo caso tiene mayor impacto psicológico. En general el público acepta más los pequeños accidentes, con gran efecto en la sociedad, que los grandes accidentes que tienen menor efecto en la sociedad. Por ejemplo, los accidentes de automóviles en comparación con los de aviación.

Estadísticas sobre este tema han sido presentadas por Rasmussen (1) y más recientemente por R.F. Griffith y L.S. Fryer (2).

Se ha podido hacer una relación entre el riesgo y la actitud de la sociedad hacia el mismo (ver Tabla 5.2).

La actitud comunitaria hacia el riesgo puede variar por muchos factores; a veces, una película del tipo cine catástrofe hace que el público reclame medidas de seguridad que antes no exigía.

Como concepto importante debe comprenderse que en la actitud de aceptación o de rechazo que tiene el público hacia un riesgo influye en la decisión a tomar: por ejemplo, emplazamiento de aeropuertos, instalaciones nucleares, fondos destinados a prevención de incendios, etc.

Finalmente, se dará mayor importancia a aquellos riesgos cuyos efectos sean más cercanos en el tiempo y en el espacio.

Así, un riesgo de contaminación que nos afecte en los próximos años implicará mayor preocupación que uno que pueda afectar a las próximas generaciones (ver Fig. 1)

**TABLA 2.2**

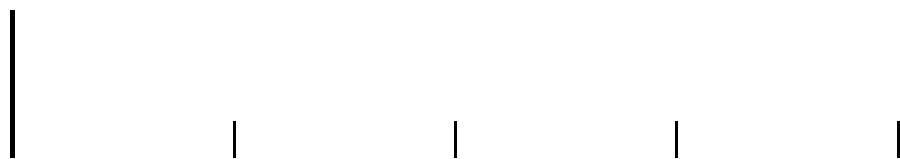
**Actitudes hacia el riesgo**

Riesgo de muerte por persona y por año	Actitud
$10^{-3}$	Este tipo de riesgo no es común. Es inaceptable para el público, y cuando aparece, la sociedad reclama que se tomen medidas

$10^{-4}$	Se está dispuesto a asignar recursos para reducir el riesgo; por ejemplo: controles de tránsito, bomberos etc.
$10^{-5}$	Todavía son reconocidos como riesgos; por ejemplo : riesgo de envenenamiento, ahogamiento, fuego, etc.
$10^{-6}$	No son prácticamente reconocidos como riesgos, se es consciente del riesgo, pero no se siente íntimamente que le pueda ocurrir a uno; por ejemplo: electrocución por rayo

**FIGURA 1**

**Importancia otorgada al riesgo en función de su proximidad en el tiempo.**



<b>ESPA CIO</b>	<b>Mundo</b>	X	X		
		X	X	X	X
		X	X	X	X
		X	X X	X	X
	<b>Raza o Nación</b>	X X X	X	X X	
		X	X X	X	X
		X	X	X X	X
		X X	X X	X	X
	<b>Ocupación Vecindario</b>	X X	X X X	X X	X
		X X X X	X X X X	X	X
		X X X X	X X X	X	X
		X X X	X X X	X X	X
	<b>Familia</b>	X X X X X	X X X	X X	X
		X X X X X	X X X X	X	X
		X X X X X	X X X	X X	X
		X X X X X	X X X	X	X
	<b>Días</b>	<b>Años</b>	<b>Tiempo de vida</b>	<b>Próximas Generaciones</b>	
	<b>TIEMPO</b>				

## 2.11 Bibliografía

- 1) Heinrich – Industrial Accident Prevention – Mc Graw Hill (1958)
- 2) Johnson, J.W. – The Management Overview and Risk Tree – Sand 821-2
- 3) Kepner& Tregoe – El Directivo racional – Mc Graw Hill (1982)
- (4) Operational Accidents - (1943/1970) Wash, 1192
- (5) Norma ANSI Z 16.1- Method Of Recording And Measuring Work Injury Experience

- (6) Norma ANSI Z39-16.2 - Recording Basic Facts Relating To The Nature And Occurrence Of Work Injuries
- (7) Recomendaciones Internacionales Sobre Estadísticas Del Trabajo -OIT

## **CAPITULO 3**

### **FÍSICA DE LOS AEROSOLES Y TOXICOLOGÍA**

#### **3.1.Física de los aerosoles**

##### **3.1.1. Introducción**

Los aerosoles son partículas sólidas o líquidas dispersas en un medio gaseoso. Los polvos y humos están constituidos por partículas sólidas, y las nieblas por partículas líquidas.

El aire, tanto en ambientes de trabajo como en el hogar, contiene polvos y nieblas en suspensión. Muchos polvos y nieblas ejercen efectos nocivos sobre la salud.

Los polvos son sólidos finamente divididos. Pueden convertirse en aerosoles por dispersión (por ejemplo debido a molienda).

Las nieblas son gotitas de un líquido suspendidas en el aire. En medicina se suele usar remedios vehiculizados por nieblas.

El tamaño de las partículas en suspensión oscila generalmente entre 0,2 y 20 micrones.

Cuando un sólido o un líquido es dividido en partículas finas y dispersado en el aire tienen lugar dos cambios fundamentales:

- El área superficial aumenta considerablemente.
- El espacio por el cual se dispersa el material es notablemente mayor que su volumen original.

Estos cambios intensifican la actividad físico química de la sustancia, velocidades de evaporación, oxidación y disolución, la actividad electroestática, la adsorción, etc.

El efecto fisiológico de los polvos está íntimamente correlacionado con su actividad física y química, o sea, está ligado al tamaño de las partículas. Las de menor tamaño, tienen generalmente mayor importancia fisiológica. Cuanto más pequeñas son las partículas, mayor es su capacidad de penetración en el aparato respiratorio. (ver punto 3.2.3 "Inhalación y depósito de partículas en el aparato respiratorio").

##### **3.1.2 Dinámica de las partículas. Definición de diámetro de las partículas**

El modelo más simple para el estudio de la dinámica del sistema gas - partícula, es el de una esfera moviéndose rectilínea y uniformemente en un fluido continuo, en reposo y de extensión limitada. Numerosos problemas de interés práctico pueden describirse con este modelo, introduciendo, según el caso, las correcciones convenientes que tomen en cuenta la falta de continuidad del fluido, las modificaciones debidas a la aceleración de la partícula, la influencia de su forma, la interacción con las paredes y otras partículas, etc.

Considérense, en primera aproximación, las siguientes hipótesis simplificadoras:

1. Medio incompresible e infinito.
2. La partícula es una esfera rígida con movimiento uniforme.
3. La velocidad de la partícula es muy pequeña, razón por la cual, puede considerarse que existe flujo laminar.
4. Resbalamiento en la superficie de la partícula despreciable.
5. Son aplicables las ecuaciones clásicas de la fluidodinámica.

Mediante el uso de estas hipótesis simplificadoras puede demostrarse que la resistencia viscosa que ofrece el gas al movimiento de la partícula, está dada por la Ley de Stokes, y vale:

$$F_r = -6\pi\mu r v$$

donde:

- $\pi$  Constante: 3,1416...
- $\mu$  Coeficiente de viscosidad del medio.
- $r$  radio de la partícula.
- $v$  velocidad de la partícula.

En un caso en general se tiene, en consecuencia, que la partícula esta sometida a la acción de tres fuerzas:

- a. El peso  $P$  de la partícula, que está dado por:

$$P = 4/3\pi r^3 \rho_p$$

$\rho_p$

el peso específico de la partícula.

- b. El empuje  $E$  que el medio ejerce sobre la partícula, el cual estará dado por:

$$E = 4/3\pi r^3 \rho_m$$

$\rho_m$

el peso específico del medio.

- e. La resistencia viscosa que ofrece el gas al movimiento de la partícula, que vale:

$$F_r = -6\pi\mu r v$$

En suma, la fuerza neta  $F$  aplicada sobre la partícula, estará dada por:

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{E} + \vec{F}_r$$

Por lo cual:

$$F = 4/3\pi r^3(\rho_p - \rho_m) - 6\pi\mu r v$$

Como por otro lado, es razonable suponer que  $\rho_p \gg \rho_m$

resulta:

$$F = 4/3\pi r^3 \rho_p - 6\pi\mu r v$$

Es decir:

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_r$$

Es obvio, que en caída libre existirá un valor para el cual  $\vec{F} = 0$  o sea que existirá un valor de la velocidad  $v$  para el cual  $[F_r] = [P]$ , a partir del cual el movimiento de la partícula es uniforme. A dicho valor de velocidad se lo define como velocidad terminal de la partícula, y está dado por:

$$4/3\pi r^3 \rho_p = 6\pi\mu r v_t$$

$$v_t = \frac{2\rho_p r^2}{9\mu}$$

### Corrección de Cunningham

Cuando las partículas son de tamaño inferior al micrón, el gas en que se encuentran, deja de comportarse como un medio continuo, y caen más rápidamente que lo calculado por la Ley de Stokes, aparentando deslizarse entre las moléculas.

La velocidad terminal calculada con la fórmula de Stokes se corrige mediante el factor de Cunningham:

$$C = 1 + \frac{1,72\lambda}{D}$$

Siendo  $\lambda$  el "camino medio libre", es decir, el recorrido medio de las moléculas del gas entre dos choques sucesivos. Por ejemplo, para

$D = 0,1\mu$  resulta, tomando  $\lambda = 0,05\mu$ :

$$V_t(C) = 1,86 V_t$$

Siendo:

(C) = Factor de Cunningham.

$V_t$  = Velocidad terminal calculada con fórmula de Stokes.

Para tamaños inferiores al décimo de micrón el movimiento browniano predomina sobre la gravitación.

### Definición de diámetro de las partículas

Como las partículas tienen cualquier forma, para medir su tamaño se le asignan distintos tipos de diámetros ideales.

#### A. Diámetros basados en las características geométricas de la partícula:

Diámetro volumétrico: Es el diámetro de una esfera de igual volumen que la partícula.

Diámetro superficial: Es el diámetro de una esfera de igual superficie que la partícula.

#### B. Diámetros basados en el comportamiento aerodinámico de la partícula:

Diámetro equivalente: Es el diámetro de una esfera **de densidad 1 gr/cm**, que cae con la misma velocidad terminal de sedimentación que la partícula estudiada de densidad  $\rho_p$ .

Diámetro de Stokes: Es el diámetro de una esfera **de igual densidad que la partícula considerada**  $\rho_p$  y que cae con la misma velocidad terminal de sedimentación.

### 3.1.3. Mecanismos de separación de partículas:

Existen seis mecanismos básicos para la separación de partículas. En el apartado correspondiente a toma de muestras, se verán algunos dispositivos que se basan en estos principios físicos:

#### 1. Sedimentación: (también conocido como Principio de Elutriación).

Este método consiste en la clasificación de las partículas dispersas en un fluido en movimiento, mediante sedimentación. La eficiencia de la separación, es función de la velocidad terminal de sedimentación.

Supóngase una corriente de aire en movimiento laminar, que contiene una dispersión homogénea de partículas en suspensión, la cual atraviesa una cámara de sedimentación de altura  $h$  y longitud  $l$  (tal como se indica en la figura 3. 1).

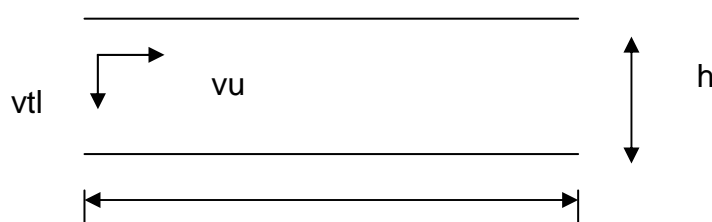


Fig. 3.1

l

Cada partícula caracterizada por una velocidad terminal  $v_t$ , se desplaza con una velocidad resultante de la composición de ésta con la velocidad  $v_u$  del flujo de aire. Se supone que al tocar el fondo de la cámara queda separada de la corriente de aire.

Como resulta evidente, existirá un valor límite de la velocidad terminal  $v_{tl}$  tal que todas las partículas de esa velocidad, o mayor, son separadas. Se define la permanencia  $P$ , como:

$$P = \frac{h}{v_{tl}} = \frac{l}{v_u}$$

Donde  $v_{tl}$ , es esa velocidad terminal para la cual todas las partículas con la misma velocidad terminal, o mayor, son retenidas,

Por ende:

$$v_{tl} = \frac{h \cdot v_u}{l}$$

Las partículas que posean  $v_t < v_{tl}$ , son separadas en la proporción  $v_t/v_{tl}$ , es decir, la fracción de partículas que atraviesan la cámara es:

$$p = 1 - \frac{v_t}{v_{tl}} = 1 - \frac{l \cdot v_t}{h \cdot v_u}$$

Donde  $p$  es la "Penetración", para  $v_t < v_{tl}$ .

## 2. Inercia:

Cuando un gas se acerca a un obstáculo, el flujo se abre alrededor de éste. Si este gas lleva partículas en suspensión, al acercarse al obstáculo, como estas partículas tienen mayor inercia que las moléculas  $M$  gas, tienden a continuar en su trayectoria inicial, impactando contra el obstáculo.

Tal como se indica en la Fig. 3.2, existe una zona de ancho  $x < D_c$  tal que todas las partículas estén en ella, con un peso y un tamaño determinado, se separan. Se define, entonces, a la "eficiencia de separación"  $\varepsilon$  como:

$$\varepsilon = \frac{X}{Dc}$$

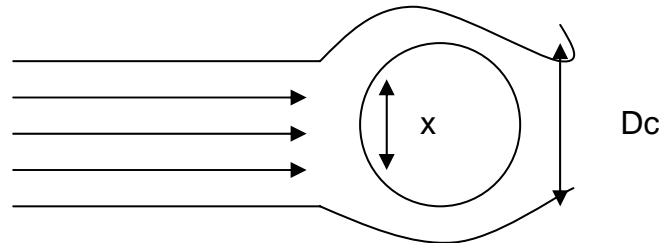


Fig. 3.2

### 3. Difusión browniana

Las partículas muy pequeñas suspendidas en un fluido se encuentran realizando un continuo movimiento aleatorio producido por los choques de las moléculas del fluido contra las partículas dispersas en el mismo. En estas condiciones, se demuestra que las partículas se difunden en el sentido de las concentraciones decrecientes,

En una corriente de gas que contenga partículas muy finas, las trayectorias de las partículas no coinciden con las líneas de corriente debido a los movimientos brownianos. Si en estas condiciones, el flujo encuentra una superficie de contacto, por ejemplo una fibra cilíndrica normal a la dirección del movimiento, las partículas se depositarán sobre las fibras por difusión.

***Este efecto, se hace importante en el rango de tamaño de partículas en que los mecanismos de separación anteriores pierden efectividad, es decir, para partículas menores de 0,5 micrones***

### 4. Atracción electrostática.

Las partículas son cargadas eléctricamente al pasar cerca de electrodos ionizadores de carga negativa, y luego pueden ser recolectadas sobre placas o tubos de carga eléctrica positiva.

Existen precipitadores electrostáticos; los electrodos colectores tienen la forma de placas paralelas dispuestas verticalmente, por donde circula el flujo de gas conteniendo las partículas a ser eliminadas. Para evitar la concentración de partículas en las superficies colectoras, estos electrodos son golpeados a intervalos regulares por martillos mecánicos, con lo cual, las partículas acumuladas se desprenden y caen a una tolva que forma la parte inferior del colector.

Los electrodos de ionización están formados por alambres cuadrados retorcidos helicoidalmente ubicados verticalmente entre las placas colectoras.

Las tensiones aplicadas entre las placas del precipitador electrostático son del orden de varios Kv de corriente continua.

El inconveniente de este tipo de colectores es que la velocidad del flujo de gas no puede ser muy elevada, lo cual hace necesario que la sección del conducto sea muy grande.

### **5. Precipitación térmica:**

Esta basada en el hecho de que el movimiento browniano de las partículas suspendidas dentro de un gradiente térmico, adquieren una componente unidireccional hacia la superficie más fría, logrando que las partículas se depositen en ella.

El inconveniente de este tipo de precipitadores es que se requieren bajas velocidades de circulación de aire, ya que de otra forma, el efecto se vería enmascarado.

### **6. Tamizado:**

Este modo de separación esta basado en la retención mecánica del polvo, cuando el aire pasa a través de una superficie porosa, cuyas aberturas son de diámetro menor que el tamaño de las partículas.

Es obvio que este procedimiento es apto sólo para la separación de partículas con un diámetro considerable.

#### **3.1.4. Análisis comparativo de partículas finas y gruesas:**

Sea una partícula p con una velocidad terminal  $V_{tp}$ , en estas condiciones:

$$v_{tp} = \frac{2 r_p^2 \rho_p}{9 \mu}$$

Por lo tanto:

$$v_{tp} = \frac{2 r_p^2 g \delta_p}{9 \mu}$$

siendo

Tener en cuenta que

$$\rho_p = g \cdot \delta_p$$

Siendo  $\delta_p$  la densidad de la partícula-

O, lo que es lo mismo, dado que:

$$2r_p = d_p$$

$$V_{tp} = \frac{1}{18} \frac{d_p^2}{\mu} g \delta_p$$

Si consideramos ahora una partícula de densidad unitaria, con  $\delta_p = 1g/cm^3$  con una velocidad  $V_{teq}$ , será:

2

$$V_{teq} = \frac{1}{18} \frac{d_{eq}^2}{\mu} g$$

Como ambas deben tener la misma velocidad terminal  $V_{tp} = V_{teq}$ .

Entonces, igualando y despejando:

$$d_{eq} = \sqrt{\delta_p} d_p$$

Las partículas de interés higiénico, tienen diámetros equivalentes menores a 10 micrones, y se denominan "partículas finas", en contraste con aquellas cuyo diámetro aerodinámico es mayor que 10 micrones.

Sólo las partículas finas tienen significación higiénica, en parte porque numéricamente constituyen la casi totalidad del polvo en suspensión atmosférica, pero fundamentalmente, porque son las partículas capaces de penetrar en el aparato respiratorio al tiempo que presentan mayor reactividad química, es decir, mayor toxicidad potencial.

Las partículas finas en suspensión, pueden ser separadas M aire mediante grandes superficies de contacto.

Las partículas finas, en la caída libre alcanzan la velocidad terminal en distancias muy pequeñas. Las partículas gruesas o inerciales experimentan aceleración en distancias significativas.

Las diferencias entre ambos tipos de partículas se ven en la Tabla 3. 1:

**Tabla 3.1 - Comparación entre partículas gruesas y finas**

<b>PARTICULAS GRUESAS</b>	<b>PARTICULAS FINAS</b>
Caen por acción de la gravedad	Forman suspensiones estables
Constituyen el mayor peso	No contribuyen significativamente al peso, si constituyen el mayor número
No tienen significación higiénica	Con importancia higiénica
Experimentan aceleraciones en distancias grandes	Alcanzan la velocidad terminal en distancias muy pequeñas
Pueden separarse por gravedad e impacto	Se separan mediante grandes superficies de contacto (filtración)
No difractan la luz	Difractan la luz
El análisis químico informa sólo sobre partículas gruesas	Requieren otros métodos de análisis: recuento al microscopio, filtración y evaluación óptica, difracción de la luz
Muestreo por aspiración o en forma isocinética en conductos	Muestreo por aspiración
No se pueden controlar	Controlables por corrientes de aire.

## 3.2. Toxicología industrial

### 3.2.1. Introducción:

La Ley de Haber, determina el índice de efectividad de una sustancia:

$$K = C.T$$

K = constante llamada "índice de efecto".

T = tiempo

C = concentración expresada como mg/kg de peso.

Esta Ley, dice que para un efecto dado, la concentración y el tiempo pueden variar, siempre que el producto sea constante.

Existen concentraciones y variaciones tales que por más largo que sea el tiempo (T) de exposición, no producirán ningún efecto.

En Higiene Industrial, es importante el concepto de **Dosis Total Diaria**. Si consideramos un contaminante que entra solamente por vía respiratoria, y ejerce su acción por absorción y circulación (por ejemplo: plomo, mercurio, solventes clorados, fluoruros, etc.), debemos tener en cuenta la respiración a nivel del pulmón, para determinar la cantidad total de sustancias químicas incorporadas por el organismo:

$$Dt = C.t.Q$$

Dt = dosis total en 8 hs. (mg).

C concentración en el aire (mg/m<sup>3</sup>)

t tiempo de exposición (480 minutos).

Q = caudal respiratorio (m<sup>3</sup> /min).

El Q se puede considerar constante siempre que el ritmo respiratorio no se modifique.

Su cálculo es el siguiente: cada movimiento respiratorio equivale a 0,5 litros de aire, y si se hacen 16 movimientos respiratorios por minuto, se tiene:

$$16 \times 0,5 = 8 \text{ litros / minuto} = 0,008 \text{ m}^3 \text{ /minuto}$$

Estos factores C, t y Q son externos, no dicen cuanto se incorporó al organismo. Para ello, se deben conocer los "factores internos":

a) La Absorción, expresada por F: coeficiente de absorción

b) La Eliminación o Depuración, expresada por Cd: coeficiente de depuración.

Si se tienen en cuenta estos factores, la **dosis total diaria**, se convierte en **dosis efectiva**, (que debe entenderse como dosis de efecto perjudicial para los fines de la Higiene Industrial).

De = Dt.F.Cd

Por ejemplo, la dosis efectiva M polvo de sílice para producir silicosis es sólo de 1 a 2 % de la dosis total inhalada a lo largo de años de exposición.

La **Dosis Letal 50 (DL 50)**, es la dosis de un agente tóxico que produce la muerte del 50 % de los animales en estudio. La concentración letal (CL 50), es la concentración de una al ser inhalada durante un periodo de tiempo determinado, produce la muerte del 50 % de un grupo de animales expuestos.

Para que se produzca una intoxicación, el compuesto debe ser de una composición química que permita su absorción excesiva.

Con excepción de los gases y vapores irritantes y los asfixiantes simples, la acción de los contaminantes se ejerce después de su absorción por la sangre, y las consecuencias son las mismas que si el tóxico hubiera sido suministrado por vía endovenosa o rectal.

La magnitud de la intoxicación se relaciona en forma compleja con la concentración del agente en el aire exterior. La intoxicación queda determinada por el nivel y la velocidad de acumulación en algún lugar crítico del organismo. Pueden requerirse concentraciones atmosféricas muy diferentes para producir el mismo grado de intoxicación por dos sustancias que tengan la misma toxicidad, pero diferentes solubilidades, o para distintas condiciones de actividad física de los individuos expuestos.

La comprensión de los mecanismos de absorción y acumulación, permite diferenciar la toxicidad intrínseca de la toxicidad relativa. A su vez, en el caso de vapores, las concentraciones que pueden alcanzarse en el aire exterior dependen de la presión del vapor, por lo cual, el riesgo es mayor para las sustancias cuya concentración admisible esta muy por debajo de la presión de vapor saturado. Se denomina "riesgo de vapor", a la relación entre la concentración de vapor en equilibrio con su fase líquida a 24 °C, y el valor límite umbral (o concentración admisible).

$$\lambda = \frac{C_{v24^{\circ}C}}{C_{adm.}}$$

En la siguiente tabla, se han ordenado algunos líquidos orgánicos, de acuerdo con el riesgo de sus vapores.

SUSTANCIAS	CONCENTRACIÓN (PPM)	RIESGO DE VAPOR
Butil amina	5	34400
Sulfuro de carbono	20	23000
Tetracloruro de carbono	10	15000
Dietil amina	25	12600
Acronitrilo	20	11200
Cloroformo	25	10000
Benceno	25	5100
Etilen diamina	10	1710
Éter etílico	400	1380
Anilina	5	1320
Dimetil anilina	5	870
Alcohol metílico	200	820
Butanona	200	650
Nitrobenceno	1	474
Ciclohexano	300	427
Hexano	500	410
Tolueno	100	370
Acetona	1000	290
Percloroetileno	100	236
Clorobenceno	75	210
Alcohol Isopropílico	400	140
Fenol	5	132
Ciclohexanona	50	124
Xileno	100	100
Di-isobutil Cetona	25	71
O-Toluidina	5	66
Etanol	1000	66
Nitrotolueno	5	55
Hexanona	100	50
Solvente Stoddard	200	18

### 3.2.2. Concepto de límite admisible

Los especialistas de los Comités Mixtos OIT - OMS, han tomado como criterio de clasificación, de las sustancias nocivas, de acuerdo a su efecto biológico, a las siguientes categorías:

#### 1. Categoría A:

Exposiciones no peligrosas que en el estado actual de nuestro conocimiento no provocan modificaciones en el estado de salud y aptitud física de las personas expuestas, en cualquier momento de su vida.

#### 2. Categoría B:

Exposiciones que pueden provocar efectos rápidamente reversibles sobre la salud o la aptitud física sin llevar a un estado mórbido preciso.

### 3. Categoría C:

Exposiciones que pueden llevar a una enfermedad reversible.

### 4. Categoría D:

Exposiciones que pueden llevar a enfermedades irreversibles, o a la muerte.

Sin embargo, para enmarcar una sustancia en alguna de estas categorías, es necesario realizar numerosos estudios e investigaciones.

Lo ideal, es evitar todo tipo de exposiciones a las sustancias clasificadas B, C y D. Debido a las circunstancias reales de funcionamiento industrial, es necesario adoptar concentraciones máximas admisibles.

Existen dos criterios fundamentales para la definición de las concentraciones admisibles.

El criterio de la "American Conference of Governmental Industrial Hygienists", (ACGIH), establece valores límite umbral VLU (TLV: Threshold Limit Value), aplicables a las concentraciones de sustancias en la atmósfera de los lugares de trabajo, ponderadas en el tiempo, y calculadas para una exposición de ocho horas por día y 40 horas por semana. Se admite la existencia de casos de susceptibilidad individual.

Sin embargo, para ciertas sustancias se establecen, junto a los valores límite umbral, los denominados valores "Techo", C, (Ceiling), que son concentraciones máximas que no es posible sobrepasar en ningún momento.

El otro enfoque, es el de la máxima concentración permisible (MAC: Maximun Allowable Concentration), que se define de la siguiente forma: Las concentraciones máximas admisibles de las sustancias peligrosas en el aire de los lugares de trabajo (MAC), son aquellas concentraciones que, para una exposición de ocho horas por día, durante toda la vida, no causan en el estado de salud, ninguna afección, ni ninguna alteración descubierta por los métodos modernos de investigación, sea inmediatamente durante el trabajo, o a más largo término.

### **Concepto de concentración inmediatamente peligrosa para la salud (Immediately Dangerous to Life and Health, IDLH)**

Su uso está relacionado con protección respiratoria, tanto para situaciones de emergencia como para trabajos con riesgos especiales. La Occupational Safety and Health Act, define la IDLH para operaciones con residuos peligrosos y respuesta a emergencias como:

"Una concentración atmosférica de cualquier tóxico, sustancia corrosiva o asfixiante que ponga una inmediata amenaza a la vida o podría causar efectos irreversibles o retardado o interferir con la habilidad del individuo para escapar de una atmósfera peligrosa – 29CFR 1910.120).

En forma similar, para los permisos de entrada a espacios confinados, define IDLH como:

”cualquier condición que ponga una amenaza inmediata o retardada a la vida o que podría causar efectos irreversibles a la salud o que podría interferir con la habilidad del individuo a escapar sin ayuda el espacio donde tiene el permiso – 29 CFR 1910.146”

Los valores de la concentraciones inmediatamente peligrosas para la salud pueden sacarse del sitio <http://www.cdc.gov/niosh/>

### **Expresión de las concentraciones:**

Se usan en contaminación de ambientes de trabajo. Son de dos tipos principales:

- a. Para expresar concentración volumétrica (V/V).
- b. Para expresar concentración másica (P/V).

El numerador es la faz dispersa, y el denominador es la faz dispersante.

### **Formas de expresión de concentración volumétrica V/V:**

ppm: Partes por millón en 3 estado gaseoso (gas o vapor) del contaminante en un millón de partes de aire (se usan litros o m<sup>3</sup>).

El volumen en condiciones de referencia en higiene industrial es a 25°C y 760 mm de Hg.

### **Formas de expresión de la concentración en peso P/V:**

mg/m<sup>3</sup>: Miligramos del contaminante (sólido, líquido o gaseoso), en un metro cúbico (1000 litros) de aire.

µg/m<sup>3</sup> Microgramos del contaminante en un metro cúbico. En el estudio de sustancias cancerígenas, con límites de exposición muy bajos, fue necesario introducir esta unidad, que antes se usaba sólo para medir la contaminación exterior.

Equivalencia:

$$1000 \mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{mg}/\text{m}^3$$

### **Conversión de unidades:**

Para pasar de ppm a mg/m<sup>3</sup> o viceversa, es necesario conocer el peso molecular (PM) del contaminante. Un Mol (peso molecular - gramo) de cualquier sustancia química en estado gaseoso ocupa a 0°C y 760 mm de Hg, el mismo volumen: 22,4 litros.

Para las condiciones de referencia: 25°C y 760 mm de Hg, ocupa 24, 45 litros.

Fórmulas:

$$\text{ppm} = \text{mg}/\text{m}^3 \cdot 24,45 / \text{PM}$$

mg/m<sup>3</sup> = ppm. PM/ 24.5

Ejemplos:

**a. Sulfuro de Carbono (S<sub>2</sub>C):**

PM= 76 CMP = 20 ppm

$20 \times 76 / 24,45 = 62,16 \text{ mg/m}^3$

**b. Acrilonitrilo:**

PM = 53 CMP = 20 ppm

$20 \times 53 / 24,45 = 43,35 \text{ ppm/m}^3$

**Otras unidades:**

1. MPPMC: Millones de partículas por m<sup>3</sup> de aire. El origen de esta unidad es el recuento de partículas retenidas: en un impactador y contadas sobre fondo claro con el microscopio. Ha sido parcialmente reemplazado por el método gravimétrico, por lo cual ahora se utiliza mg/m<sup>3</sup>

**2. Para expresar concentración de fibras:**

Se usa fibras/cm<sup>3</sup>

Ejemplo:

Amianto (5 fibras/cm<sup>3</sup>, mayores de 5 μm de largo).

Talco (fibroso) (0,5 fibras/cm<sup>3</sup>)

**3. Porcentaje %:**

Porcentaje de contaminante (gaseoso), en 100 partes de aire (V/V). Es útil en la protección contra incendio, al expresar límites de explosividad de una mezcla de gas o vapor / aire. Es poco útil para las concentraciones pequeñas como límites de exposición.

Conversión:

$$\text{ppm}/10000 = \%$$

$$\% \times 10000 = \text{ppm}$$

Ejemplo:

$$0,1 \% = 1000 \text{ ppm}; \quad 1 \text{ ppm} = 0,0001 \%$$

En higiene industrial, es útil expresar en porcentaje, (%) el Oxígeno que existe en el aire..

## **Límites admisibles en relación con la variabilidad temporal de la concentración (Legislación Argentina)**

Las concentraciones máximas permisibles, expresan las cantidades en el aire de diversas sustancias, considerándose que por debajo de estos valores, la mayoría de los trabajadores pueden exponerse a la acción de tales sustancias repetidamente, día tras día, sin sufrir efectos adversos.

En la Res. 291/2003, se especifican las tres categorías de CMP (Concentración Máxima Permisible) siguientes:

a) **CMP (Concentración máxima permisible ponderada en el tiempo):**

Concentración media ponderada en el tiempo para una jornada normal de trabajo de 8 horas / día y una semana laboral de 40 horas, a la que se cree pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin efectos adversos.

b) **CMP - CPT (Concentración máxima permisible para cortos períodos de tiempo):**

Concentración a la que se cree que los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un corto espacio de tiempo sin sufrir: 1) irritación, 2) daños crónicos o irreversibles en los tejidos, o 3) narcosis en grado suficiente para aumentar la probabilidad de lesiones accidentales, dificultar salir por sí mismo de una situación de peligro o reducir sustancialmente la eficacia en el trabajo, y siempre que no se sobrepase la CMP diaria. No es un límite de exposición independiente, sino que más bien complementa al límite de la media ponderada en el tiempo cuando se admite la existencia de efectos agudos de una sustancia cuyos efectos tóxicos son, primordialmente, de carácter crónico. Las concentraciones máximas para cortos períodos de tiempo se recomiendan solamente cuando se ha denunciado la existencia de efectos tóxicos en seres humanos o animales como resultado de exposiciones intensas de corta duración. La CMP-CPT se define como la exposición media ponderada en un tiempo de 15 minutos, que no se debe sobrepasar en ningún momento de la jornada laboral, aún cuando la media ponderada en el tiempo que corresponda a las ocho horas sea inferior a este valor límite. Las exposiciones por encima de CMPCPT hasta el valor límite de exposición de corta duración no deben tener una duración superior a 15 minutos ni repetirse más de cuatro veces al día. Debe haber por lo menos un período de 60 minutos entre exposiciones sucesivas de este rango. Se podría recomendar un período medio de exposición distinto de 15 minutos cuando lo justifiquen los efectos biológicos observados.

c) **CMP-C (Concentración Máxima Permisible - Valor Techo (c):**

Es la concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento durante una exposición en el trabajo.

En la práctica convencional de la higiene industrial, si no es posible realizar una medida instantánea, el CMP-C se puede fijar cuando las exposiciones son cortas mediante muestreo durante un tiempo que no exceda los 15 minutos, excepto para aquellas sustancias que puedan causar irritación de inmediato.

Para algunas sustancias como, por ejemplo los gases irritantes, quizás solamente sea adecuada la categoría de CMP-C.

Para otras, pueden ser pertinentes una o dos categorías, según su acción fisiológica. Conviene observar que, si se sobrepasa uno cualquiera de estos valores límites, se presume que existe un riesgo potencial derivado de esa sustancia.

Los valores límites basados en la irritación física no deben ser considerados como menos vinculantes que aquellos que tienen su fundamento en el deterioro físico u orgánico. Cada vez es mayor la evidencia de que la irritación física puede iniciar, promover o acelerar el deterioro físico del organismo mediante su interacción con otros agentes químicos o biológicos.

### **Concentración media ponderada en el tiempo frente a valores techo**

Las medias ponderadas en el tiempo permiten desviaciones por encima de los valores límite umbral, siempre que éstas sean compensadas durante la jornada de trabajo por otras equivalentes por debajo de la concentración máxima permisible ponderada en el tiempo.

En algunos casos, puede ser permisible calcular la concentración media para una semana de trabajo en lugar de hacerlo para una sola jornada. La relación entre el límite umbral y la desviación permisible es empírica y, en casos determinados, puede no ser de aplicación. La magnitud en que se pueden sobrepasar los límites umbral durante cortos períodos de tiempo sin daño para la salud, depende de diversos factores como la naturaleza del contaminante, de si concentraciones muy elevadas producen intoxicaciones agudas, incluso durante períodos cortos de tiempo, de que sus efectos sean acumulativos, de la frecuencia con que se den las concentraciones elevadas, y de la duración de dichos períodos de tiempo. Para determinar si existe una situación peligrosa, hay que tener en cuenta todos los factores en consideración.

Aunque la concentración media ponderada en el tiempo constituye el modo más satisfactorio y práctico de controlar si los agentes que se encuentran en suspensión en el aire se ajustan a los límites señalados, hay determinadas sustancias para las que no resulta apropiada. En este último grupo figuran sustancias que, predominantemente, son de acción rápida y cuyo límite umbral es más apropiado basarlo en esta respuesta particular. La manera óptima de controlar las sustancias que tienen este tipo de respuesta, es mediante un valor techo, que no se debe sobrepasar.

En las definiciones de concentraciones medias ponderadas en el tiempo y de valor techo, está implícito que la forma de muestreo para determinar la falta de conformidad con los límites de cada una de las sustancias puede ser diferente; una única muestra de corta duración que es válida para comparar con el valor techo, no lo es para comparar con la media ponderada en el tiempo. En este caso se necesita un número de muestras suficientes, tomadas a lo largo del ciclo completo operativo o del turno de trabajo, que permitan determinar la concentración media ponderada en el tiempo, representativa de la exposición.

Mientras que el valor techo establece un límite definido de concentraciones que no deben excederse, la media ponderada en el tiempo requiere un límite explícito de desviaciones que pueden superarse por encima de los valores límites umbrales fijados.

Hay que hacer notar, que estos mismos factores se aplican para las sustancias químicas, para determinar la magnitud de los valores de exposición de corta duración o para cuando se excluye o incluye el valor techo de una sustancia.

### **Límites de desviación**

Para la inmensa mayoría de las sustancias que tiene Concentración Máxima Permisible ponderada en el tiempo, no se dispone de datos toxicológicos suficientes que garanticen un límite de exposición de corta duración. No obstante, se deben controlar las desviaciones o variaciones por encima de la Concentración Máxima Permisible ponderada en el tiempo, aún cuando su valor para ocho horas esté dentro de los límites recomendados

### **Notación "Vía dérmica"**

La designación de "vía dérmica" (v.d.) en la columna de Notaciones se refiere a la existencia de una contribución potencial significativa de la absorción por vía cutánea a la exposición total de esa sustancia. La absorción dérmica incluye las membranas mucosas y los ojos, ya sea por contacto con los vapores o, probablemente de mayor significación, por contacto directo de la sustancia con la piel. Las sustancias vehiculizantes presentes en las soluciones o en las mezclas también pueden aumentar significativamente la posible absorción dérmica.

Las propiedades de algunos materiales de provocar irritación, dermatitis y sensibilización en los trabajadores no se consideran relevantes a la hora de decidir la inclusión o no de la notación vía dérmica en una sustancia. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el desarrollo de una situación dermatológica puede afectar significativamente la posibilidad de la absorción dérmica.

Debido a que los datos cuantitativos que normalmente existen en relación con la absorción dérmica por los trabajadores, de gases, vapores y líquidos son relativamente limitados, se recomienda que la incorporación de los datos de los estudios de toxicidad aguda por vía dérmica y los de las dosis dérmica repetidas en animales y/o en humanos, junto con la capacidad de la sustancia para ser absorbida, pueden usarse para decidir la conveniencia de incluir la notación vía dérmica.

En general, cuando existan datos que sugieran que la capacidad de absorción por las manos y antebrazos durante la jornada laboral pudiera ser significativa, especialmente para las sustancias con CMP más bajos, se puede justificar la inclusión de la notación vía dérmica.

De los datos de toxicidad aguda por vía dérmica en animales para sustancias con DL<sub>50</sub> relativamente baja (1.000 mg/kg de peso o inferior) se les podría asignar la notación vía dérmica. Se debe considerar la utilización de la notación vía dérmica cuando los estudios de aplicación dérmica repetida muestren efectos sistémicos significativos en el tratamiento continuado.

De la misma forma, se debe considerar el uso de esta notación cuando las sustancias químicas penetren fácilmente la piel (coeficiente de reparto octanol-agua elevado) y cuando la extrapolación de los efectos sistémicos a partir de otras vías de exposición, sugieren una absorción dérmica que puede ser importante en la toxicidad manifestada.

Las sustancias con notación "vía dérmica" y con un valor de CMP bajo, pueden presentar problemas especiales en los trabajos en los que las concentraciones del contaminante en el aire sean elevadas, particularmente en condiciones en las que haya una superficie considerable de piel expuesta durante un período prolongado de tiempo. En estas condiciones se pueden establecer precauciones especiales para reducir significativamente o excluir el contacto con la piel.

Para determinar la contribución relativa de la exposición dérmica a la dosis total se debe considerar el control biológico.

El propósito de la notación "vía dérmica" es el de alertar al usuario de que solamente el muestreo ambiental es insuficiente para cuantificar exactamente la exposición y que se deben establecer las medidas suficientes para evitar la absorción cutánea.

#### **Notación "sensibilizante"**

La designación de "SEN" en la columna de "Notaciones", se refiere a la acción potencial de un compuesto para producir sensibilización, confirmado por los datos en humanos o en animales. La notación SEN no implica que la sensibilización es el efecto crítico en el que está basado el establecimiento del valor límite umbral ni de que este efecto sea el único con relación al valor límite de ese compuesto.

Cuando existen datos de sensibilización hay que considerarlos cuidadosamente a la hora de recomendar un valor límite para ese compuesto. Los valores límites umbrales basados en la sensibilización pretendían proteger a los trabajadores de la inducción a este efecto y no intentaban proteger a los trabajadores que ya habían sido sensibilizados.

En los lugares de trabajo las exposiciones a compuestos sensibilizantes pueden ocurrir por las vías respiratoria, dérmica o conjuntiva. De un modo parecido, los sensibilizantes pueden evocar reacciones respiratorias, dérmicas o conjuntivales. Por ahora, esta notación no distingue la sensibilización entre cualquiera de estos órganos o sistemas.

La ausencia de la notación SEN no significa que el compuesto no pueda producir sensibilización, sino que puede reflejar la insuficiencia o ausencia de la evidencia científica en cuanto a este efecto.

La sensibilización ocurre frecuentemente por un mecanismo inmunológico, que no debe confundirse con otras condiciones o terminología como la hiperreactividad, susceptibilidad o sensibilidad. Inicialmente la respuesta a un compuesto sensibilizante pudiera ser pequeña o no existir.

Sin embargo, después de que la persona se ha sensibilizado, la exposición siguiente puede causar respuestas intensas aún a exposiciones de baja concentración (muy por debajo del valor límite umbral). Estas reacciones pueden ser una amenaza durante la vida o pueden tener una respuesta inmediata o retardada.

Los trabajadores que han sido sensibilizados a un compuesto en particular, también pueden exhibir una reactividad cruzada a otros compuestos con estructura química similar. La reducción de la exposición a los sensibilizantes y a sus análogos estructurales, generalmente disminuye la incidencia de las reacciones alérgicas entre las personas sensibilizadas.

Sin embargo, para algunas personas sensibilizadas evitar por completo los lugares de trabajo y los no laborales con problemas de sensibilización, es la única forma de prevenir la respuesta inmune a los compuestos reconocidos como sensibilizantes y a sus análogos estructurales.

Los compuestos que tienen la notación SEN y un valor límite umbral bajo presentan un problema especial en los lugares de trabajo. Las exposiciones por las vías respiratoria, dérmica y conjuntiva deben reducirse significativamente o eliminarse utilizando los equipos de protección personal y las medidas de control adecuadas. La educación y el entrenamiento, por ejemplo, la revisión de los efectos potenciales para la salud, procedimientos de utilización seguros, información de emergencia, son también necesarios para aquellos que trabajan con compuestos sensibilizantes conocidos.

### **Mezclas**

Consideración especial merece, asimismo, la aplicación de los valores límites umbrales al determinar los riesgos para la salud que puedan estar relacionados con la exposición a mezclas de dos o más sustancias. En el Apéndice C se dan algunas consideraciones básicas concernientes al desarrollo de las CMP para las mezclas y los métodos para su aplicación documentada con ejemplos concretos.

En el caso de que se hallen presentes dos o más sustancias, deben tenerse en cuenta sus efectos combinados, más que sus efectos propios individuales o aislados. Los efectos de los diferentes riesgos deben considerarse como aditivos, siempre que no exista información en sentido contrario (sinergia),

Así, si la suma de las siguientes fracciones:

C1/T1 +C2/T2+            +Cn/Tn

superase la unidad, se llega a la conclusión de que se está rebasando el valor límite umbral de la mezcla.

Esta regla se exceptúa cuando existan razones de peso para creer que los efectos principales de las diferentes sustancias peligrosas de la mezcla no son aditivos, sino exclusivamente independientes. También se exceptúa cuando varios componentes de la mezcla producen efectos puramente locales en diferentes órganos del cuerpo humano. En tales casos debe considerarse que la mezcla excede el CMP cuando por lo menos, una de las sustancias componentes rebase el CMP específico, o sea, cuando cualquier fracción de la serie alcance valores superiores a la unidad.

### **Materia particulada**

Para la materia particulada sólida y líquida, los valores límites umbrales se expresan en términos de partículas totales, excepto cuando se utilice la denominación de inhalable y torácica o respirable, indicados en el listado de explicaciones y equivalencias de los símbolos.

Las definiciones de estas partículas se dan en el Apéndice D, "Criterios de muestreo selectivo por tamaño de partícula para aerosoles". El término de partículas totales se refiere a la materia aerotransportada muestreada con un cassette cerrado (se refiere a la utilización del cuerpo superior del cassette sin el tapón de protección) de 37 mm de diámetro.

### **Partículas (insolubles) no especificadas de otra forma (PNEOF).**

Hay muchas sustancias con valor límite umbral, y otras muchas sin este valor, para las cuales no hay evidencia de efectos tóxicos específicos. Las que se presentan en forma particulada se han denominado tradicionalmente como "polvo molesto".

Aunque estos compuestos pueden no causar fibrosis o efectos sistémicos, no son biológicamente inertes. Por otra parte, las concentraciones elevadas de la materia particulada no tóxica se las ha asociado ocasionalmente con situaciones fatales conocidas como proteinosis alveolar.

A concentraciones más bajas pueden inhibir el aclaramiento de las partículas tóxicas de los pulmones al disminuir la movilidad de los macrófagos alveolares. Por consiguiente se recomienda utilizar el término Partículas (insolubles) no especificadas de otra forma (PNEOF) para subrayar que todos estos compuestos son potencialmente tóxicos sin sacar la consecuencia de que son peligrosos a todas las concentraciones de exposición.

Las partículas clasificadas como PNEOF son aquellas que no tienen amianto y menos del 1% de sílice cristalina. Para reconocer los efectos adversos de la exposición a esta materia particulada no tóxica se establecen y se incluyen en la lista de los valores límites umbrales adoptados una CMP de 10 mg/m<sup>3</sup> para las partículas inhalables y de 3 mg/m<sup>3</sup> para las respirables.

### **Asfixiantes Simples gases o vapores "inertes"**

Diversos gases y vapores actúan primordialmente sólo como asfixiantes sin más efectos fisiológicos significativos cuando están presentes a altas concentraciones en el aire. No es posible recomendar un valor límite umbral para cada asfixiante simple porque el factor limitador es el oxígeno (O<sub>2</sub>) disponible.

En condiciones normales de presión atmosférica (equivalente a una presión parcial, pO<sub>2</sub>, de 135 torr), el contenido mínimo de oxígeno debe ser el 18% en volumen. Las atmósferas deficientes en O<sub>2</sub> no proporcionan signos de alarma adecuados y la mayoría de los asfixiantes simples son inodoros. Por otro lado,

varios asfixiantes simples suponen un peligro de explosión, factor que debe tomarse en cuenta al limitar la concentración del asfixiante.

### **Concepto de Índices Biológicos de Exposición**

El control biológico es un medio de evaluar la exposición y el riesgo para la salud de los trabajadores. Es un análisis bioquímico que indica la concentración de un determinante contaminante químico, o uno o más metabolitos, o un cambio bioquímico reversible característico inducido por el propio compuesto en el organismo del trabajador expuesto y es un indicador de la incorporación de una sustancia al organismo. En la mayoría de los casos las muestras utilizadas en el control biológico son la orina, la sangre o el aire exhalado.

Los índices Biológicos de Exposición son valores de referencia para evaluar los resultados del control biológico o análisis bioquímico. Representan los niveles de que con mayor probabilidad han de observarse en las muestras tomadas en los trabajadores sanos que han estado expuestos por inhalación a los compuestos químicos en el mismo grado que el valor límite umbral.

Las excepciones con respecto a lo anterior, son los índices biológicos de exposición para los compuestos químicos cuyos valores límite umbral están basados en la protección frente a los efectos no sistémicos (p.e. irritación o deterioro respiratorio) en donde es conveniente realizar el control biológico debido a la absorción potencial significativa a través de una vía adicional de entrada (generalmente la vía dérmica).

El control biológico refleja indirectamente la dosis de un trabajador a la exposición o del compuesto químico en cuestión. El índice biológico de exposición generalmente representa la concentración por debajo de la cual la mayor parte de los trabajadores no deberían experimentar efectos adversos para la salud.

El control biológico se complementa con la evaluación ambiental de contaminantes.

Los Índices Biológicos de Exposición se encuentra en la Resolución 295/2003 y en las normas de la ACGIH.

### **3.2.3. Inhalación y depósito de partículas en el aparato respiratorio**

El problema de la contaminación por aerosoles es uno de los más importantes que se deben considerar en la preservación del ambiente laboral o urbano.

El aparato respiratorio (Fig. 3.3) constituye la principal vía de ingreso al organismo de distintos tipos de partículas potencialmente nocivas, tales como humos y polvos minerales u orgánicos originados en procesos industriales, polen, nieblas, microorganismos aerodispersos, etc,

Los pulmones ofrecen una superficie de contacto con el aire de más de 30 m<sup>2</sup> y se hallan recorridos por una vasta red de capilares de alrededor de 2000 km. de longitud. La sangre se halla separada del aire alveolar tan solo por dos membranas, las paredes alveolares y los capilares, a través de las cuales las partículas solubles tienen acceso al torrente sanguíneo.

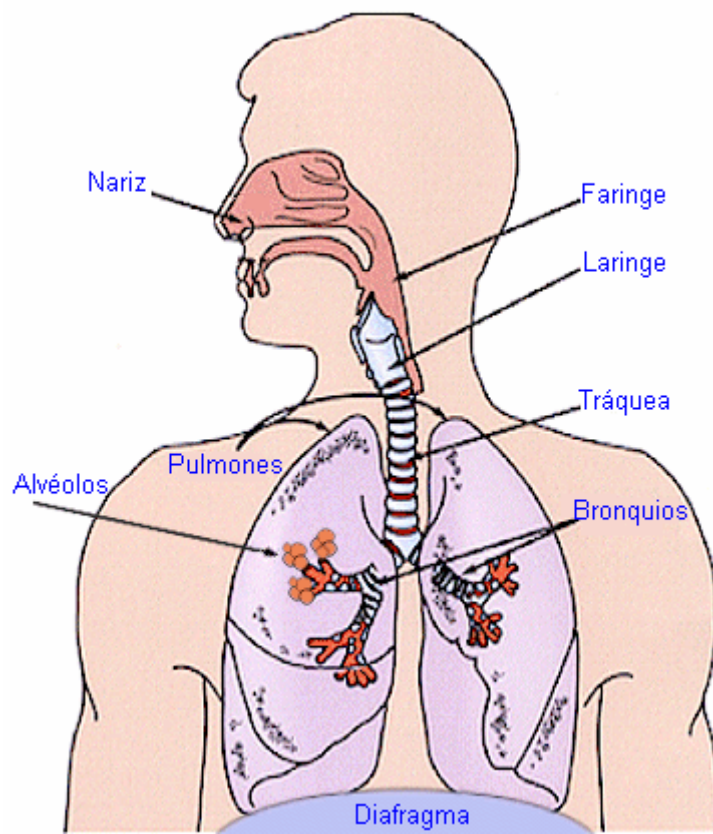


Fig. 3.3. Aparato Respiratorio

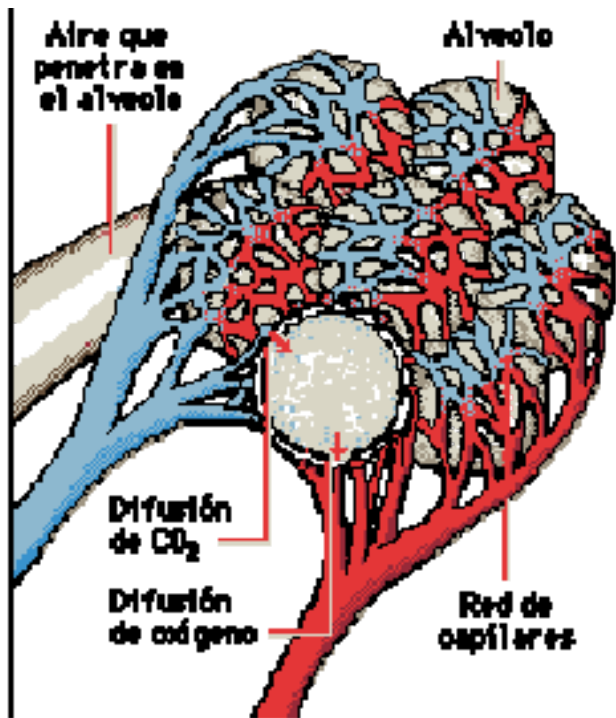


Fig. 3.4 Alvéolos Pulmonares

Las partículas inhaladas pueden depositarse en el tracto respiratorio superior (cavidad nasofaríngea, tráquea, bronquios), o bien penetrar más profundamente hasta llegar a los alveolos (ver Fig. 3.4).

Sí en el tracto superior se depositan partículas insolubles, resultan comparativamente inocuas, puesto que son rápidamente removidas por el desplazamiento de la película de mucus producido por la acción ciliar. Por el contrario, las que se acumulan en los pulmones pueden ser el origen de diversas condiciones patológicas. La de mayor importancia, por su frecuencia y gravedad es la fibrosis nodular característica de la silicosis.

Si se considera que la cantidad de polvos minerales encontrados postmortem en pulmones silicóticos es, aún en casos extremos, un reducido porcentaje de la cantidad total inhalada durante los años de exposición al polvo, se concluye que la mayor parte de los polvos que ingresan al aparato respiratorio son luego expulsados, en parte inmediatamente con el aire exhalado en cada respiración, o en pocas horas por los mecanismos de remoción de la mucosa ciliada que recubre el tracto superior. La fracción remanente es removida mucho más lentamente desde los espacios alveolares. La fibrosis es, presumiblemente, la consecuencia final de una permanencia prolongada en los pulmones de una fracción pequeña y seleccionada M total de polvos aspirados.

### **Mecanismo de la Ventilación Pulmonar**

El mecanismo de la respiración consiste de dos fases: la inspiración y la espiración (ver Fig. 3.5)

Durante la inspiración los músculos respiratorios ensanchan la caja torácica y el aire exterior, que está a mayor presión, penetra en ella. Luego, durante la expiración, los músculos se relajan y la caja torácica disminuye de tamaño, expulsando parte del aire contenido en ellas.

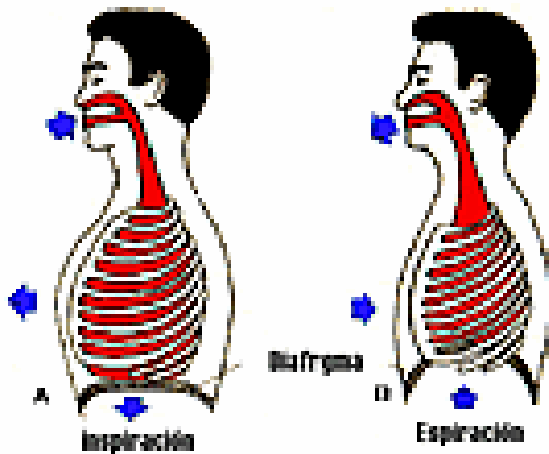


Fig. 3.5 Ventilación Pulmonar

#### 3.2.4. Inhalación y absorción de gases y vapores:

La comprensión de los mecanismos de absorción y acumulación, permite diferenciar la toxicidad intrínseca de la toxicidad relativa. A su vez, en el caso de vapores, las concentraciones que pueden alcanzarse en el aire exterior, dependen de la presión de vapor, por lo cual, el riesgo es mayor para las sustancias cuya concentración admisible está muy por debajo de la presión del vapor saturado (ver "Riesgo de vapor").

#### Solubilidad de gases y vapores:

La acción de los contaminantes se ejerce después de su absorción por la sangre, y las consecuencias son las mismas que si el tóxico hubiese sido suministrado por vía endovenosa.

Ahora bien, un gas o vapor en contacto con una superficie líquida se disuelve hasta alcanzar una condición de equilibrio, que depende de la presión que ejerce sobre el líquido.

En efecto, si se está expuesto a una atmósfera contaminada, el contaminante ingresa al organismo por vía respiratoria, y es transportado luego por la sangre. Un factor importante, en la absorción de contaminantes, es la solubilidad. Henderson y Haggard propusieron una forma de expresión para la absorción de gases por la sangre a través de los alvéolos pulmonares.

Se introduce el **coeficiente de distribución o partición**. Supóngase tener un recipiente con un líquido (sangre), y un contaminante en la atmósfera (alveolo pulmonar) de concentración  $C_a$ , al cabo de un cierto tiempo, se obtiene una concentración de contaminante en el líquido  $C_1$  (en estado de equilibrio).

Se define entonces como coeficiente de partición:

$$\lambda = C_1 / C_a$$

### **Absorción de contaminantes por vía respiratoria:**

Las etapas del proceso respiratorio (el intercambio de gases entre el organismo y el ambiente) son las siguientes:

**1. Ventilación pulmonar:** es el movimiento de aire desde el ambiente a los pulmones, y viceversa.

**2. Difusión pulmonar:** es el intercambio gaseoso entre el aire de los pulmones, a través de los alvéolos pulmonares y la sangre de los capilares.

**3. Transporte:** se produce el transporte de oxígeno a través de la sangre (por medio de los glóbulos rojos), desde los pulmones hacia los tejidos.

**4. Respiración celular:** es la utilización del oxígeno, transportado por los glóbulos rojos, por parte de las células, para la producción de energía.

Podemos ver entonces, que la velocidad de acumulación de gas o vapor en el cuerpo depende de varios factores:

\* *concentración en el aire*

.

\* *tiempo de exposición.*

\* *ventilación pulmonar y difusión pulmonar.*

\* *transporte (flujo sanguíneo).*

\* *solubilidad de la sustancia en la sangre y en los tejidos.*

\* *actividad química de la sustancia.*

En equilibrio, la cantidad de sustancia contenida en el cuerpo del individuo expuesto, depende de tres variables:

\* *la concentración de gas o vapor en el aire pulmonar.*

\* *el coeficiente de solubilidad en los tejidos a la temperatura del organismo.*

\* *el peso del cuerpo.*

En los tejidos se alcanza rápidamente el equilibrio. La sangre que retorna de los tejidos despojada de una parte importante de la sustancia que lleva inicialmente, vuelve a entrar en contacto con el gas o vapor presente en los pulmones,

tendiéndose de esta manera a alcanzar un equilibrio en el cual cesaría la absorción. Ello ocurre con los gases y vapores que no reaccionan en el organismo, pero con algunas sustancias, como el alcohol etílico, la oxidación rápida y continua puede mantener las dosis absorbidas a niveles inferiores a los calculados, y la saturación no se alcanza.

### **3.2.5 Intoxicaciones y Enfermedades profesionales**

#### **a). Enfermedades del aparato respiratorio:**

Se denominan *nosoconiosis*, a las enfermedades producidas por polvos. Se entiende por *neumoconiosis* a la presencia de polvo en los pulmones.

Las partículas depositadas en las vías respiratorias superiores, son desplazadas hacia el exterior por el movimiento de la película de mucus debido a la acción ciliar. Las partículas pequeñas, que se han depositado en los espacios pulmonares, más allá de las superficies ciliadas de los bronquiolos terminales, requieren de otros mecanismos de remoción para alcanzar la película de mucus.

Las partículas que no sean removidas en esta forma de los espacios pulmonares, penetrarán en los tejidos y serán conducidas a los nódulos linfáticos. Algunas producirán reacciones tisulares. Otras atravesarán las paredes alveolares e ingresarán al torrente sanguíneo. Las partículas solubles podrán ser conducidas por la sangre o bien combinarse con componentes de los tejidos. Los fagocitos desempeñan un papel importante en la determinación del destino final de los polvos inhalados. Por último, muchas partículas quedarán adheridas a los alvéolos pulmonares recubiertas de una capa de proteína.

#### **Enfermedades pulmonares producidas por polvos inorgánicos:**

##### **\* Silicosis:**

Es una enfermedad de los tejidos pulmonares, que se manifiesta a lo largo del tiempo, y es producida por la inhalación, en concentración suficiente y por un tiempo prolongado, de partículas finas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), suspendidas en el aire.

Esta enfermedad esta caracterizada por cambios fibróticos generalizados, y desarrollo de nodulaciones múltiples en ambos pulmones (formación de capas de tejido conjuntivo que reemplaza al tejido pulmonar).

Clínicamente, se manifiesta por:

Disnea (dificultad respiratoria).

Reducción de la capacidad de trabajo.

Ausencia de fiebre.

Aumento de la susceptibilidad para la tuberculosis.

Evidencias radiológicas características.

Las variedades de  $\text{SiO}_2$  que provocan la enfermedad, se presentan bajo dos formas:

1. Como sílice libre, siendo la variedad más nociva el cuarzo y la menos nociva la sílice amorfa

2. Como sílice combinado: (silicatos).

\* **Asbestosis:**

Es una enfermedad profesional producida por la inhalación de asbesto (también llamado amianto), que produce fibrosis (formación de tejido fibroso de carácter patológico). En otras palabras, se produce un reemplazo del tejido funcional activo de los pulmones, por tejido cicatrizal no activo,

El asbesto es un silicato de magnesio hidratado que se presenta en forma de fibras. Esta enfermedad se presenta en mineros, o en obreros que procesan el mineral para obtener la fibra, y en aquellas personas que trabajan con la fibra propiamente dicha.

El proceso no está muy bien explicado aún, solo se sabe que las fibras son recubiertas por una vaina de proteínas que se rompe luego de 10 a 15 años, acelerando en ese instante la fibrosis. La ubicación de estas vainas es predominante en la parte baja de los pulmones y se observa por la presencia de un gran número de nódulos llamados cuerpos asbestos. En muchos casos se ha observado que producen cáncer.

En Argentina, el Ministerio de Trabajo ha reglamentado el uso del asbesto,

### **Enfermedades pulmonares producidas por polvos orgánicos:**

\* **Bisinosis:**

Es una enfermedad clásica de la industria textil, producida por las fibras de algodón, lino, cáñamo, etc.

Su sintomatología, está constituida básicamente por:

- Vómitos, con tos y salivación.
- Disnea (dificultad para respirar).

Estos síntomas, sumados al hecho de que no se producen cambios radiológicos específicos, suelen hacer que frecuentemente se la confunda con una bronquitis.

El riesgo clínico peculiar, es la constricción torácica y dificultad respiratoria. Aparentemente, existe un agente nocivo en el polvo que causa bronco constricción y edema pulmonar (acumulación de linfa en los pulmones). Por último, la evolución de la enfermedad es la siguiente:

- El malestar se produce generalmente el primer día de trabajo después del descanso semanal.
- En una etapa más avanzada de la enfermedad la disnea es permanente.

El polvo parece alterar las funciones pulmonares durante el día, con una lenta recuperación en las 24 horas siguientes, al menos en las primeras etapas,

#### **b) Gases y vapores irritantes:**

Son sustancias que producen inflamación en los tejidos cuando entran en contacto con ellos. Actúan sobre los tejidos epiteliales, como la piel, la conjuntiva y la mucosa de las vías respiratorias.

Esta inflamación no es una simple corrosión química, sino que es una reacción fisiológica, es decir que hay alteración en los procesos vitales normales de las células.

A continuación, veremos algunos ejemplos, para lo cual hemos dividido a las sustancias irritantes según el lugar del aparato respiratorio que afectan:

#### **\* Irritantes de las vías respiratorias superiores.**

##### **Acroleína:**

Es un líquido incoloro de olor penetrante, cuya solubilidad en agua es realmente baja, sin embargo, actúa sobre los ojos y el tracto respiratorio superior, dando una advertencia suficiente de su presencia en concentraciones inferiores a las nocivas.

#### **\* Irritantes intermedios: actúan sobre los bronquios:**

##### **Cloro:**

La acción irritante del cloro, para concentraciones moderadas, se limita a la nariz, garganta y bronquios. Las concentraciones mayores, pueden llegar a producir congestión y edema pulmonar.

#### **\* Irritantes pulmonares:**

##### **Dióxido de nitrógeno:**

Los óxidos de nitrógeno,  $\text{NO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}_4$ , reaccionan con la humedad de los tejidos y con el oxígeno del aire para formar ácido nítrico y pequeñas proporciones de ácido nitroso, que con los álcalis del suero sanguíneo, forman nitratos y nitritos. Los nitritos, pueden producir dilatación arterial, baja presión exterior, vértigos y cefaleas; pero el efecto más importante es la irritación pulmonar que puede provocar edema.

#### **C) Asfixiantes:**

Como ya se ha visto, la respiración es el intercambio de gas entre el organismo y el ambiente. Los asfixiantes, dependiendo de sus características, actúan en diferentes etapas del proceso respiratorio.

##### **Asfixiantes simples:**

Los asfixiantes, simples son químicamente inertes desde el punto de vista de la respiración. Actúan físicamente reemplazando el oxígeno del aire y reduciendo en consecuencia la presión parcial del oxígeno en los pulmones.

Algunos gases considerados como asfixiantes simples son: Hidrógeno, Metano, Etano, Nitrógeno, dióxido de carbono, etc.

**\* Asfixiantes químicos:**

Son sustancias que reducen la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre. Antes de analizarlos, se verá el proceso de transporte de oxígeno por la sangre.

**Transporte de oxígeno por la sangre. Hemoproteínas.**

Las hemoproteínas, son compuestos de proteínas con el grupo hemo. El oxígeno atmosférico es transportado en la sangre por una hemoproteína, la hemoglobina. La función primaria de la hemoglobina en la sangre es transportar el oxígeno desde los pulmones (donde la presión de oxígeno es elevada), hasta los tejidos (donde la presión es baja), para su utilización. Esto se cumple mediante la formación de un complejo disociable, la oxihemoglobina.



**- Monóxido de carbono:**

El monóxido de carbono, ejerce su acción asfixiante combinándose con la hemoglobina de la sangre, impidiendo la provisión normal de oxígeno a los tejidos. De esta forma se produce una reacción reversible que da origen a la formación de carboxihemoglobina (COHb) en la sangre, por lo que el monóxido puede ser eliminado al cesar la exposición, aunque los daños causados por la asfixia pueden ser irreversibles.

**- Anilinas (compuestos que producen metahemoglobinemia):**

Los compuestos como las anilinas, tienen la propiedad de alterar la hemoglobina de la sangre, transformándola en metabemoglobina,

**- Arsina (sustancias hemolíticas):**

La arsina, entre otras, actúa en la sangre como hemolítico, destruyendo los glóbulos rojos, por lo que la exposición aguda puede causar la muerte. La exposición crónica en cambio, ocasiona anemia e ictericia, así como también, nefritis y hepatitis.

**- Sustancias que inhiben la oxidación celular:**

Incluyen los cianuros y nitritos. El efecto de los cianuros, se debe a la inactivación de catalizadores biológicos que operan en la transferencia de oxígeno a las células.

**- Sustancias que producen parálisis respiratoria:**

Este es el caso del sulfuro de hidrógeno. La acción nociva se debe al SH<sub>2</sub> no oxidado que actúa sobre los tejidos nerviosos de todo el cuerpo, pudiendo, en determinadas concentraciones, paralizar el centro respiratorio. En concentraciones menores, estimula el centro respiratorio y produce hipernea, la hiperventilación rebaja el CO<sub>2</sub> de la sangre, y produce parálisis respiratoria de todas formas. Como la acción M SH<sub>2</sub> sobre el sistema nervioso se ejerce mientras este presente en la sangre sin oxidar, al cesar la exposición,, se oxida rápidamente con la sangre, y no deja secuelas, siempre y cuando se trate en forma inmediata a la persona afectada con respiración artificial.

#### **d) Gases y vapores anestésicos:**

Se caracterizan por su efecto depresivo sobre el sistema nervioso central. Sus principales efectos depresivos se localizan en el cerebro, ya que el volumen de irrigación sanguínea que éste recibe es mucho mayor. A medida que aumenta la presión parcial de un gas en los pulmones, se producen diversas etapas en su efecto anestésico, ellas son:

##### **\* Etapa preliminar:**

La baja concentración en el pulmón, la sangre y por consecuencia, el cerebro, altera ligeramente la coordinación muscular y mental, reduciendo la precisión de los movimientos, produciendo un aumento en el número de errores en que se incurre al realizar una tarea determinada.

##### **Segunda etapa:**

Concentraciones algo mayores, originan confusión de ideas y reducción de la lucidez del individuo. Se altera seriamente la coordinación muscular, y el individuo parece ebrio, aumentan en consecuencia las posibilidades de accidente.

##### **\* Tercera etapa:**

Es la considerada como primera etapa de la anestesia quirúrgica; en ella se entra en un periodo de excitación causado por la pérdida de los controles funcionales, en especial las inhibiciones, lo que deja a los centros motores en libertad de actuar, al ser suprimidas sus regulaciones habituales.

##### **\* Cuarta etapa:**

En ella se alcanzan concentraciones tales, que se produce la pérdida total del conocimiento y la inmovilidad del individuo. Los reflejos desaparecen uno a uno, siendo el último en desaparecer el reflejo protector del ojo. Esta etapa corresponde a la segunda etapa de la anestesia quirúrgica.

##### **\* Quinta etapa:**

Se alcanza cuando la concentración del anestésico en la sangre paraliza el centro respiratorio.

La exposición crónica a gases y vapores anestésicos (que se repite a menudo con cierta severidad), produce un envenenamiento crónico y alteraciones orgánicas.

De acuerdo a su poder anestésico, se tienen: Hidrocarburos acetilénicos: acetileno. Éteres: éter etílico. Cetonas alifáticas: acetona. Alcoholes alifáticos: etanol, propanol, butanol, pentanol. Esteres.

#### e **Sustancias tóxicas:**

Según sus efectos y características, pueden clasificarse en:

##### \* **Sustancias que actúan sobre las vísceras:**

Este grupo incluye principalmente a los hidrocarburos halogenados.

Si bien tienen efectos anestésicos, el efecto tóxico es mucho más importante y pueden producir consecuencias patológicas para exposiciones incapaces de producir anestesia. En la exposición aguda, se puede producir la muerte por parálisis del centro respiratorio, además de fibrilación del corazón. En otros casos, la muerte puede ocurrir uno o más días después de que se manifiesten efectos anestésicos, por los daños causados en el hígado, riñones y sistema nervioso.

La mayoría de estos halogenados son buenos solventes no inflamables, lo que ha tenido como consecuencia su gran difusión en la industria, pese a su toxicidad.

##### \* **Sustancias que actúan sobre el sistema hematopoyético;**

Este grupo incluye principalmente a los hidrocarburos aromáticos, siendo el más importante el benceno, que estudiaremos a continuación,

##### *Toxicología del benceno:*

Ingresa al organismo por vía respiratoria, y en menor medida por vía cutánea. El benceno actúa en dos formas principales:

- Acción sobre el sistema nervioso central: provoca una acción narcótica similar a la del cloroformo o un estado de delirio que se ha denominado "ebriedad benzoica", sumados a vértigo, cefaleas, etc.

- Acción sobre el sistema hematopoyético: provoca un síndrome hemorrágico muy grave.

Existen dos tipos de intoxicación: Aguda: conduce rápidamente a la muerte por colapso en inconsciencia. Crónica: no tiene signos visibles, es progresiva y a menudo fatal.

Si el benceno llega en estado líquido a los pulmones, produce edema pulmonar.

##### \* **Sustancias que actúan sobre el sistema nervioso:**

Este grupo incluye a los alcoholes, ésteres y sulfuro de carbono.

En la intoxicación crónica, los síntomas son variables, los primeros indicios son cefaleas y vértigos. Si la exposición es continua, son afectados los nervios motores, y se producen temblores y debilidad muscular; la neuritis también puede producirse

en los nervios sensoriales y se suelen presentar áreas cutáneas anestesiadas, o ceguera por acción sobre el nervio óptico. La acción tóxica también puede extenderse sobre la región cortical del cerebro, con las consecuencias psicopáticas correspondientes.

**\* Los metales tóxicos:**

El metal pesado más característico es el plomo.

Hay dos formas de entrada al organismo de los compuestos inorgánicos del plomo:

- por el aparato respiratorio: por inhalación de vapores, humos, polvos y nieblas.
- por el aparato digestivo: al tragar partículas depositadas en las vías respiratorias superiores, o *introducidas en la boca* con los alimentos, los dedos, etc.

Este tóxico provoca la enfermedad profesional denominada "saturnismo", cuyos síntomas son: fatiga, insomnio y constipación, en una primera etapa. Si la exposición continúa, las manifestaciones se agrupan en tres síndromes clínicos característicos:

- a. Los trastornos gastrointestinales, incluyendo cólicos plúmbicos.
- b. Las perturbaciones neuromusculares que pueden manifestarse por parálisis de los músculos extensores, particularmente los antebrazos y las manos.
- c. Las perturbaciones en el sistema nervioso central, incluyendo encefalopatías.
- d. Se presentan también anemia y neuritis.

El diagnóstico precoz se realiza mediante pruebas de sangre y de orina, que detectan el contenido de plomo en los fluidos orgánicos.

### **3.3 Hojas de seguridad de Productos**

Resulta difícil tener presente la las propiedades tóxicas de los miles de compuestos existentes que se encuentran en circulación comercial. Para solucionar el problema a las industrias y usuarios de productos, se han ideado las hojas de seguridad de productos. Son ellas hojas de datos sobre las características de seguridad e higiene industrial de las sustancias, que indican propiedades tales como toxicidad laboral, inflamabilidad, toxicidad ambiental, primeros auxilios, formas de combatir un incendio, etc.

Estas hojas de seguridad deben ser presentadas por el proveedor al comprador. Si ello no fuera posible, existen sitios en la web en los cuales es posible obtener dichas hojas de seguridad.

Se adjunta un ejemplo de hoja de seguridad, obtenido de Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el trabajo de España (<http://www.mtas.es/inhst/>).

## Fichas Internacionales de Seguridad Química


### ACETONITRILO

ICSC: 0088

			
<p>ACETONITRILO                  Cianuro de metilo                  Cianometano                  Etanonitrilo  <math>C_2H_3N/CH_3CN</math>                  Masa molecular: 41.0</p>			
Nº	CAS	75-05-8	
Nº	RTECS	AL7700000	
Nº	ICSC	0088	
Nº	NU	1648	
Nº CE 608-001-00-3			

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Espuma resistente al alcohol, polvo, dióxido de carbono. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.
<b>EXPLOSION</b>	Las mezclas vapor/aire son explosivas. Por encima de 12.8°C: pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Riesgo de incendio y explosión en contacto con oxidantes.	Por encima de 12.8°C: sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosiones Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra). NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.
<b>EXPOSICION</b>		¡HIGIENE ESTRICTA!	

• <b>INHALACION</b>	Dolor de garganta, vómitos, dificultad respiratoria, debilidad, dolor abdominal, convulsiones, pérdida del conocimiento. (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• <b>PIEL</b>	¡PUEDE ABSORBERSE! Enrojecimiento, (para mayor información véase Inhalación).	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• <b>OJOS</b>	Enrojecimiento, dolor.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• <b>INGESTION</b>	(Para mayor información véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!) y proporcionar asistencia médica.

<b>DERRAMAS Y FUGAS</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>
Ventilar. Eliminar todas las fuentes de ignición. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena seca o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de ácidos y oxidantes. Mantener en lugar fresco y bien ventilado.	 <p>No transportar con alimentos y piensos.</p> <p>símbolo F símbolo T R: 11-23/24/25 S: (1/2-)/16/27/45 Clasificación de Peligros NU: 3 Riesgos Subsidiarios NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: II CE:</p>

**VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE**

**ICSC: 0088**

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

<b>D</b>	<b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Líquido incoloro, de olor característico.	<b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.
<b>A</b>		
<b>T</b>		

<b>O S I M P O R T A N T E S</b>	<p><b>PELIGROS FISICOS</b> El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b> Por combustión, formación de humos tóxicos de cianuro de hidrógeno y óxidos de nitrógeno. La sustancia se descompone en contacto con ácidos, agua y vapor de agua produciendo humos tóxicos y vapor inflamable. Reacciona con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión. Ataca a algunas formas de plástico, caucho y recubrimientos.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV (como TWA): 40 ppm; 67 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 60 ppm; 101 mg/m<sup>3</sup> (piel) (ACGIH 1993-1994).</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en la respiración celular (inhibición), dando lugar a alteraciones funcionales. La exposición a altas concentraciones puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause malformaciones congénitas en recién nacidos.</p>		
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Punto de ebullición: 81°C  Punto de fusión: -45°C  Densidad relativa (agua = 1): 0.8  Solubilidad en agua: Miscible  Presión de vapor, kPa a 20°C: 9.60  Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.4 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.04  Punto de inflamación: 12.8°C (c.c.)  Temperatura de autoignición: 524°C  Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.0-16  Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.3 </td> </tr> </table>	Punto de ebullición: 81°C Punto de fusión: -45°C Densidad relativa (agua = 1): 0.8 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 9.60 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.4	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.04 Punto de inflamación: 12.8°C (c.c.) Temperatura de autoignición: 524°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.0-16 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.3
Punto de ebullición: 81°C Punto de fusión: -45°C Densidad relativa (agua = 1): 0.8 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 9.60 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.4	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.04 Punto de inflamación: 12.8°C (c.c.) Temperatura de autoignición: 524°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.0-16 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.3		
<b>DATOS AMBIENTALES</b>			
<b>NOTAS</b>			
<p>Los síntomas de intoxicación aguda no se ponen de manifiesto hasta pasadas algunas horas.  Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-148  Código NFPA: H 2; F 3; R 0;</p>			
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>			
FISQ: 3-005 ACETONITRILO			
<b>ICSC: 0088</b>	<b>ACETONITRILO</b>		

**NOTA LEGAL  
IMPORTANTE:**

Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).

También pueden obtenerse fichas de seguridad del NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health, de Estados Unidos: <http://www.cdc.gov/niosh/>) y de muchos otros sitios.

### **3.4 Bibliografía**

(1.) Ing. Julio C. Duran, y otros

Introducción al Estudio de la Contaminación de Partículas.  
Instituto de Ingeniería Sanitaria UBA (1973)

(2) Ing. Julio C. Duran

Medición de Presiones y Volúmenes de Aire en la Toma de Muestras de Contaminación. -Instituto de Ingeniería Sanitaria UBA (1971)

(3) Dr. Nelson R. Culler

Contaminación del Aire en los Ambientes de Trabajo -Universidad Tecnológica Nacional (1986)

(7) Drinker and Hatch

Industrial Dust –MC Graw Hill (1953)

(8) Normas IRAM - Serie 80.000

(9) Albiano, Nelson; Epelman, Darío – Toxicología Laboral – Ed. Polemos –ISBN 9879165-17-9 (1999).

(10) Andlauer, P. – El Ejercicio de la Medicina del Trabajo – Ed. Científico Médica- ISBN 84-224-0753-1 (1980)

(11) Finucane, Edward – Definitions, Conversions and Calculations for Occupational Safety and Health Professionals – Lewis Publishers – ISBN 0-97371-863-1

(12) 2000 TLVs – Valores límite para sustancias químicas y agentes físicos del Ambiente de Trabajo y BEIs Indices Biológicos de Exposición – ISBN 84-482-2717-4

(13) Fulugonio, Juan Ramón – Curso de actualización: Introducción a las Sustancias Químicas – Ediciones del País- (2004)

(13) Sitios web de NIOSH, OSHA, y SRT.

## Anexo I

### Resolución N° 291/2005

#### APENDICE D: Criterios de muestreo selectivo por tamaño de partícula para aerosoles

Para las sustancias químicas que se encuentran en el aire inhalado en forma de suspensiones de partículas sólidas o gotículas, el riesgo en potencia depende del tamaño de las partículas así como de la concentración másica a causa de: 1) los efectos del tamaño de las partículas sobre el lugar de deposición en el tracto respiratorio y 2) la tendencia a asociar muchas enfermedades profesionales con el material depositado en determinadas regiones del tracto respiratorio.

Los valores límite selectivos por Tamaño de Partícula se expresan de las tres formas siguientes:

1. Valores CMP de la Masa de Partículas Inhalable (IPM - CMPs) correspondientes a aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en cualquier parte del tracto respiratorio.
2. Valores CMP de la Masa de Partículas Torácica (TPM - CMPs) para aquellos materiales que son peligrosos al depositarse en cualquier parte de las vías pulmonares y la región de intercambio de gases.
3. Valores CMP de la Masa de Partículas Respirable (RPM - CMPs) para aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en la región de intercambio de gases.

Las tres fracciones másicas de partículas descritas anteriormente se definen en términos cuantitativos de acuerdo con las ecuaciones siguientes:

A. La Masa de partículas Inhalable (IPM) consiste en aquellas partículas que se recogen de acuerdo con la eficacia de captación siguiente, con independencia de la orientación del muestreador con respecto al viento:

$$IPM(d_{ae}) = 0,5 [1 + \exp(0,06 d_{ae})] \quad \text{para } 0 < d_{ae} \leq 100 \mu\text{m}$$

En donde:

$IPM(d_{ae})$  = eficacia de captación     $d_{ae}$  = diámetro aerodinámico de la partícula  $\mu\text{m}$

B. La Masa de partículas Torácica (TPM) consiste en aquellas partículas que se recogen de acuerdo con la eficacia de captación siguiente:

$$TPM(d_{ae}) = IPM(d_{ae}) [1 - F(x)]$$

en donde:

$F(x)$  = la función de probabilidad acumulada de una variable  $x$  normal estandarizada

$$x = \frac{\ln(d_{ae}/G)}{\ln(\hat{a})}$$

$\ln$  = logaritmo neperiano

$G = 11,64 \text{ mm}$

$\hat{a} = 1,5$

C. La Masa de Partículas Respirable (RPM) consiste en aquellas partículas que se recogen de acuerdo con la eficacia de captación siguiente:

$$RPM(d_{ae}) = IPM(d_{ae}) [1 - F(x)]$$

En donde:

$F(x)$  tiene el mismo significado que en la fórmula anterior pero para

$G = 4,25 \mu\text{m}$  y  $\alpha = 1,5$

Las eficacias de captación representativas de varios tamaños de partícula para cada una de las masas de las fracciones respectivas, se dan en las tablas 1, 2 y 3.

**TABLA - 1 INHALABLE**

<b>Diámetro aerodinámico de la partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Masa de partículas inhalable (IPM) %</b>
0	100
1	97
2	94
5	87
10	77
20	65
30	58
40	54.5
50	52.5
100	50

**TABLA- 2 TORACICA**

<b>Diámetro aerodinámico de la partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Masa de partículas torácica (TPM) %</b>
0	100
2	94
4	89
6	80,5
8	67
10	50
12	35
14	23
16	15
18	9,5
20	6
25	2

**TABLA 3 - RESPIRABLE**

<b>Diámetro aerodinámico de la partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Masa de partículas respirable (RPM) %</b>
0	100
1	97
2	91
3	74
4	50
5	30
6	17
7	9
8	5
10	1

## **CAPITULO 4**

### **TOMA DE MUESTRAS Y CORRECCION DEL AMBIENTE DE TRABAJO**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Toma de muestras, significa recoger una cantidad suficiente de aire para analizar los contaminantes que contiene. Se considera que la concentración de cualquier sustancia tóxica en la atmósfera es variable, tanto en el tiempo como en el espacio, debido a corrientes de aire, los ciclos del proceso industrial, la intensidad del trabajo, etc. Sí se recogen muestras simultáneas en distintos puntos de un taller industrial, se puede encontrar concentraciones diferentes, dependiendo de la distancia al punto de emisión de los contaminantes, de la velocidad y dirección de las corrientes de aire, de los ciclos de trabajo, etc.

Es indispensable que las muestras sean representativas del ambiente que se quiere evaluar. Una muestra única, nunca será representativa de la concentración real en diversos periodos de tiempo. Deben tomarse muestras sucesivas para tener una idea aproximada de las concentraciones reales existentes. Estas muestras, deben tomarse durante diferentes ciclos de trabajo, preferentemente a lo largo de ciclos completos. Al tomarlas en días diferentes, se llegará a tener una idea aproximada de las concentraciones de contaminantes a las que están expuestos los trabajadores

#### **Cantidad de muestra**

Primero, debe decidirse el volumen de aire que se va a recolectar. Las concentraciones en un ambiente industrial son siempre muy bajas, apenas algunas fracciones de miligramo por cada metro cúbico de aire. La recolección de una cantidad de muestra suficiente puede exigir el uso de recipientes de gran capacidad o tiempos de muestreo prolongados.

La cantidad de muestra a recoger, se determina por la sensibilidad del método de análisis, y por la concentración admisible. Para calcularla, se parte de la base de que si la concentración es inferior a aproximadamente la mitad del límite permisible ya no interesa una precisión muy elevada, pues por la propia definición de este valor, se tiene derecho a suponer que no se presentarán casos de enfermedades profesionales. Se recogerá, por lo tanto, una cantidad de muestra tal, que permita disponer de suficiente contaminante para el análisis final, suponiendo que su concentración sea del orden del 50% del límite permisible.

#### **Tiempo de muestreo**

Si  $P(g)$ , es la cantidad de muestra necesaria para el análisis, esta cantidad puede recogerse en un periodo de tiempo  $t$ :

$$p = C.Q. t$$

Como se desconoce el valor de C, se supone:

$$C = \frac{Cad}{2}$$

Con lo cual, se puede determinar el volúmen de aire V a recoger, dado que:

$$P = V.Cadm/2$$

Y, asimismo, determinar el caudal y el tiempo.

Este método es seguro puesto que:

- Si la concentración en el ambiente C es mayor o igual que Cad/2, el volumen mínimo permite obtener el peso requerido.
- Si C es menor Cad/2, no puede efectuarse el análisis ya que obtendremos menos del peso necesario, pero se sabe entonces, que la concentración será menor que la admisible.

Por lo tanto, el tiempo mínimo de muestreo, se calcula:

$$t_{\min.} = \frac{P_{\min.}}{\frac{Cad.Q}{2}}$$

#### 4.2 Tipos de muestras:

En relación con el **tiempo de muestreo**, hay dos tipos de muestras:

##### a. Muestras instantáneas:

Se tornan durante un periodo muy breve, menos de 5 minutos. De la integración de una serie de muestras instantáneas, puede obtenerse un promedio de la concentración a lo largo de la jornada.

##### b. Muestras continuas:

Involucran periodos más largos de muestreo, y pueden ser:

De periodo completo, con muestra única: 8 horas.

De período completo, con muestras consecutivas: son una serie de muestras tomadas sin solución de continuidad y sin superposición durante 8 horas.

- De periodo parcial: cubren el 70/80% de la jornada laboral.

En relación con el **lugar de muestreo**, se tiene.

**a. Muestreo general:**

El equipo se encuentra en un lugar determinado y fijo, y se utiliza para determinar la cantidad de contaminante a la que está expuesto el trabajador durante su permanencia en dicho lugar. En algunos casos, puede involucrar todo el ambiente de trabajo.

**b. De zona respiratoria:**

Se muestrea un punto lo más cercano posible a la zona respiratoria del operario. Esta relacionada con la ubicación del trabajador.

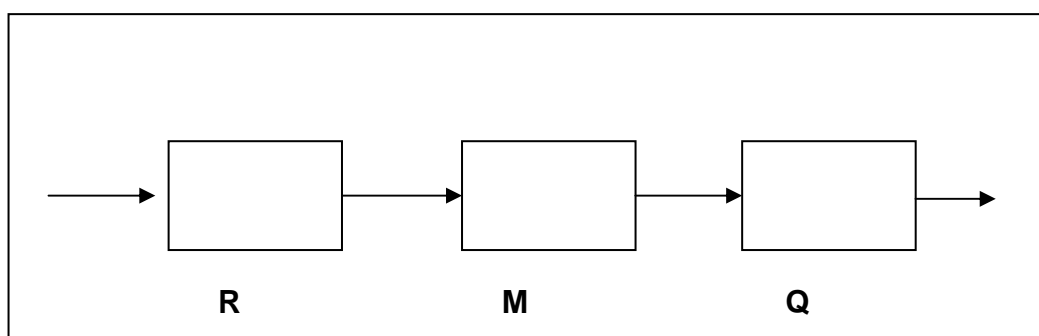
**c. Muestreo personal:**

Puede interpretarse como un caso especial del anterior, el equipo es móvil, y el trabajador lo lleva consigo, tanto durante su labor, como en los descansos.

**4.3 Trenes de muestreo**

El objetivo del empleo de un dispositivo de toma de muestras de aire en un ambiente de trabajo es obtener una evaluación cualitativa y cuantitativa de un riesgo potencial o real.

Independientemente del contaminante en cuestión, un tren de muestreo para la captación de partículas o gases y vapores contaminantes, es básicamente el indicado en el esquema:



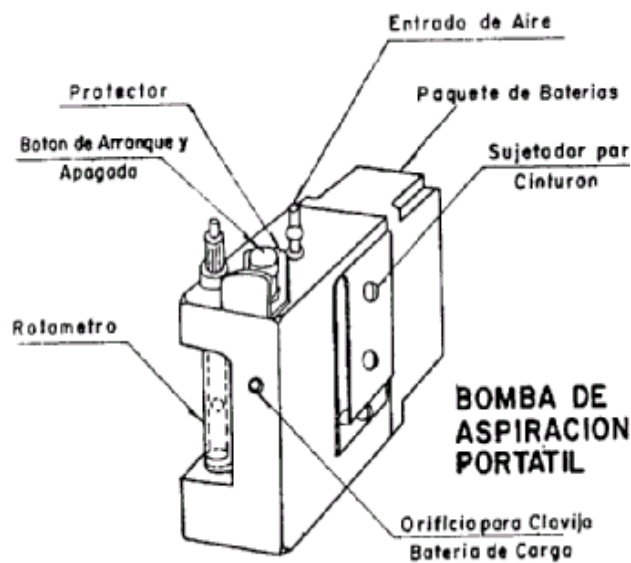
Donde:

R: es un equipo de retención de contaminantes y varía según sea éste.

M: Es el medidor de caudal de aire que atraviesa el tren de muestreo, así pues, conociendo el caudal Q y el tiempo de muestreo t, puedo calcular el volumen V que atravesó el tren de muestreo,  $V=Q.t$ .

Q: es el equipo de bombeo, el cual establece una circulación de aire a través de una bomba o ventilador.

En la práctica en una bomba portátil se presentan Q y M juntos, siendo Q una bomba de diafragma y M un rotámetro,



**Fig. 1 Bomba Portátil**

A continuación, se analizan por separado cada uno de los componentes de un tren de muestreo.

#### **4.4 Tipos de Equipos de retención:**

##### ***A. Contaminantes en forma de partículas:***

Muchos contaminantes se presentan en forma de partículas (sólidas o líquidas). Dado que el límite permisible para algunos de ellos (sílice, asbestos, talco, etc.) se indica en cantidad de partículas por volumen de aire, la recolección puede hacerse con el objeto de contar las que existen por unidad de volumen, o para realizar posteriormente un análisis químico. En el caso de las partículas líquidas, salvo trabajos de investigación, la recolección se completa siempre con un análisis químico.

##### ***a.1 Muestras para recuento***

El objetivo de este tipo de muestreo es contar el número de partículas en una muestra. Es indispensable recogerlas sin que se destruyan ni se aglomeren. El

elemento de retención más utilizado con este objeto, es el llamado "Impactador".

### **Impactador y microimpactador**

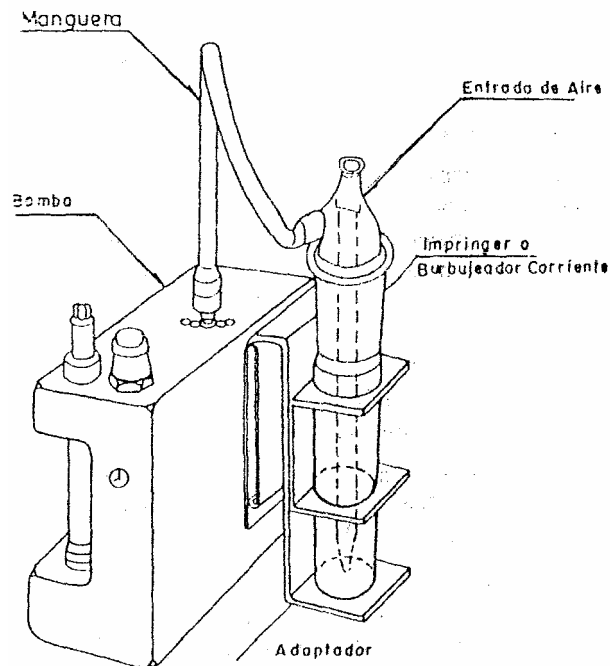
El impactador es un frasco cilíndrico, con un tapón atravesado por un tubo que termina en un orificio de tamaño reducido. Tiene una rama lateral, a través de la cual se hace la succión. En la parte inferior del tubo interno tiene una plataforma de vidrio. En el frasco se colocan 100 cm<sup>3</sup> de agua. y se aplica succión a la rama lateral. El aire penetra por el tubo interno y burbujea en forma turbulenta en el líquido. Debe producirse una succión adecuada para que circule un caudal de aire de 28,3 litros por minuto. El aire necesita girar 180° para salir al exterior. Las partículas arrastradas alcanzan una elevada energía emética y debido a su inercia chocan contra la plataforma, perdiendo la mayor parte de su energía y posibilitando que el líquido las moje y las retenga, con una eficiencia normalmente superior al 98% para las de tamaño de interés en higiene industrial,

En el microimpactador, también llamado impinger, se colocan sólo 10 cm<sup>3</sup> de agua y sus dimensiones están calculadas para que con un vacío de 300mm de agua, la velocidad del aire sea de 2,8 litros por minuto. Para el impactador pequeño se construyen bombas portátiles accionadas por baterías recargables y con rotámetro (ver Fig. 3)



**Fig.2**

De izquierda a derecha: tres equipos de retención: impactador, microimpactador, ciclón y una bomba portátil



**Fig. 3**  
Bomba portátil con microimpactador

El recuento de partículas se hace tomando una alícuota del líquido contenido en el impactador y contándolas al microscopio; también pueden fotografiarse en el microscopio y luego realizar el conteo.

#### **Uso de filtros de membrana para conteo de partículas:**

Los filtros de membrana se construyen de diversos materiales, como ésteres de celulosa, de polivinilo, nylon, teflón, etc. Tienen poca resistencia mecánica, por lo que deben ser usad colocándolos sobre una rejilla que les sirva de soporte. Arden con facilidad. Sus poros son muy pequeños, y de un tamaño conocido; la superficie total de los poros, es de aproximadamente el 80 % superficie total, por lo que su resistencia al paso del aire es baja, no son afectados por la humedad. Debido a la carga electrostática que adquieren roce con el aire, las partículas quedan retenidas exclusivamente sobre la cara expuesta sin pasar al interior del filtro. Todo esto, los convierte en una ayuda muy eficaz para la recolección de partículas, por lo que se los está utilizando cada vez en mayor escala.

Los métodos de recuento utilizados con filtros de membrana son:

- a. disolución del filtro con un solvente orgánico adecuado, como alcohol, benzol, etc.; el recuento se hace al microscopio.

b. colocando un trozo de filtro sobre un portaobjeto, sometiéndolo dentro de una cápsula de Petri a la acción de vapores de acetona. Al cabo de breve tiempo, el filtro se vuelve transparente haciendo visibles a las partículas que se encuentran bajo el microscopio.

c. dado que el índice de refracción de algunos filtros de membrana es prácticamente idéntico al de los aceites de inmersión utilizados en microscopía, al poner sobre ellos una gota, se hacen transparentes. Se puede en esta forma, completar el recuento.

### ***a.2. Muestras para pesada***

En las muestra para pesada se usan filtros constituyendo un tren de muestreo con la correspondiente bomba portátil

Si se hace pasar, aire a través de un medio filtrante, como papel de filtro, por ejemplo éste retendrá las partículas que tengan un tamaño mayor que sus poros. Mediante filtros adecuados, podemos recoger partículas muy finas, se puede determinar así la concentración total de partículas en peso,

Se utilizan principalmente, tres tipos de papel filtro: de celulosa, de fibra de vidrio, de materiales plásticos orgánicos o filtros de membrana.

Los filtros de celulosa, son los papeles filtro corrientes, utilizados en análisis químicos. Se preparan con fibras de celulosa pura, que al entrelazarse, forman una lámina porosa. El tamaño de sus poros es variable, por lo que no siempre podemos saber con precisión el tamaño de las partículas que son capaces de retener. Presentan bastante resistencia al paso del aire, ya que la superficie total de los poros suele ser del orden de un 20%, y aún menos, de la superficie de la hoja de papel, estando el resto, ocupado por las fibras.

Se suelen plegar sin que sufran daño, pero pueden romperse fácilmente al humedecerse.

Los filtros de fibra de vidrio son similares a los anteriores, pero se construyen de fibras de vidrio muy finas, que se entrelazan dejando poros pequeños. Son resistentes al calor y a la humedad, pero se quiebran al plegarse, salvo que la operación se haga muy cuidadosamente. Suelen presentar una resistencia elevada al paso del aire.

### **Equipos de toma de muestras en dos etapas:**

Estos equipos sirven para hacer un muestreo selectivo de partículas respirables.

Los riesgos de la inhalación de partículas, generalmente están vinculados con una fracción de la concentración de las mismas, denominadas partículas de interés sanitario (0,2 a 10 micrones).J

Las partículas de mayor tamaño, son retenidas en el tracto respiratorio superior, del cual se eliminan rápidamente. Solamente las más pequeñas penetran profundamente en el aparato respiratorio, depositándose en la región alveolar.

Por lo tanto, la determinación de la concentración total de partículas, o de su composición puede tener muy poca relación con el verdadero riesgo, siendo entonces de interés poder recolectar muestras representativas de la parte que constituye la "fracción respirable.

Lo más racional, es la utilización de un instrumento de muestreo que separe las partículas en fracciones de tamaño de interés higiénico, sin alterarlas física o químicamente y que pueda determinar en forma directa su concentración en peso o su composición.

Estos equipos están constituídos fundamentalmente por una primera etapa, cuya eficiencia de colección disminuye con la disminución del tamaño aerodinámico de las partículas menores a 10 micrones, y una segunda etapa con gran eficiencia para todos los tamaños de partículas. Los elutriadores horizontales y los ciclones, han sido los más utilizados como colectores de primera etapa, mientras que en la mayoría de los equipos, como segunda etapa, se usan filtros. También hay equipos de toma de muestras en etapas múltiples; estos instrumentos tienen velocidades de muestreo muy lentas, y su uso esta generalmente limitado a estudios de laboratorio.

El instrumento más usado es el Ciclón. En el ciclón los aerosoles penetran al ciclón tangencialmente, Las partículas más grandes, como las que se depositan en la parte superior del aparato respiratorio, poseen considerable inercia, y tienden a seguir una trayectoria rectilínea, separándose de las líneas curvas de corriente, quedando así retenidas.

Las partículas más pequeñas, cómo las que llegan a la parte inferior del aparato respiratorio, pasan a través del ciclón, siendo recolectadas en la segunda etapa, que consiste en un filtro de alta eficiencia.

La eficiencia de colección de un ciclón, depende fundamentalmente del caudal.

Las partículas pueden recuperarse fácilmente para determinar su peso y composición.

El caudal de aire aspirado, puede determinarse a partir de la pérdida de altura manométrica del ciclón.

La posición no influye en los procesos de separación.

Estos equipos han dado lugar al diseño de instrumentos de muestreo personales, formados por un soporte que sostiene al ciclón, al filtro y a una bomba de diafragma como elemento de aspiración.

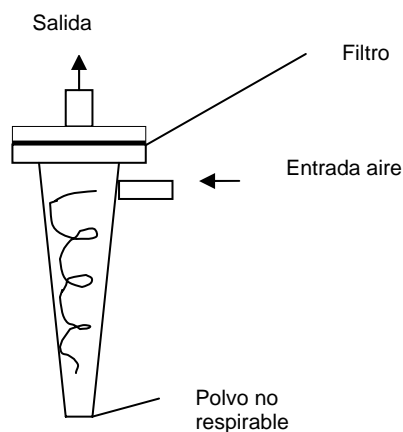
La salida del ciclón, esta conectada directamente a un portafiltro de aluminio de 4,7 cm. de diámetro.

La membrana filtrante, tipo Millípore AA, ha resultado la más apropiada, y se halla soportada sobre un disco perforado, o malla de bronce dentro del portafiltro.

El conjunto ciclón - filtro, se ajusta sobre la cabeza del operador, de tal manera que la entrada se encuentre cerca de la nariz y la boca.



**Fig. 4** Ciclón



**Fig. 5** Esquema de un ciclón para muestreo de partículas

### ***a.3 Muestras para análisis químicos:***

Algunos de los instrumentos utilizados en la recolección de muestras para recuento de polvo, pueden ser usados también, cuando se desea efectuar un análisis químico. Por su gran difusión se utiliza ampliamente el impactador. Si se lo combina con una bomba eléctrica pequeña, es posible su instalación en el uniforme mismo de los trabajadores, cerca de la cara de éstos, con lo cual, la muestra resulta bastante representativa del aire que están respirando. Se recogen así, las partículas que se desea analizar, como por ejemplo, humos de piorno, estaño y hierro, fluoruros, pequeñas gotas de ácido sulfúrico y ácido crómico, etc. Su velocidad de muestreo, permite recoger sin problemas muestras de un tamaño adecuado, si se dispone de métodos suficientemente sensibles.

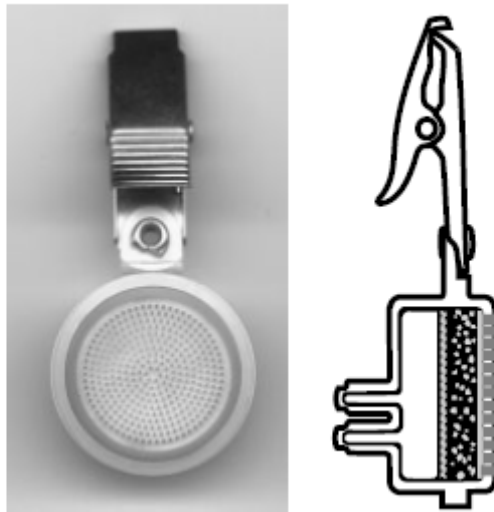
En los impactadores, se pueden utilizar líquidos diferentes del agua, como por ejemplo, alcoholes o ácidos. Se utiliza también el impactador grande, que permite velocidades de 28 litros por minuto, y otros tipos de frascos en los cuales se puede hacer burbujear el aire. Debe tenerse siempre presente la posibilidad de que las partículas no sean retenidas por el líquido, escapando con el aire de salida y disminuyendo la eficiencia de la recolección. La principal ventaja de los impactadores es que han sido diseñados precisamente para evitar este serio inconveniente.

Además de los impactadores, y similares, se pueden utilizar para la recolección de partículas los Filtros mecánicos y los precipitadores electrostáticos.

### ***B. Contaminantes gaseosos:***

Los contaminantes que se presentan en forma de gases o vapores, se mezclan íntimamente con el aire, y no se separan de éste por sedimentación, filtración u otros medios mecánicos o eléctricos.

Para recuperarlos, podemos tomar una muestra del aire en que están diluidos y practicar el análisis directamente sobre ésta, o hacerlo circular a través de un medio sólido o líquido, capaz de retener los contaminantes con una eficiencia adecuada.



**Fig. 6 Dosímetro Personal – foto y esquema**

Generalmente se retiene a los contaminantes mediante un "Dosímetro", que consiste en un absorbente de carbón activado, que está contenido en un recipiente. Luego se añade solvente al dosímetro para describir el contaminante y se analiza por cromatografía (ver fig. 3.7)

También se puede retener el contaminante en tubos con sílicagel donde son absorbidos realizándose posteriormente el análisis cromatográfico.

Otra manera es recolectar el contaminante en un medio líquido (mediante un burbujeador).

Existen actualmente una gran variedad de detectores de gases, entre ellos los absorción al infrarrojo, los electroquímicos y los de fotoionización. Su uso ha cambiado las prácticas debido a su detección instantánea de contaminantes.

#### *Detectores por absorción en el infrarrojo*

Se pueden usar detectores por absorción en el infrarrojo para medir CO y CO<sub>2</sub>, Gases anestésicos (óxidos de nitrógeno, enflurano, isoflurano), dióxido de etileno, fumigantes (dibromo etileno, cloropicrina, etc)

#### *Detectores Electroquímicos de Gases tóxicos*

Estos detectores usan sensores electroquímicos o celdas polarográficas para detectar en el gas que se hace pasar por ellos. La reacción electroquímica genera una corriente eléctrica directamente proporcional a la concentración en el gas,

Hay sensores para dióxido de azufre, cianuro de hidrógeno, ácido clorhídrico, sulfuro de hidrógeno, hidracina, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de etileno, formaldehído. También pueden detectar oxígeno.

Debe tenerse en cuenta que puede haber interferencia entre los distintos gases. Para su uso debe consultarse detenidamente los manuales del fabricante,

#### *Detectores de Fotoionización (PID)*

Algunos productos químicos volátiles pueden ser ionizados usando la energía de la luz. Esto se logra aplicando energía de una lámpara ultravioleta a las moléculas de gas para lograr su ionización.

Luego los iones pasan por los electrodos del sensor y originan una corriente eléctrica, que es directamente proporcional a la concentración de la sustancia gaseosa.

Los PID son instrumentos que pueden detectar una gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Su sensibilidad actual está en el orden de 0,1 ppm.

### **4.5 Equipos para medición de volúmenes y caudales:**

Se describirán los equipos de uso más generalizado para medición de volúmenes y caudales de aire.

Cada equipo tiene un campo de aplicación definido lo que permite establecer la siguiente clasificación:

#### **E.1 Equipos primarios:**

Son dispositivos de laboratorio que permiten medir directamente un volumen de gas.

#### **E.2 Equipos intermedios:**

Aunque no tienen las condiciones de los anteriores, son precisos, y mantienen su precisión, si son usados correctamente.

Una vez calibrados con los equipos primarios, se utilizan para calibrar los secundarios.

#### **E.3 Equipos secundarios:**

Son los que se usan en el terreno para medir caudales y volúmenes, son los que han sido calibrados por comparación con equipos primarios o intermedios.

## E.1 Equipos primarios:

Espirómetro:

El espirómetro (fig. 3.8), es un patrón primario para medir el volumen total de aire. Se usa para calibrar equipos intermedios o secundarios.

Está constituido por una campana cilíndrica (A) inmersa en agua. La campana está provista de un termómetro (L) para corregir los volúmenes medidos, se encuentra equilibrada por un contrapeso (D).

La campana está situada en un tanque que contiene agua, que actúa como cierre hidráulico.

El aire contenido en la campana, puede comunicarse con el ambiente por medio de una cañería (J), que termina con una válvula de tres vías (K).

Al bajar la campana, el agua expulsa el aire hacia el exterior.

El espirómetro es un equipo pesado, usado fundamentalmente para calibrar equipos intermedios (medidor hidráulico o de diafragma).

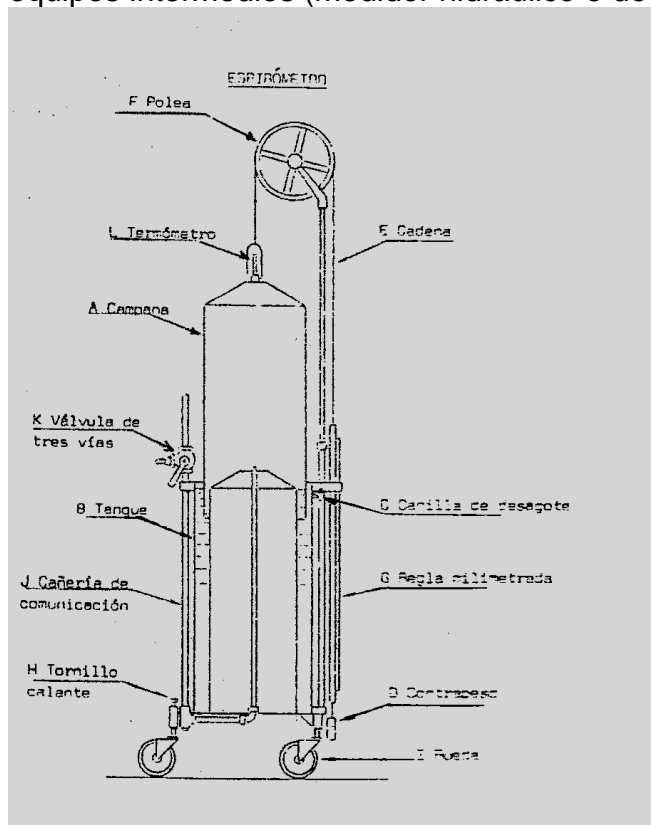
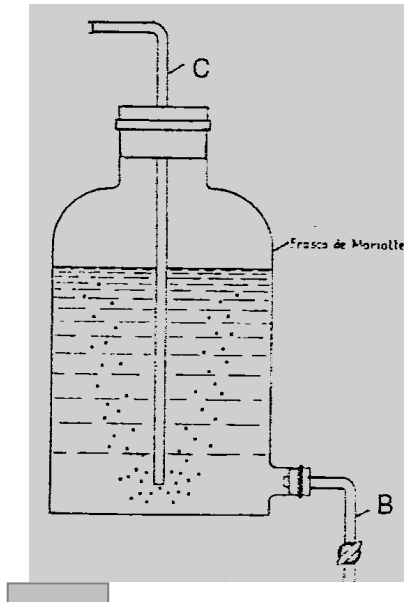


Fig. 7 Espirómetro

Frasco volumétrico:

Para pequeños volúmenes, se puede usar un frasco volumétrico (A) o de Mariotte (ver fig. 3.9). Tiene una llave (B) en la parte inferior, y un entrada de aire (C), en la parte superior.



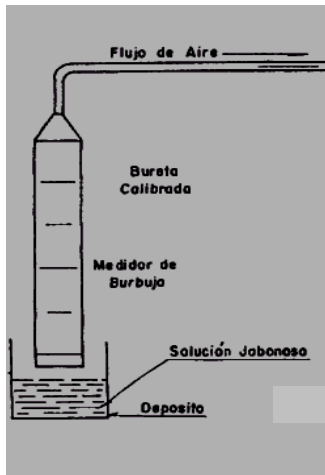
**Fig. 9** Frasco volumétrico

Para efectuar una medición, se llena el recipiente, por ejemplo con agua, luego se conecta la entrada de aire con el instrumento a calibrar. Se abre entonces la llave (B); el volumen desalojado es igual al volumen de aire que entró al frasco.

*Medidor volumétrico con burbuja indicadora:*

Suele usarse para medir bombas manuales o peras de goma.

Consta de una bureta o tubo (Fig. 10), en cuyo extremo es necesario formar una burbuja de jabón. Al aspirar, se la introduce en el tubo. Se marca la posición inicial, y se conecta el elemento a calibrar. El desplazamiento de la burbuja indica el volumen del aire aspirado.



**Fig. 10** Bureta calibrada

Actualmente hay equipos de burbuja con equipamiento electrónico.



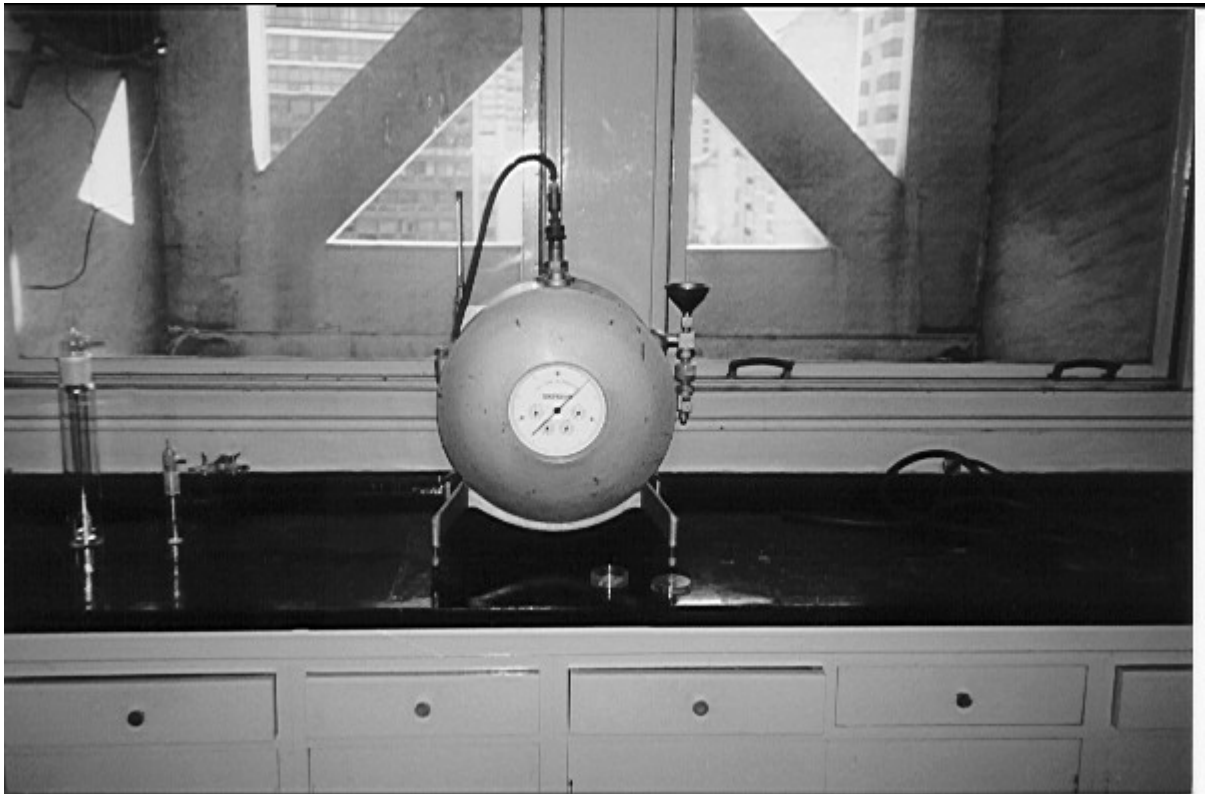
**Fig. 11** Equipo de burbuja indicadora calibrando una bomba con filtro

## E.2 Equipos intermedios:

### ***Medidor hidráulico de volúmenes de gases:***

Es un equipo diseñado para suministrar una medida precisa del volumen total de gas que ha pasado por él.

Se instala entre la fuente que suministra el gas y el aparato a calibrar.



**Fig. 11** Medidor hidráulico

El medidor que se ilustra en la Fig. 12 está constituido por una carcasa cilíndrica (A), que contiene en su interior un tambor rotativo (B) sumergido en un líquido, hasta un nivel ligeramente superior a su eje. El tambor está dividido por pantallas en cuatro cubetas (C, D, E y F), de igual volumen. Cada cubeta posee dos aberturas: la abertura (c, d, e o f), ubicada en las proximidades del eje de rotación, y la abertura (c', d', e' o f'), en la zona periférica.

El eje está acoplado a un mecanismo de relojería que indica mediante agujas los volúmenes que pasan por el medidor.

Los medidores vienen provistos de:

a. Indicador de vidrio (o) de] nivel de agua interior. Este indicador, es de sección suficientemente amplia como para que el mecanismo sea de baja altura. Poseo una aguja (p). de altura regulable, ubicada en las proximidades de] eje, La aguja tiene como finalidad, fijar el nivel del líquido contenido en el

instrumento. El dispositivo que regula la altura de la aguja puede estar sellado, para evitar ajustes inadecuados del nivel de líquido.

b. Un nivel esférico (S) en su parte superior, para que por medio de los tornillos calantes de las patas pueda colocárselo en posición horizontal.

c. Un termómetro protegido por un blindaje (T) que está graduado generalmente entre 0 y 50 °C. Este termómetro indica la temperatura del gas dentro del recipiente.

d. Un manómetro tipo sifón (U) con el cero de la escala ajustable, para medir la presión relativa del gas dentro del aparato.

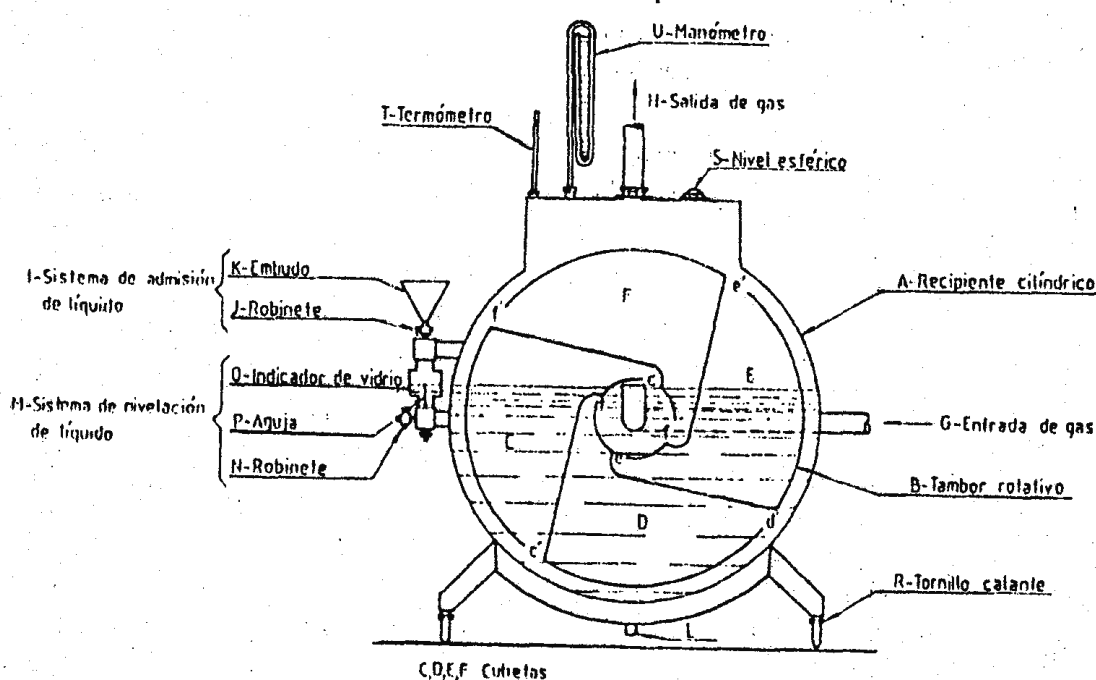
e. Un embudo (K)

f. Una válvula de desagüe (L)

#### *Funcionamiento:*

El gas entra al aparato por la parte central de su cara posterior, y sólo puede pasar por la abertura c, (ver fig. 3.11) a la cubeta (C), pues la aberturas (d, e y f) que conducen a las otras cubetas, están obturadas por el líquido. En consecuencia, la entrada del gas hace girar el tambor en el sentido horario. La rotación cierra la abertura a través de la cual entró el gas en la cubeta (c), abre la abertura (d), y permite que el gas pase a la cubeta (D); posteriormente descubre el paso (c') por el que el gas de (C) escapa a la envoltura exterior. La rotación del tambor continuará mientras el gas siga llegando, lo cual hace funcionar el mecanismo indicador de revoluciones. Puesto que cada revolución corresponde al paso de un volumen definido de gas (medido a la temperatura y a la presión del medidor y saturado con el vapor del líquido que hay en el mismo), es fácil hacer que el indicador marque directamente las unidades de volumen que pasan.

El medidor hidráulico es muy empleado para calibrar instrumentos de campo destinados a medir caudales. En este caso, se usa como equipo patrón. Pueden adquirirse equipos cuyo rango de caudales máximos varíe entre 10 y 50 litros por minuto.



**Fig. 12** Medidor hidráulico

### **Medidor de diafragma**

Este equipo se usa en laboratorio, aunque en algunos casos se puede emplear para medir volúmenes en el lugar de trabajo, sobre todo cuando los caudales del equipo de muestreo son variables.

Comúnmente, tienen tres compartimientos de medición y una válvula rotativa para controlar el pasaje de gas, o bien cuatro compartimientos controlados por un par de válvulas de deslizamiento.

Descripción (Fig. 13)

Los compartimientos se llenan y vacían alternativamente por acción de un sistema de uniones mecánicas, un cigüeñal y un par de válvulas de deslizamiento. El cigüeñal, lleva acoplado un mecanismo de engranajes y agujas indicadoras.

La descripción del medidor con cuatro compartimientos ilustra los principios generales aplicados en el diseño de estos equipos. Los cuatro compartimientos de medición (B, C, D y E) (fig.

3.13), están agrupados en dos pares (B C) y (D F), y los componentes de cada par, están separados por un diafragma flexible (1).

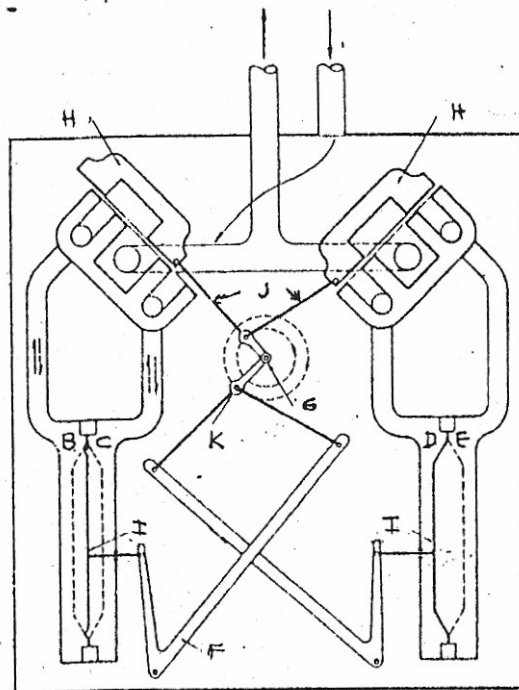
Los compartimientos se comunican con la entrada o salida del medidor, según la posición de las válvulas de deslizamiento (11).

Una leve presión diferencial sobre el diafragma causa su movimiento, aumentando el volumen del compartimiento comunicado con la entrada y disminuyendo el comunicado con la salida, hasta que el diafragma es detenido por una unión mecánica (F). Dicha unión transmite el movimiento de oscilación del diafragma a un cigüeñal de doble carrera (G). La unión mecánica (J) del segundo diafragma transmite el movimiento desfasado 90° aproximadamente del correspondiente al primer diafragma.

Las fuerzas resultantes hacen girar el cigüeñal, el cual mueve las válvulas por medio de las uniones (H).

Cuando las válvulas de deslizamiento (H), pasan la posición central de su carrera, invierten la presión diferencial e imparten al diafragma respectivo un movimiento en dirección opuesta.

La pieza del cigüeñal, comunmente llamada "tangente" (K), es de longitud ajustable y controla la carrera del diafragma. El ángulo de dicha pieza (F) con el cigüeñal, es también regulable, permitiendo la sincronización de la válvula de deslizamiento con la carrera del diafragma.



**Fig. 13** Medidor de Diafragma

### E.3 Equipos secundarios

#### ***Medidores de pérdida de energía variable:***

#### ***Orificios, boquillas y medidores Venturi:***

Las placas orificio, las boquillas o toberas y los medidores Venturi, son instrumentos utilizados para la medición de caudales de flúidos.

Los principios en que se basan estos instrumentos son comunes a todos ellos, resultando también similares las fórmulas a aplicar.

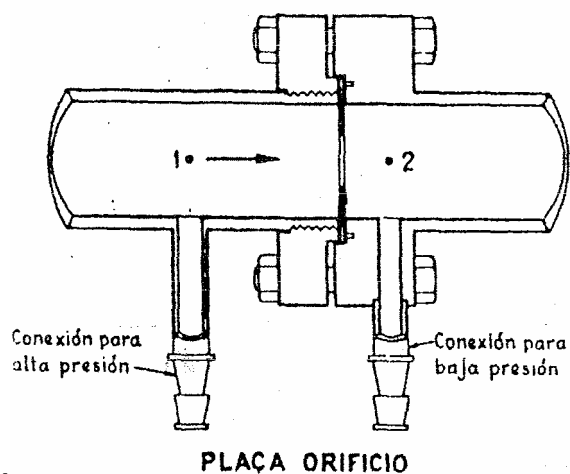
Cuando un flúido circula por un conducto en el que hay una reducción de sección, se produce un aumento de la velocidad del flúido con la consiguiente disminución de presión.

Esta disminución de presión, medible con un manómetro, está relacionada con el caudal, por lo que conociendo la función  $Q = f(Ap)$  se puede calcular el caudal circulante, lo que permite una evaluación cuantitativa de la influencia de los factores que intervienen en la determinación del caudal, y da una idea clara del fenómeno fíisico.

Debe aclararse que la ecuación mencionada es aplicable solamente al flujo de flúidos compresibles en condiciones adiabáticas.

Orificios.

La placa orificio, ha sido ampliamente usada como medidor de caudal (Fig. 14).



**Fig. 14**

Es una placa delgada, que posee un orificio concéntrico con el conducto en el que está instalada. Las paredes del orificio son perfectamente escuadradas o bien, están biseladas en la parte posterior.

Las tomas de presión estática, una anterior y otra posterior a la placa, se conectan a un manómetro. El coeficiente de gasto, depende de la posición de dichas tomas.

Debido a la brusquedad de la interrupción, la corriente del fluido se separa de las paredes del conducto en el lado posterior de la placa, y forma un chorro libre, apareciendo una sección mínima (vena contracta) a una distancia que depende de las condiciones de funcionamiento.

El tipo de orificio más difundido es el de paredes cortadas a filo, con la toma de presión estática corriente abajo, ubicada en la zona de vena contracta.

La toma de presión estática corriente arriba debe estar a una distancia de la cara anterior de la placa de 0,75 a 2 veces el diámetro de la tubería.

La construcción de una placa orificio es de muy bajo costo.

Al incrementar el caudal  $Q_m$  que pasa por un orificio, disminuye el cociente entre las presiones absolutas en la vena contracta  $P_2$  y corriente arriba  $P_1$ .

Cuando el gas en la vena contracta alcanza la velocidad del sonido, al cociente  $P_2 / P_1$ , se lo denomina relación crítica de presiones, y está dado por la siguiente ecuación:

$$\left( \frac{P_2}{P_1} \right)_{crít.} = \left( \frac{2}{k-1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Donde  $k$  es la relación de los calores específicos, siendo para el aire a presión atmosférica 1,4.

Para este caso es:

$$\left( \frac{P_2}{P_1} \right)_{crít.} = 0,53$$

A partir de ese valor, aunque disminuya la presión corriente abajo en el conducto de descarga, la presión en la vena contracta sigue siendo  $P_2$ , dada

por la ecuación anterior. El caudal se mantiene con un valor máximo constante llamado caudal crítico.

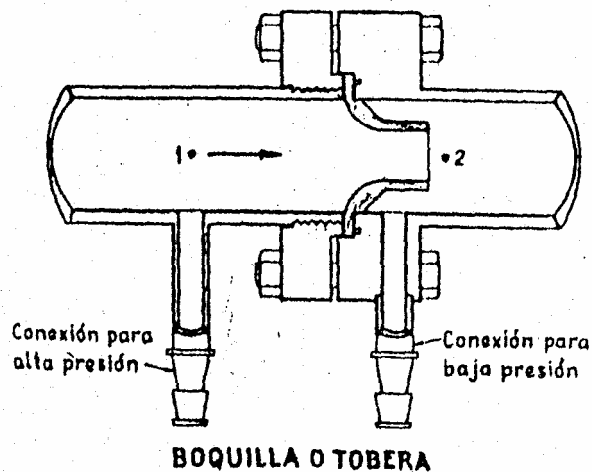
Este fenómeno aerodinámico, posibilita el uso de orificios con régimen crítico para control de caudales en trenes de muestreo de aerosoles.

Las presiones  $P_1$  y  $P_2$ , deben medirse, para poder asegurar que se cumpla la condición de caudal crítico  $P_2/P_1 = 0,53$

Para que el caudal se mantenga, es importante que el orificio se encuentre limpio. Se recomienda limpiarlo con aire comprimido, y no usar elementos que puedan dañar sus bordes, dado que cualquier cambio puede variar el valor del caudal calibrado.

*Boquilla o tobera:*

La boquilla o tobera ( Fig. 14), es una abertura de descarga tronco - cónica o conoide en su parte anterior, que se adapta aproximadamente a la línea de corriente del flujo contraído.

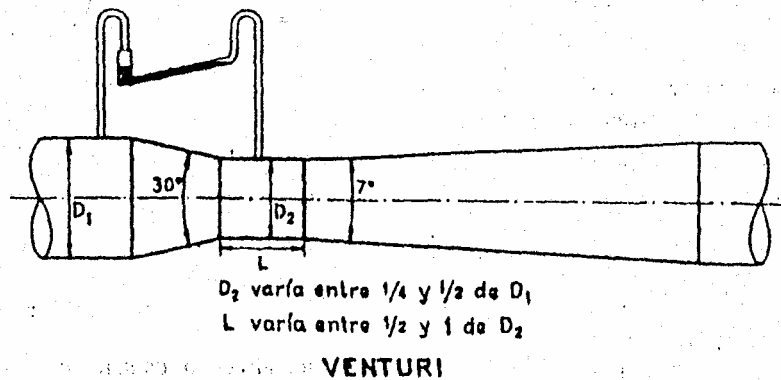


**Fig. 15**

La presión estática anterior, se toma generalmente en un agujero practicado en la pared de la tubería de alimentación. La toma de presión estática posterior puede estar en la pared, en la garganta, o en la cámara o conducto que recibe la descarga.

*Tubo Venturi:*

Un tubo Venturi (Fig. 16), es un tipo especial de boquilla prolongada



**Fig. 16**

por un ensanche gradual tronco - cónico. Esta disposición, evita en gran parte, la pérdida de energía cinética, debida a los rozamientos que se producen cuando el chorro de una boquilla u orificio de descarga en el fluido que se mueve lentamente, corriente abajo.

En general, el consumo de energía, no es un problema crítico en la toma de muestra de aerosoles, por lo que el uso del tubo Venturi no se ha difundido, debido a su mayor dificultad constructiva.

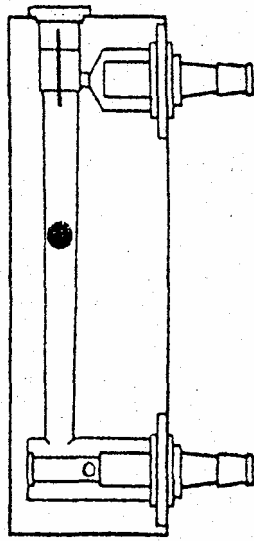
*Medidor de caudal de área variable:*

*Rotámetros:*

En general, se usan en mediciones de caudales de una amplia variedad de líquidos y gases.

El medidor de caudal de área variable (Fig. 17), está constituido por un tubo tronco - cónico, colocado verticalmente con el diámetro menor abajo. Dentro de; tubo hay un flotante que crea un anillo de área variable entre su propio diámetro exterior y la pared interior del tubo. El área disponible para el pasaje del fluido, está fijada por la altura del flotante en el tubo. El flujo es ascendente.

Cuando el caudal aumenta, la presión dinámica, más el efecto de flotación, producen una fuerza que excede el peso del flotante, y éste sube, aumentando la sección de pasaje, hasta que las fuerzas se equilibran dinámicamente. La altura del flotante en el tubo, se relaciona con el caudal.



ROTAMETRO

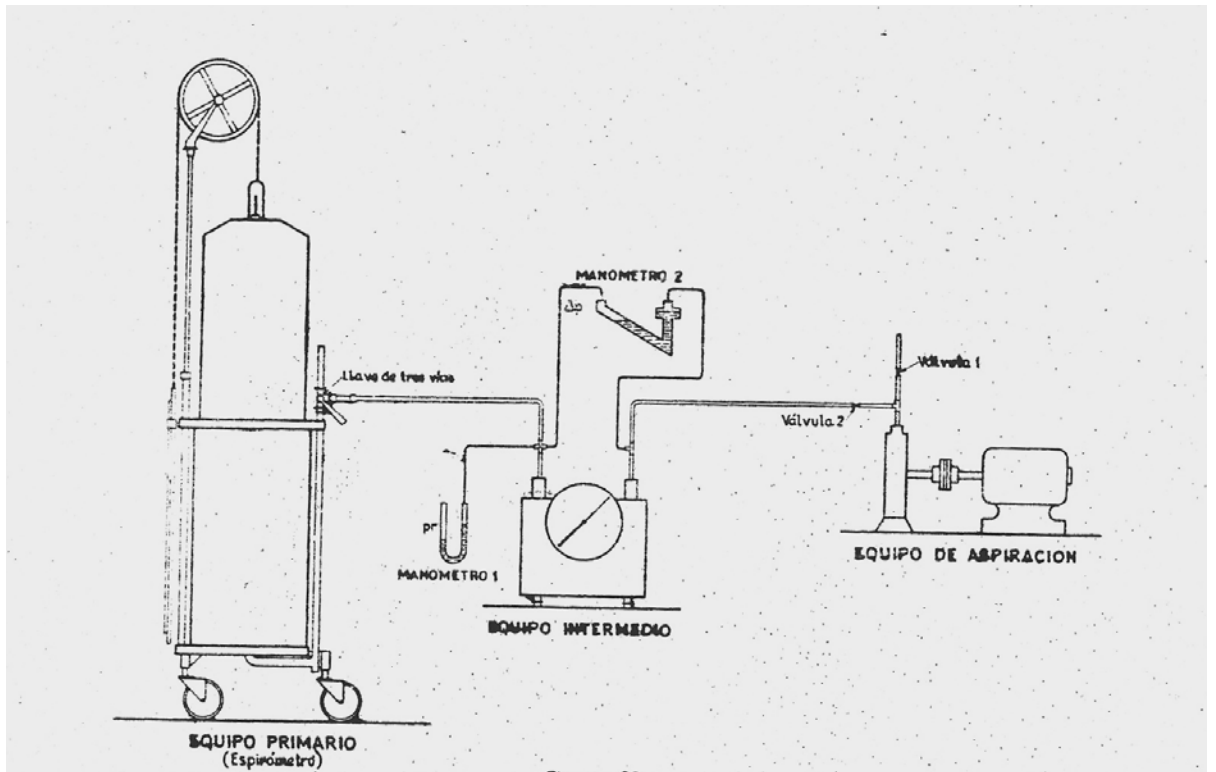
Fig. 17

#### 4.6 Procedimientos de calibración de equipos

Los equipos primarios, sirven para calibrar los equipos intermedios, y éstos a su vez a los equipos secundarios.

\* Calibración de equipos intermedios mediante un espirómetro:

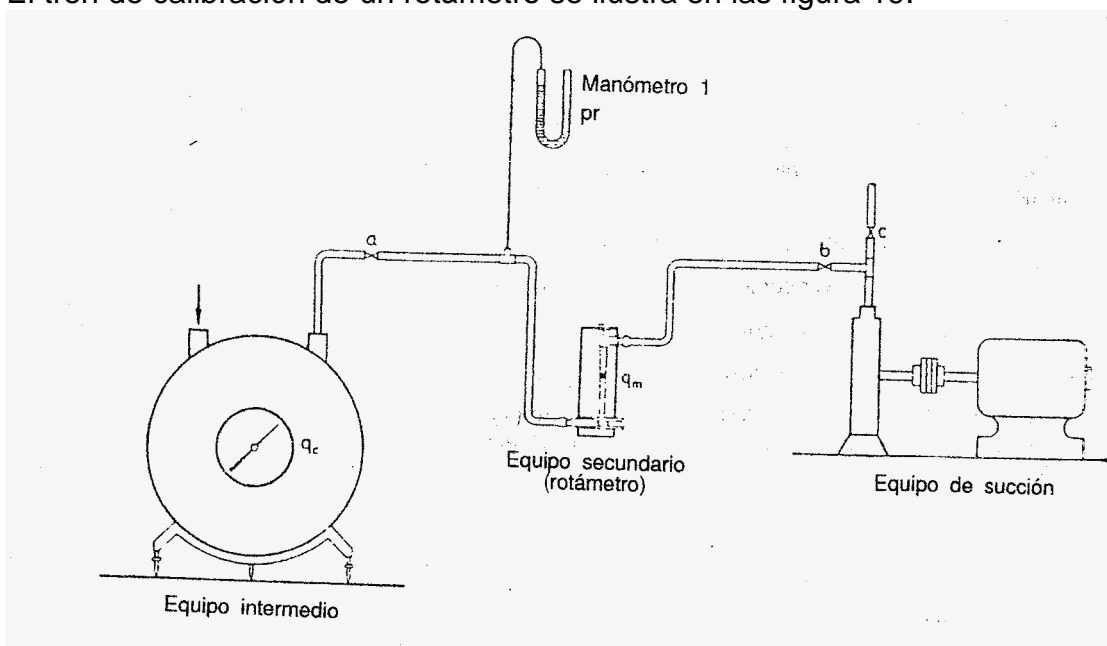
En la Fig. 18 se puede ver como se calibra un equipo intermedio.



**Fig. 18**

\* Calibración de equipos secundarios:

El tren de calibración de un rotámetro se ilustra en las figura 19.



**Fig. 19**

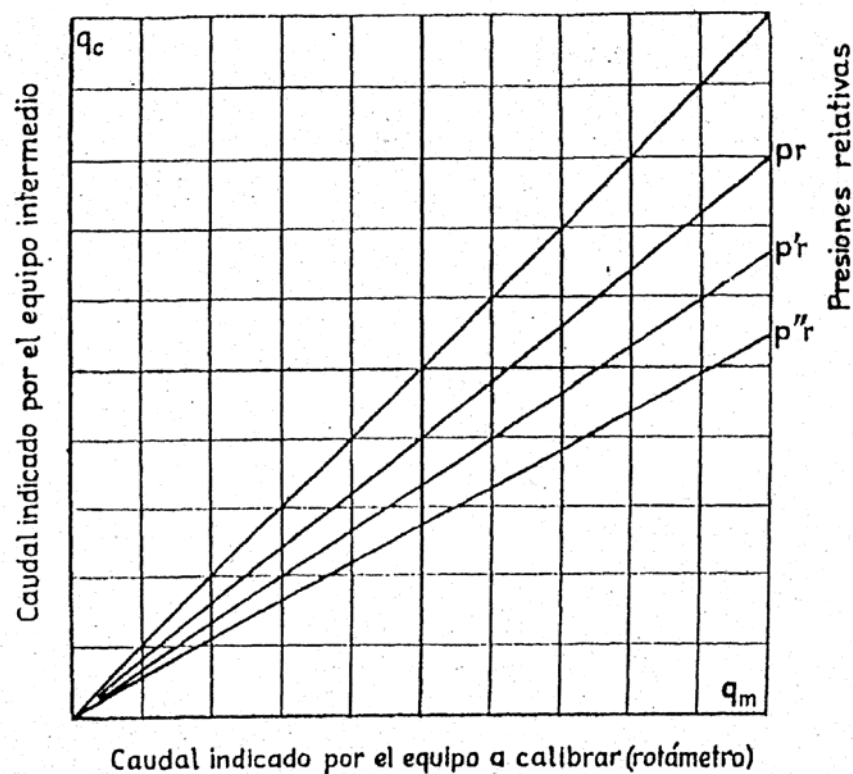
Debe fijarse una presión relativa ( $P_{r1}$ ), en el manómetro (1), ajustando una válvula. Se toma el caudal  $q_m$ , medido por el rotámetro, y se calcula el caudal  $q_c$  del equipo intermedio.

Donde:

$$q_c = \frac{V_f - V_i}{t}$$

donde:  $V_i$  = valor inicial,  $V_f$  = valor final,  $t$  tiempo

Para cada presión relativa  $P_1$ , existirá una relación entre  $q_c$  y  $q_m$  (ver Fig. 20). Este gráfico permite corregir la lectura del rotámetro.



**Fig. 20**

Es necesario que el equipo secundario a calibrar, esté sometido a las mismas condiciones que tendrá en el tren de toma de muestra. Por ello, es común armar un circuito de calibración como el indicado en la Fig. 21, donde al tren de toma de muestras, se le ha agregado en un extremo un medidor intermedio.

Esto es válido, debido a que la pérdida de energía que introduce el equipo intermedio, es despreciable frente a la del tren de toma de muestras.

En el caso de la calibración de un medidor de pérdida de carga variable, lo dicho anteriormente es válido, con la sola diferencia de que las mediciones del caudal  $q_m$ , deben ser reemplazadas por el desnivel manométrico  $h_2$ , correspondiente al medidor a calibrar (ver Fig. 22).

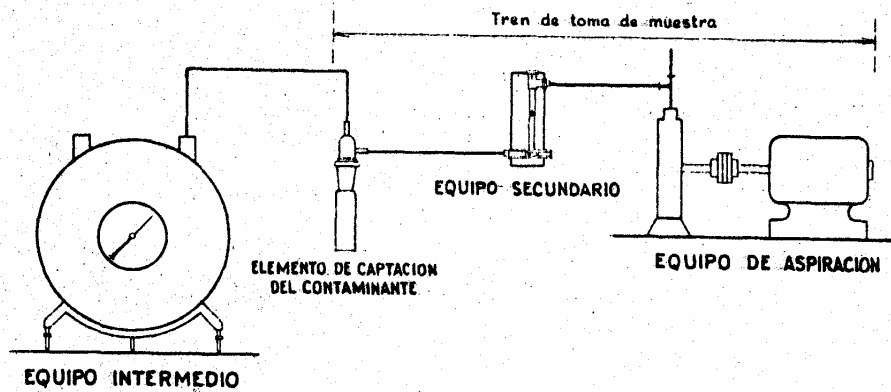


Fig. 21

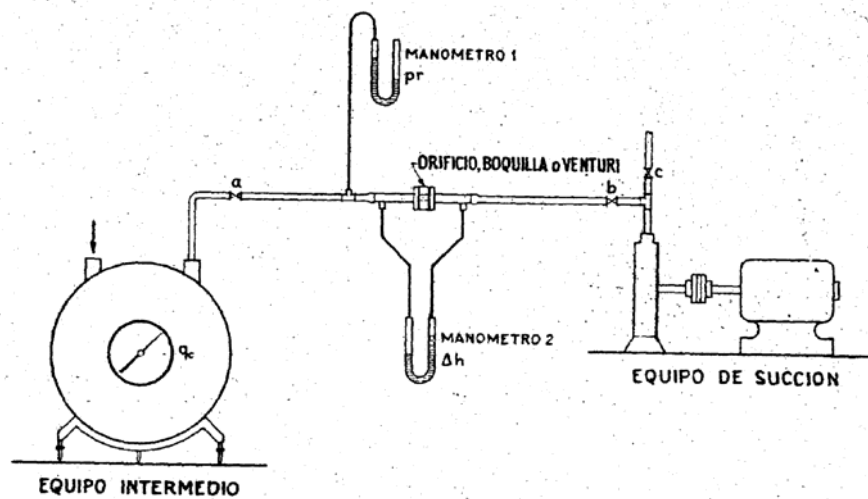


Fig. 22

#### 4.7 Bibliografía

1. Ing. Julio C. Duran, y otros

Introducción al Estudio de la Contaminación de Partículas.

Instituto de Ingeniería Sanitaria UBA (1973)

(2) Ing. Julio C. Duran

Medición de Presiones y Volúmenes de Aire en la Toma de Muestras de Contaminación.

Instituto de Ingeniería Sanitaria UBA (1971)

(4) Dr. Nelson R. Culler

Contaminación del Aire en los Ambientes de Trabajo.

Universidad Tecnológica Nacional

(5) Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, España

<http://www.mtas.es/insht>

(6) Martha J. Boss and Dennis W. Day

Air Sampling and Industrial Hygiene Engineering, Lewis Publishers

Boca Raton (2001).

## CAPITULO V

### Corrección del ambiente de trabajo

#### 5.1 Introducción

Habitualmente, se usa la ventilación para la corrección de los ambientes de trabajo. Sin embargo, hay otros métodos de corrección tal como:

- a. Sustitución.
- b. Modificación de procesos.
- e. Control de emisión de contaminantes.
- d. Confinamiento.
- e. Mantenimiento y limpieza.

##### a. **Sustitución:**

Consiste en la sustitución de sustancias tóxicas, por otras de menor toxicidad.

Un ejemplo de sustitución, es el reemplazo de carburo de silicio por arena en las piedras amoladoras, evitando así el riesgo de silicosis.

También, el tetracloruro de carbono, solvente tóxico, ha sido reemplazado por el tetracloroetileno o por solventes industriales de menor toxicidad, como el solvente de Stodard.

Los riesgos del vapor de estas sustancias, son comparativamente:

Tetracloruro de carbono	5800
Tetracloroetileno	118
Solvente de Stodard	7

Otra sustancia, el plomo, tiende a ser sustituida como componente de pinturas por otros pigmentos menos tóxicos. El plomo esta prohibido como componente de pinturas para juguetes debido al riesgo de ingestión,

##### b. **Modificación de procesos:**

Cada caso, requiere el estudio de las condiciones particulares.

Algunos ejemplos de modificación de procesos son:

\* Disminuir la altura de caída de materiales pulverulentos.

\* Evitar los venteos al aire libre de productos derivados del petróleo en refinerías, usando chimeneas para quemarlos.

#### **e. Control de emisión de contaminantes:**

Un ejemplo es el control de la dispersión de polvos, mediante la inyección de agua en la perforación o trepanación de rocas.

La abrasión húmeda por pistola neumática es otro ejemplo. Estas pistolas emplean un chorro de agua de alta presión y un chorro de arena para limpiar la fundición.

#### **d. Confinamiento:**

Hay procesos en los que se usan sustancias muy peligrosas, que es necesario confinar para que no se dispersen en un local más grande o hacia la atmósfera exterior. En estos casos, se confina totalmente el proceso. También, es necesario trabajar a menor presión que la atmosférica, para evitar fugas al exterior. Estos procesos utilizan cajas de guantes.

Por ejemplo, deben confinarse los trabajos con berilio, con sustancias radioactivas, etc.

#### **e. Mantenimiento y limpieza:**

La acumulación de polvos u otras sustancias nocivas, puede evitarse mediante una buena limpieza. Esta puede facilitarse construyendo locales con superficies lisas y fáciles de limpiar.

### **5.2 Ventilación sanitaria**

La ventilación sanitaria, tiene por objeto eliminar riesgos para la salud, o condiciones molestas de trabajo.

Se aplica para renovar el aire y eliminar olores y bacterias, y asimismo, para el control de sustancias contaminantes en el aire de los locales de trabajo y de la eliminación del exceso de calor.

#### **Ventilación general o ventilación por dilución:**

Consiste en la ventilación de todo el local donde se generan contaminantes. Tiene el inconveniente de que dispersa el contaminante a los lugares adyacentes, por esta causa no siempre es aplicable.

#### **Ventilación localizada**

Consiste en la extracción de caudales de aire, generalmente pequeños, de los lugares donde se genera la contaminación

Un proyecto de Ventilación sanitaria, tiene los siguientes pasos:

1. Determinación de caudales de aire necesarios,
2. Diseño del sistema de conductos y sus complementos.
3. Selección de ventiladores y equipos de tratamiento de aire.

La primera fase es la que principalmente distingue a la ventilación sanitaria de otras aplicaciones

Para realizar un proyecto de ventilación, se debe contar con los siguientes elementos:

1. Planos y diagramas de flujo.
2. Memoria técnica del proceso.
3. Información sobre las características de las sustancias empleadas (toxicidad, estado físico, inflamabilidad, etc.).

En el caso de la extracción localizada, se puede adoptar una de las siguientes soluciones:

- a) Proveer a cada operación con su propio sistema de extracción.
- b) Proyectar una red de conductos con ramales que partan de cada operación a ventilar.
- c) Agrupar las operaciones junto a una cámara con presión negativa (sistema de plenum o de baja velocidad).
- d) Utilizar como cámara plenum los recintos, elementos de transporte o equipos cerrados propios del proceso industrial.

Para que el polvo no se acumule en los conductos se le debe dar una velocidad mínima (velocidad de transporte). Este es el criterio usado para las soluciones a y b, y se denominan sistemas de alta velocidad.

La velocidad de transporte, depende, entre otros factores, del tamaño, peso específico, y forma de las partículas.

Los sistemas de baja velocidad (soluciones c y d), buscan evitar los inconvenientes que se presentan en los sistemas de alta velocidad; por ejemplo, mala distribución de caudales con aspiración insuficiente en las captaciones más distantes, abrasión y alto costo de mantenimiento por las pérdidas de carga elevadas. Tampoco puede alterarse el sistema, por ejemplo agregando o suprimiendo ramales, o alterar caudales.

Los sistemas de baja velocidad, no tratan de transportar neumáticamente los polvos, la acumulación de polvos se evita proyectando los conductos con  $60^\circ$  o más de pendiente, y si es necesario utilizar conductos horizontales, se los provee de transportadores mecánicos. Las pérdidas de carga son mínimas, y puede modificarse el sistema de conductos. Se usan en molinos, moliendas de minerales, etc. El mayor inconveniente de este sistema, es que debe disponerse de sistemas mecánicos para la evacuación de los polvos.

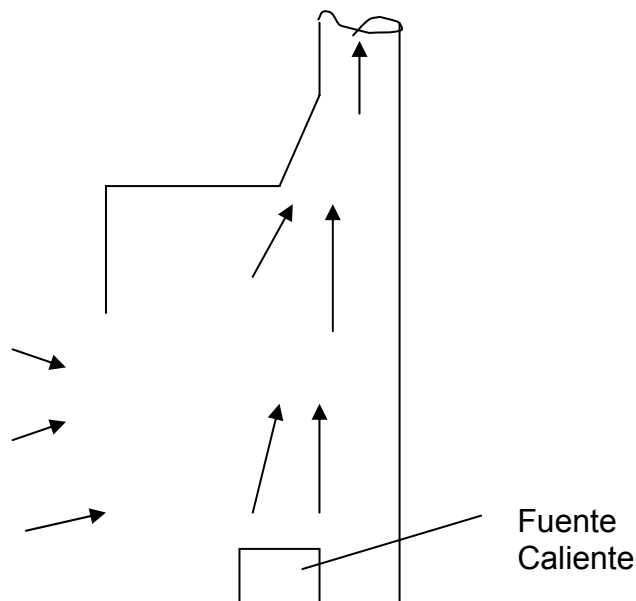
Se consideran los siguientes tipos de extracción localizada:

- a. Cabinas.
- b. Campanas exteriores.
- e. Campanas receptoras.
- d. Procesos confinados.

Las cabinas y campanas son elementos de captación del aire contaminado, para que entre a los conductos de ventilación.

#### a. Cabinas:

Son recintos que presentan un frente total o parcialmente abierto. La contaminación se genera en su interior. Se debe tener en el frente libre una velocidad del orden de 0,25 a 1 m/seg, de acuerdo con las corrientes del local, para que no escape aire contaminado al exterior (ver Fig 1). Este tipo de equipo es el más eficiente.

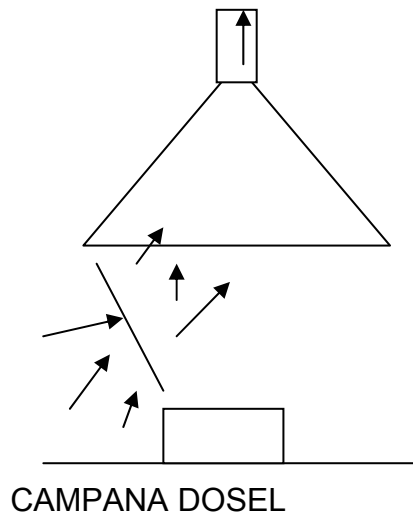


**Fig, 1**

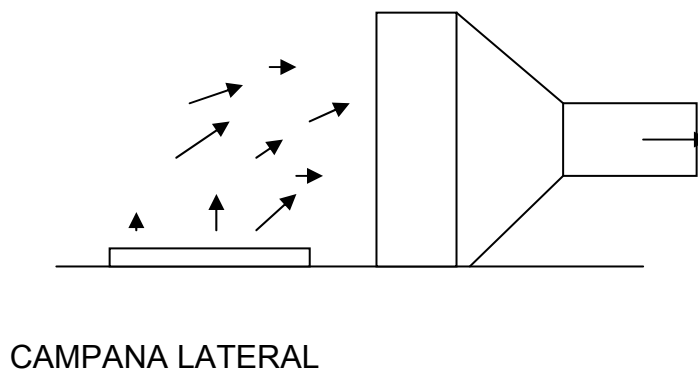
Son ejemplos de cabinas, las campanas de laboratorio, las cabinas para pintado a soplete.

**b. Campanas exteriores:**

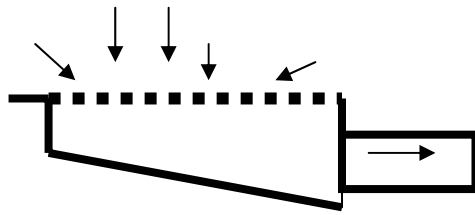
Comprenden numerosos tipos de aberturas de succión, ubicados adyacentes a las fuentes de contaminación, como por ejemplo: ranuras de succión en los bordes de tanques o mesas de trabajo, extremos de conductos próximos a pequeñas fuentes de contaminación, campanas de captación dispuestas lateralmente a procesos industriales, rejillas en el suelo o sobre mesas de trabajo, campanas suspendidas (sobre procesos que no liberan calor), ventiladores helicoidales, etc. (Figuras 2, 3, 4 y 5)



**Fig. 2**

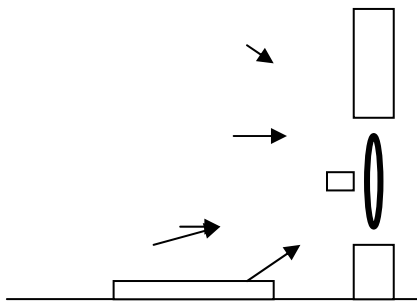


**Fig. 3**



REJA EN EL PISO

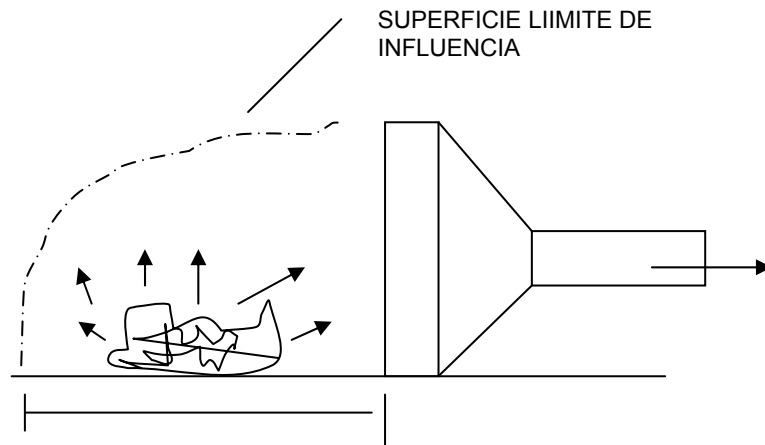
**Fig. 4**



EXTRACTOR DE PARED

**Fig. 5**

El proceso contaminante ocurre fuera de los límites físicos de la campana, debido generalmente a que las necesidades del proceso no permiten su encerramiento total o parcial. Estas campanas exteriores crean corrientes de aire en la zona adyacente a la abertura de succión. Estas corrientes direccionales, deben inducir velocidades adecuadas en los puntos más distantes de la zona de contaminación, de modo de captar el aire contaminado. El caudal a extraer, depende de la velocidad de control requerida y del área de las superficies de contorno adaptada como límite de la zona de control.



**Fig 6**

En procesos fríos, sin liberación de calor, es aplicable el concepto de **superficie límite de influencia** (ver Fig. 6). Se denomina superficie límite de influencia al contorno de velocidad que pasa por el punto más alejado de la campana en que las corrientes de aire originadas por el proceso, han reducido su energía, hasta un punto en que las velocidades han decrecido hasta el orden de magnitud de las corrientes del ambiente.

En el caso de campanas exteriores, la distancia para la cual debe calcularse el caudal a extraer, esta determinada por la zona más distante de la campana en la cual alcanzan a manifestarse aún, las velocidades creadas por el proceso. La velocidad de control en la superficie límite, se establece de acuerdo con la magnitud de las corrientes de aire del local. Usualmente es de 0,25 a 0,40 m/seg. Si las corrientes de aire impusieran velocidades mayores, es oportuno buscar la forma de reducirlas o interceptarlas. Es recomendable, adoptar velocidades de control mayores, cuanto mayores sean las concentraciones o la toxicidad de los contaminantes.

**Diseño de la campana:**

El frente de la campana, debe estar lo más próximo posible a la fuente de contaminación.

El procedimiento para diseñar una campana, consta básicamente de cinco pasos:

Paso 1. Ubicar la campana en relación con la fuente de contaminación tan próxima como sea posible.

Paso 2. Delimitar la distancia máxima de dispersión inducida por el proceso, y fijar la distancia x, desde la campana hasta la superficie límite de influencia.

Paso 3. Clasificar el local en cuanto a la intensidad de las corrientes de aire errantes. Considerar la posibilidad de la colocación de pantallas (ver tabla 2).

Paso 4. Definir la naturaleza del riesgo en relación con las características del contaminante (riesgo 1 o riesgo 2). Luego adoptar la velocidad de control (ver tabla 2).

Paso 5. Calcular el caudal de aire a extraer sobre la base de la velocidad adoptada y a la superficie de contorno correspondiente.

También se puede calcular el caudal a extraer sobre la base de la adopción de un valor de la velocidad en el frente de la campana (face velocity), distinto para cada tipo de operación.

Se define como zona de captación secundaria al volumen entre la superficie de control y la superficie en que la velocidad inducida es de alrededor de 0, 12 m/seg.

El ancho de la zona de captación primaria para un mismo proceso y para una dada velocidad de control, es función de la ubicación de la campana.

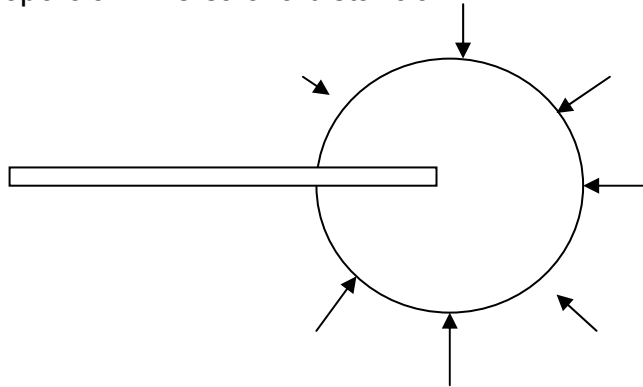
**Tabla 2 - Velocidades de control en la superficie limite de influencia**

<b>Características del Local</b>	<b>Riesgo 1 Cantidad moderada de polvos o humos molestos. Pequeña cantidad de polvos o humos tóxicos</b>	<b>Riesgo 2 Presencia de polvos o humos tóxicos. Cantidad de polvos o humos molestos</b>
<b>Sin corriente de aire. Con posibilidad de colocar pantallas.</b>	<b>20 –25</b>	<b>25-30</b>
<b>Corrientes de aire intensas. Sin posibilidad de colocar pantallas</b>	<b>35-40</b>	<b>40-50</b>

**Características aerodinámicas de las campanas exteriores:**

La distribución del flujo de aire alrededor de una fuente de succión puntual, es esférica. El caudal por unidad de área, varía en razón inversa al cuadrado de la distancia a la fuente (ver Fig. 7).

La distribución alrededor de una fuente lineal, es cilíndrica. La velocidad varía en proporción inversa a la distancia.



**Fig. 7**

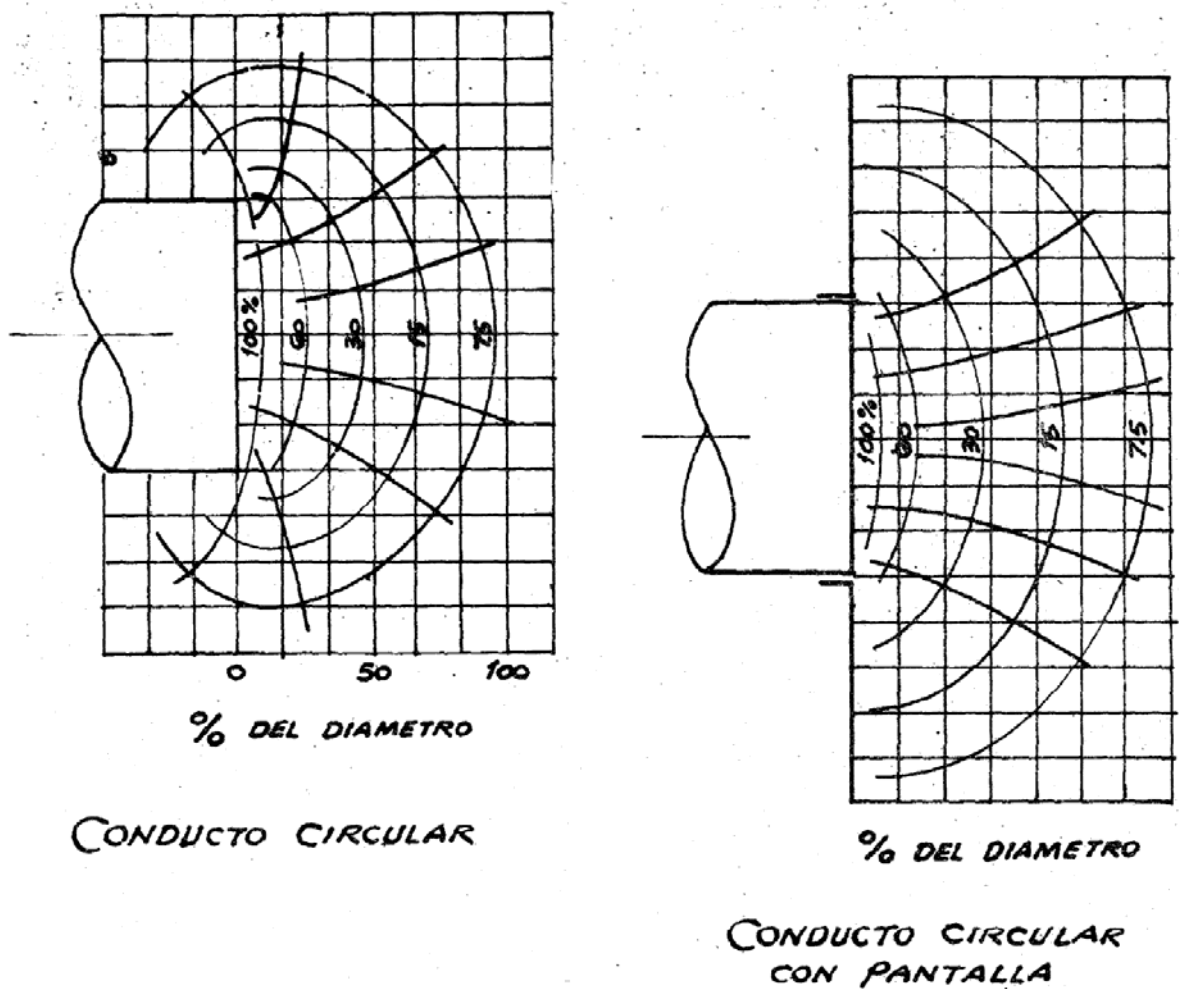
Estas condiciones teóricas, no se dan exactamente en la práctica, por las siguientes razones:

1. La abertura de succión es finita.
2. La presencia de la campana, del conducto de extracción y otras obstrucciones, impiden el establecimiento de un gradiente uniforme sobre toda la zona de influencia.

**Contornos de velocidad:**

La distribución de un flujo que ingresa a un conducto circular, en las proximidades de la superficie de entrada, se aparta notablemente de la distribución teórica que corresponde a una fuente puntual, pero a medida que aumenta la distancia a la campana, la distribución se acerca a la teórica. Esto se debe a que el área de la esfera de influencia, se toma grande comparada con la abertura de succión, que se comporta entonces, como fuente puntual. El apartamiento de la distribución esférica es mayor sobre la normal al eje de la campana que sobre éste último.

Dalla Valle, ha estudiado los contornos experimentales para aberturas circulares, cuadradas y rectangulares (ver Fig. 8).



**Fig. 8**

Es oportuno señalar que sólo una pequeña fracción del aire total extraído llena una función útil, y es la que proviene de la zona de influencia de la fuente contaminante.

La extracción de aire de la zona posterior de la campana, puede limitarse agregando una pantalla perimetral unida al borde de la campana. Los contornos de velocidad, en este caso, se desplazan hacia afuera, en comparación con la misma campana sin pantalla; el efecto es mayor sobre la normal al eje. La mejora introducida por la pantalla, resulta en una reducción del 20 al 30% en el caudal requerido para una velocidad dada a la distancia x.

Alrededor de una fuente puntual, la velocidad a distancia x es:

$$V_x = \frac{Q}{4\pi x^2}$$

Para una fuente lineal, a distancia x, es:

$$V_x = \frac{Q}{2\pi x}$$

Para aberturas circulares y rectangulares Dalla Valle, halló experimentalmente para la velocidad a lo largo del eje x es:

$$V_x = \frac{Q}{10x^2 + A}$$

Donde: A: área de la campana. Se hace notar que V, varía menos con la distancia que en el caso teórico puntual:

$$V_x = \frac{Q}{12,56x^2}$$

y, cuanto mayor es la abertura, menor es la influencia de la distancia.

***Distancia efectiva de control de las campanas exteriores:***

Las velocidades mínimas de control son del orden de 0,25 m/seg. Las velocidades de ingreso a la campana, están limitadas por las pérdidas de energía a máximos del orden de 15 m/seg.

La distancia máxima  $x$  de control, es entonces para contornos, esféricos:

$$Q = V \frac{\pi D^2}{4} = V_x 4\pi x^2$$

Entonces:

$$\left(\frac{x}{D}\right)^2 = \frac{V}{16V_x} = \frac{15}{16 \cdot 0.25} = 3,75$$

por lo tanto  $x = 1,9 D$

Siendo:

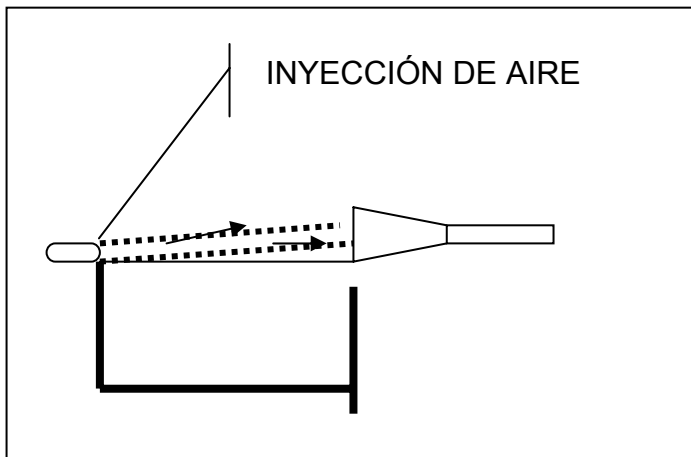
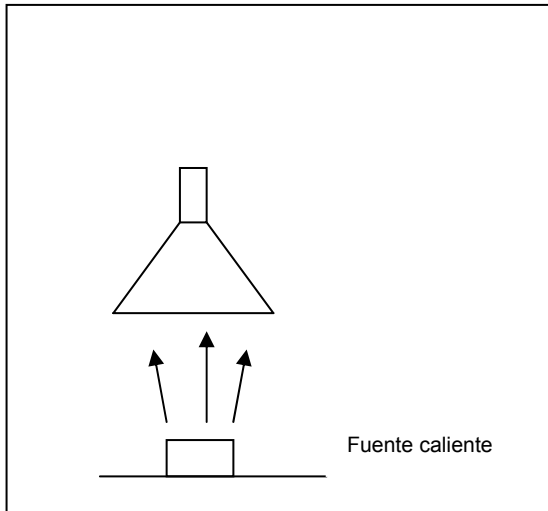
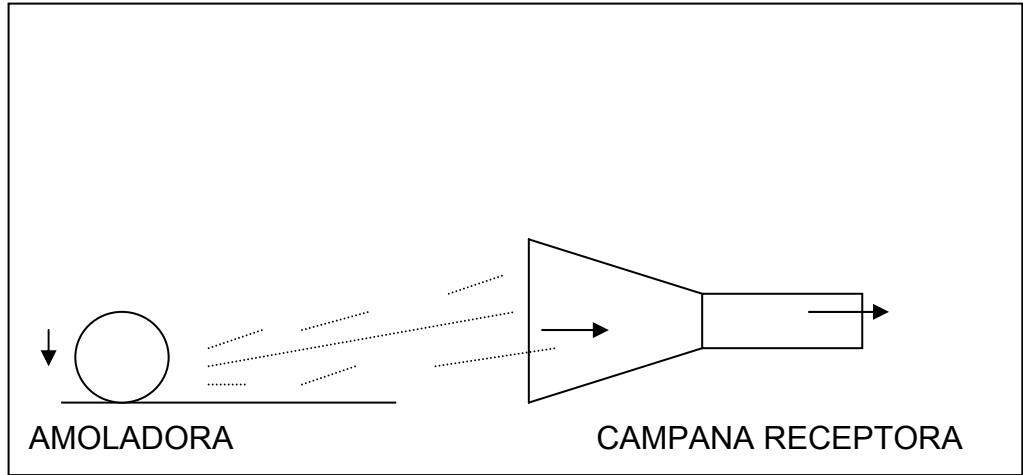
$V$  velocidad en la entrada de campana  
 $V_x$  Velocidad a distancia  $x$ .

Este cálculo revela la necesidad de ubicar la campana extractora tan próxima como sea posible a la fuente de contaminación, y muestra la imposibilidad de lograr un control efectivo, cuando la distancia de trabajo es mayor de una a dos veces el diámetro de la campana.

#### e. Campanas receptoras:

Se aplica esta denominación a aquellas campanas especialmente ubicadas para recibir una corriente de aire contaminado, inducido por las características proceso.

Por ejemplo, campanas suspendidas ubicadas sobre procesos que generan calor, campana lateral adyacente a un disco de pulido que provoca una corriente de aire por la proyección de partículas inerciales, campanas exteriores a las que se le han agregado una vena fluida de gran velocidad dirigida hacia su frente desde el lado opuesto a la zona de contaminación (ver Fig.9).



**Fig. 9**

El proyecto de una campana receptora, requiere información sobre la magnitud y características M caudal de aire inducido por el proceso. El caudal a extraer, debe ser por lo menos igual a aquel.

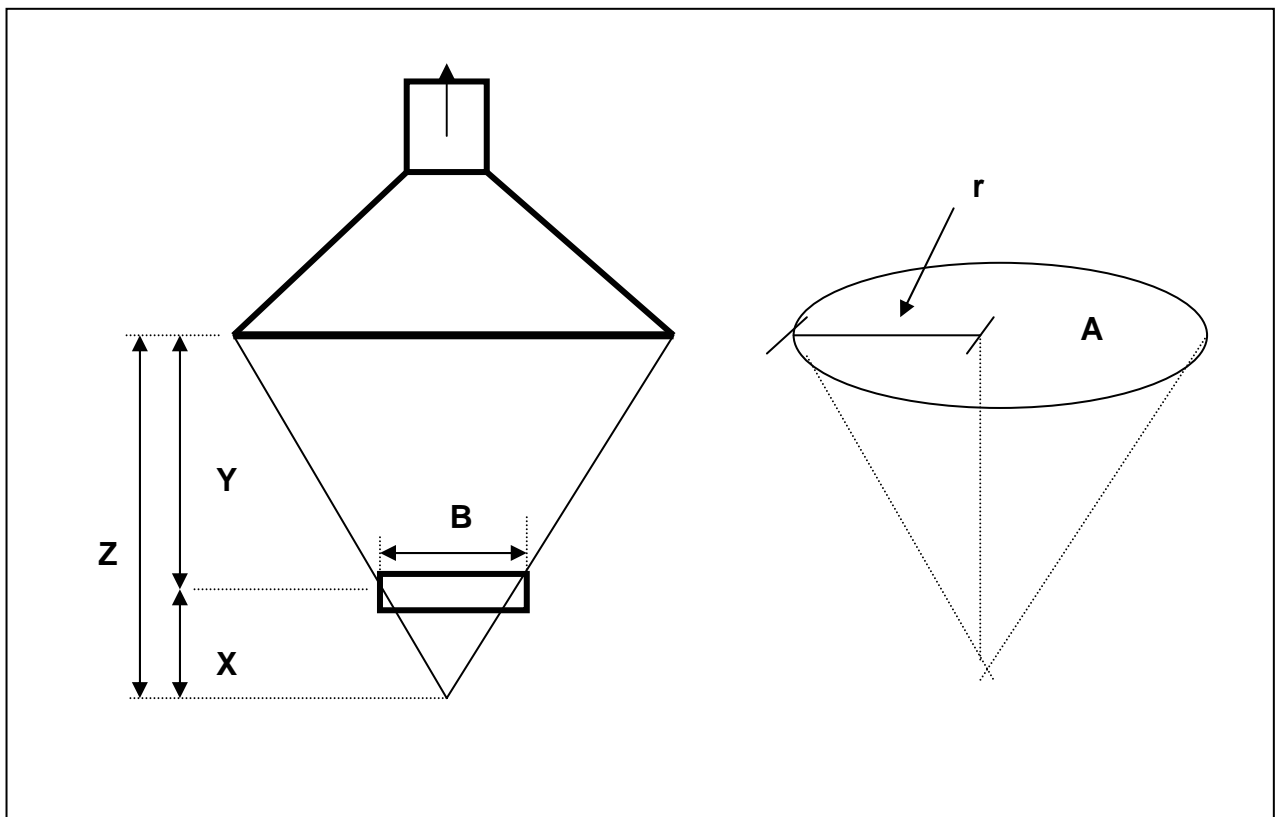
*Fórmula de Sutton.,*

Sutton, estudió teóricamente, el problema M movimiento de gases calientes, particularmente en relación con el ascenso de efluentes de chimeneas a la atmósfera.

Dedujo las siguientes expresiones para la velocidad ascensional y radio de la corriente gaseosa, en función de la altura sobre una fuente puntual hipotética (ver Fig. 10).

$$V = 3,28H^{1/3}Z^{0,29}$$

$$r = 0,221Z^{0,88}$$



**Fig.10**

Siendo:

H: cantidad de calor transferido a la masa de aire por el cuerpo caliente en la unidad de tiempo (Cal/h).

Z: altura de la sección considerada sobre la fuente puntual (m).

V: velocidad del aire (m/min)

R: radio de la campana (m)

El área transversal es:

$$A = \pi.r^2 = 0,156Z^{1,75}$$

y el caudal:

$$Q = VA = 0,502H^{1/3}Z^{1,46}$$

$$Q \cong 0,5H^{1/3}Z^{3/2}$$

Estando Q en m<sup>3</sup>/minuto.

Suponiendo que a nivel de la superficie del cuerpo caliente, la corriente ascendente tenga la misma sección transversal que aquel, y llamado Z = X + Y, resulta:

$$B/2 = 0,221X^{0,88}$$

de donde:

$$X = 2,15B^{1,14}$$

o sea:

$$Z = Y + 2,15B^{1,14}$$

Aproximadamente

$$Z \cong Y + 2B$$

### 5.3 Ventilación general aplicada a locales industriales

Es una ventilación por dilución. Se hace ingresar al local aire libre de contaminación, de modo de mantener por debajo de niveles adecuados las concentraciones de las sustancias contaminantes

La ventilación puede ser natural, debida a la acción del viento o por diferencias térmicas, o mecánica, en la cual el movimiento de aire es inducido por ventiladores.

El proyecto correcto de ventilación, requiere información sobre la naturaleza y propiedades del contaminante, concentración permisible, ubicación de las fuentes de contaminación y mecanismos de dispersión. El objetivo puede ser corregir la contaminación por partículas, por gases y vapores, reducir el calor convectivo, los efectos del calor radiante, y controlar la humedad.

Cálculo del caudal de ventilación

Sea un local al que se incorpora continuamente un contaminante. Llamandao

V: Volumen del Local

g: Tasa de adición del contaminante

Q: Caudal de ventilación

C: Concentración al tiempo t

Aumento del contaminante      Vdc

Contaminante ingresado      gdt

Contaminante salido                      QdtC

Aumento del contaminantes            VdC

Resulta:

$$Vdc=gd t - Qdtc=(g-QC)dt$$

Resulta:

$$dc/(g-QC)=dt/QV$$

$$\int_{c_0}^c \frac{dc}{g-QC} = \frac{1}{V} \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{g-QC}{g-QC_0} = -\frac{Q}{V} t$$

Si la concentración inicial es 0, resulta

$$\ln \frac{g-QC}{g} = -nt$$

Siendo n igual al número de renovaciones por unidad de tiempo, resultando:

$$c = \frac{g}{Q} (1 - e^{-nt})$$

Esta fórmula expresa la acumulación de contaminante en el tiempo.

En estado de régimen  $t \rightarrow \infty$  es:

$$c = \frac{g}{Q}$$

En cambio si existe una concentración inicial  $C_0$ , pero no se incorpora contaminante:

$$g = 0$$

$$\ln \frac{c}{c_0} = -\frac{Q}{V}t$$

$$c = c_0 e^{-nt}$$

Esto permite calcular el tiempo necesario para reducir la concentración a un valor determinado

### 5.54 Diseño de Sistemas de ventilación

El objeto del diseño de un sistema de ventilación es:

- 1) Dimensionamiento de los conductos
- 2) Calcular la energía a entregar al aire por unidad de volumen para asegurar la circulación del fluido

$$\left[ \frac{E}{V} \right] = \left[ \frac{F.L}{L^3} \right] = \left[ \frac{F}{L^3} \right] = \Delta P = \gamma_{AGUA} \cdot \Delta h$$

Dónde E es Trabajo, energía

V es Volumen

$\Delta P$  incremento de presión

Peso específico del agua  $\gamma$  agua

$\Delta h$  es mm de columna de agua

Y la potencia es

$$Pot = \Delta p \cdot Q = \left[ \frac{F}{L} \right] \left[ \frac{L^3}{t} \right] = \left[ \frac{F.L}{t} \right]$$

Cabe recordar la unidades en sistema SI

Fuerza F: *Newton*  $\rightarrow N [m.Kg.s^{-2}]$

Trabajo, energía E: *Joule*  $\rightarrow J [N.m]$

Presión P *Pascal*  $\rightarrow Pa \left[ \frac{N}{m^2} \right]$

$$\text{Potencia Pot: Watt} \rightarrow W \left[ \frac{J}{s} \right]$$

Caba asimismo recordar que el peso específico  $\gamma$  de una sustancia es el peso por unidad de volumen de esa sustancia y que la densidad  $\delta$  de una sustancia es la masa por unidad de volumen de esa sustancia. Cumpléndose entonces que  $\delta = \frac{\gamma}{g} \therefore \gamma = \delta \cdot g$

Siendo  $g$  aceleración de la gravedad.

El valor numérico de la densidad y el peso específico son muy cercanos si este último se expresa en kgf (1kgf = 9,807 N).

### **Dimensionamiento de Conductos**

Se presentan conceptos para el dimensionamiento de todo tipo de conductos, aunque esto se refiere específicamente a conductos para ventilación localizada.

Los conductos de un sistema de ventilación localizada deben cumplir las siguientes funciones:

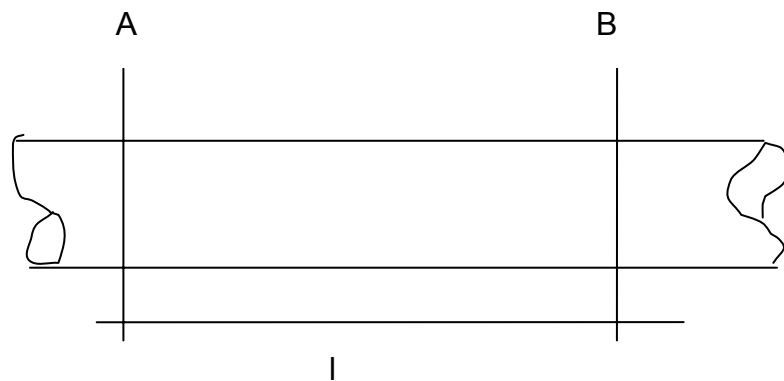
1. Llevar el aire contaminado desde las distintas campanas al lugar de tratamiento y descarga
2. Asegurar que en cada campana se capte el caudal establecido, lo que implica que en la superficie de control se mantenga la velocidad requerida.
3. Asegurar el transporte de contaminante con una velocidad adecuada al mismo. Debe captarse el caudal

### **Pérdidas de presión en los conductos**

El aire al moverse en los ductos encuentra dos tipos de resistencia a su movimiento debido a:

- 1) Pérdidas por fricción, a lo largo de los conductos
- 2) Pérdidas localizadas, en accesorios como codos, curvas, válvulas, etc.

Si aplicamos la ecuación de Bernoulli entre dos puntos A y B de un conducto, tenemos.



**Fig. 10**

La ecuación de Bernoulli para un fluido ideal indica

$$\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} + h_A = \frac{p_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + h_C = cte.$$

En la práctica se sabe hay pérdidas por fricción resultado:

$$\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} + h_A = \frac{p_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + h_C + hf_{AB}$$

Pero los términos relativos a las alturas son despreciables quedando:

$$\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{p_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + hf_{AB}$$

Las unidades de estos términos son  $[m]=[N.m/N]$ , pudiéndose expresar de la siguiente forma:

$$\pm h_{EA} \pm h_{CA} = h_{EB} \pm h_{CB} \pm hf_{AB}$$

Donde:

$$h_E = \frac{p}{\gamma}$$

Es la altura de presión estática

$$h_C = \frac{v^2}{2g}$$

Es la altura de presión cinética, y

*hf*

Es la pérdida por fricción a lo largo del tramo l, incluyendo pérdidas localizadas y por entrada

La utilización de esta ecuación, supone que se considera al aire como un fluido incompresible pues las variaciones de presión en los conductos de ventilación no afectan de manera significativa la densidad del aire.

La unidad de cada término, corresponde a una longitud, y se la interpreta como una energía unidad de peso.

$$\left[ \frac{N.m}{N} \right]$$

### **Altura de presión cinética:**

Un fluido que circula con una velocidad, tiene una cierta energía cinética asociada, que e que fue necesario entregarle para comunicarle dicha velocidad (1/2 mv).

Un fluido que circula a velocidad v tendrá una energía cinética igual a

$$E_C = 1/2.mv^2$$

La energía por unidad de volumen de fluido será:

$$E_{Cvol} = \frac{1}{2} \frac{mv^2}{vol} = \frac{1}{2} \delta_{AIRE} \cdot v^2$$

Teniendo en cuenta que densidad es igual a peso específico dividido g

$$\frac{1}{2} \frac{\gamma_{AIRE}}{g} V^2 = \Delta p = \gamma_{agua} \Delta h$$

$$\gamma_{AIRE}$$

Es el peso específico del aire

$$\gamma_{agua}$$

Es el peso específico del agua

$\frac{v^2}{2g}$  tiene dimensión de altura, y físicamente es la altura del fluido que provoca la presión  $\Delta p$ .

Si queremos expresar dicha diferencia de presión en longitud de columna de agua:

$$\Delta p = \gamma_{AGUA} \Delta h = \frac{v^2}{2g} \gamma_{AIRE}$$

$$\Delta h = \frac{\frac{v^2 \gamma_{AIRE}}{2g}}{\gamma_{AGUA}} = hc$$

reemplazando con

$$\gamma_{AIRE} = 1,2 \text{Kgf} / \text{m}^3 \cdot \text{g}$$

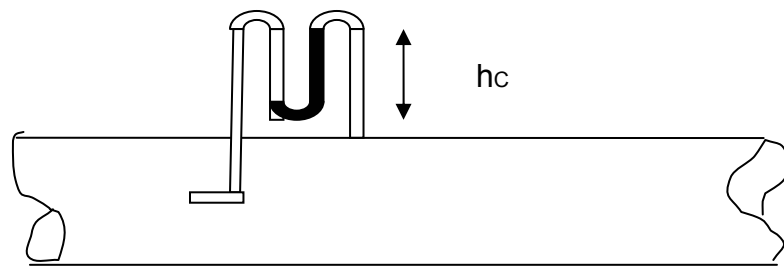
y

$$\gamma_{AGUA} = 1000 \text{kgf} / \text{m}^3 \cdot \text{g}$$

Se tiene que

$$hc(\text{mm.de.cna.de.agua}) \cong \frac{v^2}{16}$$

De lo visto, resulta que la altura de presión cinética es la energía cinética por unidad de peso del fluido que circula con velocidad  $v$  (m/s), medida en mm. de columna de agua. Para medir dicha altura cinética, hay que usar un manómetro conectado de la siguiente manera (Tubo de Pitot) (ver Fig. 11



**Fig 11**

**Altura de presión estática:**

El aire encerrado en un recinto esté en movimiento o no, crea otro tipo **de presión que se ejerce en todas direcciones** y sentidos. Se conoce como presión estática, y se mide ubicando un manómetro de la siguiente manera (ver Fig. 12)

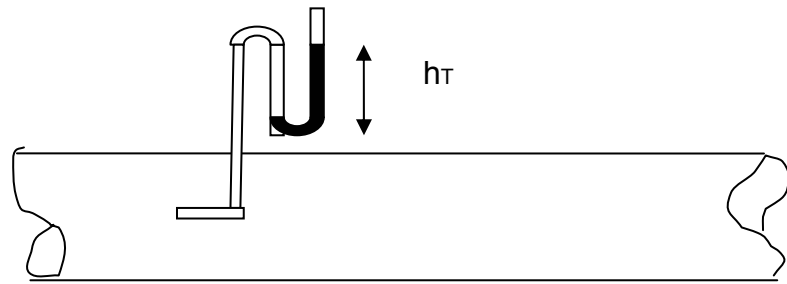


Fig 12

La suma algebraica de  $h_c$  y  $h_e$ , nos da la presión total  $h_t$ .

La conexión de un manómetro para medir la presión total es:

$$h_t = h_c + h_e$$

(Ver Fig 13)

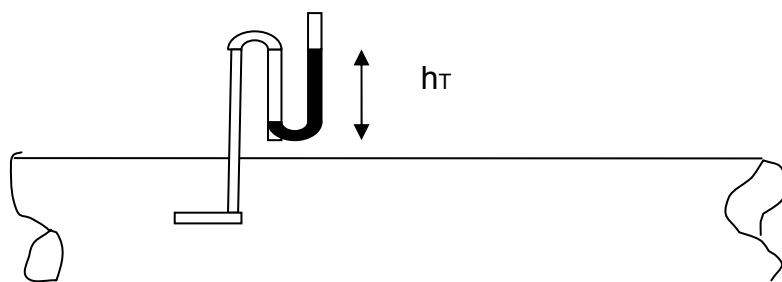


Fig 13

**Cálculo de las pérdidas en los conductos:**

Las pérdidas de presión estática se clasifican en tres tipos:

1. Pérdidas por fricción:  $h_1$
2. Pérdidas localizadas:  $h_2$
3. Pérdidas por entrada:  $h_3$

Estas pérdidas se expresan en mm de columna de agua.

### 1. Pérdidas por fricción:

Las pérdidas por fricción a lo largo de un tramo recto de conducto, son directamente proporcionales a la longitud del conducto y al cuadrado de la velocidad de fluido, e inversamente proporcionales al diámetro del conducto.

$$h_1 = f \frac{v^2}{2g} \frac{l}{d} [m]$$

donde:  $f$  = factor de fricción, que es función de la rugosidad de la cañería, de la viscosidad y del peso específico del fluido que circula.

Cuando esta pérdida se expresa en altura de columna de agua dada en mm., se reemplaza

$$\frac{v^2}{2g}$$

por su equivalente  $h_e$  (mm. H<sub>2</sub>O), y resulta:

$$h_{11}(\text{mm.de.cna.de.agua}) = f \cdot hc \frac{L}{D}$$

Este cálculo es muy laborioso, por lo tanto, para simplificarlo, se construyen ábacos, uno de los cuales se adjunta (ver Figuras. 14 y 15 ).

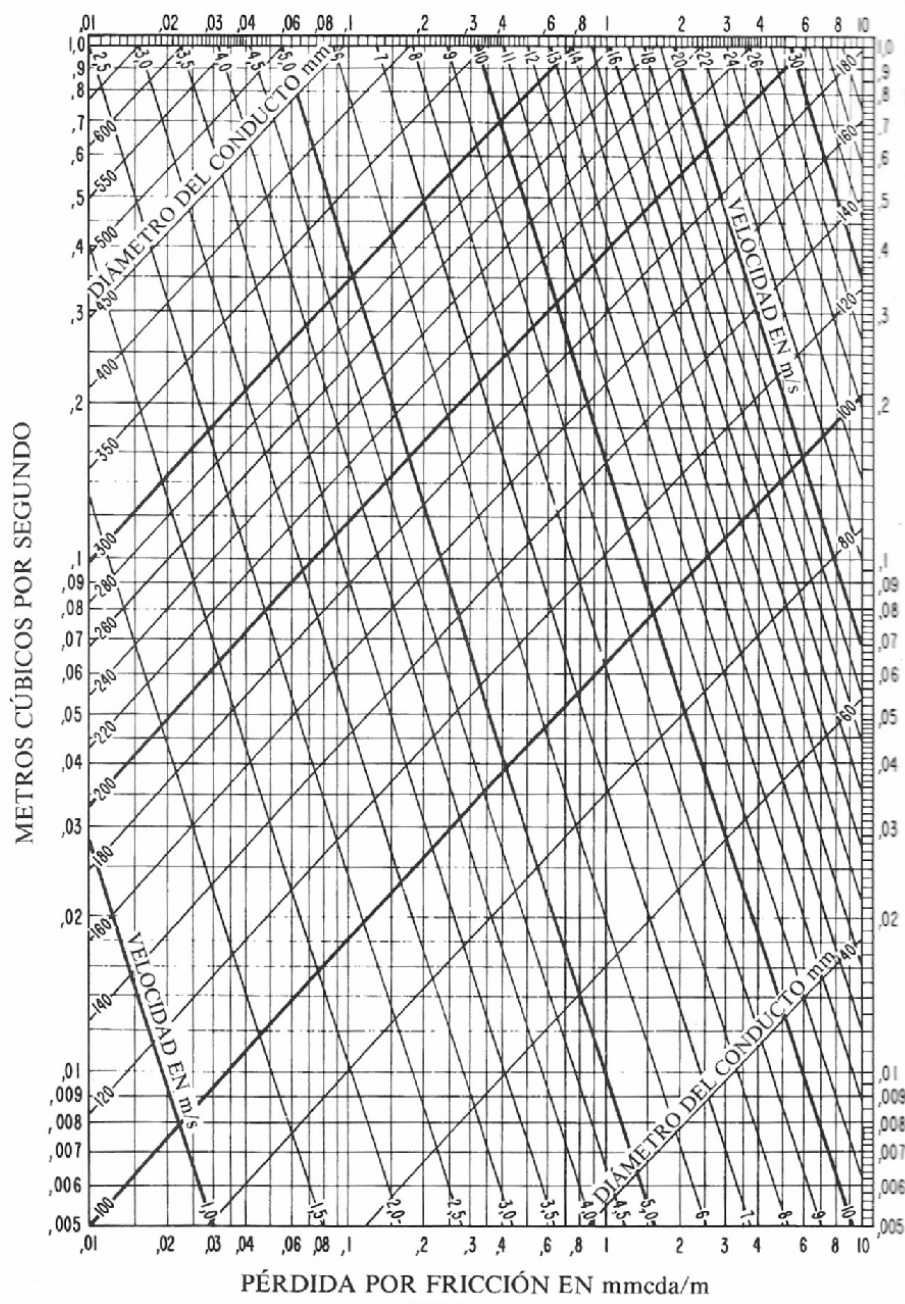


FIG. 14

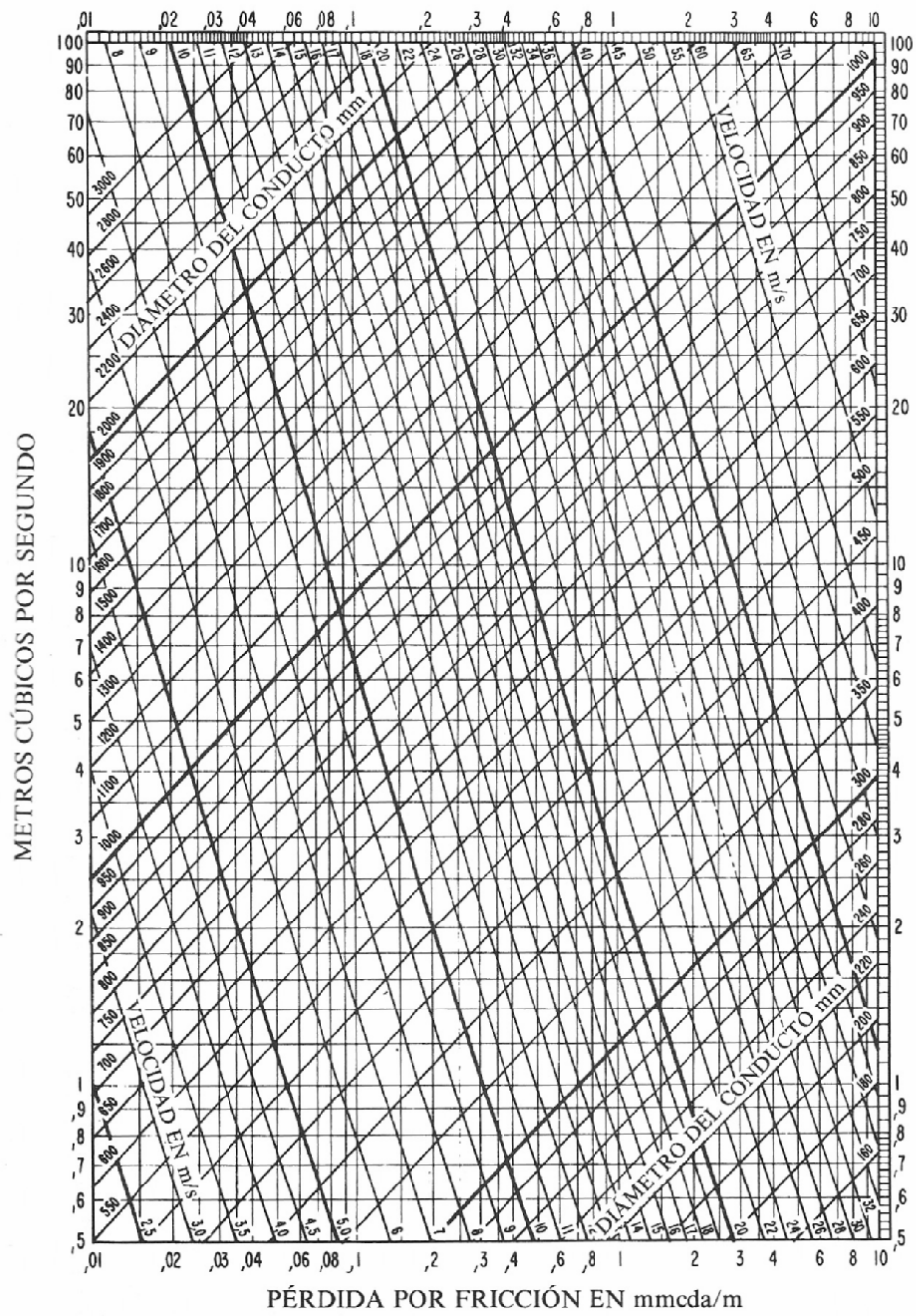


Fig. 15

## 2. Pérdidas localizadas:

Para evaluar las pérdidas localizadas, que se deben a turbulencias producidas por los cambios de dirección, variaciones de sección (codos, empalmes, etc.), se pueden usar dos métodos:

1) evaluar la pérdida como una fracción de la altura de presión cinética:

$$h_2 = K.h_c$$

donde K: es un coeficiente que se obtiene de tablas. (ver Ref. 1 y Ref. 6)  
hc [mm. De columna de agua]

2) usando el concepto de longitud equivalente, que es la longitud de cañería recta que da una pérdida de carga igual a la que produce el accesorio considerado al pasar el mismo caudal.

En tablas se encuentra el valor de la longitud equivalente, en función del diámetro del accesorio. En este caso:

$$h_2 = f \frac{Leq.}{D}.h_c$$

## 3. Pérdidas por entrada en campanas:

Se deben a:

a. aceleración del aire desde la velocidad cero, a la velocidad Y, que tiene dentro del conducto (hc).

b. pérdidas de carga por turbulencia en la entrada de la campana.

(Kent . hc)

c. en el caso de haber ranuras en el frente de la campana, es necesario tener en cuenta la pérdida por turbulencia en la ranura.

(Kr . hr)

donde hr: es la altura de energía cinética expresada en mm. de columna de agua para la velocidad en la ranura (ver Ref. 7).

## **Pasos a seguir para el dimensionamiento de los conductos para un sistema de ramales múltiples de alta velocidad:**

1. *Velocidad en conductos:*

El primer dato a establecer, es la velocidad del aire en los conductos, para determinarla hay que tener en cuenta si se trata de captación de aire contaminado con polvos, o con gases y vapores.

Si se trata de polvos, la velocidad mínima, debe ser de 20 m/seg para evitar su sedimentación, y la consiguiente obstrucción de los conductos.

Para gases y vapores, la velocidad mínima que se adopta es de 8 a 12 m/seg, pues no existe el problema de la sedimentación.

Esta velocidad, reduce considerablemente las pérdidas por fricción. y la pérdida negativa contra la que debe operar el ventilador, y se ahorra una considerable cantidad de energía para mover el mismo volumen de aire, con la consecuente economía de operación (esto es válido siempre que se trate de no condensables).

En ambos casos, la velocidad máxima aceptable es de 30 m/ s, limitada para evitar ruidos y vibraciones del sistema de ventilación, y en el caso de tratarse de polvos, para evitar la excesiva abrasión de los conductos, especialmente en las curvas y transiciones.

## *2. Caudal que debe circular por el conducto:*

Esto se debe calcular cuando se diseña la campana, o sea que a los efectos del dimensionamiento de los conductos, es un dato (recordar que el caudal es el mínimo a aspirar).

3. Con el caudal a captar, y con la velocidad adoptada para el conducto, se determina su diámetro, de la Fig. 14 También del mismo modo, puede obtenerse la pérdida de carga por fricción por metro de conducto, El ábaco vincula cuatro variables: Caudal (Q), velocidad en el conducto (v), diámetro del conducto (D) y pérdidas por fricción por unidad de longitud de cañería( j).

Conocidas dos cualesquiera de estas variables, quedan determinadas las restantes. Este gráfico está calculado para un valor de rugosidad determinado. Para el caso de tener un valor de rugosidad distinto, se debe corregir el valor de j.

El valor de corrección por rugosidad del material, es función de la velocidad, del diámetro del conducto y del coeficiente  $\epsilon$  de rugosidad del material (Fig. 16) (ver 7).

Luego:

$$j_c = F_e \cdot j$$

donde:  $j_c$  es la pérdida por fricción corregida.

$j$  es la pérdida a corregir

$F_c$ : es el valor de corrección por rugosidad.

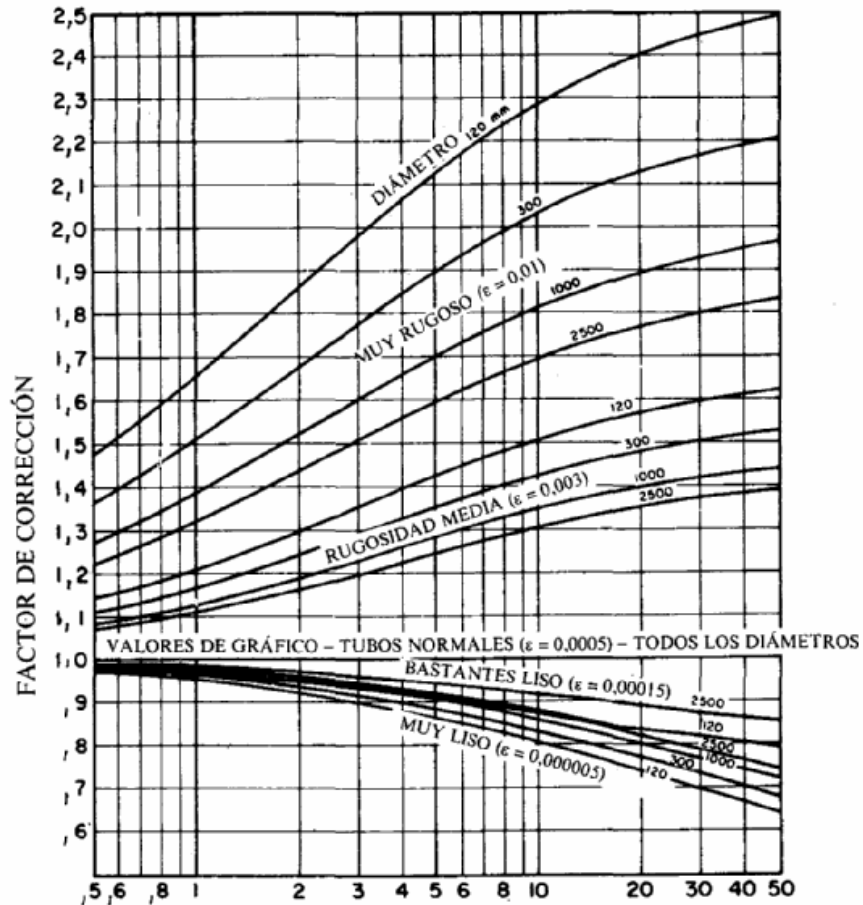


Fig. 16

4. Determinar las longitudes reales de conductos y los accesorios a utilizar,
5. La pérdida de carga a lo largo de cada tramo recto se determina multiplicando su longitud por su pérdida de fricción por unidad de longitud corregida.

$$h_1 = j_c \cdot L \text{ (mm. H}_2\text{O)}$$

6. Para calcular las pérdidas de carga en accesorios, se usa el método de evaluar la pérdida como una fricción de la presión cinética.

$$h_2 = k \cdot h_e \text{ (mm. H}_2\text{O)}$$

Conviene recordar que cuando existen varios accesorios en un tramo,  $k$ , es la suma de los  $k_j$ , de cada accesorio.

7. El cálculo de la pérdida por entrada, se hace sumando los términos siguientes:

$$h_3 = h_e + k_{ent} \cdot h_e + k_r \cdot h_r$$

para una campana con ranura en el frente y

$$h_3 = h_e + k_{ent} \cdot h_e$$

para una campana sin ranura en el frente.

$k_{ent}$ : es un coeficiente que tiene en cuenta la pérdida por turbulencia en la campana, y es función del tipo de campana de la abertura de la misma.

$k_r$ : es un coeficiente de pérdida por turbulencia en las ranuras.

8. En un sistema múltiple de conductos, cualquiera sea el método de diseño adoptado, el objetivo es obtener el caudal necesario mínimo en cada una de las campanas, y mantener en cada ramal, la velocidad de transporte adecuada. Si no se hace un diseño adecuado, el aire tenderá a circular por el camino de menor resistencia, distribuyéndose en una forma que no nos dará los caudales buscados en cada una de las campanas.

Existen dos métodos de diseño:

1. Equilibrio con utilización de compuertas.
2. Equilibrio sin utilización de compuertas.

En ambos casos, se debe asegurar que a todos los nudos se llegue con la misma pérdida de carga, por todos los caminos que concurren a dicho nudo.

Se describirá a continuación, como se logra esto, para el segundo método.

A. Una vez determinada la distribución de la red de conductos, se elige el tramo o ramal más alejado, y se determina su diámetro, teniendo como dato el caudal mínimo a aspirar por la campana conectada a dicho ramal, y la velocidad mínima dentro del conducto, que se fija de acuerdo al tipo de contaminante.

B. Se determinan las pérdidas por fricción ( $h_1$ ), localizadas ( $h_2$ ), y por entrada a la campana ( $h_3$ ). La pérdida de carga total para dicho tramo, se obtiene como la suma de las anteriores:

$$\Sigma h = h_1 + h_2 + h_3$$

C. Se repite el cálculo, para aquel ramal que se reúne con el anterior en la misma bifurcación, y se determina la pérdida total  $h'$  que le corresponde.

D. Se comparan  $\Sigma h$  y  $\Sigma h'$ , y para hacerlo, se calcula  $Ah$  como diferencia de ambas:

$$Ah = \Sigma h - \Sigma h'$$

Pueden presentarse los siguientes casos:

1) Si  $Ah$  es menor que el 5% de  $\Sigma h'$ , se considera que la pérdida de carga a lo largo de ambos tramos es la misma para los fines de diseño.

Se adopta para ambos tramos la pérdida de carga mayor, y se considera que las pérdidas de carga de los tramos que concurren al nudo están equilibradas.

2) Si  $Ah$  es mayor que el 5% de  $\Sigma h$  y menor que el 20% de  $\Sigma h'$ , hay que calcular el tramo de menor resistencia, aumentando el caudal que circula por él. Este nuevo caudal  $Q_j$ , se obtiene iterando a partir de la siguiente relación:

$$\frac{Q_j}{Q^{T'}} = \sqrt{\frac{\Sigma h}{\Sigma h^i}}$$

hasta obtener una pérdida de carga tal que  $Ah$  sea menor que un 5% de  $Eh'$ ,

3) Si  $Ah$  es mayor que el 20% de  $Eh'$ , es necesario recalcular el tramo de menor pérdida, manteniendo constante el caudal a aspirar por la campana, y disminuyendo el diámetro del mismo hasta un valor tal que el nuevo  $h$  sea menor que un 5% de  $Eh'$ .

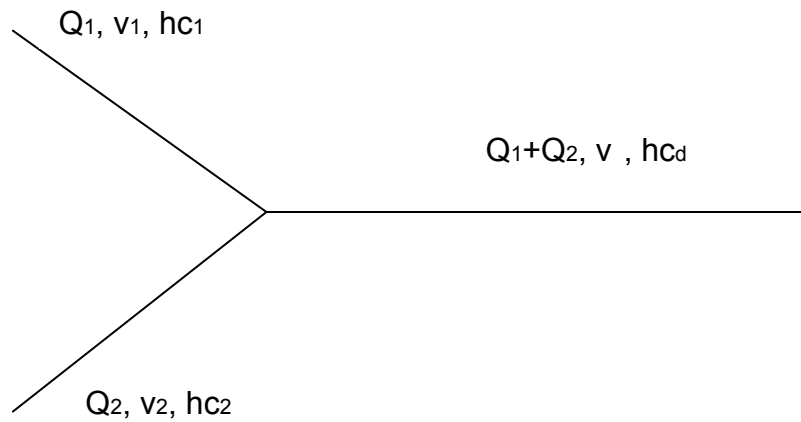
Este nuevo diámetro se obtiene iterando a partir de la relación:

$$\frac{D1}{D^{T'}} = \sqrt{\frac{\Sigma h^f}{\Sigma h^i}}$$

E. A continuación del primer nudo, se encuentra el tramo troncal, que debe ser dimensionado hasta el segundo nudo.

El caudal con que se calcula este tramo troncal es el efectivo, o sea la suma de los caudales corregidos de cada uno de los tramos que concurren al nudo. Se adopta además, la velocidad mínima de transporte y se determina el diámetro.

Debe entonces, plantearse el "balance de energía cinética" en el nudo a partir del esquema de la Fig. 16.



**Fig. 16**

Este balance, permite establecer la energía cinética disponible a la salida del nudo  $h_{cd}$ , a partir de los caudales y velocidades de los conductos que concurren al mismo. Se establece que:

$$Q_1 \cdot hc_1 + Q_2 \cdot hc_2 = (Q_1 + Q_2) \cdot h_{cd}$$

donde:  $h_{cd}$ : es la altura de presión cinética disponible a la salida del nudo.

Se compara este  $h_{cd}$  con la  $h_{cr}$  que es la altura de presión cinética requerida, y es calculada a partir de la velocidad seleccionada para el tramo troncal en estudio.

Si resulta que:

$$h_{cr} - h_{cd} > 0$$

esta diferencia, que representa la energía cinética por unidad de peso, necesaria para que el aire acelere a la salida del nudo, y alcance la velocidad seleccionada en el troncal, es considerada como una pérdida del mismo,

Si:

$$h_{cr} - h_{cd} < 0$$

se desprecia la recuperación de energía cinética correspondiente.

Luego, se procede a evaluar las pérdidas por rozamiento ( $h_1$ ), y las pérdidas localizadas ( $h_2$ ), el conjunto de las cuales deben sumarse al valor obtenido en (1), obteniéndose así, las pérdidas estáticas del tramo troncal.

Este valor, sumado a las pérdidas  $E_h$  del primer nudo, representa las pérdidas de carga correspondientes al segundo nudo.

Si en este segundo nudo, concurre otro ramal, la pérdida del mismo, debe calcularse igual a lo efectuado anteriormente.

El cálculo se desarrolla de la misma forma hasta obtener la pérdida total del sistema, teniéndose en cuenta que debe preverse la pérdida producida por el equipo de tratamiento de aire, si lo hubiera, y chimenea, sombreretes, etc.

### **Cálculo de la potencia del ventilador:**

El ventilador, debe proveer la energía necesaria para asegurar la circulación del aire a través de todo el sistema de ventilación.

La energía a proveer por unidad de volumen esta dada por:

$$\frac{E}{V} = \Delta p_v = h_{Tv} \cdot \delta_{agua} \cdot g = h_{Tv} \cdot \gamma_{agua} \cdot$$

E

donde  $h_{Tv}$  = altura total a entregar por el ventilador.

La potencia que se debe entregar al sistema para vencer las resistencias del mismo será:

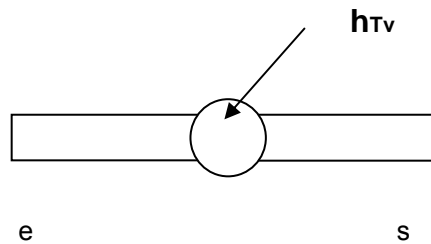
$$Pot[w] = Q \left[ \frac{m^3}{s} \right] \cdot \Delta p_v \left[ \frac{N}{m^2} \right] = Q \cdot h_{Tv} \cdot \delta_{agua} \cdot g$$

La potencia del ventilador será:

$$Pot[w] = \frac{Q \cdot h_{Tv} \cdot \delta_{AGUA} \cdot g}{\eta_v}$$

donde  $\eta_v$  rendimiento del ventilador

Para calcular el  $h_{Tv}$ , se aplica la ecuación de Bernoulli, entre la entrada y la salida del ventilador, recordando que la energía mecánica entregada por el ventilador aumenta la energía total.



$$h_{Ec} + h_{a_{ce}} = h_{Es} + h_{cs} - h_{Tv}$$

O sea que:

$$h_{Tv} = (h_{Es} - h_{Ee}) + (h_{cs} - h_{ce})$$

Donde.

$h_{Es}$  y  $h_{Ee}$  son las pérdidas de carga de los conductos de salida y entrada respectivamente y.

$h_{cs}$  y  $h_{ce}$  son las alturas cinéticas de salida y entrada.

## 5.5 Bibliografía

- (1) Ing. Julio C. Duran, y otros -Curso corto intensivo sobre ventilación industrial.- Escuela de Ingeniería Sanitaria – (1966)
- 2) Ing. Julio C. Duran, y otros -Introducción al Estudio de la Contaminación de Partículas-Instituto de Ingeniería Sanitaria UBA (1973).
- (3) Ing. Julio C. Duran  
Medición de Presiones y Volúmenes de Aire en la Toma de Muestras de Contaminación-Instituto de Ingeniería Sanitaria UBA (1971)
- (4) A.C.G. 1. H. -Industrial Ventilation 16 th Edition (1980)
- (5) Drinker and Hatch -Industrial Dust -Mc Graw Hill (1954).
- (6) Perry – Chemical Engineer’s Handbook ( 1999)
- (7) ACGIH -Ventilación Industrial - Generalitat Valenciana – ISBN 84-7890-818-8

## CAPITULO 6

### SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

#### 6.1 El Fuego

El fuego es un proceso de combustión caracterizado por una reacción química de oxidación del combustible, de suficiente intensidad para emitir, luz, calor, y en muchos casos llamas.

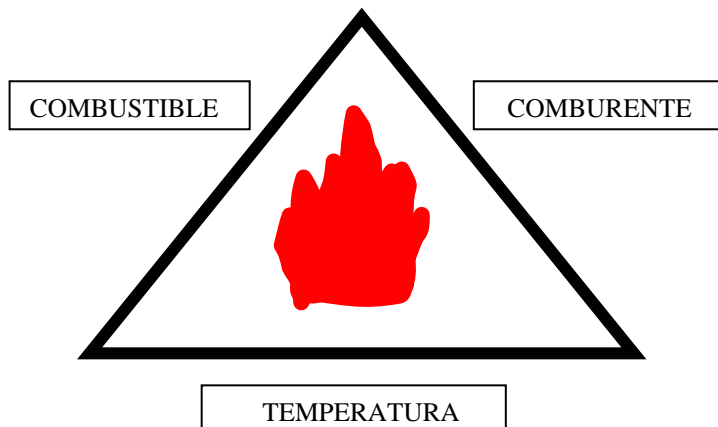
Existen básicamente dos modelos geométricos para representar el fuego, propuestos fundamentalmente para explicar los mecanismos de acción de los distintos elementos extintores sobre el fuego.

Estos modelos son el Triángulo de Fuego y el Cuadrado de Fuego

#### Triángulo y Cuadrado del Fuego

Se representa al fuego por un triángulo equilátero en el que cada uno de sus lados simboliza uno de los factores esenciales para que el mismo exista:

- a) Combustible.
- b) Comburente (generalmente el oxígeno del aire),
- c) Temperatura (temperatura de ignición).



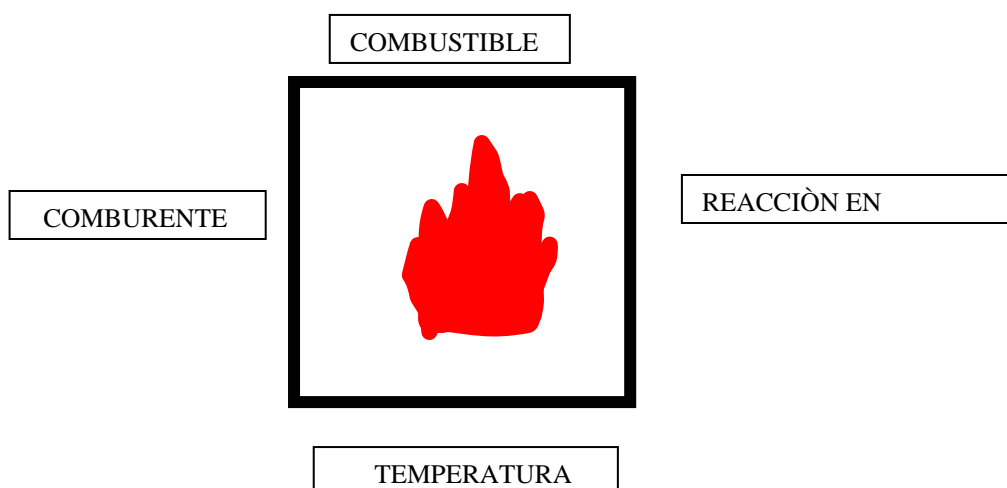
El fuego se extingue si se destruye el triángulo, eliminando o acortando uno de sus lados. En efecto, la temperatura puede ser eliminada por enfriamiento, el oxígeno por exclusión del aire y el combustible por su remoción, o bien evitando su evaporación (en todos los casos mencionados la extinción implica una acción física

Si bien este modelo es sumamente útil, no explica la acción de algunos extintores halogenados, Como el Halón, por ejemplo. Por ello, es necesario introducir un nuevo modelo.

**Cuadrado del fuego:** El modelo anterior no puede explicar la acción de algunos agentes extintores, ni la existencia de llamas frías, ni la sensibilidad de las llamas a ciertas vibraciones ultrasónicas, etc. Por lo tanto, se estima necesario ampliar el modelo anterior, incorporando un cuarto factor que contempla la naturaleza química del fuego.

Este cuarto factor es la reacción en cadena. El nuevo modelo es un cuadrado, donde cada lado significa:

- a) Combustible.
- b) Comburente.
- e) Temperatura.
- d) Reacción en cadena.



Para que se produzca fuego, debe darse la concurrencia simultánea de estos cuatro factores.

Por otro lado, al retirar uno o más de los elementos que componen el cuadrado, se produce un proceso químico y por consiguiente habrá una extinción química, aunque además podrá estar presente una extinción física

### 6.1.2. Descripción de los factores del Fuego

#### a) **Combustible:** (Agente reductor)

Un combustible es en sí, un material que puede ser oxidado, es decir, es un agente reductor, puesto que reduce a un agente oxidante cediéndole electrones a este último.

Algunos combustibles típicos son, entre otros, carbón, monóxido de carbono, hidrocarburos, elementos no metálicos como azufre y fósforo, sustancias celulósicas como madera, telas y papel, metales como sodio y magnesio, solventes orgánicos y alcoholes en general.

Los combustibles pueden presentarse en cualquier estado de agregación, pero debe aclararse que los que arden con llama en los combustibles son los vapores que ellos desprenden en el proceso de la combustión.

Las sustancias en estado sólido, normalmente mantienen una combustión de masa, elevándose la temperatura de la misma en toda la superficie. La principal técnica de extinción es la de refrigerar la masa incandescente. En los combustibles líquidos, la técnica fundamental de extinción, es la de cubrir el espejo de líquido, evitando la transferencia de calor, y la libre generación de vapor, que es lo que produce las llamas.

Las sustancias en estado gaseoso, arden en toda su masa, produciendo en muchos casos, riesgos de explosión. Como los anteriores, arden produciendo exclusivamente llamas. Las técnicas clásicas de extinción, son saturarlos de material inerte, o evitar su contacto con las fuentes de calor.

En todos los casos, las técnicas modernas de extinción combinan los métodos físicos con los químicos, siendo los métodos extintores seleccionados en función del combustible.

b) **Comburente:** El comburente es un agente que puede oxidar a un combustible (agente reductor), y al hacer esto, se reduce a si mismo. En este proceso, el agente oxidante obtiene electrones, tomándolos del combustible.

Desde el punto de vista del incendio, el oxígeno del aire es el comburente principal, aunque en algunos casos puede no ser así, por ejemplo, el polvo de magnesio, puede arder en una atmósfera de CO<sub>2</sub> (gas inerte usado en la extinción), ciertos metales, como Calcio y Aluminio, pueden quemar en una atmósfera de Nitrógeno, que normalmente es inerte. Evidentemente, debe tenerse sumo cuidado al elegir el agente extintor.

e) **Temperatura:** La temperatura de ignición, es el tercer factor imitador del fuego.

Definimos entonces como temperatura de ignición a la mínima temperatura a la que una sustancia, sólida o líquida debe ser calentada a fin de iniciar una combustión que se sostenga por si misma, independientemente de las fuentes externas de calor.

Podemos reconocer tres temperaturas, desde el punto de vista de la combustión, ellas son:

1) Temperatura de inflamación (Flash Point):

Es la menor temperatura a la que hay que elevar un líquido combustible para que los vapores que se desprendan formen con el aire que se encuentra sobre los mismos una mezcla que se inflame al acercársele una llama (la combustión no continúa al retirar la llama o fuente de ignición).

## 2) Temperatura de ignición o combustión:

Si se continúa calentando el líquido combustible por sobre su temperatura de inflamación (punto flash), se llegará a una temperatura a la cual la velocidad de desprendimiento de vapores es tal, que una vez iniciada la combustión, la misma continúa, aún cuando se retire la llama.

## 3) Temperatura de auto ignición o auto combustión:

Es la mínima temperatura a la cual debe elevarse una mezcla de vapores inflamables y aire, para que ésta se encienda espontáneamente sin la necesidad de una fuente de ignición externa, como una llama. Esta temperatura suele ser muy superiora las anteriores.

## 4) Reacción encadena:

Depende de los elementos en juego, siendo sólo entendidas las reacciones más simples, debido a la cantidad creciente de complicaciones que se presentan cuando aumenta la complejidad de la sustancia en combustión.

Debe quedar claro que las reacciones químicas descriptas con una ecuación general no indican el mecanismo real de la reacción, dada la cantidad de reacciones intermedias.

## **Clasificación de los Fuegos**

Pueden clasificarse de acuerdo a la sustancia que arde. Es importante destacar que esta clasificación además permite caracterizar los distintos agentes extintores de acuerdo al fuego para el que son aptos. Se clasifican entonces en:

### **1) Clase A:**

Fuegos sobre combustibles sólidos (carbón, papel, madera, textiles, etc... Pueden o no producir llama, pero en la mayoría de los casos está presente un fuego de superficie.

### **2) Clase B:**

Fuegos sobre combustibles líquidos (naftas, solventes, etc.). Por su similitud, se incluye en esta categoría a los gases.

### **3) Clase C:**

Fuegos de origen eléctrico: son aquellos que involucran una fuente de energía (tableros, motores eléctricos, etc.).

### **4) Clase D:**

Fuegos sobre polvos metálicos (Mg, Na, etc.). Su extinción requiere de técnicas no convencionales.

En algunos países, consideran una quinta Clase E, la cual corresponde a fuegos sobre recipientes a presión, sistemas de alta tensión, etc.

Otra clasificación tiene en cuenta la forma en que se exteriorizan los fuegos:

**a) Fuegos de superficie:**

No es una combustión en el espacio, sino estrictamente una oxidación de la superficie que tiene lugar a los mismos niveles de temperatura como si se tratara de llamas ardientes, Recibe también el nombre de brasa, superficie al rojo, etc. Es decir, son fuegos en sustancias sólidas. La combustión, como ya dijimos, es superficial, y progresa hacia el núcleo central de la masa que arde. Se extinguen mediante agentes refrigerantes.

**b) Fuegos de llamas:**

Son la evidencia directa de la combustión de gases o vapores de líquidos inflamables que pueden ser luminosas o no. Tienen la característica de arder en toda su masa y simultáneamente

Las llamas pueden clasificarse según como obtengan el aire para la combustión. Tenemos entonces:

**1) Llamas premezcladas:**

Son aquellas en las que el combustible fluye con un adicional de aire (oxígeno), o algún otro comburente. Un ejemplo de esto, son las llamas de un soplete de acetileno, un cohete, etc.

**2) Llamas autónomas:**

Son aquellas en las que la descomposición de las moléculas del combustible, suministra el oxígeno necesario para mantener la combustión (Nitrocelulosa).

**3) Llamas de difusión:**

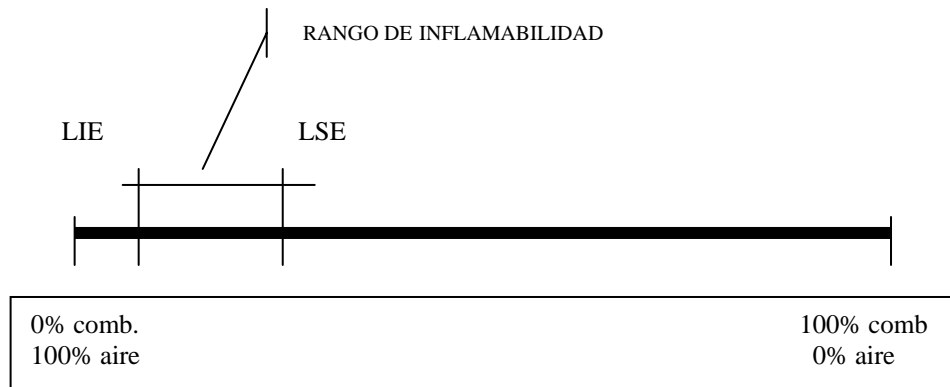
Se obtienen por gases o vapores que no han sido previamente mezclados, pero que se queman en la medida en que el aire que llega hace entrar a la mezcla en rango explosivo. Es el tipo de llama más común y se presenta en todos los incendios. En este tipo de llamas, entonces, el aire es un agente externo que difunde hacia la zona de llamas.

**Parámetros que rigen la Ignición y la Combustión**

Así como el calor debe ser suficiente para alcanzar la temperatura de ignición, la relación combustible -comburente, debe estar dentro de los límites de inflamabilidad o explosividad.

En el caso de los materiales inflamables, estas proporciones se determinan como porcentajes en volumen de gas o vapor en aire, en condiciones normales de presión y temperatura.

Por lo tanto, los porcentajes mínimos y máximos de gas o vapor combustible necesarios para formar mezclas explosivas, constituyen el límite inferior (LIE), y superior (LSE) de explosividad (o inflamabilidad) respectivamente. La diferencia



entre ambos límites se conoce como el rango explosivo o inflamable.

Si la concentración de metano en el aire es menor que el 2,2 %, no se produce explosión, por ser una mezcla muy pobre, y por encima del 14 % tampoco, por ser una mezcla muy rica. En la práctica, se utiliza un aparato denominado explosímetro, para determinar si estamos dentro de los límites de explosividad. Estos límites de inflamabilidad o explosividad pueden variar al variar algunos parámetros. A continuación, se verá de que parámetros dependen:

**TABLA 1**  
**ALGUNOS RANGOS DE INFLAMABILIDAD**

Propano	2,1%-9,5%
Acetileno	2,5% - 100%
Gasolina	1,4% - 7,6%
Alcohol Etílico	3,3% -19,0%
Kerosén	0,7% -5%
Acetona	2,5% -13m0%
Hidrógeno	4,0% -75%

### **a) Índice de oxígeno: (Inertización)**

Sí a una mezcla se le agrega oxígeno en mayor porcentaje que el que contiene el aire, los índices generalmente se amplían fundamentalmente el LSE. En cambio, para una atmósfera inerte, se produce el efecto contrario, hasta llegar a una proporción en la cual no podría lograrse la inflamabilidad bajo ninguna condición.

### **b) Efectos con la presión:**

Se puede afirmar que al aumentar o disminuir la presión, se produce un ensanchamiento o estrechamiento, respectivamente, del rango de explosividad, fundamentalmente en el LSE.

### **c) Efectos de la temperatura:**

Al incrementarse la temperatura, el rango de explosividad aumenta, pues decrece el LIE y aumenta el LSE. Si el aumento de temperatura progresa se puede producir la autoignición, la temperatura a la cual esto ocurre es precisamente la temperatura de autoignición o autocombustión.

### **d) Mezclas de gases:**

En el caso que exista una mezcla de varios gases, el LIE y LSE se determinan mediante la llamada Ley de Lechatelier, la cual expresa que:

$$\sum_i \frac{N_i}{L_i} = \sum \frac{N_i}{L}$$

O sea:

$$L = \frac{\sum_i N_i}{\sum \frac{N_i}{L_i}}$$

Donde;

$L_i$ : Límite Superior de Explosividad LSE de cada gas de la mezcla

$N_i$ : Porcentaje con que cada gas contribuye a formar la mezcla.

### **Fuentes de ignición:**

Son aquellos factores que pueden originar un fuego. Podemos clasificarlos de acuerdo al tipo de energía:

Energía química: combustión chispas, llamas abiertas, superficies calientes.

Energía eléctrica: arcos, chispas por electricidad estática.

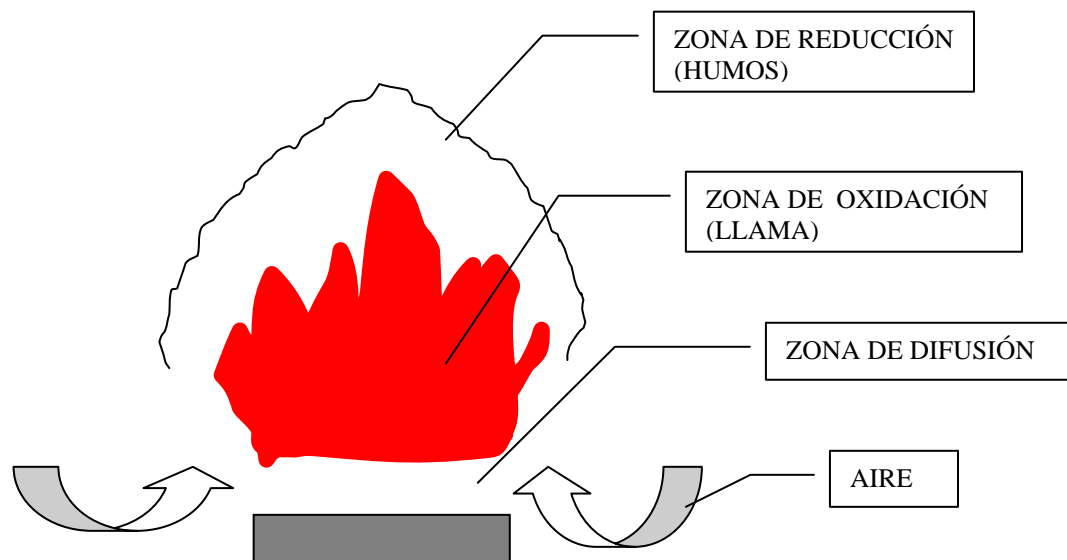
Energía mecánica (fricción): cojinetes recalentados, compresión adiabática de gases, etc.

Todas las fuentes de ignición deben suministrar energía hasta lograr la ignición de un material combustible o explosivo.

La energía de ignición es la energía que debe tomar una fuente de ignición para iniciar un fuego. Cada mezcla explosiva, requiere un mínimo de energía para iniciar la llama. Esto explica por ejemplo que con un cigarrillo no se puede encender el gas, y si con una chispa de pedernal.

### **Mecanismo de la combustión de Líquidos Inflamables**

En el esquema (ver Fig. 1), 1) se muestra el mecanismo de la combustión de un



**Fig. 1**

líquido inflamable (un hidrocarburo, por ejemplo) que forma una llama de difusión, pero tiene la misma validez para combustibles sólidos en que los vapores son destilados de ellos.

Al encender la batea que contiene un hidrocarburo, el vapor que se encuentra en equilibrio con el líquido es rápidamente consumido en la zona de llamas, siendo reemplazado por la generación creciente de nuevas cantidades de vapor combustible. El intenso calor radiante proveniente de las llamas acelera el proceso de producción de vapor, y por ende, la combustión.

Dicho calor, genera además, una variedad de fragmentos de menor peso molecular, radicales libres, hidrógeno libre y carbono libre, conocidos como especies activas. Estas a su vez reaccionan en la zona de llamas produciendo una serie de reacciones en cadena con el oxígeno.

Los distintos vapores que se desprenden empiezan a arder en sus límites superiores de inflamabilidad cuando sólo ha penetrado por difusión la cantidad de aire necesaria a través de la zona de llamas. A medida que estos vapores atraviesan dicha zona encuentran más aire que se difunde con mayor facilidad, y por consiguiente, continúan ardiendo hasta alcanzar su límite inferior de inflamabilidad en los bordes exteriores de la zona de llamas, lugar donde existe la máxima cantidad de aire tolerable para las condiciones de combustión.

Finalmente, los compuestos más pesados no alcanzan a quemarse y producen humos.

## **6.2. Protección contra incendios**

Los objetivos básicos de la protección contra incendios establecidos por el decreto 351/79 son:

- 1 ) Dificultar la iniciación de incendios.
- 2) Evitar la propagación del fuego y los efectos de los gases tóxicos.
- 3) Asegurar la evacuación de las personas en caso de incendio.
- 4) Facilitar el acceso y las tareas de extinción al personal de bomberos.
- 5) Proveer las instalaciones de detección y extinción.

Este decreto establece distintos requisitos para los materiales con los que se construyen los establecimientos, los que deben ser resistentes al fuego, y deberán soportar sin derrumbe la combustión de los elementos que contengan de manera de permitir la evacuación de las personas. Para determinar los materiales a utilizar deberá considerarse el destino que se dará a los edificios, y los riesgos de incendio, teniendo en cuenta también la carga de fuego (Artículo 170, Decreto 35 1/79).

Los sectores de incendio (Artículo 171, Decreto 351/79), excepto, casos especiales, podrían abarcar como máximo una planta del establecimiento y cumplimentar lo siguiente:

- 1) Control de propagación vertical: deben diseñarse escaleras, cajas de ascensores, etc., de forma que impidan el paso del fuego, gases y/o humo de un piso a otro.
- 2) Control de propagación horizontal: dividiendo el sector de incendio de acuerdo al riesgo y la magnitud del área en secciones, en las que cada parte debe estar aislada de las otras por muros y puertas contra incendios.
- 3) Los sectores de incendio deben separarse entre sí por paredes, pisos y techos contra incendios.

4) Todo sector de incendio deberá comunicarse en forma directa con un medio de escape.

Lo que se busca con esto, es construir edificios seguros, en lo que respecta a la evacuación de las personas, y propagación del fuego.

A continuación, se verá una serie de conceptos de importancia relacionados con la protección contra incendios:

- Resistencia al fuego.
- Carga de fuego.
- Medios de escape.
- Sector de incendio.

### **Resistencia al fuego:**

Corresponde al tiempo expresado en minutos, durante un ensayo de incendio, después del cual el elemento ensayado pierde su capacidad resistente o sus funciones. En otras palabras, la resistencia al fuego es el tiempo límite en el cual el material ensayado mantiene sus propiedades funcionales y estructurales características.

La resistencia al fuego de los elementos estructurales y constructivos de los edificios se determina en función del riesgo que implican las distintas actividades en dichos edificios y también en función de la carga de fuego, de acuerdo con tablas establecidas. (ver Dec. 35 1/79)

Esta resistencia queda expresada mediante la letra F, seguida de un número que define dicho tiempo, en minutos, de resistencia al fuego.

### **Carga de fuego:**

Es el peso equivalente en madera, por unidad de superficie (en Kg./m<sup>2</sup>) capaz de desarrollar una cantidad de calor equivalente a la de los materiales contenidos en el lugar del incendio.

Como patrón de referencia, se considera madera con poder calórico inferior a 18,41 MJ/Kg. (expresado en Kcal/Kg es 4400 Kcal/Kg). Los materiales líquidos o gaseosos contenidos en tuberías, barriles o depósitos, se consideran uniformemente distribuidos sobre toda la superficie del sector de incendio.

La carga de fuego, queda entonces expresada como:

$$Q_f = \frac{P_m}{S}$$

$$P_m = \frac{1}{4400} \sum P_i Q_i$$

donde: Q<sub>f</sub>: carga de fuego (en Kmadera/m<sup>2</sup>).  
P<sub>m</sub>: peso en madera (en Kg.).

S : superficie del sector de incendio (en m<sup>2</sup>).

Pi: peso de la sustancia "i" (en Kg.).

Qi: poder calórico inferior de la sustancia "i" (en Kcal/Kg.).

### **Riesgo de incendio.**

El riesgo de incendio queda determinado en base al tipo de material predominante en el sector de incendio bajo estudio. Teniendo en cuenta el comportamiento frente al calor y otras formas de energía, de las materias y de los productos que con ellas se elaboren, transformen, manipulen o almacenen, se considera entonces, siete clases de riesgos, en función del material involucrado. Ellos son:

**R1: EXPLOSIVOS:** sustancias o mezclas de sustancias capaces de producir en forma súbita reacciones exotérmicas con generación de grandes cantidades de gases, por ejemplo, pólvoras.

**R2: INFLAMABLES:** líquidos que pueden emitir vapores que mezclados en proporciones adecuadas con el aire originan mezclas combustibles. Comprende:

a) Inflamables de primera: aquellas con punto de inflamación inferior a 40 C (naftas).

b) Inflamables de segunda: aquellas con punto de inflamación entre 41 C y 120 C (kerosene, etc).

**R3: MUY COMBUSTIBLES:** materias que expuestas al aire pueden ser encendidas y continúan ardiendo una vez retirada la fuente de ignición (madera, papel, textiles de algodón, etc.).

**R4: COMBUSTIBLES:** materias integradas por hasta un 30 % de su peso por materias muy combustibles.

**R5: POCO COMBUSTIBLES:** materias que se encienden al ser sometidas a altas temperaturas, pero cuya combustión cesa al ser apartadas de la fuente de calor (celulosas artificiales).

**R6: INCOMBUSTIBLES:** materias que al ser sometidas al calor o llama directa, pueden sufrir cambios en su estado físico sin formación de materia combustible (hierro).

**R7: REFRACTARIOS:** materias que al ser sometidas a altas temperaturas (hasta 1500 C), inclusive durante períodos muy prolongados, no cambian ninguna de sus características físicas o químicas (ladrillos, amianto, etc.).

### **Medios de escape:**

Es un medio de salida que constituye la línea natural de escape (tránsito), que garantiza una evacuación rápida y segura. Cuando la edificación se desarrolla en uno o más niveles, el medio de escape estará constituido por:

- Primera sección: ruta horizontal, desde cualquier punto de un nivel, hasta una salida.

- Segunda sección. ruta vertical, escaleras abajo, hasta el pie de las mismas.
- Tercera sección: ruta horizontal, desde el pie de las escaleras, hasta el exterior de la edificación.

### **Cálculo de los medios de escape:**

El ancho total mínimo, la posición y el número de salidas y corredores se determinará en función del Factor de Ocupación (número de ocupantes por unidad de superficie de piso) y de una constante que incluye el tiempo máximo de evacuación y el coeficiente de salida (número de personas por unidad de ancho de salida y por minuto) (Ver Dec 351/70, Anexo VIj).

El ancho total mínimo de los medios de escape, se expresa en función del número de "unidades de salida",

$$n = \frac{N}{100}$$

siendo N el número de personas total a ser evacuadas, calculado en base al factor de ocupación, es decir:

$$N = \frac{S}{F_o}$$

Donde: S: superficie total del sector de incendio (en m<sup>2</sup>).

Fo: factor de ocupación (en m<sup>2</sup>/pers.).

El factor de ocupación Fo se encuentra tabulado en función del tipo de local. (Dec. 351/79)

Se establece además:

a) Los anchos de salida mínimos en función de n son:

<b>Unidades de Salida (n)</b>	<b>Edificios Nuevos (m)</b>	<b>Edificios Existentes (m)</b>
<b>2</b>	<b>1,10</b>	<b>0,96</b>
<b>3</b>	<b>1,55</b>	<b>1,45</b>
<b>4</b>	<b>2,00</b>	<b>1,85</b>
<b>5</b>	<b>2,10</b>	<b>2,30</b>
<b>6</b>	<b>2,90</b>	<b>2,80</b>

donde las funciones mayores o iguales a 0.5 de n se redondean a la unidad.

b) Si n es menor o igual a 3 por cálculo, bastará con un medio de salida o escalera de escape.

c) Si  $n$  es mayor o igual a 4, el número de medios de escape y de escaleras independientes, se obtendrá por la expresión:

$$\text{número.de.salidas} = \frac{n}{4} + 1$$

d) El número mínimo permitido de "unidades de salida"  $n$  es dos. Corresponde a un medio de escape.

### **Sector de incendio**

Es el local o conjunto de locales delimitados por muros y entrepisos de resistencia al fuego acorde con el riesgo y la carga de fuego que contienen, comunicados en forma directa con un medio de escape. En otras palabras, el sector de incendio debe resultar un compartimiento estanco al fuego, al humo y a los gases de combustión.

### **6.3 Agentes extintores**

#### **Introducción: extinción física y extinción química**

Los agentes extintores, pueden ser divididos en dos grandes grupos:

**a) Extinción física:** en ella se busca romper uno de los lados del "triángulo de fuego", es decir:

Temperatura por enfriamiento Combustible: dilución o emulsión del combustible, remoción Comburente: por sofocación del aire (caso más general).

Como vemos, todos estos casos implican una acción física, los principales agentes extintores físicos son:

Agua Gases inertes. Espumas.

**b) Extinción química:** en ella se busca anular un lado del "cuadrado de fuego", es decir, la reacción en cadena. Es importante destacar, que muchas veces, para romper una reacción en cadena, es necesario acompañar la extinción química con agentes físicos por otro lado, muchos agentes químicos, poseen características extintoras físicas (tal es el caso de los polvos).

Los principales agentes extintores químicos son:

\* Polvos.

\* Agentes halogenados - Halones.

A continuación, se verán las características de los agentes extintores mencionados.

#### **El agua:**

El agua es el agente extintor más comúnmente utilizado como consecuencia de su poder enfriante, sofocante, diluyente y emulsionante, además de su abundancia, bajo costo y estabilidad.

Las propiedades extintoras del agua, que la hacen un agente de uso casi general, son:

a) **Extinción por enfriamiento:** Se debe a su extraordinaria capacidad de absorción de calor, lo que le permite una potente acción (te enfriamiento, bajando la temperatura de muchas sustancias en combustión, y a la velocidad de transferencia del calor de la combustión a las capas del combustible.

La extinción se produce cuando la superficie del material que arde se enfría por debajo de la temperatura a la cual emite vapores suficientes como para mantener la combustión. Por consiguiente, los incendios de líquidos inflamables se extinguen con facilidad cuando el punto de inflamación de los mismos está por encima de la temperatura del agua aplicada, de no ser así, la extinción es algo más dificultosa, pero no imposible.

En ciertos materiales, que se descomponen por acción del calor (generalmente a elevadas temperaturas), puede usarse agua como refrigerante para así lograr enfriar dichos materiales por debajo de la temperatura de descomposición.

b) **Extinción por sofocación:** si se genera abundante vapor (lo que depende de la velocidad de aplicación, tamaño de las gotas y temperatura del fuego), el aire puede ser desplazado, en efecto, al pasar de estado líquido a vapor, dicho volumen desplaza la fracción de aire equivalente sobre la superficie del fuego, reduciendo así, la entidad de oxígeno disponible para la combustión, y en consecuencia, el fuego puede ser extinguido.

Si la sustancia que arde forma llamas autónomas o premezcladas, es decir, que poseen el oxígeno en su composición en cantidad suficiente para mantener la auto combustión, el efecto sofocante del vapor de agua no tiene ninguna acción.

c) **Extinción por emulsión:** al dispersar agua sobre un líquido no miscible en forma de pequeñas gotas, se forma una emulsión. Esta emulsión que se forma con ciertos líquidos viscosos, produce una acción extintora al hacer la superficie del líquido o gran parte de ella, normalmente no combustible.

d) **Extinción por dilución:** mediante este método, es posible, en ciertos casos, extinguir incendios de sustancias solubles en agua, mediante la dilución de la sustancia que se encuentra ardiendo (por ejemplo el caso de los alcoholes),

**Limitaciones en el uso del agua:** si bien el agua es el agente extintor más ampliamente utilizado, existen tipos de fuegos donde no puede ser empleada. A esto se le suman ciertas limitaciones propias del agua. Por ejemplo:

1. Tensión superficial: la tensión superficial del agua se opone a su capacidad de penetración en combustibles densos o muy compactados.
2. Reactividad con ciertos materiales: el agua no puede ser empleada en ciertos fuegos donde están presentes metales livianos como Mg, Al, K, Na, Ca etc., pues generalmente reaccionan con ellos desprendiendo H<sub>2</sub>, que

arde en el aire con riesgo de explosión. En estos casos, se usa arena, escoria o grafito seco.

3. Conductividad eléctrica: las sales que generalmente tiene el agua la hacen gran conductora de la electricidad, lo que torna muy peligroso su uso, especialmente en instalaciones eléctricas de alto Voltaje.
4. Temperatura de solidificación: el agua solidifica a 0 C, esto limita su utilización en lugares donde esta temperatura puede alcanzarse, dado que las válvulas y cañerías pueden obturarse y reventar. Para evitar esto, en muchos casos se utilizan anticongelantes.

### **Gases inertes:**

Los más utilizados son el CO<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub>, Se recomienda su aplicación en la extinción de líquidos inflamables, o en equipos eléctricos; circunstancialmente, se lo emplea en el caso de combustibles sólidos, por sus condiciones de inertes y limpios.

Desde un punto de vista general, sus propiedades más importantes, son sus características no conductoras y sofocantes.

Los dos gases inertes más utilizados son:

**1) Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>):** es altamente estable aún a temperaturas muy elevadas, y por su poder inertizante (no mantiene la combustión), se lo utiliza como agente extintor. Sus principales propiedades extintoras son:

\* Sofocación: dado que al descargarse sobre las llamas produce una acción de barrido de oxígeno que difunde a través de ellas, crea una atmósfera inerte o sofocante. Por otro lado, al ser una vez y media más pesado que el aire, permanece un cierto tiempo sobre la base del fuego al que fue arrojado, incrementando así su poder sofocante. Esta es su propiedad más importante.

\* Enfriamiento el CO<sub>2</sub> se almacena en cilindros a presión, en estado líquido, descargándose en forma gaseosa. La violenta descompresión hace que parte del gas absorba calor y se transforme en "nieve carbónica", hielo seco, que posee una temperatura de -78 C aproximadamente, esta nieve carbónica sublima rápidamente CO<sub>2</sub> gaseoso, con absorción de calor.

Las limitaciones y precauciones al usar CO<sub>2</sub> son las siguientes:

\* Este gas es un tóxico muy débil, pero un asfixiante simple, por lo cual debe ser utilizado con suma precaución.

\* En fuegos de superficie o brasas que pueden dar lugar a reignición, debe mantenerse una atmósfera inerte hasta tanto la brasa se haya apagado con otro elemento (agua, por ejemplo).

\* En el caso de llamas autónomas o premezcladas el CO<sub>2</sub> no tiene ningún efecto.

\* En algunos casos reacciona con algunos agentes químicos como el Na, K y especialmente el polvo de Mg incandescente, los cuales descomponen al CO<sub>2</sub>,

avivando la combustión. El CO<sub>2</sub> se descompone químicamente en negro de humo y O<sub>2</sub>, que favorece la combustión.

**2) Nitrógeno (N<sub>2</sub>):** posee características extintoras similares al CO<sub>2</sub>, pudiendo reemplazarlo en incendios en que en los que están implicados polvos metálicos, especialmente Mg, o bien Cuando el gas Inerte se requiere para impulsar el polvo químico de los matafuegos por ejemplo, por razones de seguridad.

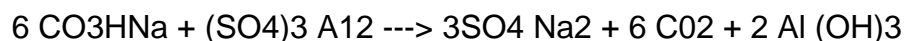
### **Espumas:**

La espuma es la dispersión de un gas en un líquido, formando burbujas compactas de menor densidad que los líquidos inflamables donde se las vierte, comúnmente en forma de manto. La espuma escurre a lo largo de toda la superficie líquida, extinguiendo el fuego, al evitar la libre difusión para el aire de los vapores del combustible.

Asimismo, como las espumas también están constituidas por agua, también actúan por enfriamiento

### **Tipos de espumas**

**a) Espumas químicas** se forman por la reacción en medio acuoso de dos sales, fundamentalmente, sulfato de aluminio y bicarbonato de sodio, conteniendo estabilizantes, para evitar que la misma se destruya con facilidad.



Sus principales inconvenientes, son

- Fácil destrucción de las burbujas a elevadas temperaturas.
- No pueden ser transportadas por largas cañerías, puesto que se destruye en forma inefectiva. En lo que respecta a su relación (le expansión, esta es de 10 = 1.

Con respecto a su generación, existen dos métodos:

1) Sistema húmedo: se ponen en contacto una solución al 13 % de sulfato de aluminio, y otra al 8 de bicarbonato de sodio, con un 3 % de agente estabilizador.

2) Sistema seco: se agregan en una corriente de agua los polvos secos de sulfato de aluminio, y bicarbonato de sodio, junto con el estabilizante.

Estas espumas químicas actualmente no están en uso.

**b) Espumas mecánicas o físicas,** se forman mediante el batido turbulento de una solución acuosa de líquido emulsor. Según su composición química, se clasifican en:

1) Espumígenos de base proteica: contienen por lo general polipéptidos de alto peso molecular, obtenidos por hidrólisis de proteínas vegetales o animales (desechos de mataderos) y estabilizantes que le dan consistencia y adherencia. Se generan así espumas de baja expansión (seis veces; 1 en 6). Actualmente están prácticamente en desuso.

2) Espumígenos sintéticos Se forman a base de detergentes con gran capacidad de formación de espuma y se forman así espumas de muy alta expansión (1 en 75; 1 en 500 y 1 en 100). Como son sumamente livianas sólo son aptas para inundar recintos cerrados donde el viento y la lluvia no tengan incidencia. Su ventaja principal es que son respirables, por la gran cantidad de aire que contienen las burbujas.

**c) Espumas especiales:** El Agua Ligera (AFFF, Aquous Film Forming Foam) es un agente desarrollado en base a elementos humectantes del fluoro carbono, Es un líquido formador de espuma que se puede usar tanto con agua dulce como con agua de mar y resulta muy eficaz para combatir fuegos clase B, originados por líquidos combustibles. Así mismo proporciona ventajas en la extinción de fuegos clase A, dado que mejora las propiedades humectantes y penetrantes del agua.

La relación de expansión de los agentes AFFF varía entre 1 en 6 y 1 en 10. La acción de este tipo de espuma se debe a la acción de los siguientes efectos:

1) Parte del calor generado es reflejado por la superficie de espuma de cubre el líquido combustible, evitando así la evaporación.

2) La estructura "celular" de la espuma retarda la transmisión del calor

3) El calor absorbido por la espuma es eliminado por la evaporación del agua que ella contiene, por lo cual la espuma se va destruyendo.

**Las espumas en general tienen las siguientes limitaciones.** Se debe tener en cuenta que no son muy efectivas en incendios de aceites calientes y no son aptas para gases licuados o sustancias que se encuentran a temperaturas equivalentes al punto de ebullición del agua. Tampoco se las puede utilizar en sistemas energizados eléctricamente o con sustancias que reaccionan químicamente con el agua. Ciertos agentes humectantes no son compatibles con algunas espumas y generalmente las espumas de tipo alcohólico requieren ser aplicadas únicamente sobre este tipo de combustible. En el caso de espumas mecánicas de base proteica, el mayor inconveniente está dado en el envejecimiento del agente espumígeno.

## **Polvos**

**1) Polvos Químicos:** Estos polvos son extintores compuestos por carbonatos, fosfatos o sulfatos, cuyas bases fundamentalmente son sodio o potasio. Además suelen contener una elevada cantidad de aditivos en su composición a efectos de protegerlos de la humedad y darles determinadas características de fluidez. Por lo general son estables a temperaturas normales o relativamente bajas, no debiendo exponerse a temperaturas superiores a 60°C pues comienza su descomposición. Presentan las características de ser agentes de baja toxicidad y elevado poder extintor, pero dificultan la respiración y la visión en el ambiente en que se descargan y tienen una limitación importante en equipos delicados pues son agentes extintores sucios (poseen además acción abrasiva). Generalmente son impulsados por medio de un gas inerte, nitrógeno, aunque algunas veces se utiliza el CO<sub>2</sub>.

Sus propiedades extintoras son las siguientes:

*Acción sofocante:* El CO<sub>2</sub> y el vapor de agua que se desprenden en la descomposición de los polvos por acción del calor le confieren las características de un agente sofocante pero en muy baja escala.

*Acción refrigerante:* El efecto refrigerante de los polvos químicos es de fundamental importancia en cuanto a su poder extintor.

*Acción sobre las especies activas:* (captura de radicales libres y acción inhibitoria sobre los iones presentes en el frente de la llama). El marcado poder extintor se debe a su acción sobre las especies activas, produciendo la interrupción de las reacciones en cadena con la consiguiente extinción de las llamas (inclusive autónomas o premezcladas) y su extinción es esencialmente química, ocupando la acción física un plano secundario

Los polvos químicos secos se utilizan especialmente en incendios de líquidos inflamables, gases combustibles, y, en algunos casos, combustibles sólidos (la aplicación de polvos secos debe acompañarse con algún sistema de enfriamiento para impedir la reignición).

No se recomienda su uso en equipos eléctricos delicados, sistemas de computadoras, etc. Por otra parte, la mayoría de los polvos químicos secos no producen una atmósfera inerte sobre los líquidos inflamables (salvo por el CO<sub>2</sub> que se utiliza para su impulsión), Deben cuidarse las brasas, para que no se produzca la reignición. No son compatibles con la espuma mecánica.

2) **Polvos secos:** son utilizados para combatir fuegos Clase D (metales) y no resultan aptos para líquidos combustibles. Tienen una acción específica sobre determinados metales en combustión, para los cuales han sido elaborados.

## **Halones**

Los agentes extintores halogenados (Halones) son hidrocarburos simples, entre los que podemos mencionar el tri-fluor-bromo-metano, más conocido comúnmente como halon 1301, CF<sub>3</sub>Br, Al igual que los polvos químicos, actúa sobre las especies activas, presenta la ventaja de ser un agente extintor potente y limpio (no deja residuos), lo cual se contrapone con una gran limitación, que es la toxicidad de los halones. Es por eso, que por lo general, se utiliza para la inundación de recintos cerrados o centros de cómputos, sin personas, o luego de su evacuación. En Muchos casos, si su concentración en el aire es muy pequeña, se los puede utilizar en ambientes abiertos.

Estos agentes se denominan mediante una nomenclatura numérica, Halón ABCD, donde:

A: número de Carbonos del hidrocarburo base.

B: número de átomos de Flúor.

C: número de átomos de Cloro.

D: número de átomos de Bromo.

Así, por ejemplo:

HALON 1301 Tri-fluor-bromo- metano CF<sub>3</sub>Br  
HALON 1011 Cloro-bromo-metano H<sub>2</sub>CClBr  
HALON 1211 Bromo-cloro-difluor- metano CBrClF<sub>2</sub>  
HALON 1001 Bromuro de metilo H<sub>3</sub>CB

Actualmente se han prohibido por su efecto en la capa de ozono.

### **Selección de gentes extintores**

Se indican una serie de casos de incendios y el agente extintor más recomendable para cada uno de ellos:

Fuego autónomo: se pueden emplear polvos químicos o halones.

Incendio en una central telefónica o centro de cómputos: se emplean halones permitidos.

Incendio de un tanque de petróleo: se emplean espumas, especialmente un agente AFFF.

Incendio de Mg: en este caso, pueden utilizarse polvos secos.

Incendio de un edificio de departamentos: generalmente se emplea agua.

Incendio de aviación: polvos químicos y espuma.

### **Potencial extintor de los distintos agentes**

Es la unidad que expresa con un número y una letra la capacidad o la aptitud del conjunto matafuego -sustancia extintora, para extinguir determinados tipos de incendios. Las letras A, B y C, que acompañan a los números, indican las clases de fuegos para las que el extinguidor ha sido clasificado; el número, indica el potencia; extintor de dicho extinguidor. Así, por ejemplo:

2A - 2B: indica que posee dos unidades extintoras para fuegos clase A y dos para fuegos clase B.

4BC : indica que posee cuatro unidades extintoras para fuegos clase B, y cuatro para fuegos clase C.

Es importante destacar que el valor del potencial extintor depende de varios factores, a saber: la naturaleza y propiedades del agente extintor. capacidad del equipo extintor. caudal de descarga. alcance de la descarga horizontal en metros.

Para determinar el potencial extintor deben hacerse ensayos en laboratorios especializados. Dichos ensayos son específicos para cada tipo de fuego (A, B y C).

## **6.6 Matafuegos**

Un matafuego es un recipiente, en presión o que será presurizado en el momento de la actuación, conteniendo un agente extintor, el cual será proyectado sobre el fuego en el momento de su uso. Puede verse una tabla para su selección.

PAUTAS PARA ELEGIR EL MATAFUEGOS ADECUADO		TIPOS DE MATAFUEGOS				
		 A	 AB	 ABC	 BC	 ABC
		AGUA	ESPUMA	POLVO ABC	DIOXIDO DE CARBONO	HALON
CLASES DE FUEGOS	 MADERA PAPEL CARTON PASTO TELA TRAPOS	<b>SI</b> MUY EFICIENTE	<b>RE</b> RELATIVAMENTE EFICIENTE	<b>SI</b> MUY EFICIENTE	<b>PE</b> POCO EFICIENTE	<b>SI</b> MUY EFICIENTE
	<b>SOLIDOS</b>					
	 NAFTA ACEITE PINTURAS KEROSENE HIDROCARBUROS y otros líquidos inflamables	<b>NO</b> NO DEBE USARSE	<b>SI</b> MUY EFICIENTE	<b>SI</b> MUY EFICIENTE	<b>SI</b> MUY EFICIENTE	<b>SI</b> MUY EFICIENTE
<b>LIQUIDOS INFLAMABLES</b>						
 MOTORES TABLEROS ELECTRICOS TRANSFORMADORES y otros equipos eléctricos	<b>NO</b> NO DEBE USARSE	<b>NO</b> NO DEBE USARSE	<b>E</b> EFICIENTE	<b>SI</b> MUY EFICIENTE	<b>SI</b> MUY EFICIENTE	
<b>ENERGIA ELECTRICA</b>						

Las autoridades con incumbencia han establecido normas a cumplir por los fabricantes y recargadores de matafuegos. Pueden verse en forma gráfica los requerimientos de la Secretaría de Política Ambiental de la Pcia. de Buenos Aires.



PROVINCIA DE BUENOS AIRES  
PODER EJECUTIVO

**INSTRUCTIVO PARA FABRICANTES Y USUARIOS DE EXTINTORES**

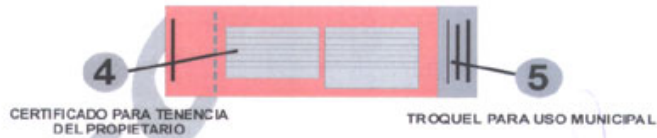
**DPS UNICO SELLO DE CALIDAD, OBLIGATORIO**

PROCEDIMIENTO PARA LA  
VERIFICACION DE IDENTIFICACIONES LEGALES

**EVITE SANCIONES**



CERTIFICADO DE FABRACION



AREA MATAFUEGOS Y CILINDROS  
DIRECCION PROVINCIAL DE CONTROL AMBIENTAL Y SANEAMIENTO URBANO  
SECRETARIA DE POLITICA AMBIENTAL

Téc. CARLOS ALBERTO BERSI  
A/C. Matafuegos y Cilindros

Dr. JORGE PABLO DAVIDIA  
Buenos Aires, Provincia de Control Ambiental  
y Saneamiento Urbano  
Secretaría de Política Ambiental



PROVINCIA DE BUENOS AIRES  
PODER EJECUTIVO

**INSTRUCTIVO PARA RECARGADORES Y USUARIOS DE EXTINTORES**

**DPS UNICO SELLO DE CALIDAD, OBLIGATORIO**

**PROCEDIMIENTO PARA LA VERIFICACION DE IDENTIFICACIONES LEGALES**

**EVITE SANCIONES**



**TARJETA DE RECARGA**



AREA MATAFUEGOS Y CILINDROS  
DIRECCION PROVINCIAL DE CONTROL AMBIENTAL Y SANEAMIENTO URBANO  
SECRETARIA DE POLITICA AMBIENTAL

Tt. CARLOS ALBERTO BERSI  
A/C. Matafuegos y Cilindros

Dr. JORGE PABLO CHIVIDIA  
Director Provincial de Control Ambiental  
y Saneamiento Urbano  
Secretaría de Política Ambiental

## 6.7 Bibliografía

- (1) Sax -Properties of Industrial Materials - Ed. Van Nostrand
- (2) Schieler -Hazardous Materials- Ed. Van Nostrand
- (3) N, F. P. A. -Manual de Protección contra Incendio - Ed. MAPFRE
- (4) Quadri, Néstor – Protección de Edificios contra Incendio – Libería y editorial Alsina – ISBN 950-553-040-4
- (5) Normas NFPA (Ver últimas ediciones)
- (6) Society of FIRE Protection Engineers –“FIRE Protection Engineering”- ISBN 0-87765-353-4
- (7) National Foam – Engineering Manual (bibliografía de empresa)
- (8) Ernesto Lazzarotto – Il pericolo Incendio – CSAO- Torino (1986)

## Poderes Caloríficos Inferiores

<b>Material</b>	<b>Poder Calorífico Inferior [kcal/kg]</b>
<b>MADERAS</b>	
Pino	4489-4678
Maderas Blandas Resinosas	4628
<b>DERIVADOS del PETROLEO</b>	
Petróleo crudo	10366-10950
Nafta	10000-11400
Kerosene	10950-11050
Gas Oil	10700- 108787
Asfalto	8411
Parafina	9978-11172
Fuel Oil N <sup>a</sup> 1	11000
Fuel Oil N <sup>a</sup> 2	10170
<b>CARBONES</b>	
Antracita	6955-7683
Semiantracita	7389-7433
Semi-Bituminoso	7617-8228
Bituminoso	4828-6189
Lignito	3228-5800
Hulla	7200-7600
Gas de Carbón	6028-8333
Coke	6494-7117
Carbón Vegetal	7178
Turba seca	3500
<b>ACEITES VEGETALES Y ANIMALES</b>	
Algodón	9400
Linaza	9367
Maíz	9411
Oliva	9455
Nabo	9489
Maní	9411
Ricino	8861
Hígado	9433
Tiburón	9450
Ballena	9472
<b>GRASAS</b>	
Animal	9500
Manteca	9317-9371
De cerdo <sup>o</sup>	9505-9655
Acido Esteárico	9372
<b>COMPUESTOS QUIMICOS</b>	
Poli-isopreno sin vulcanizar	10800
Poli-isopreno vulcanizado	10600
Acrilico	6375
PVC	4290
Fenol formaldehído	4290
Nylon	7390
Policarbonato	7400
Poliester4985	4985
Polietileno (baja dens.)	11130
Poliestireno	9923

Teflón	1000
Polietileno (alta dens.)	11145

## **CAPITULO 7**

### **Seguridad Eléctrica**

#### **7.1 El riesgo eléctrico**

##### **Introducción**

Los riesgos de origen eléctrico están ampliamente difundidos en nuestra sociedad. En épocas anteriores, los únicos casos de electrocución provenían de la acción de los rayos. Actualmente, la situación es muy distinta: muchos de los accidentes eléctricos suceden en el hogar. Esta circunstancia hace importante el estudio de la seguridad eléctrica.

Las principales fuentes de riesgos eléctricos son las siguientes:

- a. Redes de distribución, sean generales o domiciliarias.
- b. Redes de alta tensión.
- c. Los sistemas de autogeneración, normales o de emergencia.
- d. Las baterías de acumuladores.
- e. Las baterías de condensadores.
- f. Las descargas atmosféricas,
- g. La energía electrostática.

La energía generada en las centrales eléctricas se distribuye en sistemas de alta tensión (valores mayores a 33 kv). Las redes de distribución generales son de media tensión (generalmente de 13,2 kv), y la distribución domiciliaria se hace en baja tensión (380/220 v).

Los sistemas de autogeneración, pueden ser industriales, asistenciales o comerciales, y su uso está previsto para situaciones de emergencia, Deben tomarse precauciones, sobre todo entre el personal de mantenimiento que puede llegar a intervenir en una interrupción del suministro eléctrico y que puede ser sorprendido por la entrada automática de los equipos de autogeneración.

Las baterías de acumuladores, presentan un doble riesgo, uno proveniente de la generación de gases, y otro eléctrico propiamente dicho. Considerando que, salvo aplicaciones especiales, las baterías no tienen más que 24 v, el peligro principal proviene de los gases que pueden crear atmósferas explosivas.

Los condensadores, se usan en los sistemas de potencia para compensar el cos  $\phi$  y en casi todos los circuitos electrónicos. Por lo tanto, el rango de energía que pueden almacenar estos dispositivos es muy amplio, y su descarga sobre el cuerpo humano puede producir desde efectos mortales hasta un simple cosquilleo.

Las descargas atmosféricas deben ser conducidas hacia tierra en condiciones de seguridad, por lo cual debe proveerse un camino adecuado que tendrá tres etapas:

- a. El punto de captación (generalmente el pararrayos).

- b, El conductor.
- c. La puesta a tierra.

El problema principal, reside en evaluar correctamente el alcance de captación del pararrayos, o sea, la delimitación de la zona protegida.

Un aspecto que ha de ser tomado en cuenta, es el riesgo de descargas atmosféricas en obras a campo abierto (camino de llanura), o cuando se presentan tormentas y hay personal en estructuras elevadas (torres de cualquier tipo).

La energía electrostática resulta de la fricción entre materiales aislantes (o no conductores). Como consecuencia de dicha fricción cierta cantidad de carga eléctrica pasa de un cuerpo a otro, perdiendo su equilibrio electrónico y como resultado se carga eléctricamente.

Estas cargas están asociadas a una diferencia de potencial que en ciertas condiciones pueden manifestarse como una chispa en aire. El riesgo eléctrico no es grave pero sí las explosiones o combustiones a las que puede dar origen.

En general, la carga estática se presenta en industrias o actividades donde el rozamiento de materiales aislantes es inevitable; por ejemplo en la elaboración de papel, en la fabricación de películas sintéticas (nylon). Es un riesgo que debe ser totalmente neutralizado durante el transvase de combustibles (con mangueras y conductos flexibles de goma mediante una adecuada puesta a tierra).

Las posibilidades de prevenir este riesgo consisten en humidificar el ambiente, ionizar el aire e Instalar sistemas de barrido con escobillas metálicas.

### **Conceptos, Unidades y Fórmulas**

La unidad de Carga eléctrica es coulumb Cb

$$Coulumb[Cb] = 6,29 \times 10^{18} \text{ electrones}$$

Si dos cuerpos cargados se conectan con un conductor habrá un flujo de electrones de uno a otro a través del conductor: este flujo es la corriente eléctrica.

Para medir la cantidad de corriente que circula por un conductor, o sea la intensidad de corriente se utilizale el ampere como unidad:

$$I[Ampere] = \frac{Q[Cb]}{t[s]}$$

Como no existen conductores perfectos se encuentra resistencia al paso de la corriente. La ley de Ohm dice que:

$$I[\text{Ampere}] = \frac{E[\text{Volt}]}{R[\text{Ohms}]}$$

Hay dos tipos de corriente: en la corriente Continua CC la corriente eléctrica va en un solo sentido, en cambio en la corriente alterna CA, no. En un generador de corriente alterna monofásico se tiene que:

$$e = Em.\text{sen}2\pi ft = Em.\text{sen}\omega t$$

$$i = Im.\text{sen}2\pi ft = Im.\text{sen}\omega t$$

Siendo  $Em$  e  $Im$  los máximos valores de corriente y voltaje  
 $f$  la frecuencia en ciclos por segundo  
 $\omega$  velocidad angular en radianes por segundo

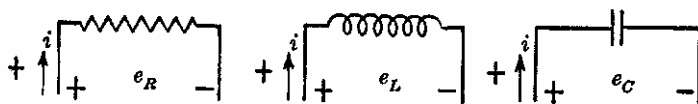
En la práctica no se trabaja con los valores máximos sino los valores efectivos que son

$$I = \frac{Im}{\sqrt{2}}$$

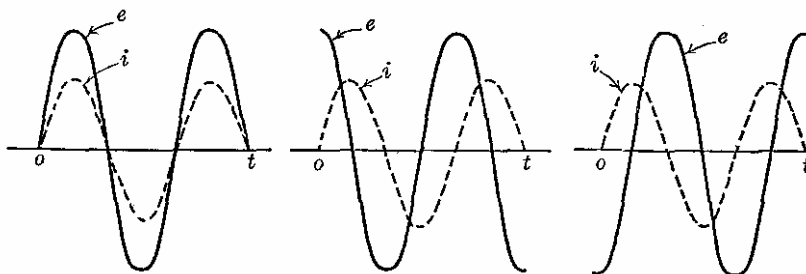
$$E = \frac{Em}{\sqrt{2}}$$

Asimismo, la intensidad y el voltaje no siempre están en fase, recordando la existencia de componente en los circuitos de tipo resistivo, inductivo y capacitivo.

$$e_R = iR \qquad e_L = L \frac{di}{dt} \qquad e_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int i dt$$



### Circuitos Reactivo, inductivo y Capacitivo



### Diferencia de fases en circuitos reactivos, inductivos y capacitivos

En un circuito resistivo se cumple que:

$$\frac{E_m}{I_m} = \frac{E}{I} = R[\text{ohms}]$$

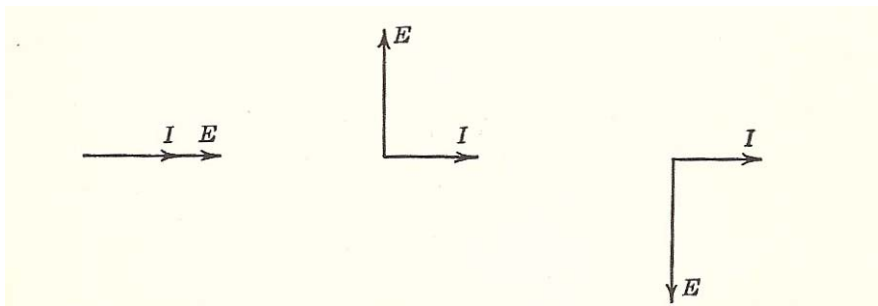
En un circuito inductivo se cumple que:

$$\frac{E_m}{I_m} = \frac{E}{I} = \omega L = 2\pi fL = X_L[\text{ohms}]$$

En un circuito capacitivo se cumple que:

$$\frac{E_m}{I_m} = \frac{E}{I} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} = X_c[\text{ohms}]$$

Los diagramas vectoriales mostrando los desfases entre el Voltaje efectivo E y la Intensidad efectiva I para circuitos resistivos, inductivos y capacitivos son los siguientes:



La impedancia es igual

$$\frac{E_m}{I_m} = \frac{E}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = Z[\text{ohms}]$$

Siendo R: resistencia  
( $X_L - X_C$ ): reactancia

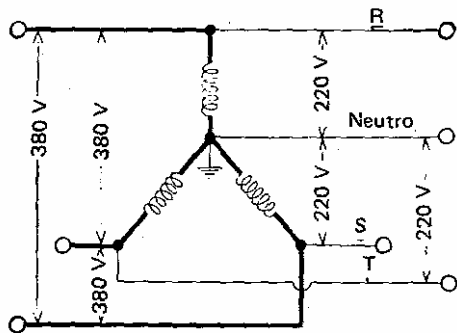
Resulta ahora que:

$$I[\text{Ampere}] = \frac{E[\text{Volt}]}{Z[\text{Ohms}]}$$

### Circuitos de Corriente Alterna Trifásica

Los circuitos con que se maneja la industria son de generación trifásica (generalmente en estrella. Se puede obtener en tase dos tipos de tensiones: a) la tensión de fase Ef (220 volts), cuando se conecta una fase (R, S o T con el neutro O) y b) Tensión de línea El conectando una fase con otra (380 volts).

Siendo  $EI = \sqrt{3}Ef$



## Potencia Eléctrica

En corriente continua, la potencia es

$$W = E \cdot I$$

Donde  $W$  [watts]

En un circuito de CA hay una reducción de la potencia por efecto de la reactancia del circuito, además de la resistencia

En un circuito sin reactancia el factor de potencia  $\cos\phi = 1$  y en un circuito sin resistencia, con toda reactancia, el  $\cos\phi = 0$ .

Entonces en un circuito monofásico la potencia es:

$$W = E \cdot I \cdot \cos\phi$$

Y en un circuito trifásico la potencia es:

$$W = \sqrt{3} E \cdot I \cdot \cos\phi$$

## Transformadores

La distribución de energía eléctrica se realiza a tensiones elevadas dado que las secciones de los conductores requeridas son más grandes cuanto mayor es la tensión. La corriente alterna puede cambiar su tensión o voltaje con transformadores.

En un transformador se cumple que;

$$E_s = E_p \cdot \frac{N_s}{N_p} \eta$$

Dónde:

Es: Tensión en secundario (volts)  
Ep: Tensión en primario (volts)  
Ns: Número de espiras en secundario  
Np: Número de espiras en el primario  
 $\eta$ : Rendimiento del Transformador

Circuitos en serie y en paralelo

En los circuitos en serie la tensión va cayendo en las distintas componentes del circuito

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

En los circuitos en paralelo la tensión es constante y la intensidad es igual a la suma de las intensidades en los componentes

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

### **Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano.**

La corriente eléctrica, al atravesar el cuerpo humano, puede producir alteraciones o lesiones, tanto de carácter temporario o permanente.

Puede producir una acción directa sobre las células nerviosas (shock), alteraciones permanentes del sistema cardíaco (arritmias, lesiones del miocardio),

Los efectos más frecuentes son los siguientes:

- Tetanización.
- Paro respiratorio.,
- Fibrilación ventricular.
- Quemaduras.

### **Tetanización**

Un estímulo eléctrico puede hacer contraer un músculo que luego retorna al estado de reposo.

Si la frecuencia del estímulo sobrepasa un límite, se produce una contracción completa del músculo y permanece en ese estado hasta que cesan los estímulos.

Esto es lo que ocurre, en una escala más compleja, cuando una corriente eléctrica atraviesa el cuerpo humano

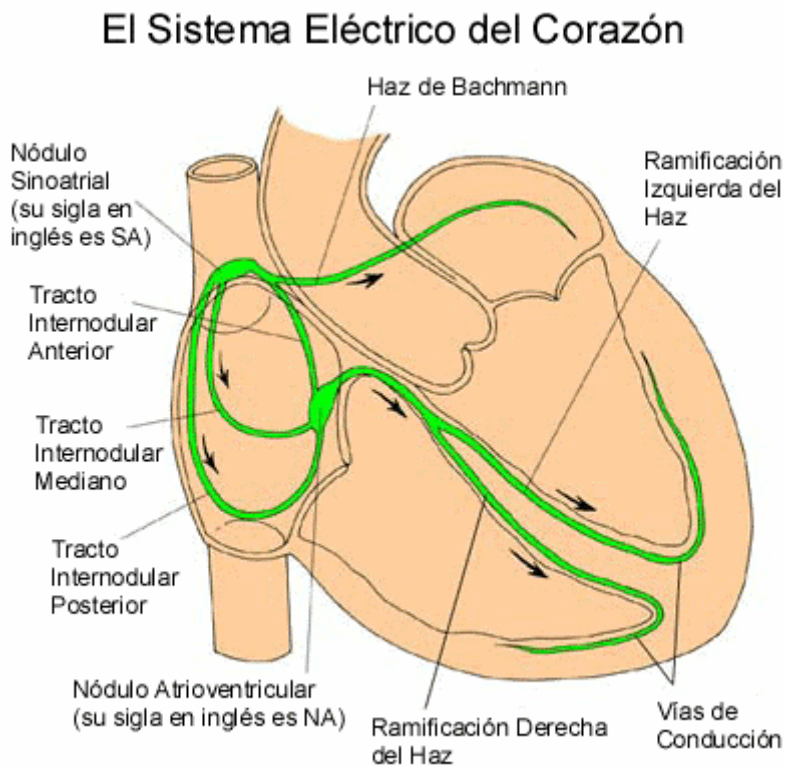
Se llama corriente de despegue, a aquella en la cual una persona se puede soltar de una parte en tensión.

### Paro respiratorio:

Corrientes superiores a la corriente de despegue producen dificultades en la respiración. El pasaje de la corriente determina una contracción de los músculos relacionados con la respiración o una parálisis de los centros nerviosos que actúan en la respiración. Esto puede llevar a la muerte.

### Fibrilación ventricular:

La contracción de las fibras musculares del corazón, se produce por impulsos eléctricos provenientes del nodo senoatrial que esta en la parte superior del atrio derecho del corazón (ver Fig. 1).



**Fig. 1**

El nodo senoatrial es un generador de pulsos que controla el corazón. La conducción de estos impulsos se realiza a través del fascículo de Hiss que los transmiten al músculo cardíaco.

Si a los impulsos eléctricos fisiológicos se les superpone una corriente eléctrica de origen externo, puede originarse un fenómeno llamado fibrilación ventricular, que consiste en la contracción no ordenada, es decir, caótica de las fibras musculares del corazón,

Es posible detener una fibrilación ventricular mediante una descarga eléctrica, esto se hace con un aparato denominado desfibrilador. El equipo consiste en dos electrodos que se aplican en la región cardíaca mediante la descarga de un condensador.

### Electrocardiograma:

Pueden determinarse los potenciales eléctricos de las distintas fases del ciclo cardíaco (ver Fig. 2).

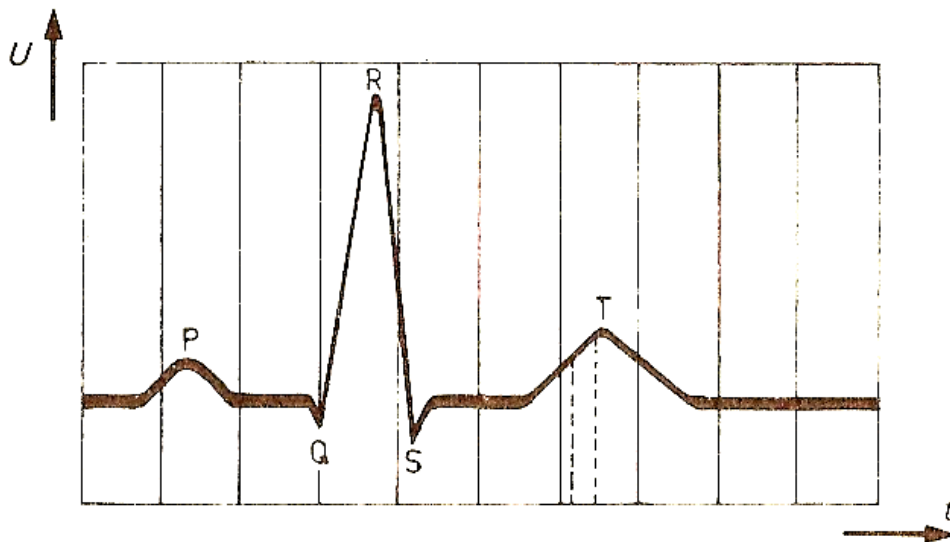


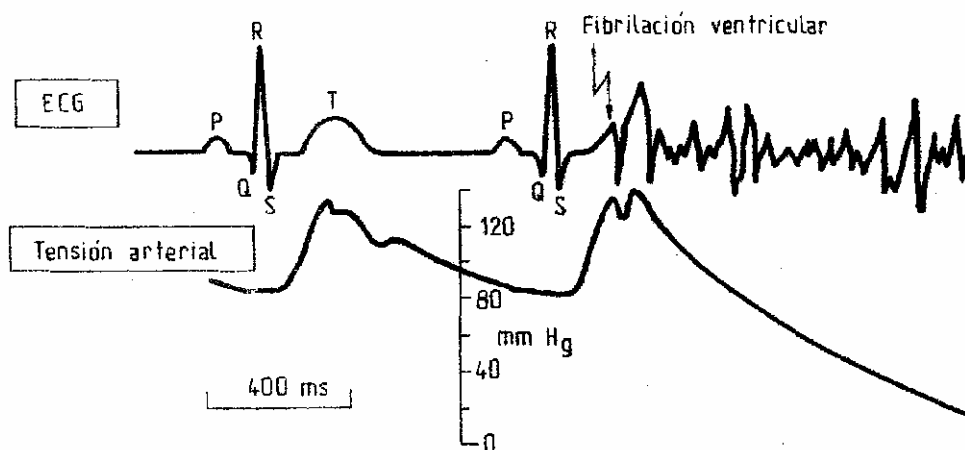
Fig. 2

Puede verse que hay tres tipos de onda, a saber: P, QRS y T.

Al comienzo del ciclo, la onda P marca la iniciación del sístole auricular, la onda QRS, marca el comienzo del sístole ventricular, y al final la onda T, indica la terminación de dicho sístole, En resumen, la onda P corresponde al latido auricular y las ondas QRS y T a los ventrículos.

Existe un período de tiempo, llamado período vulnerable, que cae en correspondencia con la onda T (Es un 20% del ciclo total de aproximadamente 1 segundo, o sea 200 MS.).

Por eso el riesgo de fibrilación aumenta, si la corriente pasa por el corazón, y con la duración del contacto. Al respecto, puede verse en Fig. 3, la forma de un electrocardiograma cuando se desencadena una fibrilación ventricular.



**Fig. 3 Electrocardiograma vs Tensión Arterial**

### Quemaduras:

El pasaje de una corriente eléctrica por una resistencia produce calor por efecto Joule, lo mismo ocurre al pasar una corriente eléctrica por el cuerpo humano, siendo

$$Q = I^2 R t$$

### Límites de peligrosidad de la corriente eléctrica.

En la Fig. 4 se indican las cuatro zonas de peligrosidad establecidas por la I.E.C. (International Electrotechnical Commission) que resumen los efectos de la corriente alterna que pasa a través del cuerpo humano en función del tiempo de contacto.

En la zona 1: ningún efecto, hasta el umbral de percepción.

En la zona 2: ningún efecto fisiológico peligroso, hasta el umbral de colonización.

En la zona 3: pueden verificarse efectos patológicos reversibles, que aumentan con la intensidad de la corriente y con el tiempo (contracciones musculares, dificultades respiratorias, aumento de la presión sanguínea, perturbación cardíaca, etc.),

En la zona 4: probable fibrilación ventricular, paro cardíaco, paro respiratorio, quemaduras.

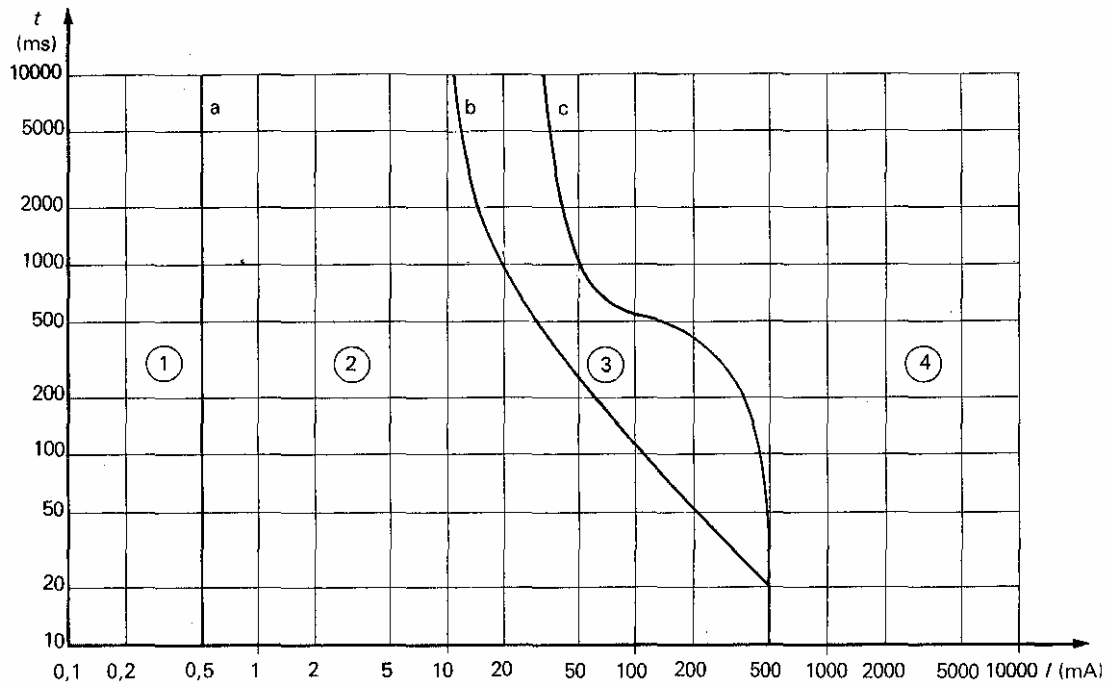
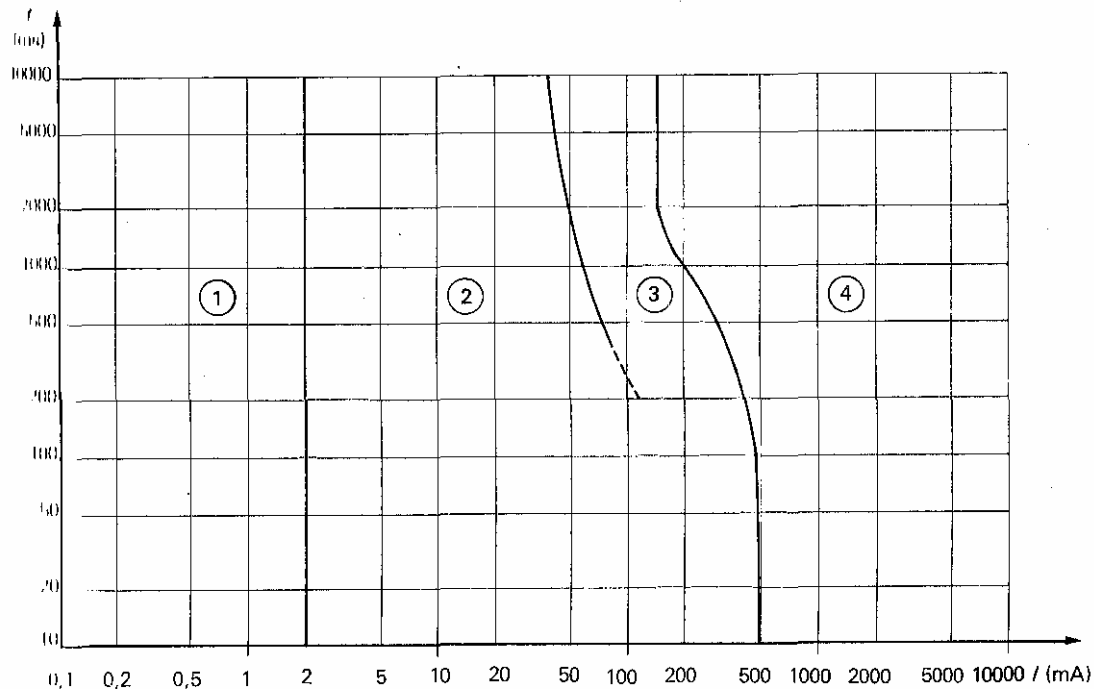


Fig. 4

En la Fig. 5. se indican las cuatro zonas correspondientes a la corriente continua.



**Fig. 5**

En la zona 1: debajo del umbral de percepción.

En la zona 2: ningún efecto fisiológico peligroso.

En la zona 3: posibles contracciones musculares. Perturbaciones cardíacas reversibles.

En la zona 4: probable fibrilación ventricular, quemaduras.

### **Corriente de alta frecuencia.**

La peligrosidad de la corriente, disminuye con el aumento de la frecuencia.

La tendencia de la corriente de alta frecuencia, es a pasar por la superficie del cuerpo (efecto piel), interesando solo la piel y no los órganos vitales, lo cual contribuye a su menor peligrosidad.

Las frecuencias de 50/60 Hz, actualmente en uso a nivel mundial, son las más peligrosas.

### **Corrientes impulsivas.**

Son aquellas de duración inferior a 10 ms. En estas corrientes, la posibilidad de fibrilación ventricular depende de la trayectoria, la forma de la onda, el valor del pico, y el instante en que el impulso es aplicado en relación al ciclo cardíaco.

### **Importancia de la frecuencia y forma de la corriente en la determinación de su riesgo.**

La corriente continua CC es menos peligrosa que la corriente alternada de la misma intensidad.

En cuanto a la corriente alterna CA, el efecto depende de la frecuencia y se ha encontrado que la mayor sensibilidad existe a frecuencias de 40 - 60 Hz. Para una C.A.

de 50 Hz, es necesario una C.C. de intensidad 4 veces mayor para producir el mismo efecto.

Estos hechos se explican del siguiente modo: cuando una corriente originada por una diferencia de potencial constante pasa a través del cuerpo los iones positivos y negativos contenidos en la solución electrolítica de la rodeada por una membrana permeable, se ponen en movimiento. Los grupos de iones de cada signo, tienden a moverse hacia el electrodo de signo opuesto, de modo que aparece una acumulación de iones de cargas opuestas, con la consiguiente polarización de la membrana que actúa como la armadura de un condensador.

El resultado es que la diferencia de potencial será neutralizada por la caída de voltaje que existe en la zona de cada membrana celular, Esto, naturalmente, no ocurre con la CA.

La resistencia es también una función de la frecuencia de la corriente y es mayor para corriente continua que para corriente alterna.

En el caso de la corriente continua, la polarización se establece en un milésimo de segundo, por lo tanto la corriente continua que fluye por el cuerpo, no es la que existiría en ausencia de polarización, sino menor, es decir, el efecto de la polarización es incrementar la resistencia interna.

En C.A., la situación es diferente. Se tiene una polarización de las membranas, pero el voltaje varía con el tiempo, y por lo tanto varía la polarización.

En equilibrio, la polarización tiene una variación con el tiempo que es análoga a la diferencia de potencial aplicado, pero esta fuera de fase.

La suma de los dos voltajes de una corriente total que es mayor que en el caso en que la misma diferencia de potencial fuera constante en el tiempo.

Debe hacerse notar que una corriente continua produce cambios en los tejidos, sobre todo en los músculos, que son más serios que en C.A.. debido a la polarización. Esas alteraciones son menos serias que el resultado del accidente.

Con referencia a la forma de la corriente, se ha encontrado que a condiciones iguales, una corriente tiene mayor efecto fisiológico cuando más rápidamente varía. Por ejemplo, una onda cuadrada es más peligrosa que una sinusoidal.

### **Primeros auxilios.**

Debido al hecho que la cesación de las funciones cardíacas y respiratorias, se produce generalmente debido a alteraciones reversibles de los centros nerviosos, los accidentes pueden ser salvados por respiración artificial y/o masaje cardíaco externo.

Sería un grave error, como ocurre generalmente, transportar al accidentado al hospital, sin esta ayuda simultánea, porque durante el tiempo del traslado pueden producirse daños cerebrales irreversibles.

Además, debe asegurarse la apertura de las vías aéreas superiores, desobstruyéndose las, si hubiese obstrucciones debido a mucus, tierra, sangre, etc. Debe impedirse la caída hacia adentro de la lengua, sosteniéndola con los dedos. Se aplicará entonces, respiración boca a boca; si el accidentado no tuviera pulso, debe hacerse simultáneamente masaje cardíaco.

Debido a efectos de quemaduras, pueden producirse problemas de bloqueo renal. Asimismo, por efecto de la parálisis respiratoria, y el consiguiente aumento de nivel de CO<sub>2</sub> en sangre, se produce acidosis.

Se aconseja para ambos efectos, suministrar bicarbonato de sodio.

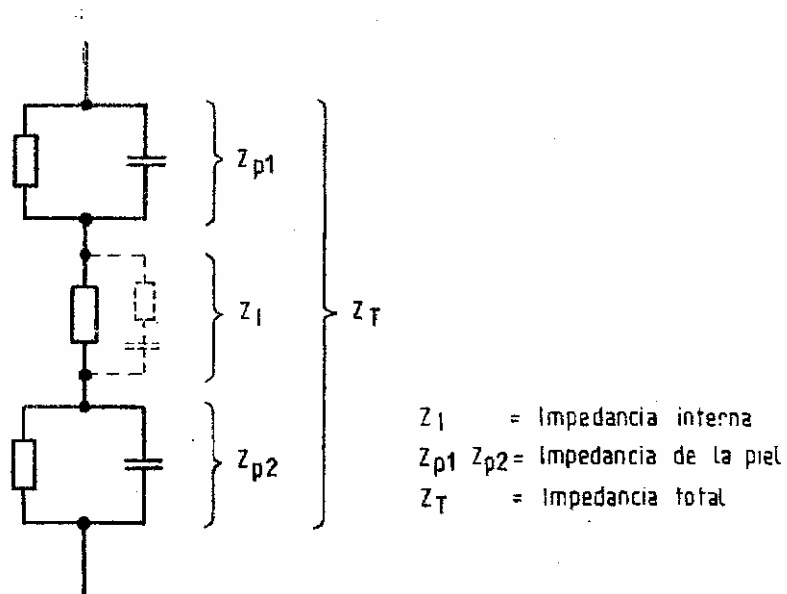
En la siguiente tabla se da la clasificación de las corrientes en relación con los efectos fisiológicos.

**Tabla 1 - Clasificación de las Corrientes por los efectos Fisiológicos**

<b>INTENSIDAD DE LA CORRIENTE</b>	<b>EFFECTOS FISIOLÓGICOS PRODUCIDOS</b>
Categoría I - hasta 0.1 mA	Sin sensaciones
Categoría II - de 0.1 - 6 mA	Sensación de shock. Contracciones musculares débiles arriba de 1.5 mA. El límite de posibilidad de desprendimiento para el 0,5% de las mujeres es de 6 mA
Categoría III - de 6-70 mA	Imposibilidad de auto desprendimiento. Ritmo cardíaco irregular, aumento de la presión cardíaca. Paro cardíaco reversible. (Tetanización muscular)
Categoría IV - de 70 mA - 3A	Fibrilación ventricular. Paro cardíaco prácticamente irreversible.
Categoría IV - de 70 mA - 3A	Sideración de los centros nerviosos. Aumento de la tensión arterial. Arritmia y paro cardíaco reversible por parálisis respiratoria. Quemaduras graves.

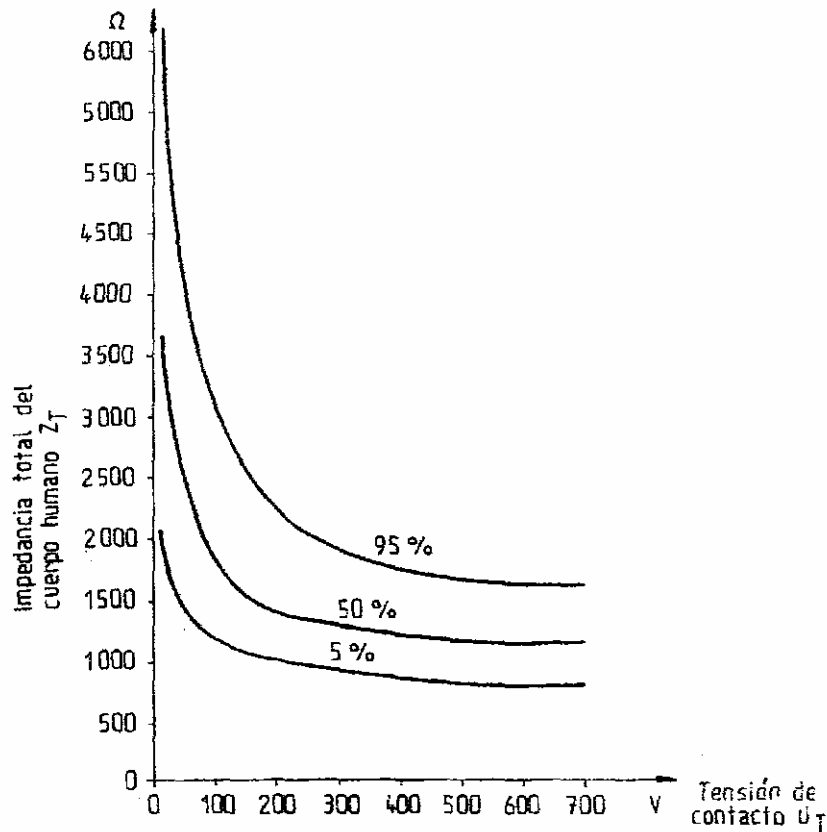
## Impedancia del cuerpo humano.

El cuerpo humano tiene una impedancia característica, igual a la impedancia de la piel, la impedancia interna y finalmente la impedancia de la piel a la salida. La impedancia interna es principalmente resistiva (ver Fig. 6 y 7)



**Fig. 6**

En la Fig. 7 puede verse la impedancia del cuerpo humano para el 5, 50 y 95 por ciento de una población en función de la tensión de contacto.



**Fig. 7**

La resistencia de la piel depende de varios factores, a saber:

- Estado de la piel; a mayor humedad, menor resistencia.
- Superficie de contacto; a mayor superficie, menor resistencia.
- Presión de contacto; a mayor presión, menor resistencia.
- Duración del contacto; a mayor duración, menor resistencia.
- Frecuencia de la corriente, a alta frecuencia la resistencia es menor
- Tensión de contacto, a mayor duración, menor resistencia.

### **Impedancia a tierra de una persona $Z_{TP}$**

Esta es igual a la impedancia del cuerpo de la persona  $Z_T$  mas la impedancia de esa persona a tierra  $Z_{TP}$ .

En la práctica se pueda trabajar en términos de resistencia a tierra de la persona, que es: Igual a la resistencia del cuerpo mas la resistencia a tierra de la persona.

$$R_{TP} = R_T + R_{TP}$$

La resistencia del terreno de algunos pavimentos, se da en la Tabla II

**Tabla II - Resistencia Media de Pavimentos**

PAVIMENTO	RESISTENCIA EN SECO kΩ	RESISTENCIA HUMEDO kΩ
Cerámica	400	60
Madera	1400	1000
Cemento	200	2
Mármol	600	300

### **Tensión total y tensión de contacto.**

Si la carcasa de un aparato está unida a un dispersor de resistencia  $R_T$ , y dispersa una corriente de defecto  $I$ , la carcasa asume la tensión total  $U_t = R_T I$ ,

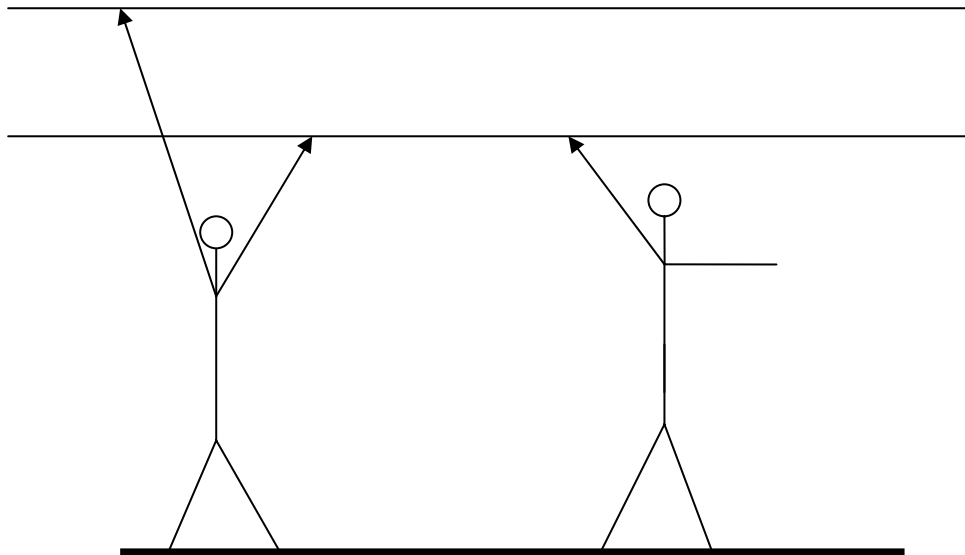
La tensión a la que está sometido el cuerpo humano que tocó ese aparato es  $U_c$  (tensión de contacto), que es una parte de la  $U_t$ , dado que la tensión se reparte entre resistencia del cuerpo y la resistencia de la persona hacia tierra..

### **Contactos directos e indirectos.**

Contactos directos:

Se denomina contacto directo, al caso en que la persona entra en contacto con una parte normalmente en tensión, Pueden ser:

- a. mediante contacto entre dos fases
- b. mediante contacto entre un conductor y tierra.

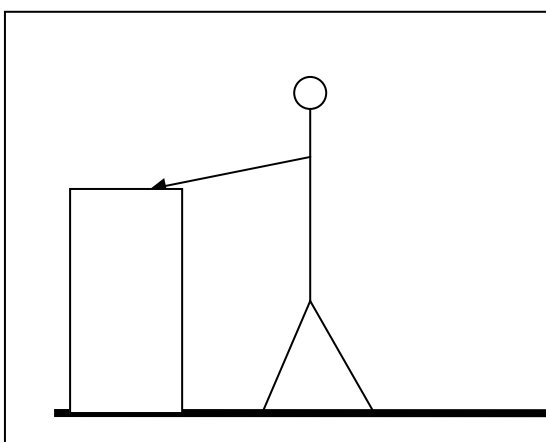


**Fig. 8**

**Contactos indirectos:**

Se denomina contacto indirecto, al caso en que la persona entra en contacto con una parte que normalmente no debería tener tensión

- a. por ejemplo la carcasa de un motor o equipo (Ver Fig. 8.a)
- b. cuando entra en contacto entre dos puntos a distinto potencial de un medio atravesado por la corriente eléctrica (tensión de paso), (ver Fig. 8.b).



**Fig. 8.a**

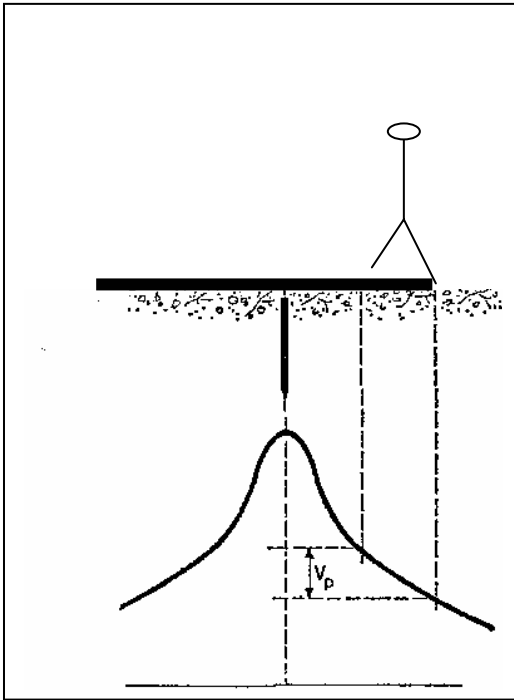


Fig. 8.b

**Descargas eléctricas:**

Se producen cuando la persona, antes de haber tocado una parte en tensión, supera la distancia de aislamiento entre el conductor y la tierra, provocando el paso de la corriente eléctrica.

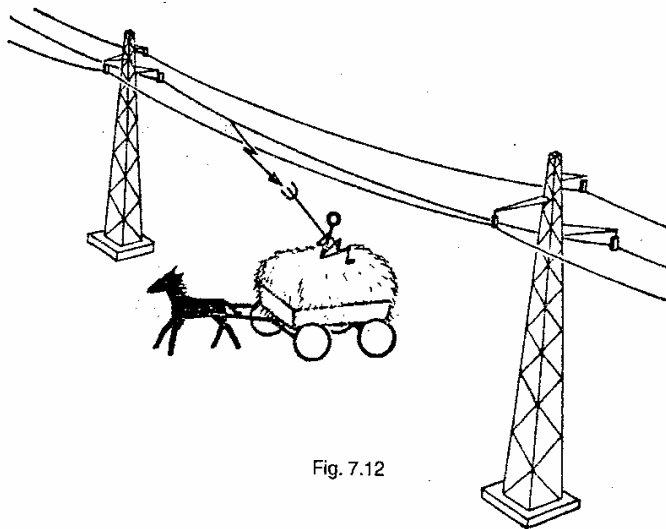


Fig. 7.12

Fig. 9

## 7.2 Sistemas eléctricos

### **Clasificación de los sistemas eléctricos en relación a la tensión.**

Por sistema eléctrico se entiende al conjunto de máquinas, equipos, barras y líneas que tienen una determinada tensión nominal.

La tensión nominal de un sistema es el valor de tensión al cual el sistema debe funcionar, y al cual son referidas sus características.

Un sistema eléctrico es individualizado también por la tensión normal a tierra. La tensión a tierra de un sistema eléctrico trifásico, depende del estado del neutro que puede ser aislado, puesto a tierra con impedancia, o colocado directamente a tierra.

Por tensión normal a tierra, se entiende:

- a. en sistemas trifásicos con neutro a tierra, la tensión en tierra correspondiente es la tensión normal.
- b. en sistemas monofásicos, o corriente continua, con punto de puesta a tierra, la mitad de la tensión nominal

En sistemas aislados de tierra, la tensión hacia tierra no tiene un valor definido, porque depende de la impedancia de aislamiento de las tres fases hacia tierra; si esas impedancias son iguales, la tensión a tierra es igual a la tensión de fase. Pero si una fase presenta un defecto a tierra, las otras dos fases asumen una tensión a tierra igual a la tensión. Esta es la situación más peligrosa.

Los sistemas eléctricos son clasificados por el IEC en función de su tensión nominal.

#### **Sistemas de categoría 0**

- Tensión 50V para corriente alterna
- Tensión 120v para corriente continua

#### **Sistemas de categoría I**

- Tensión 50 V 1000 V para corriente alterna
- Tensión 120 V 1500 Para corriente continua

#### **Sistemas de categoría II**

- Tensión 1000 V/ 30000 V para corriente alterna
- Tensión 1500 V/ 30000 V para corriente continua

#### **Sistemas de categoría III**

- Para tensión nominal mayor de 30000 V

En la Argentina, el Decreto 351 / 79, clasifica los niveles de tensión de la siguiente manera:

- a. Muy baja tensión (MBT), corresponde a las tensiones hasta 50 V en corriente continua o iguales valores eficaces entre fases en corriente alterna.
- b, Baja tensión (BT): correspondo a tensiones por encima de 50 V, y hasta 1000 V en corriente continua o iguales valores eficaces entre fases en corriente alterna.
- e, Media tensión (MT): corresponde a tensiones por sobre 1000 V, y hasta 33000 V. inclusive.
- d. Alta tensión (AT): corresponde a tensiones por sobre 33000 V.

### **Tensión de seguridad:**

En los ambientes secos y húmedos, se considerará como tensión de seguridad hasta 24 V respecto a tierra.

En los ambientes mojados o impregnados de líquidos conductores la misma será determinada. en cada caso, por el Jefe del Servicio de Higiene y Seguridad en el Trabajo de la empresa.

Otra clasificación muy usada en el país es la siguiente:

1 - MBT (muy baja tensión), es aquella en que la tensión entre conductores es inferior a 50 V en corriente continua o a 24 V eficaces entre conductores y neutro en corriente alternada (es decir, 42 V entre fases si es trifásica con neutro a tierra).

2- BT (baja tensión), es aquella en que la tensión entre los conductores es inferior a 1000 V en corriente continua o a 578 V eficaces entre conductores y tierra en corriente alternada (es decir, 1000 V entre fases si es trifásica con neutro a tierra).

3- MT (media tensión), es aquella en que la tensión entre los conductores es de hasta 33000 V entre conductores activos.

4- AT (alta tensión), es aquella en que la tensión entre los conductores es de más de 33000 V entre conductores activos. "

Todos los valores son nominales.

### **Clasificación de los sistemas eléctricos en relación con la puesta a tierra.**

Tipos de sistema de puesta a tierra

Se consideran los tipos de sistemas de puesta a tierra siguientes:

- sistemas TN
- sistemas TT
- sistemas IT

Las letras tienen los significados siguientes

Primera letra — Situación de la alimentación respecto a tierra.

**T:** conexión directa de un punto a tierra;

**I:** aislación de toda parte activa respecto de tierra, o un punto conectado a tierra a través de una impedancia.

Segunda letra — Situación de las masas de la instalación respecto a tierra.

**T:** masas conectadas a tierra directamente, con independencia de la puesta a tierra eventual de un punto de la alimentación;

**N:** masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesto a tierra (en corriente alterna, se trata normalmente del neutro).

Letras siguientes (si las hay) — Disposición de los conductores neutro y de protección.

**S:** las funciones de neutro y las de protección se cumplen por medio de dos conductores separados;

**C:** las funciones de neutro y las de protección se combinan en un solo conductor (conductor PEN).

### Sistemas TN.

Los sistemas TN tienen un punto de la alimentación directamente conectado a tierra y las masas de la instalación conectadas al conductor de protección. Hay tres tipos de sistemas TN, de acuerdo con la disposición de los conductores neutro y de protección. Ellos son los siguientes:

**Sistema TN—S.** El conductor de protección y el neutro están unidos entre sí y a tierra en la alimentación y separados en todo el resto del sistema,

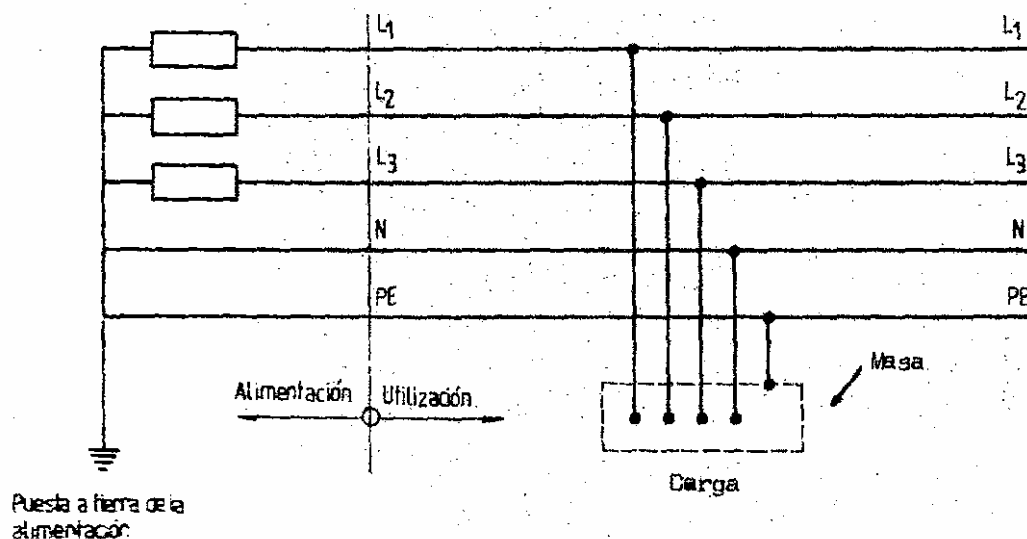


Fig. 10

### Sistema TN—C.

Las funciones de neutro y de protección se combinan en un solo conductor en todo el sistema, que está puesto a tierra en la alimentación (Fig. 11).

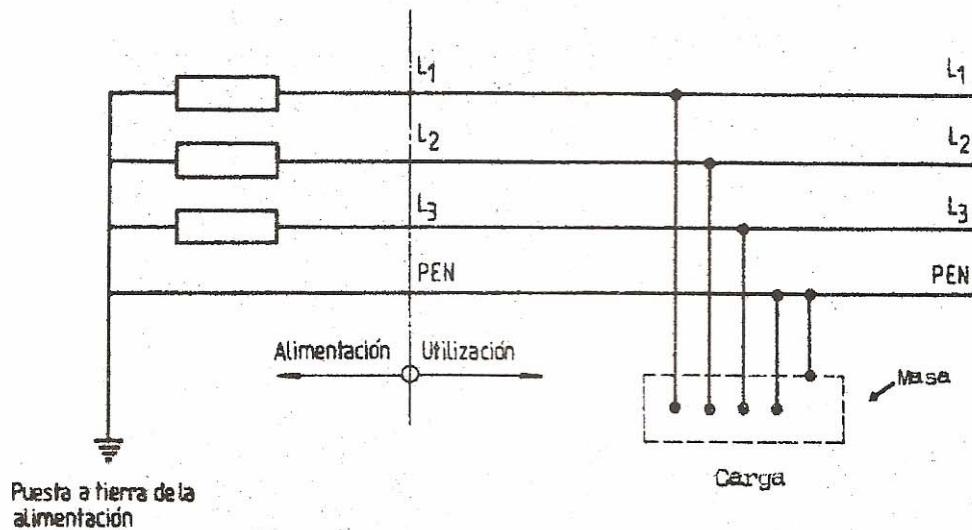


Fig. 11 Sistema TN-C

Sistema TN—C—S.

Las funciones de neutro y de protección se combinan en un solo conductor puesto a tierra en la alimentación (PEN), desdoblándose en neutro (N) y conductor de protección (PE) en algunas partes del sistema (Fig. 12).

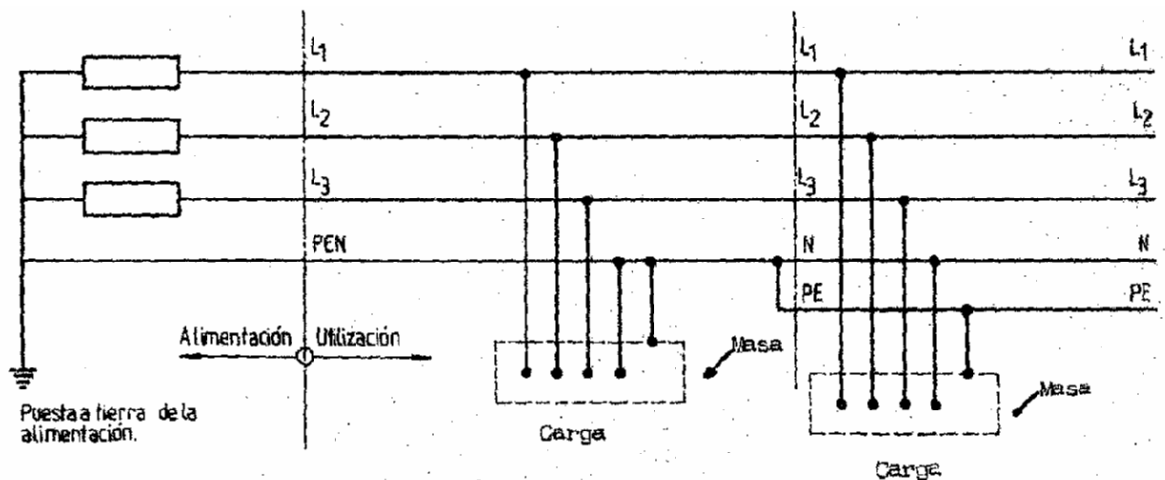


Fig. 12 – Sistema TN-C-S

Sistema TT

Un punto de la alimentación está a tierra, y las masas de la instalación a tierras independientes.

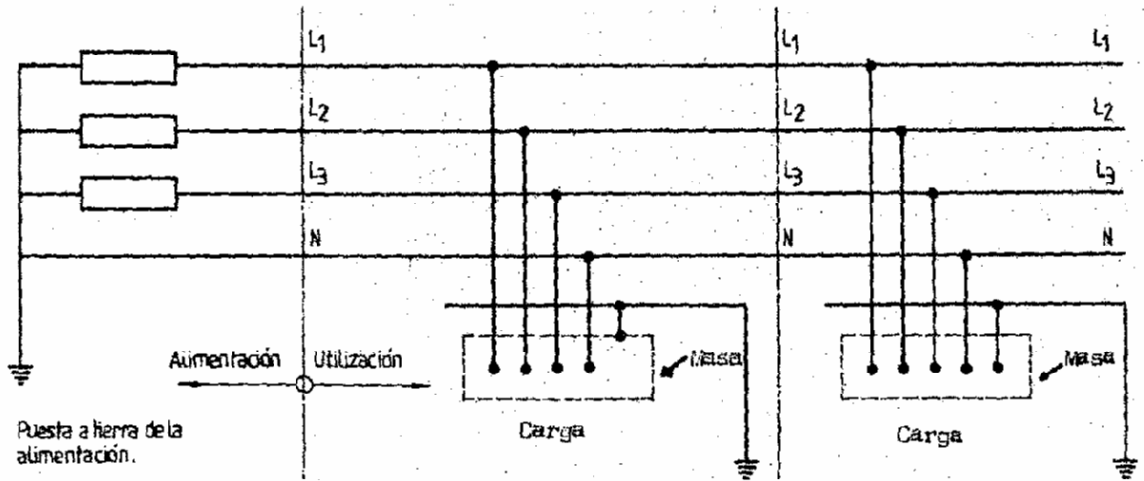


Fig 13 – Sistema TT

Sistema IT

La alimentación no está conectada a tierra directamente. Las masas de la instalación están conectadas a tierra (ver Fig. 14 y Fig.15).

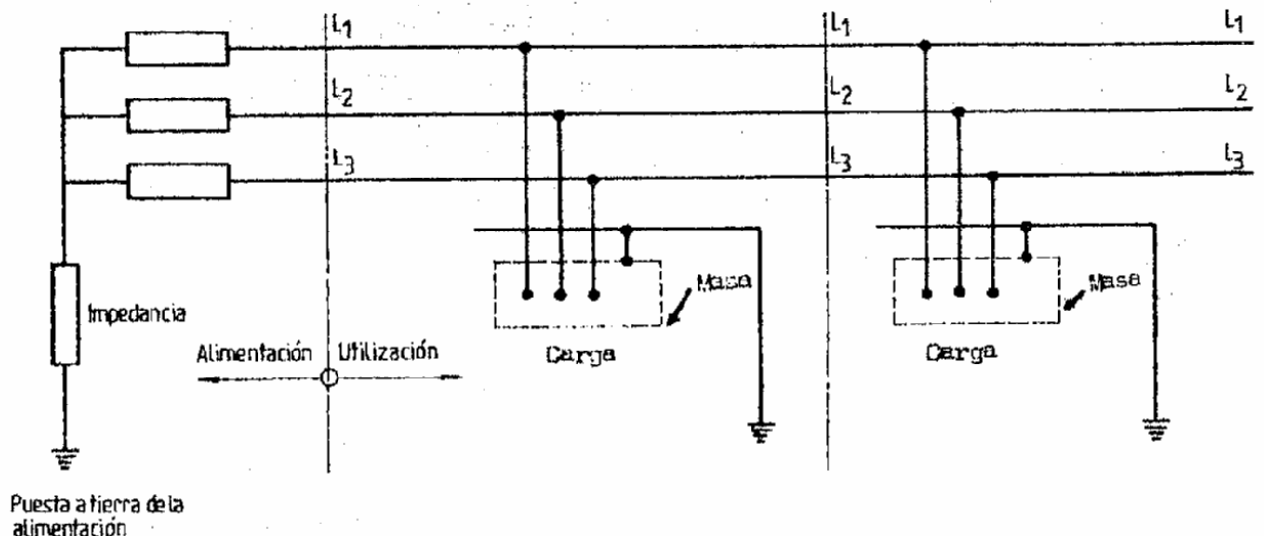


Fig.14 Sistema IT – Conexión Estrella

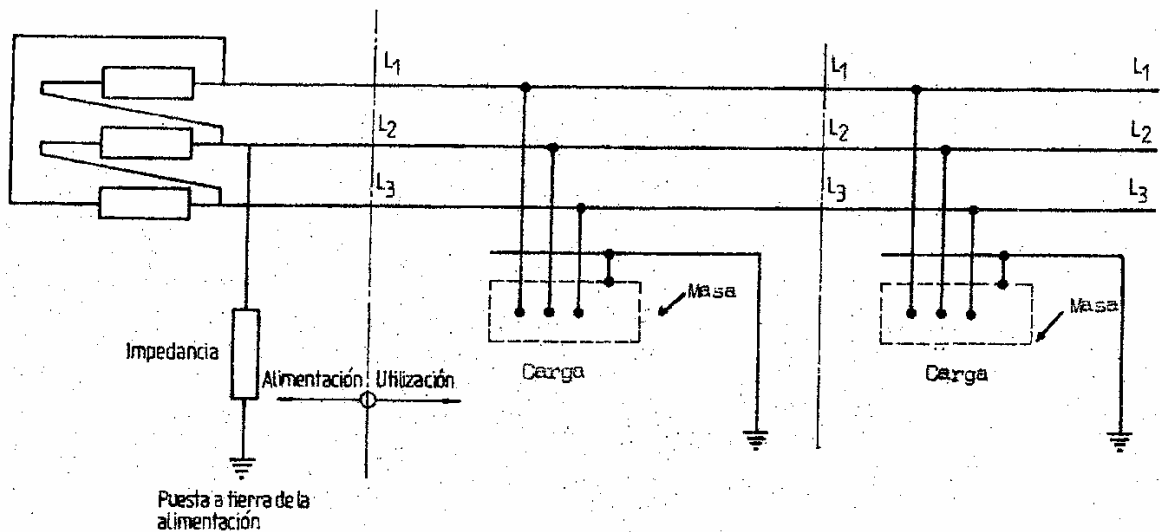


Fig. 15 Conexión Triángulo

### Sistemas de protección activos y pasivos.

Se distinguen dos sistemas de protección: la protección activa y la protección pasiva.

La protección activa, comprende a todos los sistemas que evitan la creación de tensiones superiores a límites ya determinados.

Se distinguen en la protección activa, la limitada, que protege contra contactos indirectos, y la integral, que protege contra contactos directos e indirectos.

La protección pasiva, comprende a aquellos sistemas que protegen de cualquier contacto con una parte en tensión.

<b>TIPO DE PROTECCION</b>	<b>PROTEGE CONTRA</b>
<b>Protección activa</b>	
<u>Protección limitada</u> a. puesta a tierra (directa o conductor de protección) b. puesta a neutro c. relé de tensión d. relé diferenciado de baja sensibilidad	contactos indirectos
<u>Protección integral</u> a. relé diferencial de alta sensibilidad b. reducción de tensión c. transformador de aislación	contactos directos contactos indirectos
<b>Protección pasiva</b> a. aumento de aislación (doble aislación) b. uso de pantallas y protecciones mecánicas c. instrumentos de uso fácil y seguro d. vestimenta y plataformas aislantes	contactos directos

### 7.3 Protección contra contactos indirectos

#### Generalidades

Todo aparato eléctrico tiene alguna aislación entre las partes activas, y entre éstas y la carcasa. Si esto no ocurriera, no podría funcionar. Esto se denomina aislamiento funcional. Asimismo, es necesario un aislamiento para la protección de las personas.

Se define como aislamiento principal, al aislamiento de las partes activas necesario para la protección contra la electrocución. (Fig. 16.a)

Para garantizar la seguridad de las personas, en caso de defecto del aislamiento principal, se puede añadir otro aislamiento, que se denomina aislamiento suplementario. (Fig. 16.b)

La suma del aislamiento principal y del aislamiento suplementario, se denomina doble aislación.

También en lugar de un aislamiento principal y un aislamiento suplementario se puede usar un aislamiento reforzado que tenga las mismas propiedades que el doble aislamiento (ver fig. 16.c).

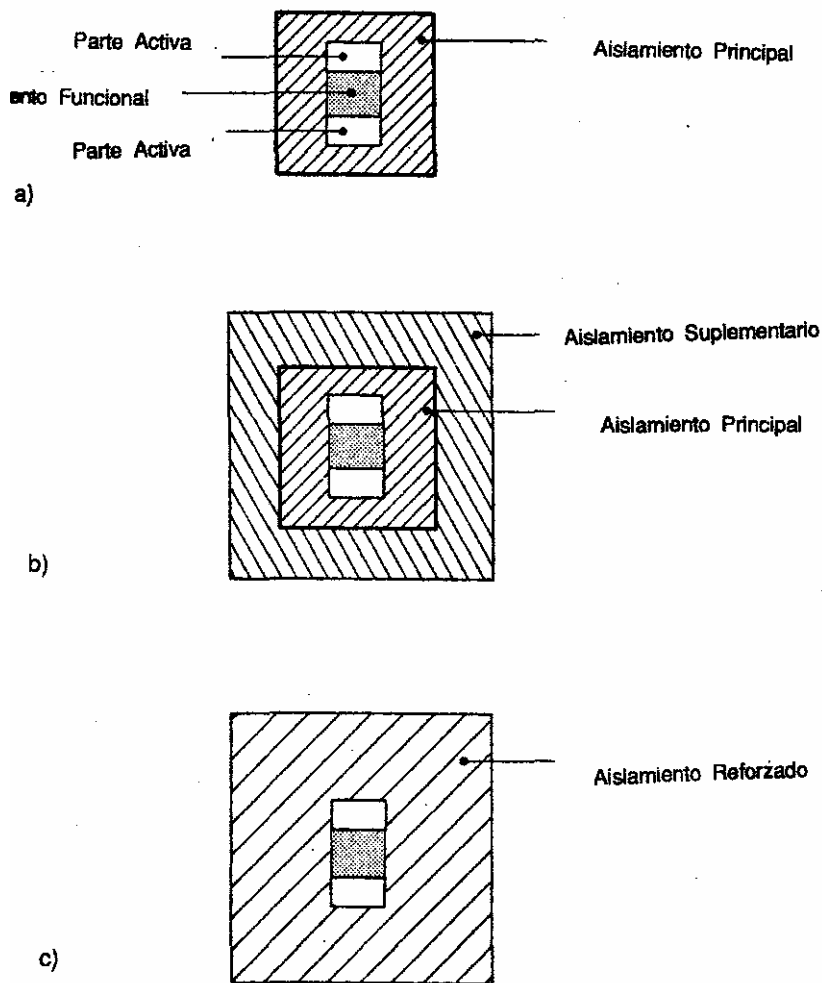


Fig. 16 a, b y c

En Seguridad Eléctrica existen protecciones activas y pasivas.

Para proveer una protección activa, debe interrumpirse automáticamente la corriente en el evento, mediante un dispositivo. Este dispositivo de interrupción automático, debe actuar en forma tanto más rápida cuanto mayor es la tensión sobre las masas, según la curva límite tensión - tiempo compatible con el cuerpo humano. La corriente que puede atravesar el cuerpo humano debe superar 30 mA en 30 ms para que actúe.

Las protecciones pasivas, no interrumpen el evento. Los tipos más comunes de protecciones pasivas son:

- a) Equipos con doble aislamiento o aislamiento reforzado.
- b) Equipos con baja tensión de seguridad.
- c) Locales aislantes: el aparato se usa en un ambiente aislado de tierra, por lo tanto la falta de la aislación principal no es peligrosa.
- d) Separación de circuitos: el aparato es alimentado por una fuente autónoma, o de la misma red de distribución, mediante un transformador de aislación.

### **Sistemas de protección activos.**

Los dispositivos de protección activa están constituidos por los interruptores automáticos, 1 fusibles y los interruptores diferenciales. Es necesario tratar los dos primeros para distinguirlos un protector diferencia].

### **Interruptores automáticos (termo magnéticos)**

Son una protección contra corrientes para proteger los conductores y los equipos eléctricos.

Estos están constituidos por:

- un relé térmico: que interviene en caso de sobrecarga.
- un relé electro-magnético: que interviene en casos de corrientes de cortocircuito.

Tienen curvas de intervención con características de tiempo de intervención e intensidad de corriente. No sirven para protección humana.

Fusible.

Las mismas consideraciones valen para los fusibles. Tienen por objeto proteger a las instalaciones eléctricas de sobrecargas y cortocircuitos



Fig. 17.

Puede verse en la figura un fusible cerámico.

### **Interruptores diferenciales.**

El funcionamiento del interruptor diferencial se basa en el principio de que en cualquier circuito eléctrico, la suma vectorial de las corrientes que fluyen a alimentar el aparato, son iguales en condiciones normales.



Fig.. 7.17 Protectores diferenciales trifásico y monofásico

de las corrientes que fluyen a alimentar el aparato, son iguales en condiciones normales.

Si se tiene un defecto a tierra, se establece una corriente de defecto, llamada corriente diferencial (que se dispersa a través de la puesta a tierra).

El dispositivo es sensible a la suma vectorial de las corrientes, e interviene sólo si es distinta de cero, es decir, si hay una corriente a tierra  $I_d$ .

Los flujos magnéticos formados en el toroide por las bobinas, formadas por los dos conductores, en caso de un circuito monofásico (ver fig. 7.18); o por los tres, en caso de un circuito trifásico sin neutro (ver fig. 7.19); o por los cuatro, en caso de un circuito trifásico con neutro (ver fig. 7.20), son iguales en tanto las corrientes sean iguales, y por lo tanto se anulan los flujos magnéticos.

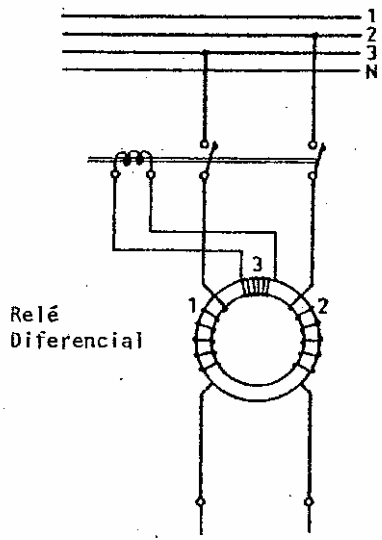


Fig. 7,18

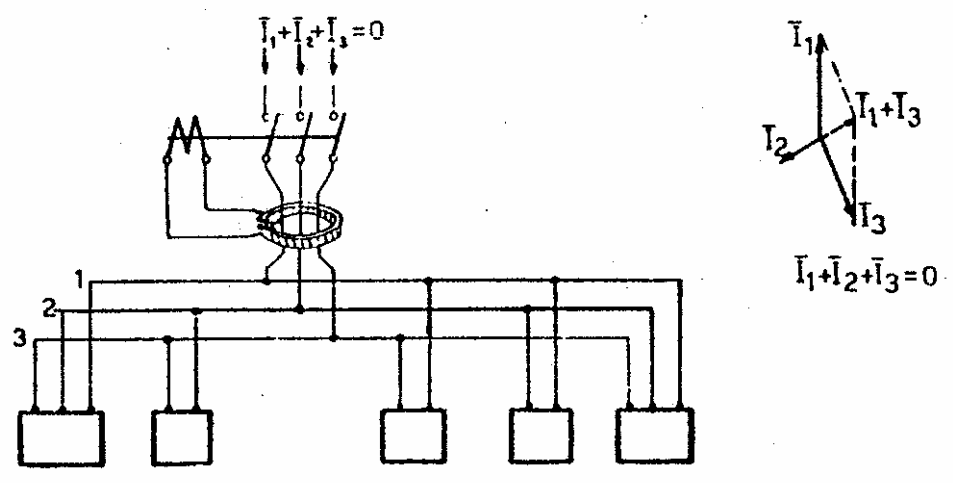


Fig. 7,19

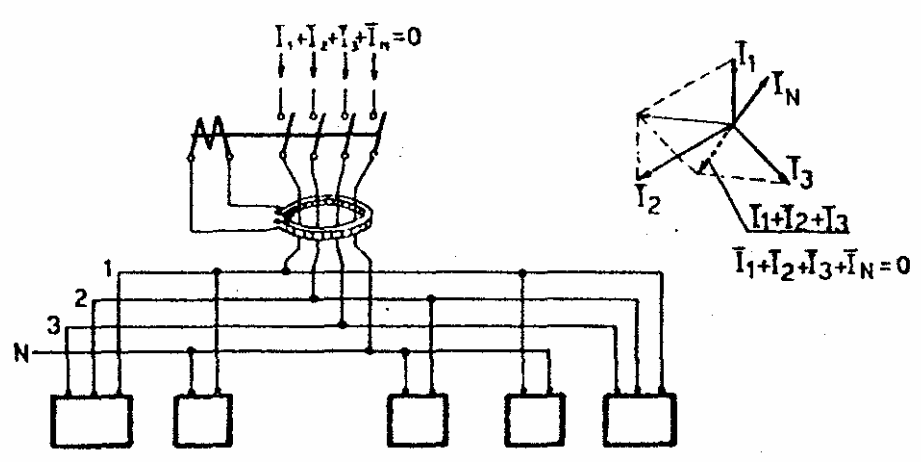


Fig. 7.20

En presencia de un defecto a tierra hay una corriente de dispersión por lo cual, las dos corrientes en los conductores no son iguales, y por lo tanto el flujo generado no es igual.

Se crea entonces, una variación de flujo que se induce en el bobinado, una fuerza electromotriz que excita la bobina que abre el contacto. Siempre es necesaria la conexión a tierra de las carcasas de los equipos

Los interruptores tienen una corriente normal diferencial de interrupción del circuito  $I_d$  y un valor de corriente de no interrupción, cuyo valor generalmente es  $I_d/2$ .

Asimismo, tienen un pulsador para prueba.

### **Interruptores de alta sensibilidad.**

Estos equipos pueden proteger tanto contra contactos directos como indirectos.

Sin embargo, es necesario señalar que aunque el grado de protección es alto, pueden darse casos en que no alcancen el nivel adecuado, por diversas razones:

a. Contacto directo entre fases:

Una persona aislada que entre en contacto con dos fases, no tiene protección

b. Corriente de dispersión en circuitos trifásicos:

En circuitos trifásicos, puede darse el caso de que dos fases estén sujetas a corrientes de dispersión tales que su suma vectorial  $I_1 + I_2$ , sea inferior a la corriente de intervención  $I_d$ . En caso de contacto directo de una persona con la fase sana, se puede dar una corriente que puede ser inferior a  $I_d$ .

e. Corrientes anteriores al protector diferencial: Esta situación puede darse en edificios de departamentos. Si hay un defecto a tierra en un departamento no protegido, y este contacto se da sobre la tierra común de todos los departamentos, todas las carcasas unidas a tierra estarán a este voltaje. El interruptor diferencial no funcionará si este contacto está arriba del mismo, pues no lo podrá desequilibrar.

d. Conexiones a tierra del neutro después del interruptor diferencial.

e. Defecto a tierra antes del interruptor diferencial.

f. Cortocircuito del bobinado del interruptor diferencial.

### Relé de tensión (Fig. 7.21)

En este caso es la misma corriente de defecto la que interrumpe el circuito. El tiempo de la intervención depende de la corriente de defecto.

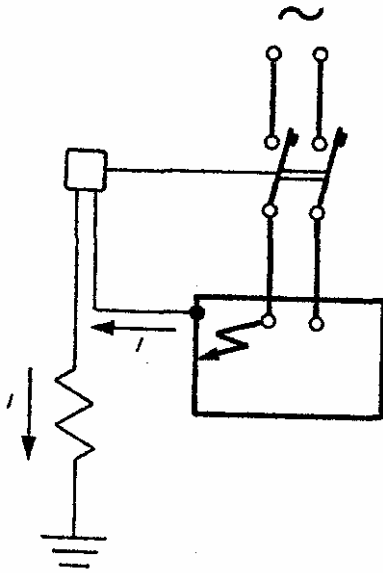


Fig. 7.21

El conductor de protección debe estar aislado de tierra.

Estos relés, toman el nombre de relé de corriente o relé de tensión, según sus requerimientos de intensidad de corriente.

Si tienen muchas espiras, requieren menor corriente y admiten mayores valores de la puesta a tierra, estos son los relés de tensión. Si tienen pocas espiras requieren mayores corrientes y baja resistencia de la puesta a tierra, estos son los relés de corriente.

Estos equipos fueron los antecesores del protector diferencial.

### Sistemas de protección pasivos

Se caracterizan por no requerir puesta a tierra.

1. Aislación especial. Los aparatos de doble aislación o aislación reforzada, no deben conectarse a tierra. La conexión a tierra podría dar tensiones peligrosas a la carcasa.
2. Transformador de aislación (ver fig. 7.22). Este tipo de transformador brinda protección contra contactos indirectos mediante la separación galvánica del circuito de alimentación del circuito de utilización.

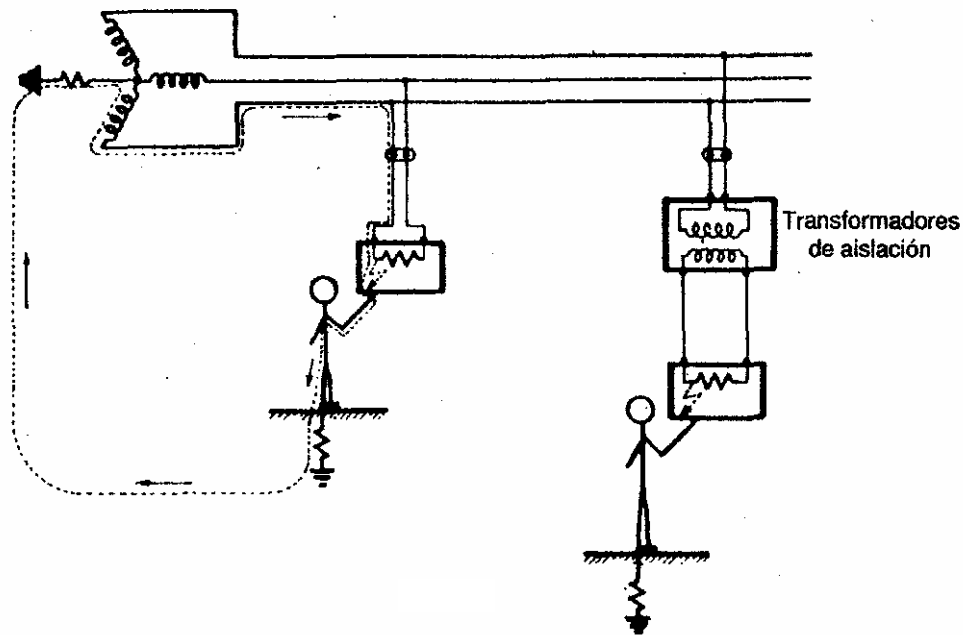


Fig. 7.22

El transformador de aislamiento, no debe confundirse con los autotransformadores, pues en este caso el circuito está ligado.

En el caso de los transformadores de aislamiento, el primario y el secundario están separados por una gran aislación, y a veces, con una pantalla puesta a tierra.

Generalmente, la relación de transformación es 1: 1.

Un contacto con la carcasa no involucra peligro para una persona, en cuanto no pueda conectarse por tierra con el circuito secundario del transformador.

Esto es de fácil realización, si se alimenta un solo aparato; admite la alimentación de varios aparatos siempre y cuando la longitud del circuito no exceda el valor dado por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{100000}{V_n}$$

L = Longitud después del transformador [m]

V<sub>n</sub> = Tensión nominal de alimentación [V]

L ≤ 500 m.

Para evitar que un defecto a tierra, que no puede ser revelado por él, es necesario un las masas de todos los aparatos alimentados por el mismo transformador, de modo que un segundo defecto determine un cortocircuito, e intervenga la protección.

#### 7.4 Protección contra contactos directos

Las partes activas de un equipo eléctrico están protegidas con un envolvente. La protección que suministra un envolvente, esta relacionada con:

- a, la penetración de cuerpos extraños.
- b. la entrada de agua.
- c. protección de las personas.
- d. protección del equipo en sí.

El grado de protección de una envolvente, se especifica con las siglas IP, seguidas de dos cifras y dos letras

IP (Número 1) (Número 2)(Letra 1)(Letra 2)

siendo:   Número 1: Penetración de Cuerpos Extraños  
              Número 2: Penetración de Líquidos  
              Letra 1: Letra adicional (opcional). Protección de las Personas  
              Letra 2: Letra Suplementaria (opcional). Protección del Material

(ver 7. 10 Anexo 1)

## 7.5 Instalaciones de puesta a tierra

### Introducción

El potencial de un conductor es un concepto sin significado, si no es referido a otro conductor, del cual si se conoce su potencial. Ningún instrumento puede medir otra cosa que la diferencia de potencial entre dos puntos.

El globo terráqueo puede considerarse como un globo de capacidad infinita, y por lo tanto capaz de mantener inalterado su potencial, cualquiera sea la carga que se le añada. Está justificado entonces, considerar cero al potencial de la tierra y referir al mismo todos los sistemas eléctricos

Poner a tierra, significa conectar un punto de una instalación eléctrica a la masa terrestre mediante un dispositivo que tenga baja resistencia.

No es posible conseguir resistencias de tierra nula, pues los dispositivos de puesta a tierra, ni el terreno, lo permiten.

Las puestas a tierra, se realizan por diversas razones:

- a. Mantener constante el potencial de tierra de una parte de un circuito normalmente en tensión, por ejemplo, puesta a tierra del neutro en redes de distribución.
- b. Proteger personas que tocan partes normalmente en tensión.
- e. Dispersión de descargas atmosféricas.

### Tipos de instalaciones de puesta a tierra.

Desde el punto de vista del funcionamiento, las instalaciones de puesta a tierra pueden clasificarse en:

a. **Instalaciones de puesta a tierra de protección:** tienen por objeto. limitar las tensiones a tierra de aquellas partes de un equipo eléctrico que están normalmente sin tensión, y que podrían estar electrificadas por un defecto, por ejemplo de aislamiento.

b. **Instalaciones de puesta a tierra de funcionamiento:** consiste en la puesta a tierra de partes activas del circuito o de un aparato, con el fin de permitir el funcionamiento normal, por ejemplo, la puesta a tierra del neutro, la puesta a tierra en redes ferroviarias electrificadas, etc..

c. **Puesta a tierra para la realización de trabajos:** es una puesta a tierra para llevar a cabo trabajos de reparación y mantenimiento (ver 7.6: Seguridad operativa).

Una instalación de puesta a tierra de protección, consiste esencialmente en dispersores (generalmente jabalinas), y un conjunto de conductores que conectan las distintas partes a los dispersores.

Los conductores pueden ser:

- a. Conductores de tierra: conectan los dispersores entre sí, y con las otras masas.
- b. Conductores de protección: conectan el conductor de tierra con los aparatos.

### **Tipos de electrodos de puesta a tierra.**

Los tipos fundamentales de electrodos de puesta a tierra, se clasifican de acuerdo a su forma en:

- a. jabalinas
- b. placas
- e. mallas metálicas

Las instalaciones más comunes usan jabalinas, y con menor frecuencia, placas. Las mallas metálicas, se usan para puestas a tierra de grandes instalaciones, como centrales eléctricas, estaciones transformadoras, etc.

### **Elección del terreno para la instalación de una puesta a tierra.**

Las características de resistividad de los terrenos dependen de su composición química, humedad, temperatura, etc., y pueden variar en un amplio rango (ver tabla III). La humedad y la temperatura influyen en los valores de resistividad. La congelación del terreno aumenta la resistividad, al disminuir el contenido de humedad.

**Tabla III**

<b>Material</b>	<b>Resistividad KΩ</b>
Granito compacto	1000-10000
Sienita, Diorita, Neis Diorítico	1-1000
Roca compacta, cemento común	1
Carbón	0,1 - 1
Roca madre, Basalto, Diabasa	0,01
Arena seca	1
Arena muy húmeda	0,1
Turba, Humus (muy seco)	0,1
Turba, Humus (húmedo)	0,001
Soluciones salinas	0,00001-0,000001

La elección del tipo de terreno, debe hacerse de acuerdo a Norma IRAM 2621, Parte 1, en el siguiente orden de preferencia:

1. Terreno pantanoso húmedo.

2. Arcilla, terreno arenoso, tierra arable, suelo arcilloso, o limo mezclado con pequeñas cantidades de arena.
3. Arcilla y limo, mezclado con proporciones variables de arena, grava y piedras.
4. Arena húmeda o mojada, turba.

Deberá evitarse la arena seca, arcilla pedregosa, piedra caliza, roca basáltica, granito y todo suelo muy pedregoso.

Se elegirá un suelo que no tenga buen drenaje. Sin embargo, no es esencial que el terreno este empapado de agua, a menos que sea arena o grava.

### Tratamiento químico

Puede recurrirse al tratamiento químico del suelo para mejorar su conectividad. Con este fin se usa, generalmente, sal común. Se ha comprobado que el agregado de menos de una parte en peso de sal en 200 partes de suelo, reduce la resistividad en cerca de un 80%, pero es muy poca la ventaja que se obtiene aumentando el contenido de sal más allá de un 3%. También otras sales, como el carbonato de sodio, aumentan la conductividad.

El tratamiento químico, es efectivo unicamente en terrenos de muy poca resistividad y se realiza basado unicamente en aquellos casos en que no se pueda disminuir la resistencia por los medios normales (electrodos en paralelo o más profundos, etc.), ya que la efectividad del tratamiento disminuye con el tiempo por el lavado paulatino del terreno.

### Medición de la resistencia de tierra de un electrodo dispensor.

La medición de la resistencia de tierra, se realiza mediante un voltímetro y un amperímetro, de acuerdo con el esquema de la figura 7.23.

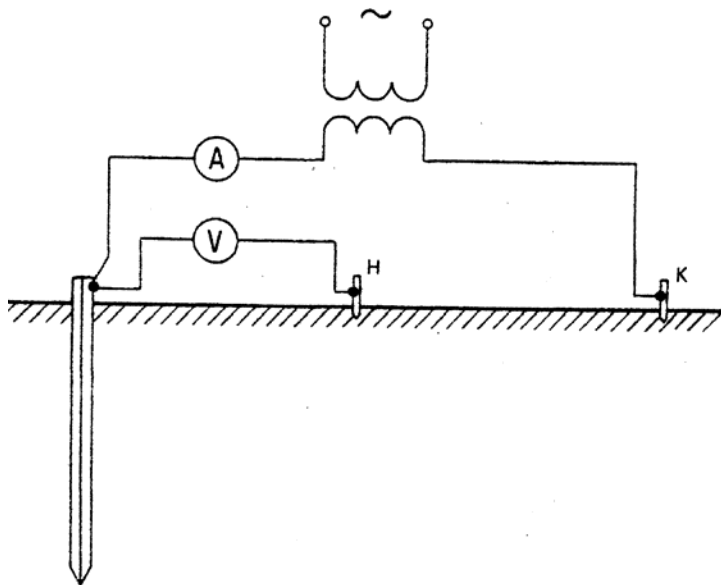


Fig. 7.23

Donde

$$R_t = \frac{V_t}{I}$$

Siendo:  $I$  la corriente dispersa

$V_t$  la tensión del dispensor

A través del dispensor auxiliar K (sonda de corriente) se manda la corriente  $I$  proveniente de una fuente alterna y con la sonda H (sonda de tensión), se mide la tensión  $V_t$ .

Esta medición se realiza con corriente alterna, pues de lo contrario, los potenciales electroquímicos que aparecen entre las jabalinas introducirán errores groseros en la medición.

Si se emplea corriente alterna de frecuencia industrial, las corrientes parásitas que, en la mayoría de los casos, fluyen en el suelo, pueden imposibilitar la medición, ya que la corriente de prueba es de la misma frecuencia que las parásitas, y se hace muy difícil eliminar su efecto,

Este conjunto de voltímetro/amperímetro, está unido en un instrumento específicamente diseñado para medir resistencias de puesta a tierra, el telurómetro, o megohmetro, megger, etc., que posee un generador de corriente alterna cuya frecuencia responde a la fórmula: (Este generador puede ser manual o electrónico)

$$f_g = \frac{2n+1}{2}$$
$$f_1 \pm 10\text{Hz}$$

(Ver Norma IRAM 228 1 Parte 1)

Siendo,  $f_g$  la frecuencia de operación del generador  
 $f_1$  la frecuencia industrial.  
 $n$  un número entero,

Los generadores pueden ser electromecánicos o electrónicos; en ambos casos, la frecuencia está en más de 100 Hz.

Hay dos tipos de Meghometros.

El tipo más común es el de bobinas cruzadas,; las bobinas de voltaje y corriente son solidarias y están puestas en un campo magnético, indicando la relación  $U_t/I$ , que indica la resistencia a tierra en Ohm

El segundo tipo, es el potenciométrico, donde la caída de tensión entre el electrodo de dispersión y la sonda de tensión se confronta con un potenciómetro en el cual la resistencia es graduada por el operador.

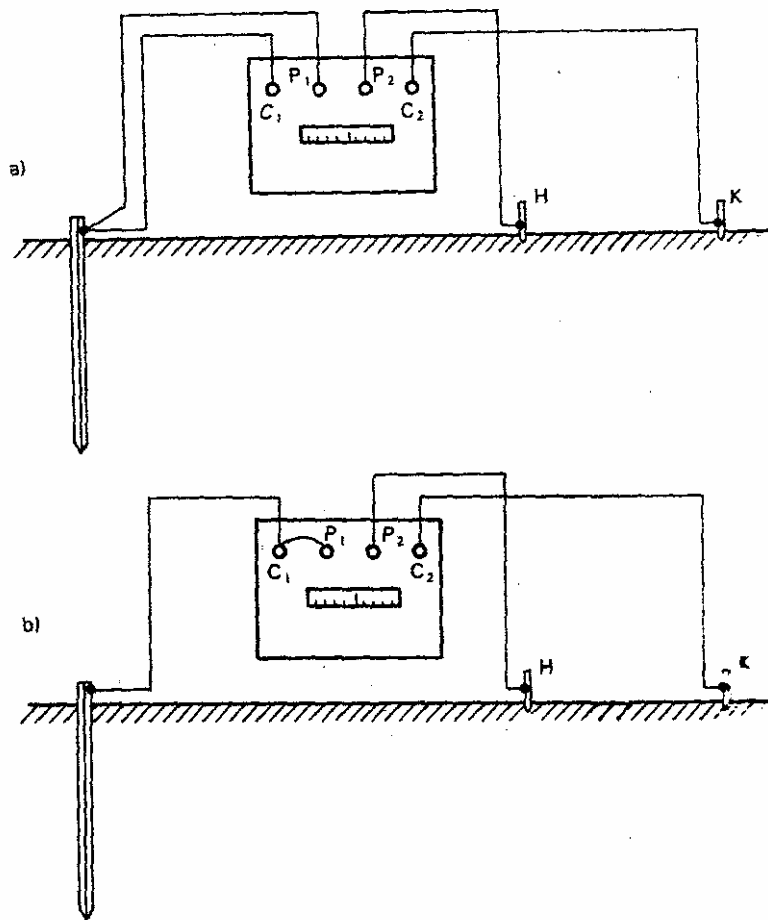


Fig. 7.24 a y b

Cuando la resistencia del potenciómetro es igual a la del dispersor, el galvanómetro indicará cero y la resistencia del potenciómetro indica la resistencia de tierra.

Un meghometro, puede ser usado de dos formas distintas (ver fig. 7.24).

En el primer caso (ver fig. 7.24a), la conexión amperométrica C 1 y voltimétrica P 1, son unidas con dos conductores distintos a la jabalina de ensayo. La medida indica la resistencia del conductor, que podría no ser aceptable si la resistencia del conductor fuese comparable a la resistencia a tierra.

En el segundo caso (ver fig. 7.24b), la conexión amperométrica C1 y voltimétrica P 1, están conectadas con un único conductor a la jabalina *de ensayo*. La medición de resistencia indicará también la resistencia del conductor de conexión.

Las jabinas auxiliares "H" y "K", son generalmente, varillas de acero de bajo contenido de carbono, cincadas o con recubrimiento de cobre, de un diámetro de 8mm, que se clavan hasta aproximadamente 0,5 m. de profundidad.

Es importante elegir adecuadamente la separación entre la puesta a tierra ensayada y la jabalina de corriente, ya que es necesario asegurar que las zonas de influencia de ambas sean razonablemente independientes. No es posible hacerlas completamente independientes, ya que teóricamente el área de influencia de cualquier electrodo se extiende a una distancia infinita de éste. En el caso práctico, generalmente es posible encontrar un valor de separación entre electrodos, de modo que el error en la medición, debido al hecho de que las áreas de influencia no son completamente independientes, no sea importante.

Si el electrodo de tierra bajo ensayo es uno simple, que se compone de una varilla enterrada de longitud L, la jabalina de corriente "H", se ubica como mínimo a 5 L de la puesta a tierra, y la jabalina de tensión "K", equidistante de ambas.

Se hace una lectura, y luego dos ensayos adicionales con "K", movida una distancia L más cerca del electrodo en ensayo y más cerca de "H", respectivamente.

Si los tres resultados concuerdan dentro de la exactitud requerida, entonces el valor promedio puede considerarse como el valor correcto de la resistencia del electrodo bajo ensayo.

Si los resultados no concuerdan, entonces la jabalina de corriente "H" se mueve más lejos y se repetirá el procedimiento.

Todo este proceso se repetirá hasta que las tres lecturas den la concordancia requerida, alejando cada vez más el electrodo de corriente.

El método descrito, es el método de la caída de tensión.

Si se dispone de un dispersor de resistencia muy baja, por ejemplo una cañería, puede usársela como jabalina de corriente y de tensión (ver fig. 7.25).

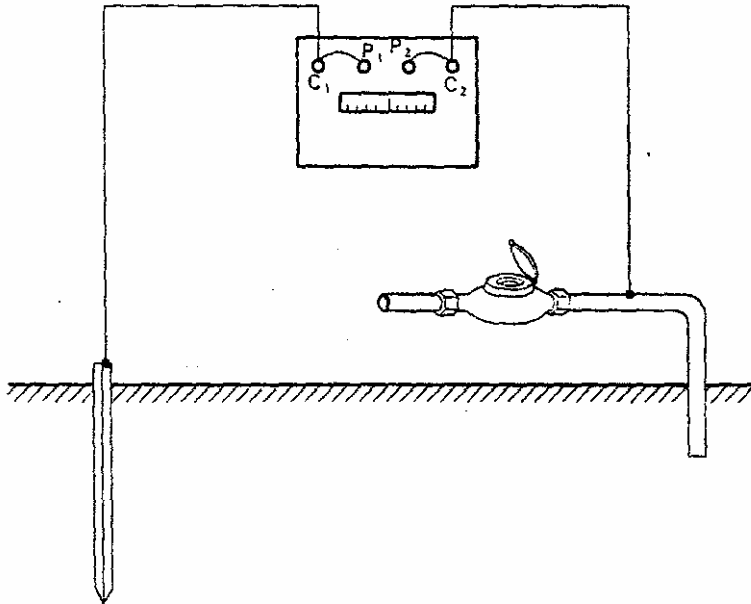


Fig. 7.25

La medida de la suma de la resistencia de la jabalina a prueba y de la cañería de agua. Si esta es despreciable respecto a la jabalina de prueba, la medida coincidirá aproximadamente con la resistencia a tierra, y se cometerá un pequeño error a favor de la seguridad.

## 7.6 Seguridad operativa

### Concepto de seguridad operativa

Debido a maniobras operativas, pueden producirse accidentes por problemas de interacción entre distintos trabajadores o puestos de trabajo.

Dado que los modernos sistemas son de gran complejidad, la acción a distancia es preponderante. Es evidente que el operador, sí bien dispone de señales y alarmas que le informan acerca del componente o sistema operado, no posee una visión directa de toda la cadena de comando y alimentación del componente, ni está presente físicamente en el lugar. No podrá advertir, pues, si en la cadena mencionada se encuentran terceros que efectúan operaciones o reparaciones en la ocasión de activar el componente o sistema,

Resulta obvio, que de no contar con normas que reglamenten el acceso a las instalaciones y condicionen este hecho, se producirán accidentes personales e inconvenientes operativos en la Planta. Este tipo de normas, se denominan "normas de seguridad operativa".

## Bloqueo y consignación de equipos

Bloquear un aparato de corte o de seccionamiento, es efectuar el conjunto de operaciones destinadas a impedir la maniobra de dichos aparatos y a mantenerlos en una posición determinada de apertura o cierre.

El hecho de bloquear un aparato de corte o de seccionamiento en posición de apertura, no autoriza en caso alguno a trabajar sobre este aparato.

Se denomina "consignar una instalación, línea o aparato" al conjunto de operaciones destinadas a:

- a, Separar mediante corte visible la instalación, línea o aparato de toda fuente de tensión.
- b. Bloquear en posición de apertura los aparatos de corte o seccionamiento necesarios.
- c. Verificar la ausencia de tensión con los elementos adecuados,
- d. Efectuar las puestas a tierra y en cortocircuito necesarias, en todos los puntos por donde pudiera llegar tensión a la instalación como consecuencia de una maniobra o falla del sistema.
- e. Colocar la señalización necesaria y delimitar la zona de trabajo.

## Distancia de seguridad

Es aquella distancia que debe existir entre un aparato o instalación que está en tensión y la parte más próxima del cuerpo de un operario o de las herramientas no aisladas que él utiliza en la situación más desfavorable.

En función de la tensión, el Decreto 351/79, da la siguiente tabla:

**Tabla IV**

<b>Nivel de tensión</b>	<b>Distancia mínima (m)</b>
0 a 50 V	Ninguna
más de 50 V hasta 1 KV	0,80
más de 1 KV hasta 33 KV	0,8 (1)
más de 33 KV hasta 66 KV	0,9
más de 66 KV hasta 132 KV	1,50
más de 132 KV hasta 150 K	1,65 (2)
más de 150 KV hasta 220 KV	2,10
más de 220 KV hasta 330 KV	2,90
más de 330 KV hasta 500 KV	3,60

Nota

(1) Estas distancias, pueden reducirse a 0,60 m por colocación sobre los objetos con tensión de pantallas aislantes de adecuado nivel de aislamiento y cuando no existan rejillas metálicas conectadas a tierra que se interpongan entre el elemento con tensión y los operarios.

(2) Para trabajos a distancia, no se tendrá en cuenta para trabajos a potencial.

## Trabajo con tensión

Existen tres métodos

1. a contacto.
2. a distancias
3. a potencial

El método a contacto, es usado en instalaciones de B.T y M.T., y consiste en separar al operario de las partes con tensión y mediante elementos y herramientas aisladas.

1, El método a distancia consiste en alejar los puntos de tensión del operario, empleando equipos adecuados. Estos elementos pueden ser guantes aislantes, lanzas, manipuladores, etc.

El método a potencial, se usa en líneas de más de 33 KV, y consiste en aislar al operario de tierra, y ponerlo al mismo potencial del conductor,

## 7.7 Instalaciones eléctricas antiexplosivas

### 7.7.1 Clasificación de áreas.

El **National Electrical Code**, en su artículo Nro. 500-4, 5 y 6, describe los lugares en donde están o pueden estar presentes *gases o vapores inflamables en cantidad suficiente para producir mezclas inflamables o explosivas, como lugares de "Clase I"*

Los lugares "*Clase II*" son aquellos peligrosos debido a la presencia de polvo combustible.

Los lugares "*Clase III*", son aquellos que son peligrosos debido a la presencia de fibras y volátiles inflamables.

Dentro de cada clase de lugar, el N.E.C. reconoce dos divisiones.

Dentro de la Clase I, estas divisiones son:

**División I:** son aquellas áreas en que existen continuamente o pueden existir con frecuencia, ambientes contaminados por gases o vapores inflamables bajo condiciones normales de operación, durante los trabajos de reparación o mantenimiento, o bien, debido a fugas. También se incluyen en esta división las áreas en que la ruptura o falla del equipo o anomalías en los procesos pueden provocar al mismo tiempo que la liberación de gases o vapores inflamables. averías en el sistema eléctrico.

**División II:** son aquellas áreas en las que los gases o líquidos volátiles inflamables, se manejan, almacenan y procesan en recipientes o sistemas cerrados, de los que sólo pueden escapar, en el caso de rupturas o averías accidentales de los recipientes o sistemas, o en

caso de una operación anormal del equipo. Además se clasifican en esta división . las áreas en las que las concentraciones de gases o vapores inflamables se evitan normalmente por medio de sistemas de ventilación mecánica positiva, pero que pueden llegar a ser peligrosas al fallar el sistema de ventilación mecánica, así como también las áreas adyacentes a las de la División I, a las que pueden llegar ocasionalmente concentraciones de gases o vapores inflamables, a menos que se evite la comunicación mediante un sistema de ventilación mecánica positiva adecuado.

Para la "Clase II" el N.E.C., sigue las mismas divisiones que para la "Clase I".

La "Clase III" División I, son aquellos lugares en donde se manipulan, procesan o envasan fibras o materiales que producen fibras inflamables.

La "Clase III" División II, son aquellos locales donde esas fibras son almacenadas o manipuladas (no manufacturadas), por ejemplo, rayón, algodón, etc,

La **I.E.C. (International Electrotechnical Comission)**, describe las siguientes divisiones o zonas:

**División 0** (Zona 0): la atmósfera explosiva se encuentra continuamente o prácticamente en forma continua (mayor a 1000 h/año),

**División II** (Zona I): la atmósfera explosiva puede estar presente en cualquier **momento**,

**División II** (Zona II" la atmósfera explosiva puede encontrarse sólo en un cierto periodo de temperatura y en condiciones anormales de operación (menor a 10 h/año).

*La División I de N.E.C., incluye a las Divisiones 0 y 1 de la I.E.C.*

Los lugares con peligro de explosión o incendio, se clasifican en cuatro clases de acuerdo a IEC

**Clase 0:** *lugares con presencia de sustancias explosivas.*

**Clase I:** *lugares con presencia de gases o vapores inflamables.*

**Clase II:** *lugares con presencia de polvos, Puede presentarse peligro de incendio, si se encuentran en suspensión polvos de sustancias tales como:*

- Sustancias metálicas: aluminio, fósforo, cobre, grafito, magnesio, cte.
- Sustancias orgánicas: caseína, naftalina, polietileno, brea, cte.
- Productos agrícolas: granos, ajo, cacao, azúcar, tabaco, etc.

**Clase III:** son lugares que contienen grandes cantidades de sustancias combustibles, pero en los cuales las condicione ambientales no permiten la emisión de gases o vapores, o no están en condiciones suficientes.

### **7.7.2 Formas de protección eléctrica en atmósferas explosivas**

Un componente eléctrico con el cual se han tomado medidas para que no provoque la ignición de una atmósfera explosiva, se denomina "artefacto antiexplosivo", y se lo designa con la sigla "Ex", seguida de una letra que indica el modo de protección.

Los modos de protección más utilizados son los siguientes:

**Ex(d): a prueba de explosiones (flame proof).**

**Ex(i): seguridad Intrínseca (intrinsic safety).**

**Ex(p): con sobrepresión interna.**

**Ex(c): seguridad aumentada.**

**Ex(o): inmersión en aceite.**

**Ex(q): inmersión en arena.**

**Ex(m): encapsulamiento en resina.**

**Ex(u), particularidades constructivas.**

### **Aparatos con protección tipo "d" - Ex(d) - Flame Proof (IEC79)**

Son tipos de construcción que encierran las partes que pueden causar la ignición en una atmósfera explosiva. Se define como "a prueba de explosiones" a un modo de protección en el cual el material eléctrico capaz de inflamar una atmósfera explosiva está contenido en una envolvente resistente a la presión de una eventual explosión interna, al mismo tiempo que impide que dicha explosión se propague a la atmósfera circundante, externa a la envolvente.

Esta caja debe soportar la presión desarrollada durante la explosión interna de tina mezcla y evitar, que se transmita la explosión al exterior de la misma.

Con relación a las propiedades de los gases o vapores, son clasificados del siguiente modo:

Grupo I: aparatos eléctricos diseñados para minas con peligro de incendio.

Grupo II: otros lugares no incluidos en el grupo anterior,

El Grupo II, se subdivide en IIA, IIB y IIC, dependiendo de la naturaleza de la atmósfera explosiva para la cual fue diseñada.

Los diseños están basados en el máximo espacio de escape que enfría los gases calientes salientes del aparato evitando la ignición, o en la mínima corriente de ignición.

<b>Aparato- Grupo</b>	<b>Gas Representativo</b>
I	metano
IIA	propano
IIB	etileno
IIB	hidrógeno

Esta misma subclasificación, se aplica en aparatos intrínsecamente seguros y antichispas.

El estudio experimental de las explosiones muestra que para una longitud de junta y un intersticio dados, tina explosión originada en el interior de una envolvente no estanca, no

se transmite al exterior de dicha envolvente. A este respecto, se define como intersticio experimental máximo de seguridad (IEMS), como el mayor intersticio de una junta de 25 mm de longitud que impide la transmisión de una explosión al realizar 10 ensayos, según se define en la norma IEC 79-1A. El valor del IEMS para los diferentes grupos de atmósferas con sus gases representativos, es:

Grupo I	IEMS = 1,14mm (metano)
Grupo IIA	IEMS = 0,92mm (propano)
Grupo IIB	IEMS = 0,65mm (etileno)
Grupo IIC	IEMS = 0,35mm (hidrógeno)

Otro criterio para la selección de aparatos eléctricos, es la temperatura, en términos de la máxima temperatura superficial. la cual no debe exceder la temperatura de ignición del gas o vapor en cuestión

Las temperaturas para el grupo II (IEC 798) son:

Temperatura Clase	Temperatura máxima de la superficie °C
T1	450
T2	300
T3	200
T4	125
T5	100
T6	85

Se asume que el aparato esta diseñado para una temperatura ambiente de 40 °C.

En caso de ser otra la temperatura ambiente de diseño, se debe indicar especialmente en el aparato.

#### **Aparatos de protección tipo "I" Ex (I), intrínsecamente seguros IEC 79-3:**

Estos aparatos son incapaces de liberar energía, o producir chispas bajo las condiciones de prueba indicada por las normas (éstas incluyen operación normal o fallas) capaces de producir ignición en una dada atmósfera explosiva.

Estos aparatos caen bajo dos categorías: " Ia" e "Ib".

Los clasificados como "Ia", no deben ser capaces de causar ignición en operación normal, con dos fallas de componentes o de otro tipo.

Los clasificados como "Ib" mantienen la protección con una falla de componentes o de otro tipo.

Por el tipo de fuentes de ignición podemos distinguir entre las debidas a arcos y chispas, particularizadas por la energía mínima de inflamación,

Grupo I (metano)	280 J
Grupo IIA (propano)	250 J
Grupo IIB (etileno)	96 J
Grupo IIC (hidrógeno)	20 J

Dadas estas bajas energías, es fácil reconocer que las aplicaciones de este modo de protección estará restringido a circuitos eléctricos y electrónicos en los cuales se manejan bajas tensiones, corrientes y potencias.

Por la temperatura de inflamación existe otra clasificación, común a todos los modos de protección y que se detallará más adelante.

#### **Aparatos de seguridad aumentada Ex (e) - IEC 79.7 (incremented safety).**

En este tipo de protección, se aumentan los márgenes de seguridad, distancias, aislantes, tamaños, para incrementar la seguridad contra excesiva temperatura y la ocurrencia de arcos o chispas (no producidas por uso normal del aparato).

#### **Aparatos de construcción presurizada Ex (p) - IEC 79.2**

En este tipo de aparato se evita que entre gas al aparato presurizándolo con aire o gas inerte para que la presión interna ligeramente superior a la del ambiente impide el ingreso desde el exterior. Dicha presión es mantenida con un flujo constante del gas inerte o aire limpio.

La entrada y salida del aire o gas inerte debe ser tal que asegure los valores de sobre presión dentro de los valores permitidos por la construcción del aparato.

El material usado para este tipo de aparato debe ser incombustible o con retardadores de combustión y auto extingible y no debe afectarse por el gas de protección usado o por los gases inflamables del lugar.

#### **Aparatos con arena Ex(q) - IEC 79.5**

Se obtiene protección en estos aparatos rellenando con material de consistencia similar a la arena de forma tal que la eventual chispa (dentro de la capacidad normal de corriente para la cual fue derramado el aparato) no produzca la ignición exterior.

No debe haber escape de llama ni temperatura exterior del aparato que signifique riesgo de ignición.

La caja debe ser de metal. No obstante otros materiales pueden ser usados si son no inflamables, con retardador de combustión, inertes y estabilizados.

Sus características mecánicas, inertes y estabilidad deben ser certificadas.

### **Aparatos sumergidos en aceite Ex(o) - IEC 79.6**

En este tipo de aparatos se inhibe el efecto de ignición sumergiendo las partes productoras de área eléctrica en un aceite mineral con apropiadas características aislantes y de extinción de arco eléctrico.

La máxima temperatura permitida para el aceite es 115 °C para evitar la excesiva deteriorización del aceite.

### **Aparatos clasificados "non-sparking" (no produce chispas) Ex(n)**

Pueden ser de diversos tipos, a saber:

\* Aparatos cerrados en los cuales no se producen chispas durante operación normal capaces de producir ignición ni puntos calientes de temperaturas peligrosas.

\* Aparato de contactos sellados en los cuales los contactos que producen arcos o chispas están encerrados pudiendo soportar eventual explosión interna sin transmitir la misma al exterior. El volumen máximo no debe ser mayor que 20 cm<sup>3</sup>.

Aparatos sellados construidos en forma tal que resultan herméticos sin el uso de "o-rings" o elastómeros para asegurar esa hermeticidad.

\* Aparatos de ventilación restringida en los cuales la construcción de la caja no permite el ingreso de gases al exterior.

### **Aparatos de construcción especial Ex(s)**

Este tipo de aparato como su clasificación lo indica es de construcción específica para un determinado lugar y condiciones de uso. No deben ser utilizados en otras condiciones, deben estar certificados en relación con el área en el cual se usan (zona 0, zona I o zona II). Debe estar claramente indicado si existen condicionamientos para el uso de estos aparatos.

Para atmósferas explosivas, la selección de equipos antiexplosivos, se basa en la siguiente tabla:

**Tabla 5**  
**Selección de equipos antiexplosivos**

Zona 0	Zona I	Zona II
Ex-la	Ex-la	Ex la
	Ex Ib	Ex 1b
	Ex d	Ex d
	Ex e	Exe
	Exp	Ex p
		Ex m

## 7.8 Electricidad estática

### Introducción.

La electricidad estática aparece en las operaciones industriales y en la vida diaria, y puede ser una fuente de riesgos.

El principal riesgo, son las explosiones e incendios por descargas electrostáticas, aunque también existe el peligro de accidentes por shock eléctrico.

Las explosiones por electricidad estática, involucran la presencia de una atmósfera explosiva.

Hay cuatro clases de atmósferas explosivas:

- a. Atmósferas explosivas formadas por gases o vapores.
- b. Atmósferas explosivas formadas por polvos.
- c. Atmósferas explosivas formadas por gotas de líquidos.
- d. Atmósferas explosivas formadas por gases o vapores más polvos (mezclas híbridas)

Las descargas electrostáticas son causadas por un proceso que tiene tres etapas:

1. Generación de carga eléctrica.
2. Acumulación de carga eléctrica y generación de campos eléctricos.
3. El campo eléctrico origina la ruptura de la resistencia dieléctrica del material aislante.

### Generación y acumulación de carga electrostática.

La fuente primaria de generación de carga electrostática, es la electrificación por contacto, que ocurre cuando dos materiales diferentes son puestos en **contacto** y luego separados, llevando cada uno cargas opuestas.

La electrificación por contacto puede ocurrir en las interfaces sólido / sólido, líquido / líquido y sólido / líquido.

Los gases no pueden ser cargados de esta manera, pero si tienen partículas o gotas en suspensión, éstas pueden ser cargadas por contacto.

Los procesos típicos que dan lugar a carga **electrostática** son:

**a. Procesos con líquidos:**

- Flujo a través de cañerías, válvulas, Filtros, etc.
- Flujos de mezclas de líquidos en dos fases, especialmente agua e hidrocarburos, o mezclas sólidos /líquidos,
- Sedimentación de líquidos o sólidos por gravedad en suspensiones líquidas.
- Sedimentación de gotas líquidas en un gas.
- Atomización de líquidos conductores (lavado con agua, pintura spray).

**b. Procesos con sólidos:**

- Separación de hojas de plástico.
- Sedimentación por gravedad de polvos.
- Flotación de material aislante.
- Caminar sobre alfombras aislantes.

La generación de cargas no origina necesariamente descargas, es necesario que haya campos eléctricos de alto potencial, y esto sólo ocurre cuando hay acumulación de carga eléctrica.

Los materiales acumuladores de carga se dividen en cuatro grandes grupos

1. Líquidos de baja conductividad.
2. Materiales conductores aislados (sólidos o líquidos).
3. Sólidos aislantes.
4. Suspensiones gaseosas,

**Líquidos de baja conductividad:**

La medida de un líquido a acumular carga se indica por su tiempo de relajación, que es una medida de] tiempo necesario para disipar una carga.

Materiales conductores aislados:

La posibilidad de acumular carga que tiene un conductor aislado, depende de su resistencia a tierra.

Casos típicos, son el llenado de containers con polvo o líquidos, el pasaje de líquidos o polvo en suspensión en una cañería aislada, un conductor, por ejemplo una lata, flotando en un líquido de baja conductividad.

### **Sólidos aislantes:**

Hay tres casos a considerar:

- Acumulación en objetos sólidos aislantes: por ejemplo pvc, polietileno, poliéster, nylon, etc.
- Acumulación en hojas aislantes.
- Acumulación en polvos.

### **Suspensiones gaseosas:**

Pueden acumularse grandes cargas en gases que contienen partículas o gotas en suspensión.

### **Ignición por descargas electrostáticas.**

Las descargas electrostáticas, son generadas por medios aislantes con campos eléctricos muy elevados.

Sin embargo, también puede haber descargas por inducción electromagnética.

Hay varias formas en que se puede manifestar una descarga electrostática:

1.). Chispas (sparks): ocurren entre dos cuerpos conductores a distinto potencial, Dado que ambos cuerpos son conductores, prácticamente toda la carga se descarga en la chispa.

2). Descargas tipo cepillo (brush discharges): ocurren desde un cuerpo no conductor a un conductor. Se caracterizan por formar un canal de plasma que termina en cepillo de canalículos que llegan al material aislado.

### **Capacidad de ignición de las descargas electrostáticas.**

Una mezcla de aire con un material inflamable en forma de gas, gotas o polvo, no puede formar mezcla explosiva, sino está dentro de los límites superior e inferior de explosividad (LSE y LSI), es decir dentro de un rango de explosividad: a su vez la Ignición de la mezcla esta relacionada con lo que se denomina Energía Mínima de Ignición (MIE: Minimum Ignition Energy).

La energía mínima de ignición MIE, es la energía mínima necesaria para incendiar una concentración óptima de material inflamable, usando una chispa capacitiva en condiciones ideales.

La energía mínima de ignición, es útil para dos propósitos:

1. Clasificar los materiales en términos de su energía de ignición.
2. Comparar la energía de las posibles descargas, de manera de establecer el riesgo de ignición.

La mayoría de los vapores de los líquidos orgánicos tienen un MIE entre 0.01 mJ y 1 mJ), la mayoría de los gases de hidrocarburos está en 0.2 mJ. Para polvos, los valores oscilan entre 2 mJ y 500 mJ

### **Medidas de prevención:**

La prevención de la ignición de mezclas explosivas por descargas electrostáticas tiene dos formas:

1. Limitando el potencial
2. Eliminando la atmósfera explosiva

### **Polvos:**

Se entiende por polvos a mezclas de aire con partículas de materia sólida, con tamaño variable, desde polvos finos a gránulos.

Cuando se manipulan polvos, se genera una carga electrostática, por ejemplo: operaciones de mezclado transporte neumático secado.

Para que tenga lugar una explosión de polvos, deben darse simultáneamente las siguientes condiciones:

1. El polvo debe ser inflamable.
2. La distribución del tamaño de partícula, debe ser capaz de propagar la llama (por ejemplo, partículas mayores de 400 micrones, tienen poca probabilidad de iniciar una explosión).
3. La concentración de polvos en aire, debe estar dentro del rango de explosividad.
4. La atmósfera debe contar con suficiente oxígeno.
5. Debe existir una fuente de ignición,

### **Mezclas híbridas:**

Las suspensiones de Polvos en aire que contienen una proporción de gas o vapor inflamable, se denominan mezclas híbridas. La presencia de mezclas híbridas, constituye un riesgo importante, aun cuando la concentración de gases y vapores esté debajo del LIE.

Algunas de sus características de notable peligrosidad, son las siguientes:

- Una dispersión en aire (le polvos que son muy gruesos para formar mezclas explosivas puede volverse explosiva con pequeñas cantidades de gases o vapores inflamables.
- Mezclas de polvo y gas que están debajo de su LIE, pueden volverse explosivas si se mezclan; requieren menor energía de ignición.

### **Medidas de prevención de explosiones.**

Las medidas de prevención de explosiones híbridas, son las siguientes:

- Evitar la formación de polvos explosivos
- Eliminar las fuentes de ignición
- Inertización (control de atmósfera).

### **Protección contra explosiones:**

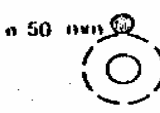

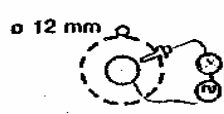




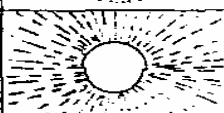
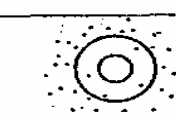
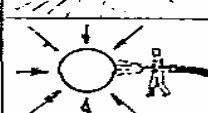

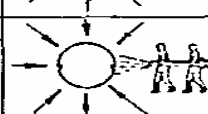
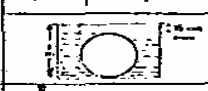
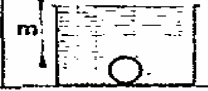
Si las medidas anteriores son difíciles de llevar a cabo, pueden intentarse las siguientes formas de protección contención de la explosión:

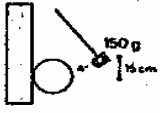
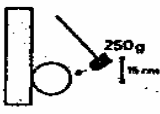
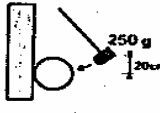
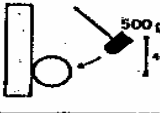
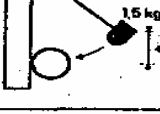

- venteo de la explosión
- supresión automática de la explosión
- separación de la planta, a. limitando el potencial. b. eliminando la atmósfera explosiva.

## **7.9 Bibliografía**

- (1) ENEL-Manuale della Sicurezza
- (2) Carrescia, V; De Bernardo, Giorgio - Impianti di Massa a Terra -Edizione EMPI
- (3) Carrescia, Vitto - Fondamenti di Sicurezza Elettrica - Editore Hoepli, Milano (1987)
- (4) Agua y Energia -Normas de Seguridad y Reglamento para personal que trabaja en Instalaciones Eléctricas
- (5) Ley 19587 - Dec 351/79
- (6) ENRE
- (7) Asociación electrotécnica Argentina – Reglamento para las ejecución de Instalaciones eléctricas en Inmuebles Reedición 1996
- (8) Norma IRAM 2379
- (9) IRAM-IAP-IEC 79-10
- (10) INRS – Electrecité Statique –ED 874

TABLA I - 1 ÍNDICES DE PROTECCIÓN

1ª cifra protección contra los cuerpos sólidos			2ª cifra protección contra los líquidos		
IP	tests		IP	tests	
0		Sin protección	0		Sin protección
1	 $\phi 50 \text{ mm}$	Protegido contra los cuerpos sólidos más de 50 mm (contacto involuntario de las manos)	1		Protegido contra las caídas verticales de las gotas de agua
2	 $\phi 12 \text{ mm}$	Protegido contra los cuerpos sólidos más de 12 mm (dedo de la mano)	2		Protegido contra las caídas de las gotas de agua hasta 15° de la vertical
3	 $\phi 2.5 \text{ mm}$	Protegido contra los cuerpos sólidos más de 2.5 mm (destornillador)	3		Protegido contra las caídas de las gotas de agua hasta 60° de la vertical
4	 $\phi 1 \text{ mm}$	Protegido contra los cuerpos sólidos más de 1 mm (clavos)	4		Protegido contra las proyecciones de agua de todas direcciones
5		Protegido contra el polvo	5		Protegido contra el chorro de agua de todas direcciones con una lanza
6		Totalmente protegido contra el polvo	6		Protegido contra las proyecciones de agua asimilables con los golpes de mar
			7		Protegido contra los efectos de una inmersión
			8		Protegido contra los efectos prolongados de una inmersión bajo presión

3ª cifra protección mecánica		
IP	tests	
0		Sin protección
1		Energía de choque : 0,225 julio
2		Energía de choque : 0,375 julio
3		Energía de choque : 0,500 julio
5		Energía de choque : 2,00 julio
7		Energía de choque : 6,00 julio
9		Energía de choque : 20,00 julio

