

Actualización Tecnológica del ambiente de formación del programa de gestión integrada de la calidad, medio ambiente y salud ocupacional



Mediciones de ruido
Evaluación del ruido
Iluminación
Evaluación de la iluminación



Katianna Carrasquilla Ortega

Centro de la Innovación, la Tecnología y los Servicios.
Sena, Regional Sucre



***Este producto es resultado del proyecto
"Actualización Tecnológica
del ambiente de formación
del programa de gestión integrada
de la calidad, medio ambiente
y salud ocupacional"
Código SGPS-6259-2019
Vigencia 2020
Centro de la Innovación,
la Tecnología y los Servicios.
Sena, Regional Sucre***

Katianna Carrasquilla Ortega



Esta obra está bajo una Licencia [Creative Commons AtribuciónNoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



**"Actualización Tecnológica del ambiente de formación
del programa de gestión integrada de la calidad, medio ambiente
y salud ocupacional"
Código SGPS-6259-2019 Vigencia 2020
Centro de la Innovación, la Tecnología y los Servicios.
Sena, Regional Sucre**

© SENA
© Centro de la Innovación, la Tecnología y
los Servicios, Regional Sucre
© Servicio Nacional de Aprendizaje

Carlos Mario Estrada Molina
Director General

Nidia Gómez Pérez
Directora Formación Profesional

Nancy Dioneth Briceño Moreno
Coordinadora Nacional Sennova

Marco Gómez Ordosgoitia
Director Regional Sucre

Pedro Suárez Montes
Coordinador Académico

Facundo Blanco Berrio
Coordinador Formación Profesional

Katianna Carrasquilla Ortega
Autora

Tulia Ines Perez de la Ossa
Líder Sennova Sucre

Melissa Aguas
Líder Grupo de Investigación
"Investigadores sucreños"

Diseño y diagramación
Germán Peralta Pardo

Catalogación en la publicación. SENA Sistema de Bibliotecas

Carrasquilla Ortega, Katianna

Actualización Tecnológica del ambiente de formación del programa de
gestión integrada de la calidad, medio ambiente y salud ocupacional /
Katianna Carrasquilla Ortega -- La gallera, Sucre : Servicio Nacional de
Aprendizaje (SENA). Centro de la Innovación, la Tecnología y los Servicios,
[2022].

1 recurso en línea (26 páginas : PDF).

Contenido: Mediciones de ruido -- Evaluación del ruido -- Iluminación --
Evaluación de la iluminación.

ISBN: 978-958-15-0721-4.

1. Control del ruido 2. Alumbrado -- Mediciones 3. Salud ocupacional I.
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

CDD: 613.62

La publicación de los artículos es responsabilidad de los autores. Los Textos publicados son propiedad intelectual de los autores y pueden utilizarse con propósitos educativos y académicos, siempre que se cite el autor y la publicación.

1. Mediciones de ruido

Ruido

Puede definirse el ruido como un sonido que puede ser considerado molesto, desagradable y no deseado.

El sonido puede definirse como una variación de presión que se transmite por un medio material, tanto sólido, líquido o gas y se propaga en forma de onda a una determinada velocidad que varía en función de la densidad y elasticidad del medio y que el oído humano es capaz de percibir.

A medida que una onda sonora se va alejando de su fuente de origen, su intensidad disminuye hasta hacerse imperceptible.

El sonido se mide con un parámetro llamado FRECUENCIA, que es el número de variaciones de presión que se repiten por segundo. Se mide en Hertzios (Hz). Los seres humanos podemos percibir frecuencias entre 20-20.000 Hz, denominándose infrasonidos a los menores de 20 Hz y ultrasonidos a los mayores de 20.000 Hz.

Según la frecuencia, el sonido tendrá un tono grave (de baja frecuencia) o agudo (alta frecuencia).

El oído es más sensible a los sonidos agudos y tiene una máxima sensibilidad a los sonidos entre 2.000 y 5.000 Hz, gama en la que se sitúa la voz humana.

El ruido puede ocasionar un efecto a corto plazo, como por ejemplo una explosión puede producir una rotura del tímpano.

Sin embargo, son más importantes los efectos que el ruido puede provocar a medio y largo plazo.

Un trabajador expuesto al ruido nota los primeros días que oye menos al salir del trabajo. Se trata de una disminución temporal de la capacidad auditiva y se produce por la fatiga de las fibras nerviosas.

Si la fatiga no es muy importante, al cesar la exposición al ruido, se recupera la audición.

El daño que causa el ruido es una disminución auditiva permanente o HIPOACUSIA debido a una exposición prolongada a ambientes ruidosos.

Esta alteración se instaura lenta y progresivamente. Los primeros síntomas son dificultad para oír el timbre de la puerta, tendencia a aumentar el volumen, dificultad de relación con las personas, aumento de irritabilidad.

Estos signos evidencian las lesiones de las fibras nerviosas. Las primeras en dañarse son las encargadas de captar los sonidos agudos (4.000 Hz). Nos damos cuenta de la lesión cuando ésta afecta a las frecuencias que habitualmente se utilizan en la conversación.

Estas lesiones son irreversibles, porque las células nerviosas no se regeneran.

La hipoacusia suele estar acompañada de otras molestias, como zumbidos, vértigo y un fenómeno denominado “reclutamiento”, que consiste en no poder entender con facilidad el significado de las palabras, aunque las oigamos.

La hipoacusia por ruido se caracteriza por ser:

- ✓ BILATERAL: afecta a los dos oídos y casi siempre simétricas, es decir afecta a los dos oídos por igual.
- ✓ IRREVERSIBLE: no se puede recuperar la audición hasta los límites normales
- ✓ NO EVOLUTIVA: no progresa cuando cesa la exposición.

La unidad con la se mide la cantidad de ruido se denomina decibelio, y el equipo que se utiliza es el sonómetro.

Figura 1. Sonómetro



Fuente: <http://contaminacionacustica.net/como-medir-el-ruido-con-sonometros/>

Para que la información facilitada por el sonómetro sea lo más significativa posible, se le incorporan circuitos electrónicos que reproducen la sensibilidad del oído humano. Los sonómetros vienen equipados con diferentes escalas de lectura (A, B, C) que pueden seleccionarse al hacer la medición. Estas escalas restan importancia a ciertas frecuencias y se la dan a otras, tal y como hace nuestro oído.

Para que la información facilitada por el sonómetro sea lo más significativa posible, se le incorporan circuitos electrónicos que reproducen la sensibilidad del oído humano. Los sonómetros vienen equipados con diferentes escalas de lectura (A, B, C) que pueden seleccionarse al hacer la medición. Estas escalas restan importancia a ciertas frecuencias y se la dan a otras, tal y como hace nuestro oído.

Los criterios de referencia para la exposición al ruido industrial se establecen en el Real Decreto 286/2006, fijando dos niveles de actuación: un valor límite que no puede, con el protector auditivo colocado, ser superado en ninguna circunstancia, y unos valores de exposición, que obligan al empresario a tomar acciones de protección del trabajador y de control de la exposición.

Tabla 1. Criterios de referencia

Valores de exposición	Valores Límite (nunca superar)	Valores inferiores que dan lugar a una acción	Valores superiores que dan lugar a una acción
Nivel diario	85 dBA	80 dBA	85 dBA
Nivel pico	140 dB C	135 dBC	137 dBC
Programa medidas técnicas	Inmediatas	—	SI
Señalización		—	SI
Medición ambiental		Cada 3 años	anual
Protectores auditivos	SI	A disposición del trabajador/a	Obligatorios
Vigilancia salud controles audiométricos		Cada 5 años	Cada 3 años

Fuente: Guía de atención basada en la evidencia

Criterios de valoración del ruido

A continuación, se presentan los valores y tiempos permitidos para exposiciones a ruidos continuos, según regulaciones de Colombia, Estados Unidos y la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), para de esta manera contar con herramientas de evaluación.

Tabla 2. Valores límites para ruido continuo

Exposición diaria	NPS Permitido en dBA
8	90
7 - 6	92
5 - 4	95
3	97
2	100
1	102
1/2	105
1/4	110
1/8	115

Fuente: Guía de atención basada en la evidencia

Los valores permisibles de ruido según la legislación colombiana permitidos para el ruido dependerán del tiempo de exposición para ruido continuo y del número de impulsos, para ruidos de impacto.

Este valor ha sido especificado por el gobierno colombiano, a través de las Resoluciones 8321 de 1983 expedida por el Ministerio de Salud y la 1792 de 1990 expedida por los Ministerios de Salud y de Trabajo y Seguridad Social en su momento.

No se permite ningún tiempo de exposición a ruido continuo o intermitente por encima de 115 dB(A) de Presión sonora.

Tabla 3. Valores límites permisibles para ruidos de impacto

Nivel sonoro dB	No. de impulsos o impactos permitidos por día
140	100
130	1.000
120	10.000

Fuente: Guía de atención basada en la evidencia

Para exposiciones a ruido de impulso o de impacto, el nivel de presión sonora máximo estará en ningún caso deberá exceder de 140 decibeles.

Factores que influyen en la exposición al ruido

El riesgo fundamental que genera la exposición prolongada a altos niveles de presión sonora es la disminución del umbral de la audición.

Existen cinco factores de primer orden que determinan el riesgo de pérdida auditiva:

- ✓ Intensidad.
- ✓ Tipo de ruido.
- ✓ Tiempo de exposición al ruido.
- ✓ Edad.
- ✓ Susceptibilidad Individual.

A continuación, se explicarán de manera breve cada uno de estos factores:

- ✓ Intensidad

Su importancia es primordial. Aunque no pueda establecerse una relación exacta entre el nivel de presión sonora y daño auditivo, si es evidente que cuanto mayor es el nivel de presión sonora, mayor es el daño auditivo.

- ✓ Tipo de Ruido

Influye en cuanto a su carácter de estable, intermitente, fluctuante o de impacto. Es generalmente aceptado que el ruido continuo se tolera mejor que el discontinuo.

Se considera habitualmente que un ruido que se distribuya en gran parte en frecuencias superiores a 500 Hz presenta una mayor nocividad que otros cuyas frecuencias dominantes son las bajas.

- ✓ Tiempo de Exposición

Se consideran desde dos aspectos: por una parte, el correspondiente a las horas/día u horas/semana de exposición - que es lo que normalmente es entendido por tiempo de exposición - y por otra parte, la edad laboral o tiempo en años que el trabajador lleva actuando en un puesto de trabajo con un nivel de ruido determinado.

- ✓ Edad

Hay que tener en cuenta que el nivel de audición se va deteriorando con la edad, independiente de estar expuesto o no al factor de riesgo.

- ✓ Susceptibilidad Individual

Es la característica que posee cada persona de reaccionar ante la exposición al factor de riesgo por sus condiciones y antecedentes personales.

- ✓ Sexo

Se considera que las mujeres son menos susceptibles al ruido.

Efectos del ruido en la salud de las personas

Los efectos en la salud de la exposición al ruido dependen del nivel del ruido y de la duración de la exposición. A continuación se presentan los principales efectos ocasionados por el ruido:

- ✓ Pérdida Temporal de Audición

Al cabo de breve tiempo en un lugar de trabajo ruidoso a veces se nota que no se puede oír muy bien y que le zumban los oídos. Se denomina Desplazamiento Temporal del Umbral a esta afección. El zumbido y la sensación de sordera desaparecen normalmente al cabo de poco tiempo de estar alejado del ruido.

- ✓ Pérdida Permanente de Audición

Con el paso del tiempo, después de haber estado expuesto a un ruido excesivo durante demasiado tiempo, el oído no se recuperan y la pérdida de audición pasa a ser permanente. La pérdida permanente de audición no tiene cura. Este tipo de lesión del sentido del oído puede deberse a una exposición prolongada a ruido elevado o, en algunos casos, a exposiciones breves a ruidos elevadísimos.

- ✓ Otros efectos

Además de la pérdida de audición, la exposición al ruido en el lugar de trabajo puede provocar otros problemas, entre ellos problemas de salud crónicos:

- ✓ El ruido aumenta la tensión, lo cual puede dar lugar a distintos problemas de salud, entre ellos trastornos cardíacos, estomacales y nerviosos. Se sospecha que el ruido es una de las causas de enfermedades cardíacas y úlceras de estómago.
- ✓ Las personas expuestas al ruido pueden quejarse de nerviosismo, estrés, insomnio y fatiga (se sienten cansados todo el tiempo).
- ✓ Una exposición excesiva al ruido puede disminuir además la productividad y ocasionar porcentajes elevados de absentismo.

- ✓ La persona se vuelve irritable (mal genio).
- ✓ Erosión de las arterias coronarias.
- ✓ Baja del libido (disminución del deseo sexual).

2. Evaluación del ruido

Ninguno de los distintos agresores para la salud que concurren en los ambientes laborales lo hacen tan reiteradamente como el ruido.

El ruido involucra, y las estadísticas corroboran esta afirmación, un riesgo permanente para la salud de los trabajadores. En la extensión e importancia de este riesgo inciden, entre otras, el incremento energético incorporado a las instalaciones de producción, la potencia de las máquinas y sus cada vez mayores dimensiones, los volúmenes de materias primas manipulados, así como el tamaño de los productos acabados, los ritmos de trabajo incorporados y la introducción de nuevas tecnologías.

La pérdida gradual auditiva es el riesgo que aqueja a los trabajadores de ciertas actividades económicas que laboran en operaciones de mucho ruido. La implantación de un programa de vigilancia epidemiológica puede controlar y reducir el ruido y sus efectos sobre la salud de los trabajadores

La medición de la exposición a ruido en los ambientes de trabajo se realiza con la respuesta de frecuencias con ponderación A. La dosis de exposición a ruido es una medida de la exposición al ruido a que está sometida una persona.

La dosis de ruido se desarrolló para evaluar la exposición como protección contra la pérdida de la audición y se expresa como un porcentaje de la exposición diaria máxima permisible al ruido. La dosis de ruido durante 8 horas es igual al 100% cuando el nivel sonoro equivalente es igual al nivel permisible para las 8 horas.

Para realizar correctamente esta evaluación se ha de tener en cuenta dos premisas:

- ✓ Las mediciones han de ser representativas de las condiciones de exposición al ruido y deberán permitir la determinación del nivel diario equivalente y del nivel de Pico. Para ello, se realizará una determinación correcta del tiempo de exposición en el puesto y en cada operación o tarea dentro del puesto que entrañe diferencias en cuanto al nivel y tipo de ruido.

- ✓ El nivel de ruido en el puesto ha de ser medido con una instrumentación adecuada a cada tipo de ruido y que además cumpla con los requisitos

Instrumentos de Medida y Condiciones de utilización

La dosis de ruido a las cuales se exponen los trabajadores puede determinarse con sonómetros integradores o con equipos medidores personales de la exposición sonora conocidos también como dosímetros, con analizadores de frecuencias y calibradores.

Estos equipos se caracterizan por disponer de un micrófono, para captar la señal, de unos circuitos de procesado de señal, que se encargan de adaptar la señal y analizarla para poder dar un valor determinado de ruido, y un visualizador o pantalla en la que se ofrecen los resultados de forma sencilla para el usuario.

Sonómetro

Es el equipo más importante de todos y el más utilizado. Es un instrumento que responde ante un sonido de una forma aproximada a como lo haría el oído humano. Es una herramienta imprescindible para medir la presión sonora. Es capaz de medir el nivel de ruido, de una zona en cuestión, analizando la presión sonora a la entrada de su micrófono. Generalmente además de recoger la señal es capaz de ponderarla en función de la sensibilidad real del oído humano a las distintas frecuencias, y de ofrecer un valor único en dBAs del nivel de ruido del lugar a analizar. En este caso se dice que el equipo es un sonómetro integrador.

El oído humano nos es igualmente sensible a todas las frecuencias. Por esta razón incluso aunque el nivel de presión acústica sea el mismo, puede interpretarse como de distinto nivel porque se presenta en una frecuencia para la que el oído es más sensible. De esta forma las mediciones del ruido



Figura 2 Partes de un sonómetro

En general el sonómetro, al igual que todos los instrumentos de medida dispone de tres partes:

- ✓ Micrófono (para captar las señales ruidosas)
- ✓ Circuitos de procesado (con amplificadores y filtros para ponderar las señales recibidas)
- ✓ Indicador (pantalla donde se presentan los datos finales del ruido).

Teniendo en cuenta la precisión de los equipos se distinguen los distintos tipos de sonómetros:

- ✓ Tipo 0: Básico y muy preciso. Utilizado en laboratorios como referencia
- ✓ Tipo 1: Alta precisión para mediciones en terreno

- ✓ Tipo 2: Precisión media para mediciones generales
- ✓ Tipo 3: Precisión baja, utilizado para reconocimiento y mediciones aproximadas

Los sonómetros convencionales se emplean fundamentalmente para la medida del nivel de presión acústica con ponderación A (LpA) del ruido estable. Los sonómetros integradores pueden emplearse para todo tipo de ruidos y pueden medir varios parámetros simultáneamente (nivel de presión sonora con promedio temporal lento Ls o rápido Lf, nivel de presión sonora equivalente Leq e incluso el nivel de exposición sonora).

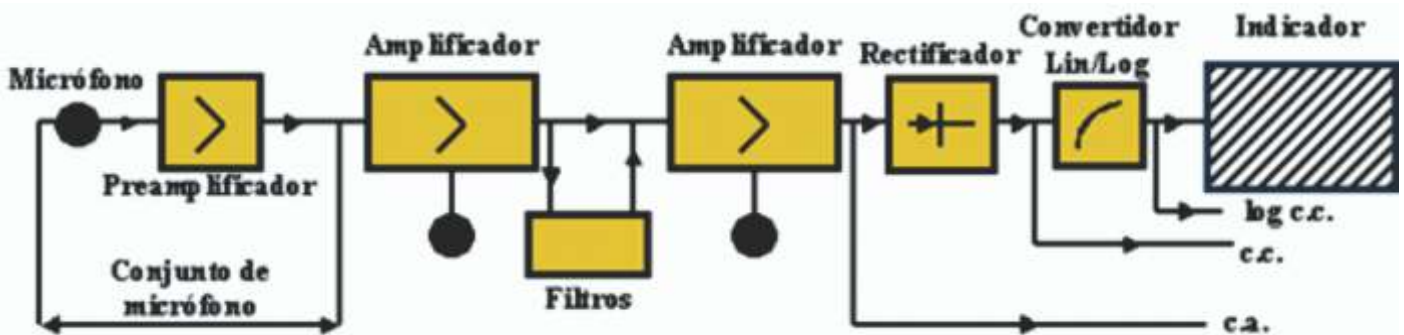


Figura 3. Esquema de un sonómetro

Dosímetro

Este equipo es un sonómetro integrador que, además de ofrecer el valor del ruido en un determinado lugar de forma ponderada según la sensibilidad auditiva humana, ofrece el valor medio de ruido a lo largo de un tiempo determinado. Es decir que es capaz de acumular medidas del ruido en distintos tiempos y ofrecer un valor medio.



Figura 4 Dosímetro

Por este motivo y debido a que suele ser un instrumento portátil, este equipo es muy útil para medir el nivel de ruido al que están sometidos los trabajadores en sus puestos de trabajo a lo largo de la jornada laboral. Especialmente para aquellos empleados que están sometidos a distintos niveles de ruido durante su jornada, y que cambian de posición de forma continuada (de ahí la portabilidad del equipo).

Es un equipo que puede llevarse en el bolsillo de la camisa o sujeto a la ropa del trabajador cuya exposición al ruido deseamos medir. La lectura que proporcionan los dosímetros es la DOSIS DE RUIDO que podemos definir como la cantidad de ruido recibida por un trabajador, y se expresa generalmente como un % de la DOSIS MÁXIMA (100%). Aunque los equipos modernos nos proporcionan directamente el Nivel de presión acústica continua equivalente ponderado A.

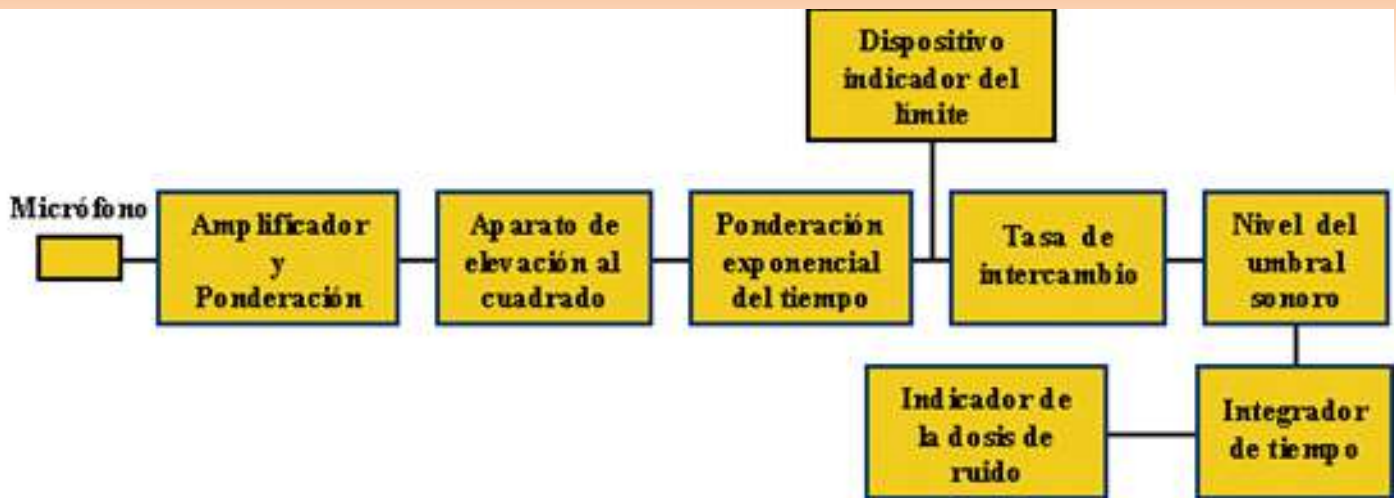


Figura 5 Esquema de un dosímetro

Según la legislación, el 100% de Dosis equivale a un nivel Diario equivalente de 85 dBA. Igual que sucede con el Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A, la dosis engloba dos conceptos: un nivel de ruido y un tiempo de exposición.

Analizador de Espectros

Este equipo es básico en las mediciones de ruido compuestos por distintas componentes frecuenciales, porque permite analizar todas las frecuencias de una banda al mismo tiempo.

El analizador de frecuencias determina el contenido energético de un sonido en función de la frecuencia. La señal que aporta el micrófono se procesa mediante filtros que actúan a frecuencias predeterminadas, valorando el contenido energético del sonido en ese intervalo

Calibrador

Se dice que el calibrador es el instrumento que asegura la fiabilidad del sonómetro. Para ello genera un tono estable a una determinada frecuencia (generalmente 1 kHz) sobre la que se ajusta la lectura del sonómetro a modo de patrón.

Parámetros que se utilizan en la Evaluación del Ruido

Nivel de Presión Sonora Ponderado, LpA

Teniendo en cuenta que el oído humano no tiene una respuesta de frecuencia plana, es necesario ponderar dicha respuesta de frecuencia del instrumento. Inicialmente se utilizaban las ponderaciones A, B y C, de acuerdo con el nivel de ruido que se deseaba evaluar, lo cual es posible con el uso de filtros.

Hoy en día prácticamente solo se usa la ponderación A ya que se ha visto una buena correlación entre los resultados medidos y las apreciaciones subjetivas.

Cuando se usa ponderación A, el nivel de presión sonora está dado por:

$$LpA = 10 \log (PA/PO)^2 \text{ Db}$$

Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente, Leq T

Es el nivel de presión sonora continuo que tendría la misma energía total, que el ruido real fluctuante evaluado en el mismo periodo de tiempo. La medición del nivel equivalente se basa en el principio de igual energía y se calcula así:

$$Leq, T = 10 \log 1/T0 \int (P(t)/P0)^2 dt$$

Decibeles (dB)

Unidad adimensional utilizada en física que es igual a 10 veces el logaritmo en base 10 de la relación de dos valores

$$dB = 10 * \log_{10} (\text{valor 1}/\text{valor 2})$$

Decibeles ponderado A (dBA)

Unidad que representa el nivel sonoro, medido con un sonómetro que incorpora un filtro de ponderación A

Dosis diaria de ruido (D)

Indicador de la exposición a ruido, en porcentaje, expresado por la siguiente relación:

$$D = [C1/T1 + C2/T2 + \dots + Cn/Tn] \times 100$$

Donde:

Cn = Tiempo total de exposición a un nivel de ruido especificado

Tn = Tiempo total permitido al nivel de ruido especificado

Ejemplo:

Para un trabajador expuesto a 91 dB durante 8 horas/día, la dosis sería
 $C_n = 8$ $T_n = 2$ (Aplicando tasa de intercambio de 3 dB)
 $D = C_n/T_n = 8/2 * 100 D = 400\%$

Nivel TWA.

Nivel de ruido ponderado en el tiempo, expresado en dB, representativo de la exposición ocupacional. Esta dado por la siguiente expresión matemática, para una tasa de intercambio de 3 dBA.

$TWA = 85 + 10 \log D/100$

Donde:

D es el porcentaje de la dosis de exposición

La duración diaria de exposición de los trabajadores a niveles de ruido continuo o intermitente no deberá exceder los valores límites permisibles que se fijan en la tabla N.º 1

No se permite ningún tiempo de exposición a ruido continuo o intermitente por encima de 115 dB(A) de Presión sonora.

Se considera que la exposición a ruido excede el valor límite permisible cuando la suma de las relaciones entre los tiempos totales de exposición diaria a cada nivel sonoro y 109 tiempos diarios permitidos para estos niveles, sea superior a la unidad, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$C_1 + C_2 + \dots + C_n \dots T_1 T_2 T_n$

C1, C2, Cn: Indica el tiempo total de exposición diaria a un nivel sonoro específico.

T1, T2, Tn: Indica el tiempo permitido diario a ese nivel sonoro según la Tabla N° 1.

Las exposiciones inferiores a 90 dB(A) no se tendrán en cuenta en los cálculos anteriormente citados.

Para exposiciones a ruido de impulso o de impacto, el nivel de presión sonora máximo estará determinado de acuerdo al número de impulsos o impactos por jornada diaria de conformidad con la tabla N° 2 del presente artículo y en ningún caso deberá exceder de 140 decibeles.

Requisitos para realizar la Medición en Ambientes de Trabajo

Las técnicas de medición del ruido en los sitios de trabajo deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Que determine la duración y distribución de la exposición al ruido para el personal expuesto durante la jornada diaria de trabajo.

- b) Que permita evaluar la exposición diaria al ruido para el personal expuesto y por ocupación.
- c) Que se efectúen mediciones del nivel total de presión sonora en el sitio o sitios habituales de trabajo, a la altura del oído de las personas expuestas, empleándose un medidor de nivel sonoro previamente calibrado y colocando el micrófono a una distancia no inferior a 0.50 centímetros de la persona expuesta y de la persona que toma las mediciones.
- d) Cuando el nivel total de presión sonora sea próximo o sea superior a 90 dB (A) se debe efectuar un análisis de frecuencia, utilizando un analizador de bandas de octavas o conseguir una apreciación de la frecuencia predominante del ruido, tomando mediciones con los filtros de ponderación A, B y C.
- e) Que facilite la selección de métodos de control, para lo cual es necesario obtener el nivel total de presión sonora y 8U distribución con la frecuencia, utilizando un equipo medidor de nivel sonoro y un analizador de bandas de octavas.
- f) Que el equipo empleado para las mediciones de ruido se encuentre calibrado tanto eléctrica como acústicamente y en adecuadas condiciones de funcionamiento. Que se efectúen mediciones del nivel sonoro total de fondo.
- g) Que permita conocer el grado de eficiencia de los sistemas existentes de control ambiental de ruido; para lo cual se requieren mediciones del nivel total de presión sonora y análisis de las frecuencias con y sin el funcionamiento o empleo del método de control en referencia.

Descripción del Procedimiento para la toma de Medidas

Podemos considerar dos criterios básicos de la medición del ruido en el trabajo:

- ✓ Puede medirse la exposición de cada trabajador, de un trabajador tipo o de un trabajador representativo. El dosímetro de ruido es el instrumento más adecuado a estos efectos.
- ✓ Pueden medirse niveles de ruido en varias áreas, creándose un mapa de ruido para la determinación de áreas de riesgo. En este caso, se utilizaría un sonómetro para tomar mediciones en puntos regulares de una red de coordenadas.

Pasos para la realización de las mediciones.

- a. Escuchar las principales características del ruido que se vaya a medir (características temporales, como por ejemplo si es estable, fluctuante o impulsivo; características de frecuencia, como las de ruido de banda ancha, tonos predominantes, infrasonidos, ultrasonidos, etc.).
- b. Hay que anotar las características más destacadas. Elegir los instrumentos más adecuados (tipos de sonómetro, dosímetro, filtros, registrador, analizador de frecuencia, etc.). La elección del instrumento más adecuado depende de dos factores:
 - ✓ Tipo de ruido
 - ✓ Movilidad del trabajador

La selección del instrumento de medida depende de si el ruido es: Estable o Variable y de que el trabajador permanezca fijo o móvil durante el desarrollo de la tarea.

- a. Comprobar la calibración y el funcionamiento del instrumento (baterías, datos de calibración, correcciones del micrófono, verificación periódica –en el caso de sonómetros y calibradores-, etc.).
- b. El instrumento de medida que se vaya a emplear se debe comprobar antes y después de la medida. Y esta comprobación debe llevarse a cabo según las instrucciones del fabricante. La calibración total del instrumento sólo puede hacerse en un laboratorio que esté acreditado a tal fin y se realizará cada año.
- c. Realizar un esquema del entorno de ruido que se vaya a medir, indicando las principales fuentes de ruido y las dimensiones y características importantes del recinto o ambiente exterior.
- d. Medir el ruido y anotar el nivel medido para cada red de ponderación o para cada banda de frecuencias. Anotar también la respuesta del medidor (“lenta”, “rápida”, “impulsiva”, etc), y la incertidumbre del medidor.

Precisión de las Mediciones

No existe una única estrategia para determinar el número y duración de las mediciones.

- ✓ Incertidumbre de las mediciones

A pesar de desarrollar un análisis detallado de las condiciones de trabajo y realizar adecuadamente las mediciones, los resultados de las mismas tienen un intervalo de incertidumbre que debe tenerse en cuenta. La incertidumbre total de las medidas se compone de tres partes:

- a) La generada por factores dependientes del tipo de ruido. Es cuantificable cuando puede hacerse un tratamiento estadístico de los datos.
- b) La generada por factores dependientes de la utilización de los equipos. No es cuantificable. Lo único que se puede hacer es aminorarla siguiendo un procedimiento de medida correcto.
- c) La generada por factores dependientes de la clase de precisión del aparato de medida. Es cuantificable.

Las fuentes de incertidumbre más usuales en la medición son:

- ✓ Las variaciones en el trabajo diario, tanto por las variaciones en los niveles de ruido, como por el tiempo de exposición.
- ✓ La instrumentación empleada.
- ✓ La posición del micrófono.
- ✓ Las falsas contribuciones provocadas por el viento, impactos en el micrófono o roce del mismo con la ropa, entre otros.
- ✓ El análisis inadecuado de las condiciones de trabajo.
- ✓ La estrategia de medición errónea.
- ✓ La contribución de fuentes de ruido atípicas tales como la voz humana, la música, las señales de alarma o los comportamientos anormales.

Para reducir la incertidumbre en el resultado de la medición, será competencia del técnico:

- ✓ Tener una razonable certeza de que las condiciones de trabajo son las habituales en el día que se va a medir. Para ello será necesario realizar un análisis previo de dichas condiciones.

- ✓ Comprobar que el micrófono del dosímetro personal no roce con la ropa del trabajador y que el cable de conexión, si lo tuviese, está sujeto a la ropa del trabajador con objeto de no provocar falsas contribuciones.
- ✓ Evitar las mediciones cuando haya corrientes de aire. Si esto no es posible, debe comprobarse que el micrófono dispone de una pantalla antiviento.

Cálculo de la incertidumbre generada por factores dependientes del tipo de ruido,

Sea L_i el Nivel de Presión Acústica Ponderado A de la muestra i ($i = 1, 2, \dots, n$). L_i puede ser:

- ✓ El Nivel de Presión Acústica Ponderado A “instantáneo”, medido con la característica temporal “Slow” del sonómetro, o , preferentemente,
- ✓ El Nivel de Presión Acústica Continuo Equivalente Ponderado A, medido durante un corto período de tiempo de duración t comprendida, por ejemplo, entre 1 y 15 minutos.

La estimación del Nivel de Presión Acústica Continuo Equivalente Ponderado A del intervalo de tiempo T , viene dada por la relación:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right]$$

La desviación típica

$$S_L = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{L} - L_i)^2}$$

El valor medio

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i$$

El intervalo de confianza para $L_{Aeq,T}$ se obtiene

$$L_{Aeq,T} = \bar{L}_{Aeq,T} \pm t_{(n-1,1-\alpha)} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

La incertidumbre generada por factores dependientes del tipo de ruido será, por tanto:

$$\varepsilon_1 = t_{(n-1,1-\alpha)} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

3.16.1.1. Cálculo de la incertidumbre generada por factores dependientes de la clase de precisión del aparato

Dependiendo de la clase de precisión del aparato se pueden tomar las siguientes incertidumbres:

Clase de precisión	1	2	3
Incertidumbre E_2)	0	± 1 dB	± 5 dB

- ✓ Cálculo de la incertidumbre total de la medida, E_T
- La incertidumbre o margen de error de las mediciones es la suma de la incertidumbre debida al tipo de ruido y la debida al tipo de aparato usado:

$$\varepsilon_T = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

- ✓ Clase de precisión de las mediciones

Dependiendo de la incertidumbre total, se definen tres clases de precisiones:

Incertidumbre E_T en dB	$E_T \leq 1,5$	$1,5 < E_T \leq 3$	$3 < E_T \leq 6$
Clase de precisión	1	2	3

Nota: E_T es la incertidumbre de la medición determinada

- ✓ Comparación con un nivel límite especificado

La comparación del valor del nivel diario equivalente de un trabajador, $L_{Aeq,d}$, con un nivel diario equivalente límite especificado, L_{lim} , debe ser efectuada teniendo en cuenta la incertidumbre ligada a las mediciones efectuadas de la siguiente forma:

Si, $L_{Aeq,d} + E_T \leq L_{lim} \leq L_{Aeq,d}$

No se puede concluir nada. Habrá que repetir las mediciones con más muestras o utilizar un método más preciso.

Si, $L_{Aeq,d} - E_T \leq L_{lim}$

El nivel límite no se habrá sobrepasado.

Si, $L_{Aeq,d} - E_T \geq L_{lim}$

El nivel límite se habrá alcanzado o superado.

Otras consideraciones

Si las mediciones se realizan al aire libre, deberán anotarse si se consideran importantes los datos meteorológicos pertinentes como el viento, la temperatura y la humedad.

En las mediciones al aire libre, e incluso en algunas mediciones en recintos cerrados, deberá utilizarse un guardaviento.

Han de seguirse siempre las instrucciones del fabricante para evitar la influencia de factores tales como el viento, la humedad, el polvo y los campos eléctricos y magnéticos, que puedan afectar a las mediciones.

Medición con el Sonómetro

Para realizar correctamente la medición del nivel sonoro con un sonómetro, éste se debe mantener separado del cuerpo del operario, pero colocándolo a la altura de su pabellón auricular.

Se anotarán todos los datos que aparecen en el formato 2 y se localizará en un plano de la empresa el lugar o la máquina donde se ha realizado la medición.

El Nivel Diario Equivalente de un trabajador que está expuesto durante un tiempo T a un ruido cuyo Nivel de Presión Acústica Continuo Equivalente ponderado A es de LAeq,T será:

$$LA_{eq,d} = LA_{eq,T} + 10 \log (T / 8)$$

Medición con Dosímetro

Para realizar correctamente la medición del ruido con un dosímetro, se le instalará al operario, colocándole el micrófono a la altura del pabellón auricular y se le mantendrá en funcionamiento durante un tiempo T (representativo de toda la jornada laboral), admitiéndose que el resto de la jornada estará sometido al mismo nivel de ruido. Se anotarán todos los datos que aparecen en la ficha del Formato 3.

Para hallar el Nivel de Ruido Diario Equivalente (NRDE), habrá que convertir el % de dosis mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Dosis en } 8 \text{ h} = D\% (8 / T)$$

Y el NRDE del trabajador expuesto será:

$$LA_{eq,d} = 90 + 10 \log (\% \text{ dosis en } 8 \text{ H} / 100)$$

Medición con Analizador de Frecuencias

El analizador permite realizar mediciones acústicas de manera rápida, cómoda y sencilla, ya que tiene una única escala, y por ello no es necesario ningún ajuste de escala previo. Mide simultáneamente todas las funciones para cada modo de funcionamiento (sonómetro o analizador de espectro) con las ponderaciones frecuenciales A, C y Z.

Los datos medidos y registrados por el aparato se pueden volcar a un ordenador personal para disponer de ellos en formato electrónico. La salida AC permite adquirir la señal del preamplificador, pudiendo hacer un registro calibrado. Al ser el micrófono extraíble, se puede desacoplar y alejarlo del aparato mediante un cable prolongador.

El analizador de frecuencias permite medir, simultáneamente y en tiempo real, los niveles de presión sonora y el nivel de pico para las bandas de octava de 31,5 Hz a 16 kHz y los niveles de presión sonora globales y de pico con todas las ponderaciones frecuenciales.



Medición con Calibrador

El calibrador acústico genera un nivel de presión sonora, usualmente de 94, 104 o 114 dB a una frecuencia de 1.000 Hz, con el que se comprueba la aptitud de los instrumentos de medición (sonómetros integradores-promediadores y dosímetros personales) al comparar el nivel de presión sonora obtenido por el instrumento de medición con el nivel generado por el calibrador acústico.

REGISTRO DE INFORMACIÓN GENERAL									
Empresa _____					Fecha _____				
Dirección _____					Ciudad _____				
Trabajadores: Planta _____			Oficina _____			Total _____			
Turnos y horario de trabajo: 1° _____ 2° _____ 3° _____									
Dependencia Sección Operación	N° de Trabajadores			Horas / día Exposición	N° de Fuentes		Ciclos de Exposición		
	Total en el sitio	Expuestos			Primaria	Secundaria	Total	Parcial	Transi- toria
		Directos	Indirectos						
Resumen del proceso en el lugar medido: _____									
CARACTERÍSTICAS DE RUIDO EN EL LUGAR CONSIDERADO									
Ruido: Continuo Estable _____ Continuo Fluctuante _____ Intermitente _____ Impulso _____									
Fuente Principal _____ Fuente Secundaria _____									
Velocidad o RPM _____									
Descripción de los controles ambientales adoptados: _____									
Protección Personal: Tipo de protectores _____ Marca _____									
Son utilizados _____ Datos de Atenuación _____									
Exámenes Audiométricos:									
Periodicidad _____ Antigüedad del trabajador _____									

Fuente: Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO									
Marca _____		Tipo _____			Modelo _____				
Cumple Norma ISO _____			IEC _____		Otra _____				
Tipo de micrófono: _____									
Calibración: Eléctrica _____		Acústica _____			Fecha _____		Lugar _____		
Tiempo de medición: Iniciación _____					Finalización _____				
Esquema de las secciones con localización de fuentes generadoras y puntos de medición.									
Higienista responsable _____					Licencia No.: _____				
Sitio u Operación	Nivel de ruido dB(A)			Trabajadores expuestos		Horas		Grado de riesgo	Observación
	Min.	Max.	NPS	Directos	Indirectos	Expo.	Permitid		

Fuente: Elaboración propia

$$SPL_T = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{SPL_i / 10}$$

$$NRR = SPL_{sin\ proteccion} - SPL_{con\ proteccion}$$

3. Iluminación

La Iluminación Industrial es uno de los principales factores ambientales de carácter micro climático, que tiene como principal finalidad el facilitar la visualización de las cosas dentro de su contexto espacial, de modo que el trabajo se pueda realizar en unas condiciones aceptables de eficacia comodidad y seguridad.

Si se consiguen estos objetivos, las consecuencias no sólo repercuten favorablemente sobre las personas,

reduciendo la fatiga, la tasa de errores y de accidentes, sino que además contribuyen a mejorar la cantidad y calidad del trabajo.

También, la iluminación es objeto de un tratamiento tal que, bajo determinados códigos y colores, provee una dimensión estética e informativa complementaria sobre máquinas, equipos o elementos a destacar por medio de las técnicas de la señalización industrial.

Características de la radiación luminosa

El movimiento de corpúsculos denominados fotones que una fuente luminosa emite en todas las direcciones, da origen a una radiación electromagnética. De estas radiaciones una pequeñísima parte, logra sensibilizar la retina del ojo, para dar la sensación de luz. Las demás dan lugar a diversos fenómenos tales como rayos cósmicos, rayos Gama, rayos X, rayos UV, rayos infrarrojos, microondas y radiocomunicaciones (UHF, VMF, FM, etc)

La luz es una forma de energía radiante que se propaga en el espacio como un movimiento ondulatorio transversal, a la velocidad de 300.000 kilómetros por segundo.

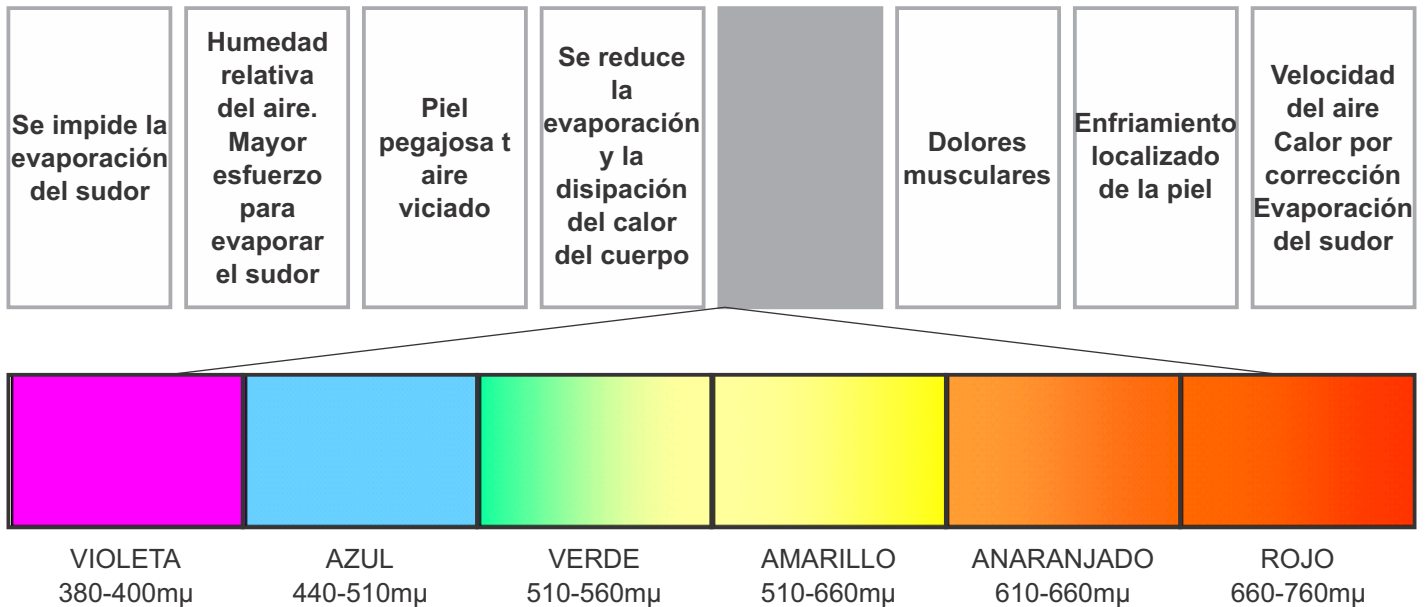


Figura 6. Espectro luminoso y visible

Lo anterior implica que las radiaciones comprendidas entre 380 y 760 milimicras, tienen la propiedad de sensibilizar la retina y dan lugar al denominado espectro de luz.

La radiación se transmite siempre en el vacío y en muchas ocasiones a través de materiales sólidos, líquidos y gaseosos; por ejemplo, la luz solar que primeramente se ha transmitido al vacío espacial, al llegar a la atmósfera terrestre se transmite a través de un medio gaseoso, llegar a la superficie de la tierra. Esta transmisión a distancia se realiza por medio de ondas, es decir, perturbaciones periódicas en el

espacio recorrido por la radiación.

Existen diferentes tipos de radiación, como, por ejemplo, la radiación calorífica producida por una estufa, la radiación eléctrica producida por las ondas de radio, la radiación luminosa producida por una lámpara; las diferencias entre las radiaciones dependen de los elementos que las caracterizan y éstos son:

Longitud de onda. Es la longitud que tiene la onda entre dos puntos que se encuentran en el mismo lugar relativo. La longitud de onda se representa con la letra griega Lambda (λ).

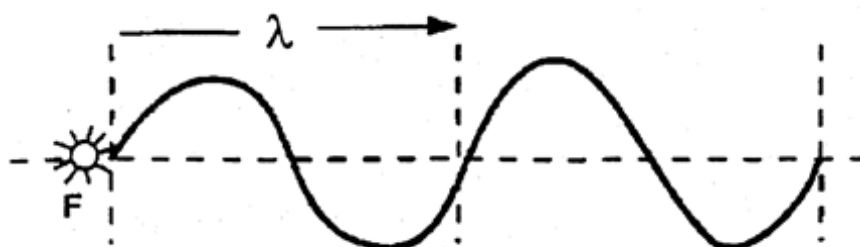


Figura 7. Radiación electromagnética

Período. Es el tiempo que tarda la onda en ocupar dos posiciones idénticas, se representa con la letra T.

Frecuencia. Es el número de períodos por segundo. Se representa por la letra f. T y f son magnitudes inversas.

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Velocidad de propagación. Es la velocidad con que se propaga la onda a través del espacio. Se representa por la letra V.

Se supone siempre que las radiaciones se transmiten con movimiento uniforme, por lo tanto:

$$\lambda = V * T \longrightarrow V = f * \lambda \quad (2)$$

En conclusión, cada una de las radiaciones conocidas se diferencia de las demás porque tienen una longitud de onda, y unas velocidades de propagación propia y distinta a la demás radiación. Las características de la radiación luminosa son:

Longitud de onda: oscila entre 380 mμ (violeta) –760 (rojo); estos límites son los fijados para un ojo humano normal.

Velocidad de propagación: V = 300.000 Km/seg.

Conociendo estos dos elementos se pueden deducir los otros, además es importante anotar que la luz se propaga en línea recta.

visión humana

Existen básicamente tres tipos de visión: visión fotópica, visión escotópica y visión mesotópica.

Visión fotópica (diurna). Está regulada por los conos y los bastones de la retina y permite la percepción de las diferencias de luz y color. La máxima sensibilidad se produce para un $\lambda = 555\text{m}$ que corresponde al color amarillo limón (verde amarillo).

Visión escotópica (nocturna). Está regulada por los bastones de la retina y permite la percepción de las diferencias de luminosidad, pero no de colores, ya que por debajo de determinados niveles de luz, los conos de la retina permanecen inactivos, y la máxima sensibilidad se desplaza hacia el color azul (500m). A este fenómeno del desplazamiento de los umbrales mínimos de la sensibilidad visual se le conoce como “efecto Purkinje”.

Visión mesotópica (intermedia). Llamada también de compromiso o intermedia. Estos aspectos relacionados con los tipos de visión toman una importancia significativa a la hora de diseñar sistemas de iluminación o de señalización en condiciones visuales extremas (aeronáuticos, señalización marítima y aérea, conducción nocturna, trabajo con materiales fotosensibles, etc.).

factores de la visión

La visión es un fenómeno complejo en el que intervienen varios factores, que se clasifican en fisiológicos y psicofisiológicos.

En el campo de la percepción visual, directamente relacionados con los factores psicofisiológicos, existen fenómenos muy complejos, algunos todavía no explicados como son las llamadas ilusiones y paradojas ópticas (ilusión de Springer y Hering).

Son los llamados factores fisiológicos de la visión, los que quizá tengan más importancia en relación con la iluminación industrial; éstos son: la acomodación visual, la adaptación y la agudeza visual.

Acomodación visual. Implica la visión de cerca y de lejos, se define como la capacidad que tiene el ojo para enfocar los objetos a diferentes distancias, variando el espesor y, por tanto, la longitud focal del cristalino por medio del músculo ciliar.

Adaptación visual. Es el proceso por el cual el ojo se adapta a distintos niveles de luminosidad. En este proceso interviene el iris del ojo, que actúa similarmente al diafragma de una cámara fotográfica que regula la entrada de luz por el objetivo, aunque lógicamente las variaciones de tamaño de la pupila no son las únicas responsables de la capacidad del ojo para adaptarse a diferentes luminosidades. La duración de la adaptación de luz depende de múltiples factores, tales como iluminación inicial, magnitud del cambio de luminosidad, etc. pero lo más significativo, quizá sea el que la adaptación de niveles de luz bajos a niveles elevados, se realiza relativamente en poco tiempo, en comparación con el que se requiere cuando se pasa de niveles elevados a niveles bajos de iluminación.

Agudeza visual. Es la capacidad de percibir y discriminar visualmente los detalles más pequeños y se expresa como la inversa del tamaño visual del objeto en minutos de arco, bajo el cual puede percibirse o reconocerse un objeto.

Magnitudes y unidades luminosas

A continuación, se estudiarán las siguientes magnitudes con sus respectivas unidades:

Intensidad Luminosa (I). Si se tiene una fuente luminosa puntiforme S y una dirección S X, comprendida en un cono.



Figura 8. Fuente luminosa puntiforme

Cuyo vértice es S y ángulo sólido es dw, y si llamamos dΦ al valor del flujo luminoso radiado por la fuente S en este caso, se llama intensidad luminosa de la fuente S según la dirección S X al valor del cociente diferencial:

$$I = \frac{d\phi}{dw} \quad (3)$$

Se dice que la fuente es uniforme cuando su intensidad es constante en cualquiera de las direcciones del espacio;

$$I = \frac{\phi}{w} \quad (4)$$

La unidad de medida utilizada es la candela (Cd). El patrón primario internacional es un Crisol conteniendo platino puro en estado de fusión; en el punto de solidificación del platino fundido, su temperatura permanece constante e igual a 2046°K. Un centímetro cuadrado en este patrón primario tiene una intensidad luminosa de 60 candelas. La candela definida de esta manera, representa aproximadamente la intensidad luminosa horizontal de una llama de bujía.

Flujo Luminoso (Φ). La cantidad de radiación visible producida por una fuente se denomina flujo luminoso. Su unidad es el lumen y se define en el sistema métrico como la cantidad de flujo luminoso que incide sobre un (1) metro cuadrado de la superficie de una esfera de radio de un (1) metro, y provista de una fuente colocada en su centro y que emita una candela en todas las direcciones. Como la superficie de la esfera es 4π r² y r = 1 metro, por lo tanto el flujo emitido por una candela es 12.56 lúmenes.

$$\Phi = 4 \pi \text{ Lúmenes}$$

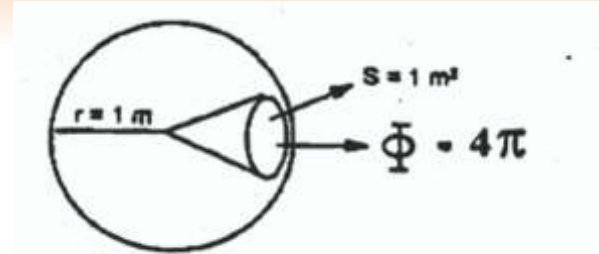


Figura 9 Flujo luminoso

Nivel de iluminación (E). El nivel de iluminación (E), de una superficie S es la relación entre el flujo luminoso que recibe esta superficie y su área.

$$E = \Phi/S \quad (5)$$

La unidad de iluminación más empleada es el lux. Se puede definir como la iluminación de una superficie de 1 m² que recibe uniformemente repartido, el flujo de un lumen.

También se utiliza la unidad Footcandle que es la iluminación de una superficie de un pie cuadrado que recibe uniformemente repartido, el flujo de un lumen.

$$\text{Lux} = 0.093 \text{ Footcandle}$$

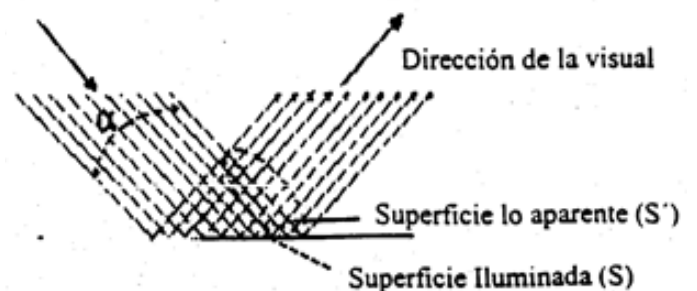
$$\text{Footcandle} = 10.764 \text{ Lux}$$

B

Brillo (Luminancia) (L). El brillo es la relación entre la intensidad luminosa en una dirección determinada y una superficie, o sea que:

$$L = \frac{I}{S} \quad (6)$$

Pero esta superficie varía dependiendo de la posición del observador. La superficie resultante es una sección aparente S' la cual es una proyección de S sobre un plano perpendicular a la dirección de la intensidad luminosa.



$$S' = S \cos \alpha$$

Figura 10. Brillo indirecto, incidencia de la luz sobre superficies brillantes

Pueden existir dos tipos de brillo:

Brillo directo o emitido: corresponde a las fuentes luminosas.

Brillo indirecto o reflejado: corresponde a objetos iluminados.

El brillo en luminotecnia es un concepto que corresponde a la sensación subjetiva, es decir, de la claridad con que se puede ver una fuente luminosa o un objeto iluminado. Tanto la intensidad luminosa como el flujo luminoso y el nivel de iluminación no produce en los ojos sensación inmediata de claridad; la luz no se hace visible hasta que tropieza con un objeto que la refleja o la adsorbe. Esto es lo que hace que distintos cuerpos con la misma iluminación no se vean todos con la misma claridad.

Las unidades de medida más usadas son:

Lúmenes por m ² :	Blondels
Lúmenes por cm ² :	Lamberts
Lúmenes por pie ² :	Footlamberts
Candela por cm ² :	Stilb
Candela por m ² :	Nit

Leyes fundamentales de la iluminación

Ley fundamental. La iluminación situada perpendicularmente a la dirección de la radiación luminosa, es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la fuente luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que la separa del mismo, o sea que ,

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (7)$$

Lo anterior se cumple para:

Fuentes puntuales.

Fuentes superficiales luminosas: cuando la distancia de ésta a la superficie sobre la cual se quiere calcular la iluminación es por lo menos 10 veces mayor que el diámetro de la superficie luminosa, o si ésta es de forma irregular, su mayor dimensión transversal. En caso contrario, se deben considerar elementos ínfimamente pequeños de la superficie y proceder por integración.

Ley del Coseno. La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado.

Ley de la Inversa del cuadrado de las distancias. Para una misma fuente luminosa, las iluminaciones en diferentes superficies son inversamente proporcionales al cuadrado de sus distancias a dicha fuente.

Calidad de la luz

La calidad de la iluminación depende de la distribución del brillo en el ambiente visual. El deslumbramiento, difusión, dirección, uniformidad, color, brillo y contraste son factores que influyen en la visibilidad y en la capacidad para ver fácil, segura y rápidamente.

Brillo: se pueden considerar dos clases de brillo:

Brillo directo: corresponde al brillo de la fuente luminosa.

Brillo reflejado: es el brillo percibido al incidir el flujo luminoso sobre una superficie brillante; por ejemplo: el brillo de un espejo intensamente luminoso.

Deslumbramiento: el deslumbramiento es la diferencia de brillos que produce molestia, interferencia con la visión o fatiga visual.

Factores determinantes del deslumbramiento.

Brillo de la fuente: cuanto mayor sea éste, mayor será la molestia y la interferencia con la visión. El límite tolerable del brillo, para visión directa, es el producido por una luminancia de 7500 Nit (1 Nit es igual a 0.29 Footlamberts).

Posición de la fuente de luz: el deslumbramiento decrece rápidamente a medida que la fuente se aparta de la línea de visión. Una luminaria suspendida en el campo de la visión produce mayor deslumbramiento que una montada por encima del ángulo visual normal.

Contraste de brillo: cuanto mayor es el contraste de brillo entre una fuente que deslumbre y sus alrededores, mayor será el efecto del deslumbramiento. Es decir, la presencia excesiva de luz y sombras en el campo visual.

Tiempo: una exposición a la luz que puede-no ser molesta durante un corto espacio de tiempo, puede resultar muy molesta y fatigosa para una persona que tuviera que trabajar en tales condiciones durante 8 horas al día.

Efectos que produce el deslumbramiento.

Disminución de la percepción visual: distrae la atención del observador, disminuyendo, por tanto, la percepción en el resto del campo visual. Se utiliza en los anuncios luminosos de tipo publicitario.

Efectos desagradables a la vista: fatiga visual y, por lo tanto, menos rendimiento en el trabajo o tarea encomendada.

Da un aspecto falso y perjudicial a los objetos excesivamente iluminados.

Normas para evitar el deslumbramiento. Son precauciones lógicas contra el deslumbramiento excesivo.

Evitar al máximo entrar objetos brillantes en el campo

visual del observador, lo cual puede lograrse de la siguiente manera:

- ✓ Corriendo la lámpara por encima del campo de visión.
- ✓ Proteger todas las lámparas que haya que instalarse dentro del campo de la visión.
- ✓ Usar colores claros en techos y paredes para reducir el constaste.

Relación de brillo. La habilidad para los detalles depende de la diferencia de brillos entre los detalles y el fondo. La función de los ojos es más eficiente cuando el brillo de las otras áreas de visión es relativamente uniforme. La relación de los brillos en áreas industriales no debe exceder los valores relacionados en la siguiente tabla.

Tabla 4 Relación de brillos recomendados

	A	B	C
Entre punto de trabajo y sombra adyacente circundante	3 a 1	3 a 1	3 a 1
Entre punto de trabajo e iluminación adyacente circundante	3 a 1	3 a 1	1 a 5
Entre punto de trabajo y superficie oscuras lejana	10 a 1	20 a 1	*
Entre punto de trabajo y superficie iluminadas lejanas	1 a 10	1 a 20	*
Entre luminarias (o ventanas, tragaluces) y superficies adyacentes a ellas	20 a 1	*	*
Algún lugar dentro del campo normal de la persona	40 a 1	*	*

* El control de la relación no es práctica.

A: Área interior donde la reflectancias en todo el espacio puede ser controlada con recomendaciones para condiciones optimas

B: Áreas donde las reflexiones de toda el área de trabajo pueden ser controladas, pero el control de las áreas circundante es limitada.

C: Áreas donde es completamente impracticable el control de referencia, dificultado por las variaciones de las condiciones ambientales.

Valores de reflexión o reflectancia. El color y la reflexión de las paredes techo y piso de un salón, bien parejo, determina el brillo patrón (o modelo) y su influencia de la visión por parte del ambiente. Las pinturas oscuras de paredes, pisos y techo pueden reducir la efectividad de la instalación luminosa hasta un 50%. Los valores de reflectancia son los siguientes.

Tabla 5 Valores de reflectancia recomendados

Descripción	Reflectancia
Techo	80 -90
Paredes	40 -60
Escritorios, maquinas, asientos	25 -45
Pisos	20

Para tener una base de cálculo de los reflejos de paredes y techos (el factor promedio en aquellas es del 50% y en techo hasta el 58%), el reflejo de esto podrá ser medido sencillamente por un fotómetro de luz reflejada, de los que se utilizan en fotografía.

Tabla 6 Valores de reflexión de algunos colores

COLOR	Porcentaje de reflexión
Negro	4
Violeta oscuro	5
Carmesí	6
Gris oscuro	10
pavo real	11
Azul turquesa	15
Rojo	17
Verde hierba	18
Verde salvia	19

Sistemas de iluminación

Se clasifican según la distribución del flujo luminoso, por encima o por debajo de la horizontal. Para conseguir estas distribuciones de flujo se utilizan dispositivos denominados en general, aparatos de alumbrado, basados en las propiedades de reflexión, refracción y difusión de la luz. Los sistemas de iluminación existentes son:

La iluminación directa: el flujo se dirige directamente a la superficie que se ha de iluminar. Figura 34; el uso de esta iluminación produce:

- ✓ Sombras duras y profundas.
- ✓ Deslumbramiento al situarse dentro del campo visual, manantiales luminosos de gran intensidad y poca superficie emisora, es decir, de gran luminosidad

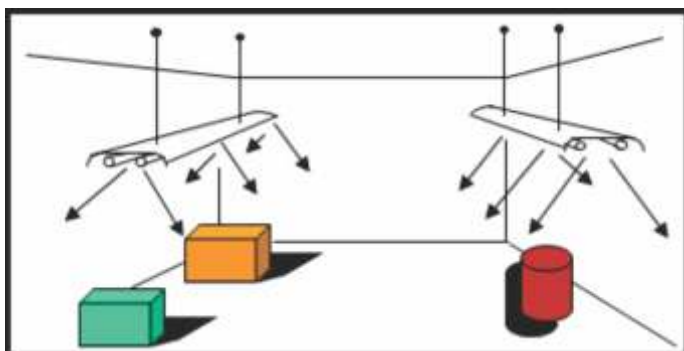


Figura 11. Sistema de iluminación directa

La iluminación directa es la más apropiada en fábricas y talleres, es decir, donde el efecto estático o la calidad del alumbrado sean secundarios y se busque una iluminación barata y de gran rendimiento.

Iluminación semidirecta: la mayor parte del flujo luminoso se dirige directamente hacia la superficie que se trata de iluminar; una pequeña parte (del 10 al 40%) se hace llegar a dicha superficie previa reflexión de techos y paredes. El uso de esta iluminación produce:

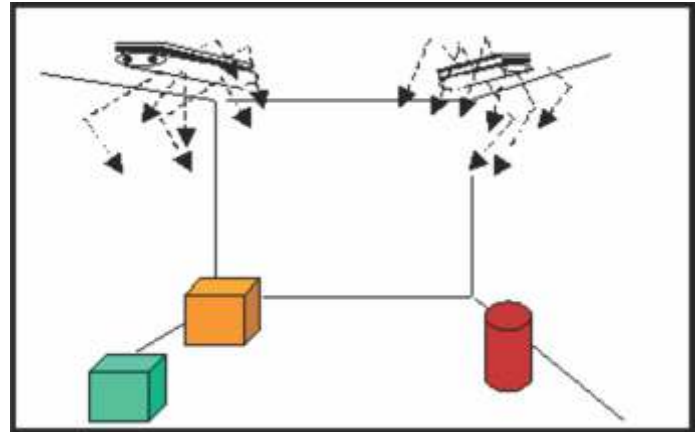


Figura 12. Sistema de iluminación semidirecta

- ✓ Sombras menos duras que la iluminación directa.
- ✓ Una cantidad muy reducida de deslumbramiento.
- ✓ Reducción en el rendimiento luminoso de la lámpara, pero resulta más agradable a la vista.

Este tipo de iluminación se consigue, a partir de aparatos de alumbrado para iluminación directa a los cuales se les añade un vidrio difuso adecuado.

Iluminación difusa: la mitad del flujo se dirige hacia abajo y la otra mitad hacia arriba, la cual llega posteriormente a la superficie a iluminar, después de reflejarse varias veces por techo y paredes.

El uso de esta iluminación produce:

- ✓ La eliminación de sombras.
- ✓ Una mayor reducción del peligro del deslumbramiento, o
- ✓ La eliminación de sombras en los objetos, los cuales aparecen planos y no dan la sensación plástica de relieve.

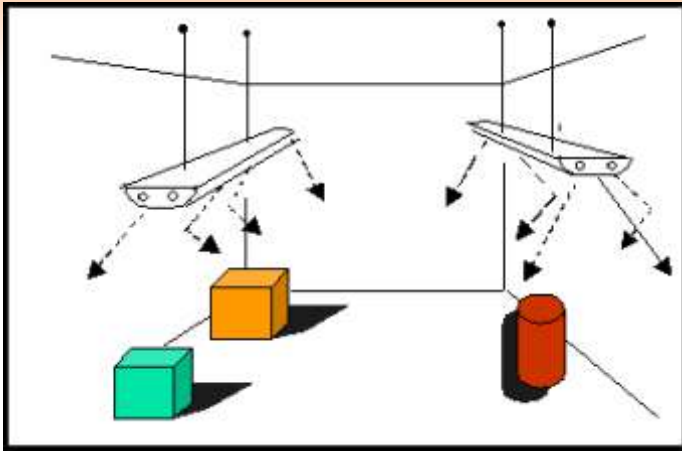


Figura 13. Sistema de iluminación difusa

Iluminación semi-indirecta o semidifusa: una pequeña parte del flujo luminoso (del 10 al 40%) se recibe directamente por la superficie iluminada; la mayor parte de dicha luz se envía hacia el techo, donde se refleja, para llegar finalmente a la superficie que se ha de iluminar.

El uso de esta iluminación produce:

- ✓ Iluminación casi totalmente exenta de deslumbramiento y con sombras suaves.
- ✓ El rendimiento luminoso es bajo, aunque se puede mejorar pintando las paredes y techo de colores claros.

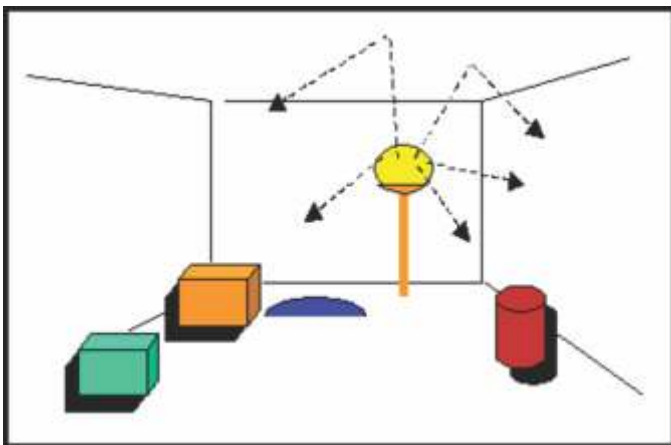


Figura 14. Sistema de iluminación semidifusa

Iluminación indirecta: todo o casi todo el flujo luminoso se dirige hacia el techo.

El uso de esta iluminación produce:

- ✓ Una reacción muy baja del rendimiento luminoso.
- ✓ Económicamente hablando, un incremento apreciable en su utilización.
- ✓ Una inexistencia total del deslumbramiento.

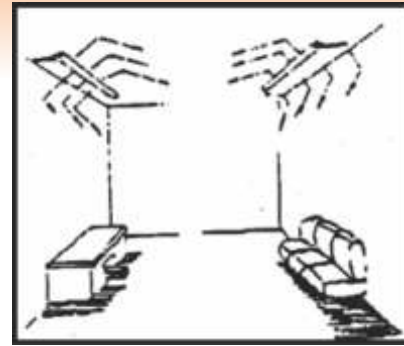


Figura 13. Sistema de iluminación indirecta

Métodos de alumbrado

En esto se hace referencia la concentración uniforme de luz necesaria para efectuar una tarea determinada. Los métodos de alumbrado pueden ser:

Alumbrado general: es un método de distribución uniforme de luz, que produce en todos los lugares de un interior, idénticas condiciones de visión. Es empleado en oficinas generales, aulas de enseñanza, fábricas, etc.

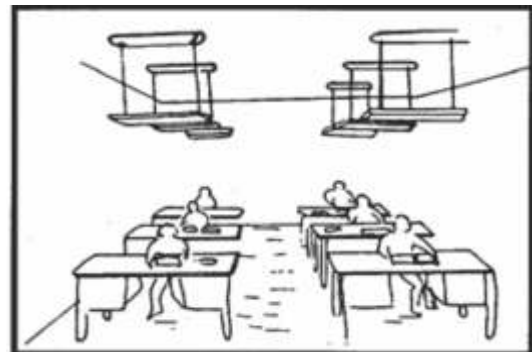


Figura 14. Método de alumbrado general

Alumbrado general localizado: se utiliza en industrias, donde no se requiere un nivel uniforme de iluminación en toda la nave, sino en grupos de máquinas determinados, pero se debe asegurar al mismo tiempo una iluminación general suficiente, en los pasillos y zonas circundantes de las máquinas para evitar los fuertes contrastes de iluminación.

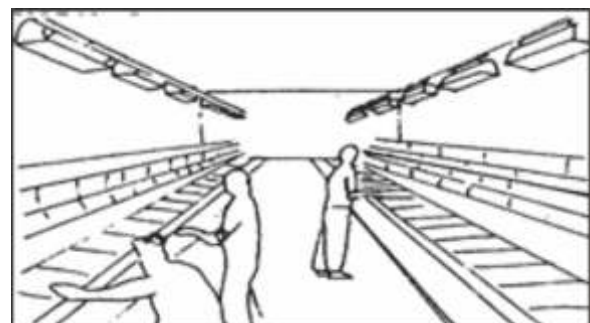


Figura 15. Método de alumbrado general localizado

Alumbrado individual: se utiliza cuando se precisa un alto nivel de iluminación en un puesto de trabajo debido a la precisión de la tarea.

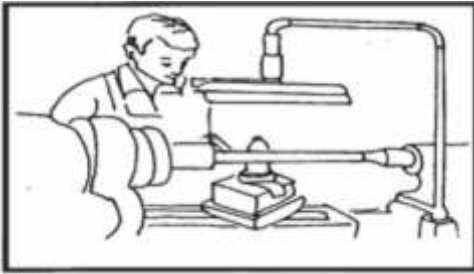


Figura 16. Método de alumbrado individual

Alumbrado combinado: en muchas ocasiones se obtiene el mejor resultado combinando dos o más métodos de alumbrado, general localizado e individual.

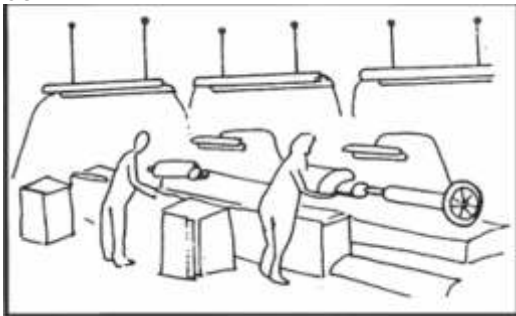


Figura 17. Método de alumbrado combinado

Alumbrado suplementario: se utiliza generalmente en locales comerciales, para hacer resaltar objetos, con fines publicitarios.

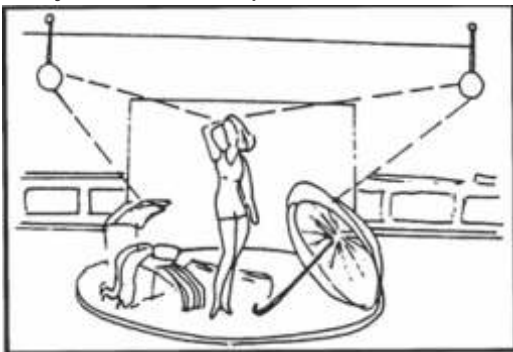


Figura 18. Método de alumbrado suplementario

4. Evaluación de la iluminación

Instrumentos de medida

Existen dos tipos de instrumentos de medida: el medidor de la intensidad de luz o Luxómetro y el medidor de brillo.

Medidor de intensidad de luz o Luxómetro.

Existen varios equipos comercialmente disponibles. El más comúnmente usado es el medidor General Electric tamaño bolsillo y el medidor Weston de célula bisagrada. Ambos, están provistos con elementos correctores de coseno. Con corrección de coseno, un medidor de luz responde igualmente a la luz proveniente de todas las direcciones en vez de relacionar únicamente la radiación que incide verticalmente. El medidor de célula Weston posee un rango más amplio que el General Electric, pero son más expansivos, es decir, miden niveles mayores. La precisión de los medidores es alta, los medidores con nueva sensibilidad en rangos bajos y con multicélulas son conseguibles comercialmente.

Medidor de brillo. El medidor de brillo mide la luz que sale de un objeto o superficie. El principio de funcionamiento es idéntico al anterior y la medida la realiza en lúmenes por pie cuadrado (foot-lamberts). Existen comercialmente varios tipos de medidores de brillo, pero cuando el brillo de una superficie o pared está uniformemente iluminado puede ser medido con un Luxómetro. Este debe ser colocado a una distancia de 6 pulgadas de la superficie, con la célula colocada en posición paralela y en dirección a ella. La lectura dará aproximadamente el número de pies-lamberts, aunque en realidad se está midiendo el número de bujías-pies.

Precisión de los medidores: la precisión de los medidores es variable dependiendo del tipo de equipo. Para los medidores de bolsillo la precisión es de más o menos 95 % cuando sale de fábrica.

En el caso de que no haya sido golpeado o dañado el medidor debe ser calibrado cada dos años.

Causas de error: cualquier tipo de medidor utilizado, debe tomar lecturas en la noche. Si la luz día suplementa la artificial, deberá hacerse ambos estudios (en la noche y en el día o con la luz apagada y encendida).

El que evalúa debe usar vestidos de colores oscuros para eliminar la interferencia en las lecturas, y se debe colocar dos o tres pies de lejos para prevenir su sombra sobre la superficie de la célula. Para evaluar la iluminación del área a la cual se le ha colocado lámparas nuevas se deben evaluar así:

- ✓ Después de 100 horas de uso las lámparas fluorescentes.
- ✓ Después de 20 horas de uso las lámparas incandescentes.

Métodos de evaluación

La evaluación de la cantidad de la luz, se hace para determinar recomendaciones prácticas y/o observar la necesidad de mantenimiento, modificaciones o reemplazo de los equipos de iluminación. Los beneficios tangibles derivados del incremento de iluminación son difíciles de fijar. Cada caso individual puede considerarse separadamente después de evaluada la luz y los niveles se hayan encontrado inferiores a los recomendados. Una buena iluminación aumenta las condiciones de seguridad, disminuye la pérdida de trabajo, reduce la fatiga, incrementa rendimiento en relación a los aspectos económicos. La instalación de iluminación adicional no siempre es la solución, porque algunas edificaciones son diseñadas para incrementar la luz alterando las relaciones de brillo. Algunas veces los sistemas de luz en construcciones viejas pueden ser cambiados hasta niveles recomendables, únicamente a un costo considerable.

Para la evaluación de las condiciones de iluminación se hace necesario llevar a cabo la inspección de la planta o área de trabajo a evaluar, en donde se plantean los siguientes interrogantes:

- ✓ ¿Cuál es la apariencia del área, la condición del punto de interés y la comodidad visual?
- ✓ ¿Si la iluminación es general, suplementaria, etc.
- ✓ ¿Cuál es la limpieza de lámparas, tragaluces y ventanas?
- ✓ ¿Cada cuánto las limpian?
- ✓ ¿Cuántas lámparas están fuera de servicio?
- ✓ ¿De qué color están pintadas las paredes, techos y equipos?
- ✓ ¿Son los colores del puesto de trabajos aceptables, acordes con los valores de reflexión?
- ✓ ¿Qué tan limpios están las paredes y techos y cuánto hace que las pintaron o limpiaron?
- ✓ ¿Existe alguna fuente clara de brillo directo o brillo reflejada?
- ✓ ¿Están sujetos algunos trabajadores a sombras molestas?
- ✓ ¿Qué cambios pueden hacerse para mejorar el ambiente visual?



En estas visitas se recomienda utilizar el siguiente formato.

FORMATO DE EVALUACIÓN DE ILUMINACIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO	
Ciudad y fecha _____	Encuesta No. _____
Empresa _____	
Área o sección _____	Jornada _____ Hora _____
CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA	
Descripción del área _____	
Longitud _____	Ancho _____ Altura _____ Altura útil _____
Bosquejo de área irregular	

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

DESCRIPCIÓN	CONDICIONES DE LA SUPERFICIE			
	MATERIAL	COLOR	TEXTURA	ESTADO
Paredes				
Techo				
Piso				
Superficie de trabajo				
Ventanas				
Equipo				

Clasificación del equipo de trabajo: _____

Aparatos luminosos. Tipo: _____

Especificación de las lámparas: _____

Lámparas por aparatos: _____ Número de aparatos: _____

Número de filas: _____ Aparatos por filas: _____

Altura del Montaje: _____ Espacios entre aparatos: _____

Condición del equipo: _____

DESCRIPCIÓN DE LA ILUMINACIÓN LOCAL O SUPLEMENTARIA

Puntos R: _____

Puntos Q: _____

Puntos T: _____

Puntos P: _____

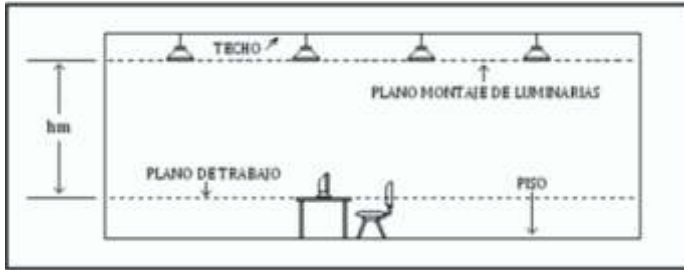
Observaciones _____

Analista _____

Determinación del Cálculo de Cavity del Local

La determinación del cálculo de cavity del local se efectúa teniendo como base el siguiente esquema:

Calculo de la cavity local



mediante la fórmula

$$hm = h - (PT + PML)$$

Donde:

hm: Altura de la cavity del local [mts]

h: Altura del local [mts]

PT: Plano de trabajo [mts]

PML: Plano de montaje de luminarias [mts].

$$K = \frac{5 \times hm \times (l + a)}{l \times a} = RCL$$

Donde hm es la distancia que hay entre el plano o la altura de trabajo y la altura de montaje de la luminaria, l y a corresponden a la longitud y al ancho del local respectivamente. K o RCL hacen referencia al índice de la cavity del local.

Determinación del Coeficiente de Utilización (CU).

El coeficiente de utilización es la relación entre el flujo luminoso que cae en el plano de trabajo y el flujo luminoso suministrado por la luminaria. Este coeficiente representa la cantidad de flujo luminoso efectivamente aprovechado en el plano de trabajo después de interactuar con las luminarias y las superficies dentro de un local.

El CU se determina por una interpolación de datos de la tabla entregada por el fabricante, los datos a tener en cuenta para la interpolación son las reflectancias efectivas de las superficies y el índice K. Estas tablas normalmente se construyen sin tener en cuenta la reflectancia del piso porque es la menos influyente en la iluminación promedio, así que la mayoría de éstas se construyen para un valor fijo de reflectancia de piso.

Para una mejor comprensión se asumirán los siguientes datos para calcular el CU a manera de ejemplo:

Reflectancia del techo = 0,60

Reflectancia de paredes = 0,75

La manera de interpolar estos datos en la Tabla 3 es ubicándolos según correspondan en las casillas de reflectancias de techo y paredes y del índice K asumiendo que éste tiene un valor de 3. Los valores de reflectancia y de índice K que se encuentran en las tablas de CU son valores enteros así que se deben elegir los más cercanos.

De esta manera se hacen las siguientes aproximaciones:

P Techo: 0,60 >> 0,5

P Paredes: 0,75 >> 0,8

El valor de K es fijo y solo hay que ubicarlo en la tabla. De esta manera como se aprecia en Tabla 3 el CU para este ejemplo es de 0,50.

Determinación de las Reflectancias Efectivas de las Superficies.

La reflectancia de una superficie se define como la razón entre el flujo luminoso reflejado por la superficie y el flujo que incide sobre ella, en otras palabras, determina el porcentaje de la luz que incide sobre una superficie que es reflejada. Para determinar la reflectancia de una superficie se debe conocer su color, el tono, el material y textura.

Una vez conocidos se consulta la Tabla 2 para determinar las reflectancias de cada superficie que componen la edificación. (Como esta tabla se pueden encontrar múltiples tablas).

Metodología para Diseño de una Instalación de Iluminación

La metodología para realizar el diseño de una instalación de iluminación consiste en los siguientes pasos:

- a) Análisis del proyecto. Consiste en identificar el tipo de iluminación que se requiere (local o general), el tipo de recinto y la actividad que se realizará.
- b) Definir parámetros de local. Estos parámetros hacen referencia a las dimensiones del local, su forma específica (local redondo, cuadrado etc.), colores, texturas y reflectancias efectivas.

c) Seleccionar iluminancia media. De acuerdo al análisis del proyecto se deberá escoger la iluminancia media más adecuada según la Tabla 1.

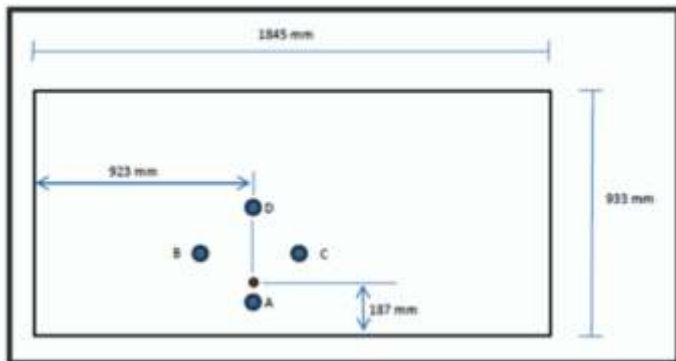
d) Selección conjunto lámpara – luminaria. En este paso se debe seleccionar el tipo de lámpara y luminaria que se usará, teniendo en cuenta el tipo de proyecto a realizar e iluminación requerida.

Calcular cavidad del local (K). Este factor es muy importante, pues permite determinar más adelante el coeficiente de utilización (CU) para cada tipo de luminaria seleccionada de acuerdo a las hojas de datos entregadas por los fabricantes.

Mediciones en Oficinas

En escritorios de oficina se ubican unos puntos de muestreo para medir la incidencia lumínica (adaptado del procedimiento para medición de luz de la Sociedad de Ingeniería en iluminación de América del Norte)

Ubicación de puntos de medición de un escritorio (A, B, C, D)



Mediciones en Espacios Interiores

En el caso de los espacios interiores, el número de mediciones podría tener que aumentar (en múltiplos de cuatro), dependiendo del tamaño del área a evaluar.

Se debe tener cuidado de obtener una buena muestra tanto de valores altos como bajos. El método propuesto consiste en utilizar una red lineal de cuatro puntos espaciados uniformemente sobre una línea recta, separados por 3 metros o menos, empezando bajo una luminaria y terminando en la pared.

Al momento de la medición, el luxómetro debe estar en posición horizontal, a 1 m por encima del suelo. Si la habitación es grande o de forma irregular, podría ser necesario repetir este procedimiento varias veces.

La misma técnica se puede utilizar para las escaleras, a lo largo de corredores y espacios de trabajo en áreas de apoyo.

Las mediciones se realizan a lo largo de una línea 9 m (máximo) cuyo punto de partida se establece debajo de una luminaria y el punto final en la pared, para entonces dividir la línea en tres segmentos, siendo los puntos de medición ambos extremos y cada uno de los dos puntos intermedios. En el caso de una sala de gran tamaño o de forma irregular, se deben establecer varias líneas de este tipo procurando obtener un promedio razonable del espacio.

Bibliografía

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH), Valores límites permisibles para sustancias químicas, agentes físicos e índices biológicos de exposición. 2010.

ACGIH: TLVs y BEIs. Threshold Limit Values for Chemical substances and Physical Agents. 2001.

Finucane. Edward W. Definitions, Conversions and calculation for occupational safety and health professionals. Second Edition. ED Lewis publishers. USA 1998.

Fundación Mapfre. Manual de Higiene Industrial. ED Mapfre. Madrid, 1995.

LUNA MENDEZA, Pablo. Evaluación del estrés térmico. Índice de sudoración requerida.

En Notas Técnicas de Prevención (N.T.P.) del Instituto Nacional de Seguridad e higiene en el Trabajo, 5(350): 1-6. 1984.

LUNA MENDEZA. Pablo. Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT, en Notas técnicas de Prevención (N.T.P.) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 5: (322): 1-4, 1993.

NIOSH: Hot Environments, Bases for a Recommended Standard. 1986

NOGAREDA CUIXART, S. y LUNA MENDEZA, P. Determinación del Metabolismo Energético. Notas Técnicas de Prevención (N.T.P.) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 5: (323): 1-8, 1993.

Normas ISO 7243: WBGT. Hot Environments – Estimation of Heat Stress on Working man based on WBGT Index. 1989

Normas ISO 7730. Confort 1984

CORTÉS DÍAZ, José. Seguridad e Higiene en el Trabajo. Editorial Alfaomega. Madrid, 2002.

ESPESO SANTIAGO, Avelino. Manual para la Formación de Técnicos de Prevención de Riesgos Laborales. Editorial Lex Nova S.A, Valladolid, 2007.

FUNDACIÓN MAPFRE. Manual de Higiene Industrial. Editorial Mapfre, Madrid, 1996.

FUNDACIÓN MAPFRE. Técnicas de Seguridad e Higiene Industrial. Editorial Mapfre, Madrid, 1990.

HERNÁNDEZ, Alfonso. Seguridad e Higiene Industrial. Editorial Limusa, México, 2005.

HARRIS M., Cyril. Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido. Editorial Mc Graw-Hill. Madrid, 1991.