



Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET-UNA)
Programa Salud, Trabajo y Ambiente en América Central (SALTRA)
Informe Técnico IRET 30

29

Serie salud, trabajo y ambiente

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN: EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RUIDO Y CASOS DE ANÁLISIS EN AGENTES AMBIENTALES FÍSICOS; MÓDULO EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RUIDO

Ing. Andrés Robles Ramírez M.Eng.
Ing. Esteban Arias Monge M.Sc.



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

**METODOLOGÍAS
DE EVALUACIÓN:
EXPOSICIÓN OCUPACIONAL
A RUIDO Y CASOS DE ANÁLISIS
EN AGENTES AMBIENTALES
FÍSICOS; MÓDULO EXPOSICIÓN
OCUPACIONAL A RUIDO**

363.74
M593m

Metodologías de Evaluación: Exposición Ocupacional a Ruido y casos de análisis en agentes ambientales físicos; módulo exposición ocupacional a ruido./ Andrés Robles Ramírez... [et. al].-- 1 ed. -- Heredia, C.R.: SALTRA / IRET-UNA, 2015.

55 p.: il.; 25 x 21 cm. -- (Serie Salud; Trabajo y Ambiente; n° 29).

Publicado también con la serie: Informe técnicos IRET, n° 30
ISBN 978-9968-924-29-0

1. RUIDO 2. CONTAMINACION POR RUIDO 3. SALUD OCUPACIONAL
4. RIESGO PARA LA SALUD 5. SEGURIDAD LABORAL 6. ONDAS
SONORAS 7. INGENIERIA INDUSTRIA 8. CONTROL DE CALIDAD
9. IMPACTO AMBIENTAL 10. INSTRUMENTOS DE MEDIDAS 11. PROTECCIÓN
AMBIENTAL 12. INGENIERIA AMBIENTAL 13. EVALUACION 14. MUESTREO
I. Robles Ramírez, Andrés... [et. al.] II. Título. III. SALTRA. IV. IRET-UNA.

Programa Salud, Trabajo y Ambiente en América Central (SALTRA)
Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas
Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica
Tel/Fax +506 2263-6375 / 2237-0683
www.saltra.una.ac.cr
Serie Salud, Trabajo y Ambiente.
ISBN: 978-9968-924-29-0

Editora

Marianela Rojas – Costa Rica

Editor emérito

Timo Partanen – Finlandia

Comité editorial

Douglas Barraza – Costa Rica
Freddy Briceño – Costa Rica
Lino Carmenate – Honduras
María del Carmen Samayoa – Guatemala
Claudia Meneses – Guatemala
Jorge Chaves – Costa Rica
Carmen Marín – Costa Rica
Víctor González – El Salvador
Arlen Soto – Nicaragua
Leonel Córdoba – Costa Rica
Diego Hidalgo – Costa Rica
Claudio Monge Hernández – Costa Rica
Ana María Mora – Costa Rica

© Publicaciones SALTRA

SALTRA y los editores le invitan a reproducir y usar el material de esta publicación para informar a investigadores, academia, profesionales de la salud, y a hacedores de políticas, sobre los esfuerzos que SALTRA está haciendo para visibilizar la información existente en materia de salud ocupacional y ambiental en América Central. No hay ningún cargo y no necesita permiso para hacerlo. Sin embargo, le pedimos que por favor cite la autoría de la publicación de cualquier parte del informe que utilice.

Esta publicación ha sido posible gracias a la asistencia de la Unión Europea. Su contenido es responsabilidad exclusiva del Programa SALTRA y de ninguna forma se debe considerar como punto de vista de la Unión Europea.

**METODOLOGÍAS
DE EVALUACIÓN:
EXPOSICIÓN OCUPACIONAL
A RUIDO Y CASOS DE ANÁLISIS
EN AGENTES AMBIENTALES
FÍSICOS; MÓDULO EXPOSICIÓN
OCUPACIONAL A RUIDO**

Ing. Andrés Robles Ramírez M.Eng.
Ing. Esteban Arias Monge M.Sc.

SECCIÓN 1

CONTENIDO: METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN: EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RUIDO

• INTRODUCCIÓN.....	9
• SONIDO Y RUIDO.....	10
• ESTUDIO PREVIO.....	12
• METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE RUIDO.....	16
Aspectos generales.....	16
Mapa de Ruido.....	18
Estudio de Ruido Ambiente por Muestreo por un Área.....	21
Medición Puntual de la Fuente.....	22
Bibliografía.....	23

SECCIÓN 2

CONTENIDO: CASOS DE ANÁLISIS EN AGENTES AMBIENTALES FÍSICOS; MÓDULO EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RUIDO.

• MÓDULO 1. NIVELES DE PRESIÓN SONORA.....	25
Ejercicio No.1: Exposición ocupacional considerando ciclos de trabajo con ruido aleatorio y estable.....	25
Respuesta Ejercicio No.1.....	26
Ejercicio No.2: Evaluación de exposición ocupacional a ruido aleatorio.....	26
Respuesta Ejercicio No.2.....	27
Ejercicio No.3: Mapa de ruido en interiores; distribución de ondas sonoras en el interior de un recinto.....	27
Respuesta Ejercicio No.3.....	31
Ejercicio No.4: Patrón de emisión acústica por parte de una fuente.....	31
Respuesta Ejercicio No.4.....	33
Ejercicio No.5: Contaminación ambiental por ruido.....	33
Respuesta Ejercicio No.5.....	34
• MÓDULO 2. METROLOGÍA	
Ejercicio No.1: Protocolos de control del equipo de medición.....	35
Respuesta Ejercicio No.1.....	36
Ejercicio No.2: Ensayo para determinar la respuesta del equipo en su rango de medición.....	36
Respuesta Ejercicio No.2.....	36
Ejercicio No.3: Ensayo de repetibilidad y reproducibilidad como control de calidad para la posterior toma de mediciones.....	37
Respuesta Ejercicio No.3.....	37
• RESEÑA DE LOS AUTORES.....	39

SECCIÓN 1

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN: EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RUIDO

INTRODUCCIÓN

La higiene industrial es el área de la salud ocupacional enfocada a la evaluación y control de los agentes ambientales físicos, biológicos y químicos. El ruido es el agente ambiental físico más evaluado y estudiado en entornos laborales, es por lo cual el presente documento presenta en su sección 1 una adaptación de las metodologías que se encuentran en la actualidad para la evaluación del ruido de origen ocupacional. Para la elaboración del mismo se tomaron como base las diferentes metodologías utilizadas alrededor del mundo así como los estándares y lineamientos dictados por los reglamentos y normas costarricenses.

Este documento tiene como finalidad, el colaborar en la realización de estudios de contaminación sónica y el servir como fuente aclaratoria en cuanto al alcance que cada metodología supone. Por lo cual pretende favorecer la capacidad del personal técnico especializado en higiene industrial, específicamente al agente ambiental físico ruido.

Para su utilización se debe tener como base, conocimientos en el área de la salud ocupacional, ambientes de trabajo y fundamentos de física matemática y estadística descriptiva.

Los autores recomiendan que los evaluadores consul-

ten los lineamientos legales y de acatamiento del país en el cual sea utilizado para la evaluación del ruido.

La sección 2 de este documento consiste en una recopilación de material didáctico elaborado por los autores como complemento en los procesos de formación y desarrollo de capacidades del personal técnico especializado en higiene industrial; enfocado específicamente en el análisis de situaciones en las que intervienen niveles de presión sonora y el compromiso que sobre la salud de los y las colaboradoras de una organización pueden tener o bien sobre el impacto hacia la comunidad cercana a un proceso en específico.

Para el abordaje del mismo se requiere de un conocimiento profundo de protocolos de medición y de normas técnicas de referencia según lo especificado en cada país; no obstante se puede hacer uso de los métodos definidos en la sección 1 de este documento, ya que es complemento ideal para el abordaje de las situaciones descritas en cada ejercicio.

Cabe mencionar que las respuestas se brindan en términos del resultado final, más no se especifica la norma de comparación, lo anterior dado que se requiere que el usuario emplee los criterios técnicos normativos que corresponda a su país y que se encuentren vigentes.

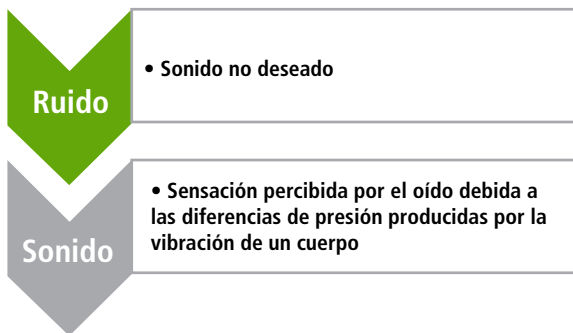
SONIDO Y RUIDO

El sonido se debe entender como energía, la cual puede proceder de diferentes fuentes. Al ser energía se debe tener claro que la misma se transforma conforme interactúa con los diferentes elementos que entra en contacto.

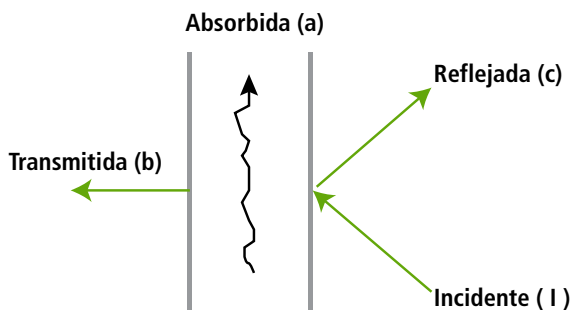
Un ejemplo de ésta interacción se presenta cuando el sonido entra en contacto con una superficie como el vidrio, en donde la onda sonora "choca" con la ventana y parte de la energía se transforma en vibración y otra porción logra pasar el vidrio y es percibida como un sonido en el interior del recinto.

Así, se debe concebir el sonido, como un tipo de energía que hoy genera toda un problemática a nivel mundial; tanto a nivel industrial-laboral, ambiental y habitacional y urbano.

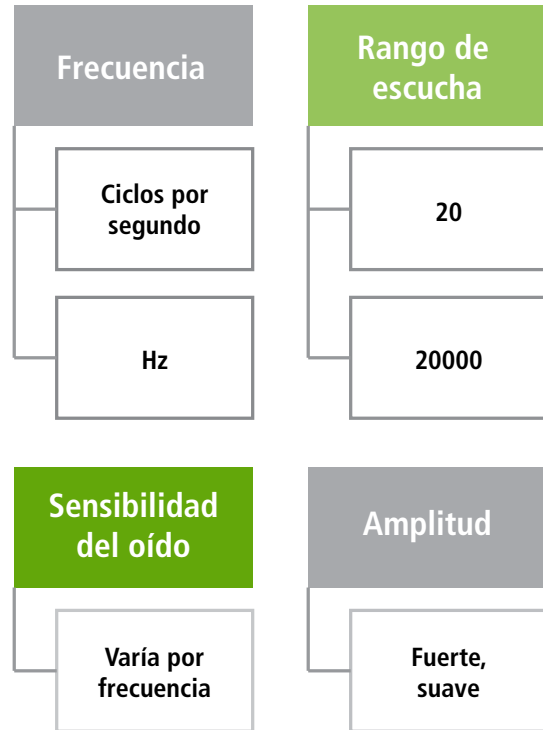
La definición del sonido como contaminante se puede sintetizar en el siguiente esquema:



En la siguiente figura se puede observar el comportamiento de la onda sonora al entrar en contacto con una superficie. Al incidir la energía sobre una superficie, una parte se refleja, otra es absorbida y otra porción es reflejada; de ahí la importancia de caracterizar el sonido y su interacción con los materiales.



De esta forma, la caracterización del sonido, implica conocer una serie de atributos; tal y como se describe a continuación.



La caracterización presentada en la figura anterior, permite conocer:

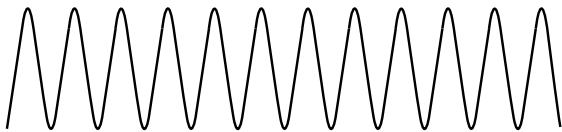
- Que el valor que reportan los equipos de medición, corresponde a la frecuencia y amplitud de la onda sonora; por lo cual es indispensable considerarlo al evaluar ruido.
- Que la frecuencia a la que se encuentre el sonido, determina el efecto y los problemas que puede generar a la salud y al ambiente; es decir si es un ruido de alta frecuencia o bien uno de baja frecuencia, ya que los efectos esperados de cada uno pueden variar.
- La forma como nuestro oído responde a las diferentes frecuencias, e incluso la manera en que las frecuencias interactúan con los materiales.

De esta manera, se pueden llegar a establecer clasificaciones del sonido; que pueden obedecer a la frecuencia del mismo, como se señala en la siguiente figura.



Para efectos del sonido, la frecuencia es muy importante, dado que determina la dinámica que se puede desarrollar entre la energía asociada al sonido y el oído humano o los materiales; un sonido de alta frecuencia se asocia a sonidos agudos; mientras que uno de baja frecuencia se asocia a sonidos graves.

Sonido agudo



Sonido grave



Tipos de sonido / frecuencias.

Tipos de sonido	Frecuencia	Rango (Hz.)	Ejs.
Grave	Baja	20-500	Un bombo / compresor
Agudo	Alta	2000 a 20000	Silbato, sirena, torno, sierra
Medio	Media	500 a 2000	Voz humana

Otras clasificaciones

Existen otras clasificaciones que se pueden utilizar para el sonido, como por ejemplo dependiendo de la manera en que el sonido se presenta en el lugar en cuestión; por ello, es importante conocer si el ruido es continuo, aleatorio o de impacto; en la figura contigua se puede apreciar un planteamiento asociado a éste tipo de clasificación.

Estacionarios

- Permanece constante a lo largo del tiempo: compresores

No estacionarios

- Se produce de forma intermitente, varía con el tiempo: tránsito

De impulso o impacto

- Corta duración: golpe de martillo

El evaluador del ruido debe conocer si el mismo puede clasificarse según su forma; por lo que es necesario que conozca que puede tener un sonido encubridor o irritante.

Encubridor

- Impide o dificulta escuchar otros sonidos

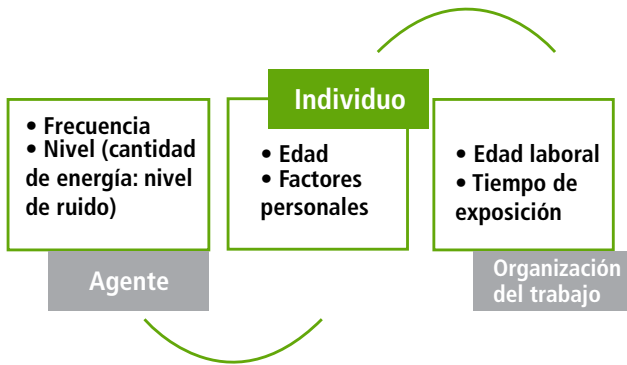
Irritante

- Deseable
- Indeseable

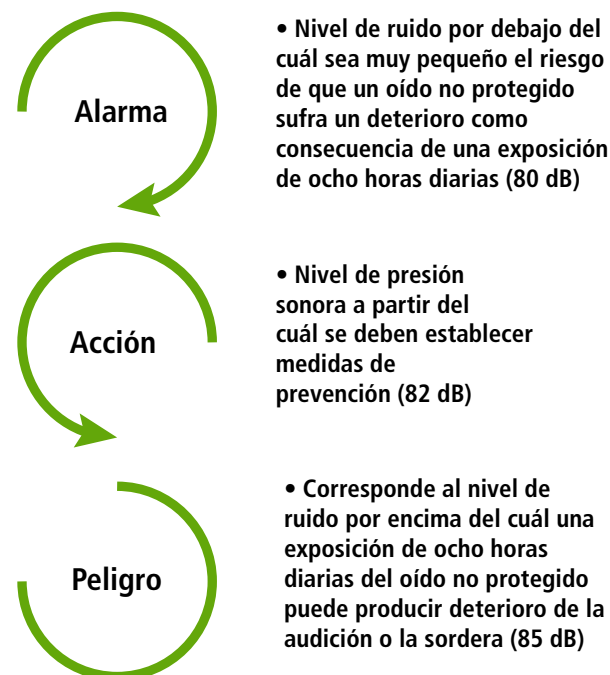
El sonido como tal debe ser analizado de manera integral, lo anterior, dado que las metodologías de evaluación deben considerar su caracterización para el desarrollo apropiado de la evaluación.

La peligrosidad del sonido, dependerá de diversos factores, mismos que se resumen en la siguiente figura, la cual abarca el agente físico con su frecuencia y su nivel, los factores personales y parámetros asociados a la or-

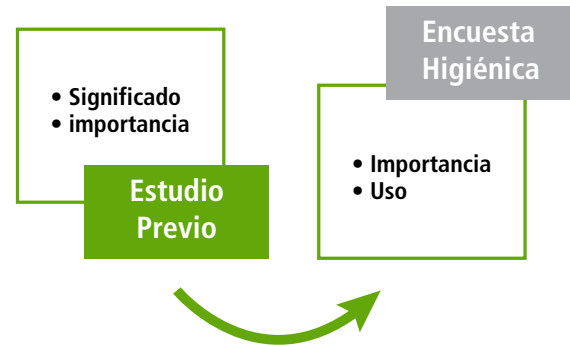
ganización del trabajo, como lo es la edad laboral, las jornadas de trabajo – tiempo de exposición; la organización del trabajo.



Un aspecto fundamental al abordar el sonido bajo una perspectiva de exposición ocupacional como ruido o bien bajo parámetros ambientales, es la normativa de referencia; por lo cual es necesario que a nivel de cada país se pueda consultar; en la figura adjunta pueden observar un extracto de lo que a nivel de Costa Rica se maneja.



ESTUDIO PREVIO



Existen diferentes tipos de estudios previos y todos tienen sus características según el uso para el cual son realizados. El estudio previo son todas aquellas acciones que realiza un higienista antes de la medición de un agente o contaminante. Todas estas acciones deben tener un carácter técnico o científico, ya que se convierten en la base y justificación de los datos que se obtengan en las mediciones posteriores.

Para la realización del estudio, se debe iniciar con la premisa que existe un problema el cual debe ser tratado.



El problema debe ser estudiado para poder encontrar la mejor solución para el mismo.

- Al intentar comprender el problema que se presenta, se debe conocer todos los componentes que lo pueden estar identificando, llegar a la raíz o raíces que lo causaron.
- En esta búsqueda de información, es cuando se llega a realizar valoraciones de las exposiciones ocupacionales a los agentes. Sin embargo no es el único componente del estudio del problema.
- La Higiene Industrial es una ciencia y un arte que se debe realizar llevando a cabo una serie de pasos necesarios que desencadenarán en una mejora directa de las condiciones de salud de los trabajadores.

El primer paso es el estudio previo

Ninguna organización apoyará la inversión de dinero, tiempo y recursos a la realización de un proyecto que no esté justificado. Y un higienista no se debe apoyar en suposiciones o juicios sin valides científica. Un estudio previo es la manera de construir la justificación de un proyecto y es el instrumento para comprender el problema que se quiere tratar.

Componentes del estudio previo:



Los componentes de la figura anterior son los aspectos básicos de un estudio previo completo. La visita al lugar donde se está presentando el problema es básica para conocer el entorno y poder contextualizar la situación.

Siempre es fundamental una revisión bibliográfica para buscar ayuda en la comprensión de aspectos teóricos, sustancias, modelos de producción, casos de éxito, comportamiento de los agentes en el entorno laboral estudiado entre otros.

Encuesta Higiénica:

- La encuesta higiénica (EH) es un instrumento que permite recopilar datos previos a una evaluación.
- No existe un modelo único de EH y se debe evitar utilizar instrumentos genéricos, sin embargo se pueden servir como fuente de ayuda para la construcción de la EH.
- El alcance de la encuesta debe ser limitado por el objetivo.
- Los resultados esperados deben responder al objetivo de forma directa clara y precisa.

Consideraciones generales de una encuesta higiénica:



Como se puede observar en la figura anterior el centro de la encuesta higiénica radica en el objetivo que se le asigna al instrumento. El mismo debe ir orientado a saber: qué, donde, como, cuanto, cuando y para que debo realizar una medición.

Toda pregunta o ítem que se agregue a una encuesta debe responder a una necesidad que se quiere atender. La toma de datos innecesarios se traducirá en malgastar tiempo, dinero y en muchas ocasiones esta información viene a convertirse en un factor distractor para los evaluadores.

Para la construcción del instrumento se deben analizar varios factores. Primero se debe tomar en cuenta las características del entorno, las cuales son inherentes al lugar donde se enfoque la evaluación. Por ejemplo puede ser una nave industrial, una finca agrícola, una mina, unas oficinas. Se debe delimitar el área física de estudio.

A manera de ejemplo, para la construcción de la encuesta se puede llevar esta secuencia de ideas:

- El objetivo es determinar la exposición a ruido laboral a la que están expuestos los empacadores de una fábrica de tortillas.
- En este caso, debe ser el área de la empresa donde se realice la operación.
- Sin embargo el área no se encuentra aislada, por lo cual se ve influenciada por su entorno inmediato.
- La empacadora de tortillas se encuentra dentro de una nave industrial en la que se comparte área con las oficinas administrativas y se cuenta con acceso directo al parqueo de los camiones de carga.
- Se debe considerar que las fuentes de ruido de la em-

pacadora de tortillas no son exclusivas del proceso de empaque.

• **¿Es necesario que mi EH tome en cuenta las áreas de oficinas y parqueo?**

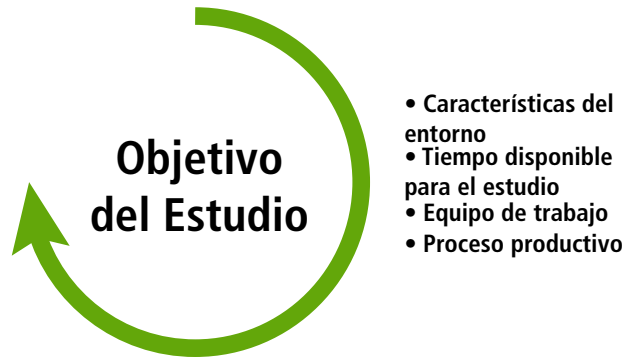
Antes de responder la pregunta, se debe discutir sobre el tiempo disponible para el estudio.

Lo idóneo sería realizar un estudio previo amplio, antes de realizar la medición del agente o contaminante, que permita conocer todos los factores determinantes que puedan estar incluyendo. Sin embargo, dado la realidad de las empresas, donde el tiempo siempre se considera en términos de dinero.

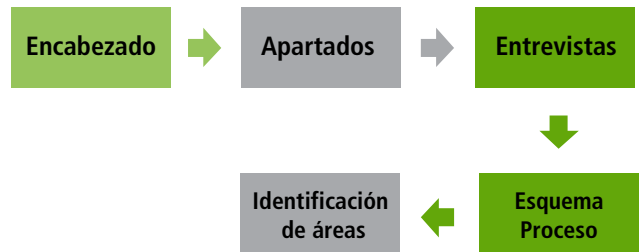
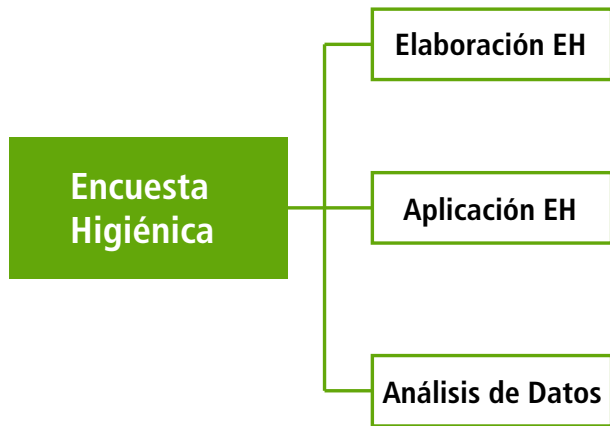
No solo se debe considerar el tiempo que me llevará el aplicar la EH, como se observa en la figura.

» Por lo cual se delimita la importancia que tiene la definición de los ítems necesarias.

» Si se tienen claros los aspectos de la figura ya utilizada.



Se puede pasar a hablar del formato que puede tener una EH. De la cual existen miles de ejemplo y tipos que se pueden encontrar desde libros hasta en sitios en la web. Sin embargo los componentes esenciales son:



La EH debe ser diseñada pensando en la persona o equipo que la aplicará y la analizará. **¿Debería ser la misma persona la que realice todos estos pasos?**

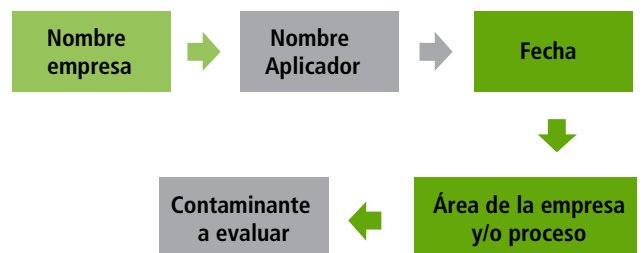
Las opiniones al respecto son variadas, sin embargo no importa sino es la misma persona el encargado de los tres pasos. Lo que se debe manejar siempre es el OBJETIVO y las capacidades de las personas.

Volviendo al ejemplo de nuestra empacadora de tortillas. El papel del proceso productivo es preponderante y primordial. Ya que se necesita saber los equipos que se utilizan, los materiales y materias primas, herramientas, tiempos y esquema de los subprocesos, horarios de trabajo, personal por área de proceso, horas pico y días pico entre otros.

Los componentes esenciales pueden cambiar según sus necesidades, sin embargo toda encuesta debe contar con un encabezado que de contemplar:

» Aspectos claves como lo son los de la figura.

» Sin embargo se le pueden agregar todos aquellos datos fundamentales para la identificación del lugar de trabajo.



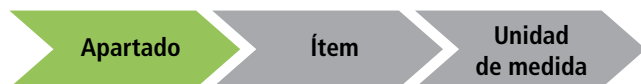
ENCUESTA HIGIENICA PARA LA VALORACIÓN DE VIBRACIONES*	
EMPRESA:	FECHA:
EVALUADOR:	REPRESENTANTE EMPRESA:
HORA:	TELEFONO:
DATOS GENERALES	
Jornada laboral (turnos):	Cantidad de trabajadores:
Días de mayor producción:	Actividad de la empresa:
PROCESO	
Materias primas:	Tamaños de las materias:
Ciclos de trabajo:	Duración ciclos:
Cantidad de puestos de trabajo:	Trabajadores por puesto de trabajo:
HERRAMIENTAS MANUALES NO ENERGIZADAS	
Tipos de herramientas:	Cantidad:

Este ejemplo es formal y permite la identificación de los aspectos claves en la encuesta como lo podrían ser:

- Datos generales
- Proceso
- Herramienta Manuales

La conformación de la EH por apartados, como en el ejemplo, permite que los datos sean analizados de forma ordena, facilita la toma de los mismos y ahorra tiempo en la aplicación.

En el caso de que alguno de los apartados no pueda ser evaluados durante la visita de inspección, se facilita la justificación de su exclusión en el análisis de sus datos.



¿Por qué unidades de medida si lo que se quiere es caracterizar el agente que posteriormente se va a medir?

Esta pregunta se puede responder desde dos aspectos fundamentales de un estudio previo.

- Número 1: Por su naturaleza existen datos que serán de naturaleza cuantitativa como lo son alturas, dimensiones, pesos.

Aunque parezca lógico es mejor siempre especificar en qué unidades se están tomando datos para que los mismos no se presten a malas interpretaciones.

- Número 2: mediciones como lo puede ser de carácter ambiental, pueden llegar a formar parte de una encuesta higiénica.

Generalmente (no siempre y está dictado por el objetivo del estudio) los equipos de lectura directa pueden generar datos que se incluyan en un EH. Estos casos obedecen a estudios rigurosos y formales los cuales llevan justificantes medibles.

La EH es uno de los instrumentos que se deben utilizar en el estudio previo para la evaluación de un contaminante. Pero esto no le quita importancia ni peso. Ya que cualquier persona se podría considerar experto en la medición de agentes y considerar que no es necesario realizar este proceso. Sin embargo el no realizar una debida y formal EH podría ocasionar:

Pérdida de tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • Por falta de claridad de lugar • Por datos insuficientes que justifiquen un dato obtenido
Valoraciones incorrectas	<ul style="list-style-type: none"> • Escogencia de contaminantes o personas indebidas • Mala planificación para la toma de los datos
Pérdida de determinantes	<ul style="list-style-type: none"> • Se concluye sin conocer el proceso • Se supone influencias de factores que no se observaron

El gasto asociado a la medición de un agente, en la mayoría de las ocasiones, es superior al de un estudio previo. Sin embargo el realizar un buen estudio previo permite reducir costos asociados a: remediciones, sobre mediciones, toda de datos posteriores y la implementación de soluciones de control inadecuados.

La única justificante para la toma de una medición es el estudio previo. El higienista debe considerar que cualquier medición o grupo de medición que se realice debe hacerse de forma responsable, sin partir de suposiciones, en la cual este verdaderamente identificado los sujetos participantes y los contaminantes a medir. No solo el gasto de dinero debe ser una medida a considerar para una EH.

Ya que una inadecuada medición puede causar la toma de medidas innecesarias o mal enfocadas, lo cual puede causar un deterioro o no la mejoría esperada en la salud de los trabajadores. Tomando en cuenta todas las consideraciones éticas y técnicas que acompañan la realización de un estudio previo, es importante el que se considere incluir un apartado para que el encargado de área o del proceso firme los datos recaben en la EH.

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE RUIDO

Aspectos generales

Al contextualizar el sonido en los entornos laborales, se debe tener en primera instancia claridad sobre el enfoque que se desea dar a la evaluación; de manera que, el evaluador tenga completa certeza sobre los siguientes puntos:

- El objetivo: es decir, si se desea realizar una evaluación de exposición ocupacional o bien una evaluación de sonido a nivel de ambiente laboral.
- El contexto normativo: sobre éste particular; se debe tener claridad sobre los aspectos relativos a las normas que le rigen en su país y cuál es el requerimiento que se solicita; de forma que la evaluación atienda los criterios de salud y normativos.
- El equipo de medición disponible: en función del tipo de evaluación que se realice y del producto final de la misma; entendiendo éste como solo el resultado de la evaluación, un control a nivel del equipo, un control a nivel de las instalaciones o bien un control a nivel de las personas.

Ejemplo:

Si planteamos el caso de un problema por exposición a altos niveles de presión sonora; es necesario abordar la situación desde dos perspectivas:

1. Conocer el nivel de presión sonora al cual están expuestos los trabajadores.
2. Conocer el nivel de presión sonora que emiten los equipos más ruidosos. Con la finalidad de identificar opciones de control.

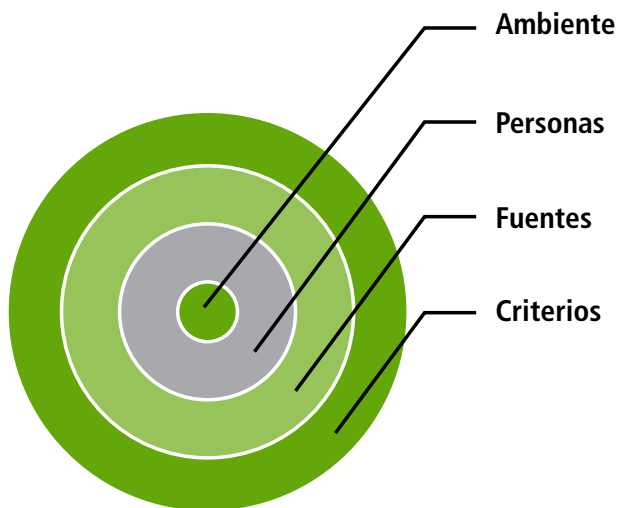
Para un caso como este, se debe tener en cuenta que:

Se manejan tres objetivos; uno asociado hacia la exposición ocupacional, otro asociado a la emisión por parte del equipo y finalmente uno asociado al control. Por lo

cual se debe saber que para cada caso se deben utilizar metodologías específicas.

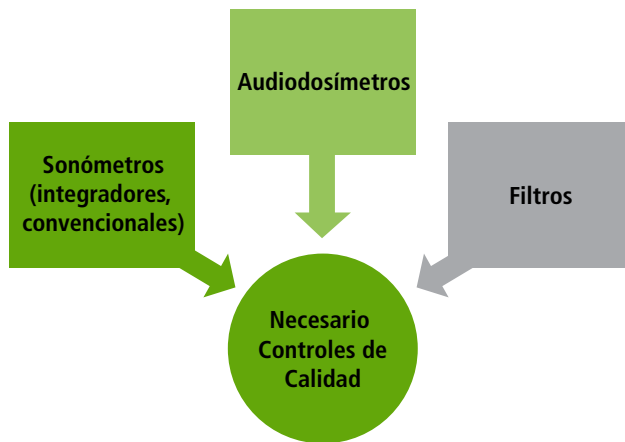
Se debe seleccionar el equipo de medición, procurando que el mismo permita conocer todo el detalle lo que se necesita estudiar.

A manera de resumen, se puede observar la siguiente figura:



De esta forma, se puede ir construyendo el abordaje que se le debe dar a la evaluación. Recordando aspectos importantes como por ejemplo que:

- Para efectos de las evaluaciones de sonido, puedo tener disponibles sonómetros y audiodosímetros.
- Existe la necesidad de que estos equipos cuenten con criterios de calidad y aseguramiento de la medición.
- Se requiere que las mediciones sean representativas y válidas, según las condiciones en las que se evalúa.



Por lo anteriormente expuesto, es claro que uno de los primeros pasos para realizar las evaluaciones, consiste en verificar las calidades de los equipos de medición.

Para lo cual, lo mínimo necesario que se debe cumplir es:

1. Calibración al día.
2. Protocolo de verificación y ajuste con las respectivas evidencias.
3. Personal calificado para llevar a cabo las evaluaciones.

Un aspecto importante de abordar, es el objetivo de la evaluación; dado que del mismo se desprende la selección preliminar del equipo. Definir el objetivo es el punto de partida base. El objetivo podría ser:

1. Valorar exposición ocupacional.
2. Valorar emisión o inmisión del ruido (cuánto ingresa).
3. Caracterizar la distribución de los NPS en un recinto.



Es importante cuestionarse entonces, qué características se deben buscar en el equipo. Características especiales:

Previo a la medición:

1. Rango: el valor más alto y más bajo que puede medir; generalmente los equipos traen la posibilidad de seleccionarlo.
2. Escalas: generalmente son A, B, C; para efectos de evaluaciones de exposición se requiere la escala A.

3. Filtros: para medir el sonido por frecuencias; es importante considerar que aquí se requiere de una que indique que los decibeles serán Lineales (L).

Durante la medición:

Aquí se deben atender aspectos propios de la metodología a seguir:

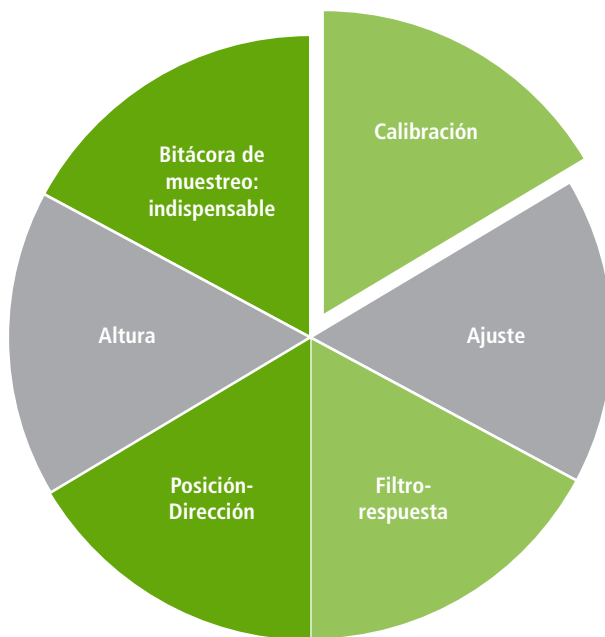
1. Orientación de micrófono.
2. Altura a la que se deben tomar las mediciones.
3. Tipo de respuesta: rápida, lenta, pico.
4. Posicionamiento con respecto a la fuente.

Algunas de las condiciones ambientales que se deben tomar en cuenta para realizar las mediciones son:

- La fecha y hora de la medición.
- El turno en que se realiza la medición (para los casos que aplica).
- Información meteorológica correspondiente.
- Además de anotar cualquier observación relevante se puede ver; como por ejemplo una práctica de trabajo incorrecta que incrementa los niveles de presión sonora.

A manera de resumen:

¿Qué aspectos se deben considerar indispensables al realizar el muestreo?



También es importante tener claridad de que al momento de la medición se deben reportar los datos con todas las especificaciones posibles.



Metodologías existentes y sus aplicaciones:

Mapa de ruido	<ul style="list-style-type: none"> Distribución de las ondas sonoras en el interior de un local
Evaluación puntual de fuente	<ul style="list-style-type: none"> Caracteriza la forma como la fuente emite el sonido
Muestreo de área	<ul style="list-style-type: none"> Permite estimar la exposición de un grupo de trabajadores durante una jornada
Contaminación hacia la comunidad	<ul style="list-style-type: none"> Permite estimar la cantidad de energía que recibe la parte afectada; no obstante también puede estimarse la cantidad de energía que emite una fuente

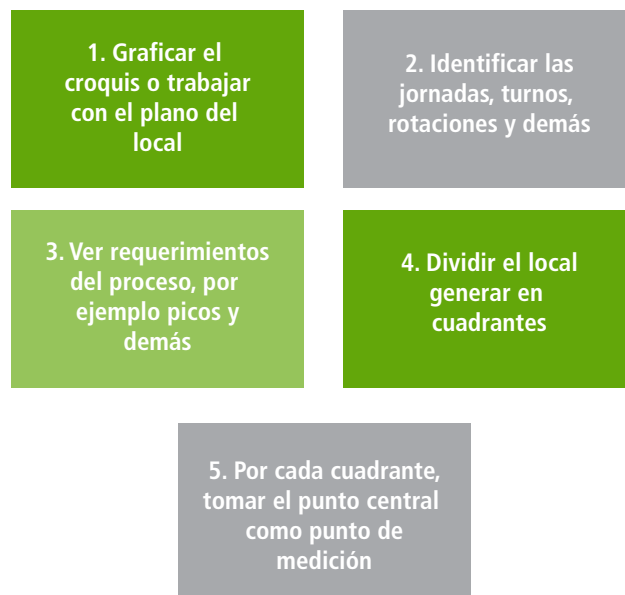
Mapa de Ruido

Permite obtener una caracterización de la forma como las ondas sonoras se distribuyen en el interior de un local. Se puede determinar si existen zonas dentro del local de trabajo que presentan problemas, dado que los niveles de presión sonora son más altos y asociar esto con el proceso productivo, la ubicación de las máquinas y otros factores identificados en el estudio previo.

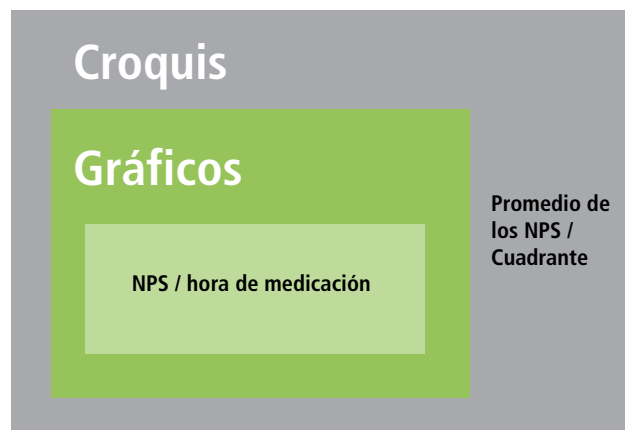
Descripción del objetivo del mapa de ruido

Para ello es necesario conocer las dimensiones del local en estudio (alto, largo, ancho); así como los materiales de los que está construido; definiendo claramente las proporciones en las que están estos presentes.

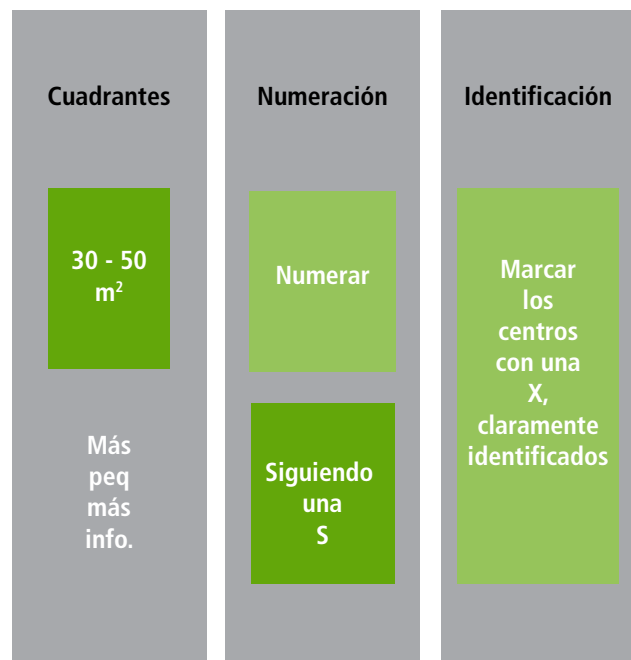
Pasos para la realización del mapa de ruido:



Se debe contemplar que existen algunos elementos que van a servir para realizar un análisis apropiado; como por ejemplo el empleo de gráficas de niveles de presión sonora vrs tiempo; estimación de promedios de los niveles de presión sonora por cuadrante; medidas de tendencia central por cuadrante, entre otros.



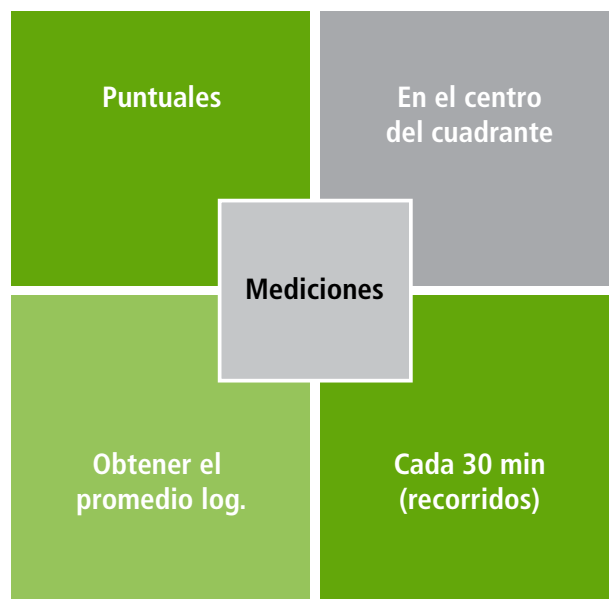
Así, el procedimiento que se debe seguir se resume de la siguiente manera:



- Se deben hacer cuadrantes con las especificaciones indicadas en la figura adjunta.
- Los mismos se deben numerar siguiendo el sentido de una S.
- Se debe marcar el centro de cada cuadrante para que sea el punto de medición.

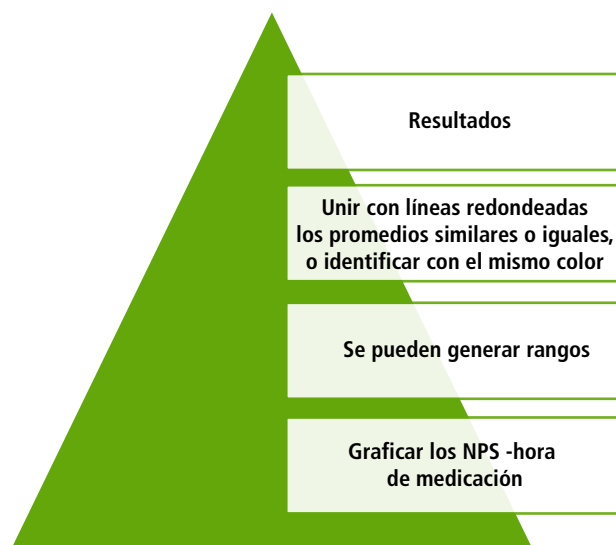
Para la toma de datos se debe considerar que:

- Se deben tomar datos durante toda la jornada laboral.
- Haciendo recorridos cada media hora.
- Se debe anotar cualquier particularidad que observe al momento de la medición.
- Al final, se debe promediar los niveles de presión sonora por cuadrante.



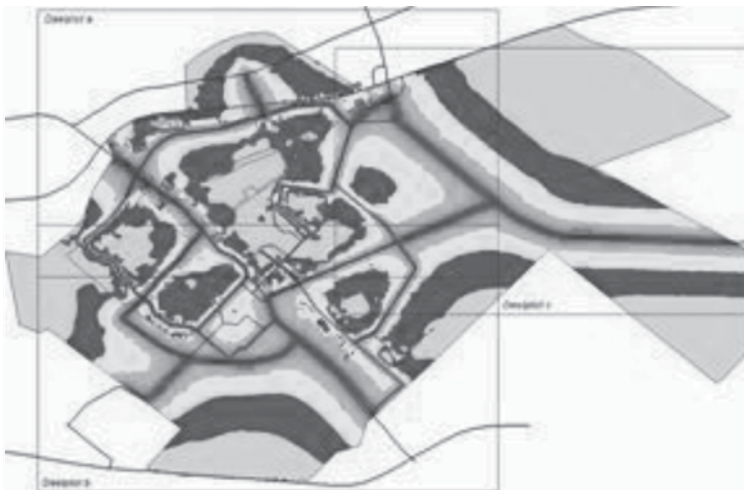
Posterior a tener los promedios por cada cuadrante al final de una jornada laboral se debe:

- Ubicar el promedio en cada cuadrante dentro del croquis.
- Graficar los niveles de presión sonora de cada cuadrante con respecto a la hora y explicar la tendencia o comportamiento observado.
- Unir mediante alguna manera simbólica (líneas o colores), aquellos que son similares.
- Tratar de explicar a qué se debe esa tendencia.

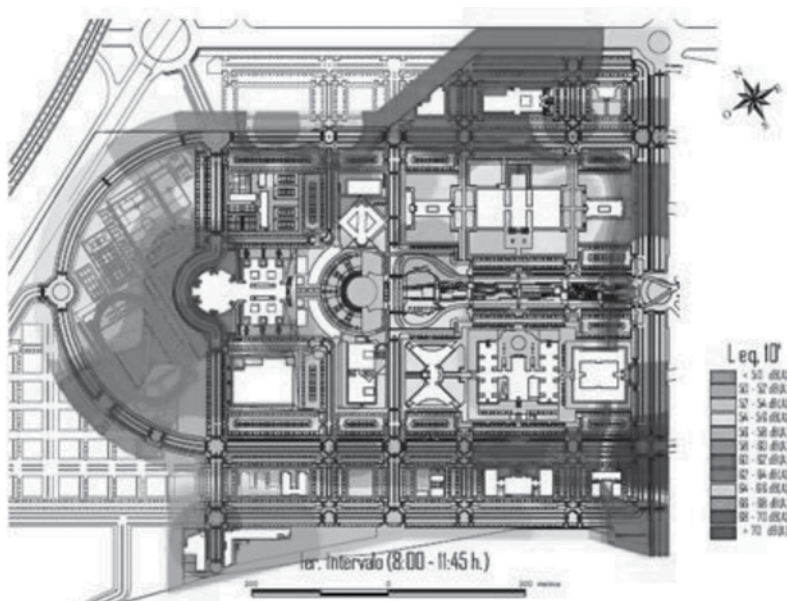


Estilos de Mapas de Ruido

Se pueden realizar de manera "casera" o "manual", en ella, la persona que lo realiza, trabaja sobre el plano de la planta y ahí ubica los cuadrantes; luego saca los promedios y asigna un color específico según el promedio obtenido. Algo importante, es que la generación de rangos para otorgar el color.

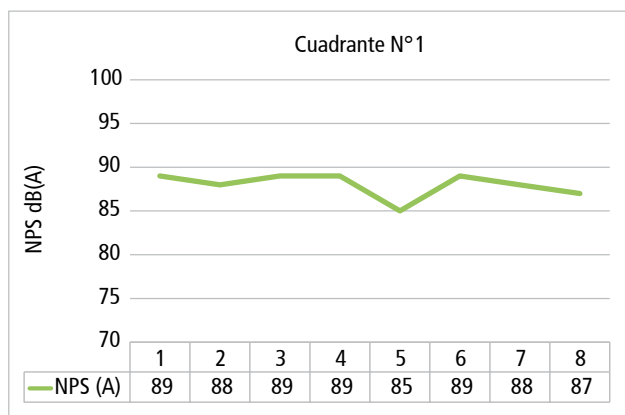


También, se pueden elaborar con la ayuda del software; en el cual se deben introducir las dimensiones del local y se debe definir los puntos; luego se le cargan los datos por cada punto y el software genera una imagen de éste tipo.



En ambos casos, se puede observar la forma como las ondas sonoras se distribuyen en el interior de los locales; pero es importante tomar en cuenta que esa imagen por sí sola no indica nada; se requiere el gráfico de niveles de presión sonora vrs tiempo, de las observaciones y de la distribución para brindar una explicación de la situación.

Por ello, es necesario que el evaluador esté atento a todas las situaciones que se presenten durante la jornada. De ahí la importancia de que se elaboren los gráficos complementarios, como el de la figura adjunta; en el cual se debe explicar a qué se deben los valores altos o bajos para un mismo punto de medición durante la jornada.



Estudio de ruido ambiente por muestreo por un área

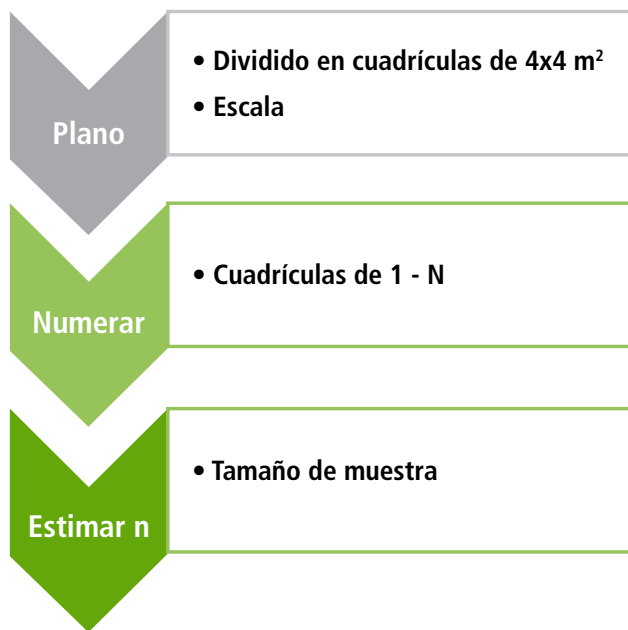
Para aquellos casos en que no se puede realizar un mapa de ruido, dado que las condiciones de disponibilidad de recursos (humanos, técnico o de proceso) no sea factible o funcional, se puede emplear el muestreo de ruido por área como una alternativa viable que permite conocer los niveles de sonido en el área de trabajo.

El objetivo de esta metodología es brindar valores de niveles de presión sonora por punto de medición, de forma que la persona responsable de la evaluación podrá determinar áreas de mayor relevancia o prioritarias.

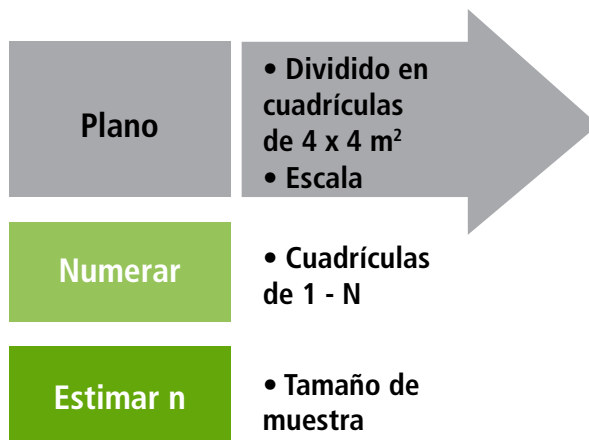
Lo anterior basado en una metodología que es válida y que permita abarcar de manera representativa las diferentes particularidades de los procesos; como lo sería el caso de un equipo que tenga un funcionamiento intermitente, producto de un requerimiento propio del proceso o de una demanda en particular; así, la evaluación deberá garantizar que sus resultados contemplarán ésta y todas las demás situaciones que se presenten.

Procedimiento

Para el desarrollo de este tipo de evaluación el punto de partida básico radica en el plano de las instalaciones o del área a evaluar; de forma que sobre él se genere una cuadrícula, en la cual cada cuadro mida como mínimo 4 x 4 m.



Una vez que se ha definido la cuadrícula, se debe numerar cada uno de los cuadros definidos y basado en la cantidad total se debe estimar un número de muestra, lo anterior, considerando el nivel de confianza que el evaluador haya definido.



Para la estimación del tamaño de muestra se debe considerar que los datos obtenidos deben reflejar la realidad del proceso, para ello, la figura de al lado puede emplearse como una guía.]



Tamaño de muestra

$$n = \frac{p \times q}{E^2 / Z^2 + p \times q / N}$$

Donde:
p: probabilidad de encontrar factor de riesgo (generalmente 95%)
q: 1 - p (5%)
E: probabilidad de error (generalmente el nivel de confianza es de 95% y por tanto E es de 5%, pero se puede variar)
Z: constante equivalente de la curva normal que depende del nivel de confianza (para 95% es de 1,96)



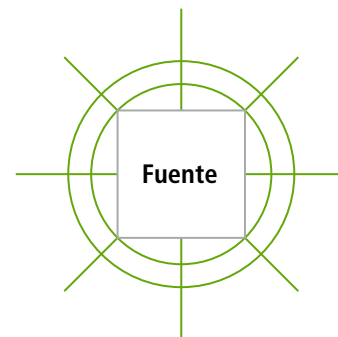
En términos generales, se puede observar en la figura de arriba el procedimiento que debe llevarse una vez que se han seleccionado lo cuadrantes a medir; para ello el punto de partida será la selección de los cuadrantes de forma aleatoria, posteriormente la toma de mediciones y la estimación de las medidas de tendencia central.

Finalmente, para la estimación del tamaño de muestra, se recomienda seguir las instrucciones indicadas en la figura contigua.

Medición Puntual de la Fuente

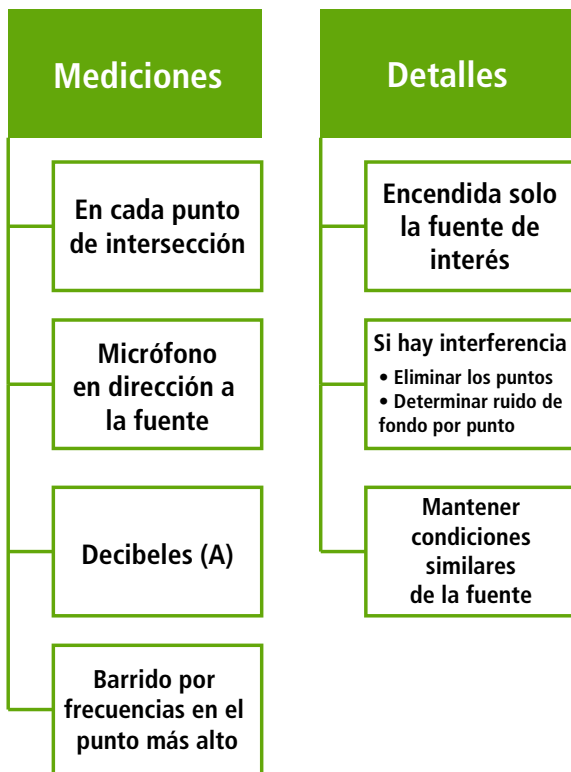
Evaluación puntual de la fuente, se utiliza en aquellas situaciones en las que el problema con los niveles de presión sonora es puntual y se encuentra asociado a un solo equipo, la metodología de evaluación puntual de fuente es ampliamente recomendada; dado que permite caracterizar el patrón de emisión de los niveles de presión sonora de esa fuente en particular.

Con esta finalidad, el procedimiento inicia identificando la fuente de sonido, y trazando sobre ella ejes y círculos concéntricos, como se puede observar en la figura adjunta.



Una vez definida la cuadrícula y los círculos concéntricos de la figura antes indicada; se deben identificar y marcar alrededor de la fuente las intersecciones; mismas que deben ser numeradas en forma secuencial (1,2,3,4 ...24); lo ideal es que al menos se tengan tres círculos alrededor de la fuente, mismos que deben ser atravesados por las líneas perpendiculares que se observan.

Una vez identificados los puntos de medición, se procede con la toma de datos, para lo cual se deben tomar las consideraciones indicadas en la figura adjunta; destacando la importancia de que para todos los puntos de medición, el micrófono del equipo debe dirigirse hacia la fuente; que para el punto en que se reporte los niveles de presión sonora más altos se debe realizar un barrido por frecuencia y que debe medirse preferiblemente la fuente de ruido sin interferencia de otras fuentes; de lo contrario debe estimarse el ruido de fondo.



BIBLIOGRAFÍA

Decreto Ejecutivo N° 28718. Reglamento para el Control de Contaminación por Ruido. Diario Oficial la Gaceta, San José, Costa Rica, 15 de junio de 2000

Echeverri, C., & Gonzalez, A. (2011). Protocolo para medir la emisión de ruido generado por fuentes fijas. *Revista Ingenierías*, 51-60.

Seong, J., Park, T., Ko, J., Chang, S., Kim, M., Holt, J., & Mehdi, M. (2011). Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County, Georgia, USA. *Environment international*, 1336-1341.

Xie, H., Kang, J., & Tompsett, R. (2011). The impacts of environmental noise on the academic achievements of secondary school students in Greater London. *Applied Acoustics*, 551-555.

Godin, T., Wetzel, B., Sylvestre, T., Larger, L., Kudlinski, A., Mussot, A., . . . Dudley, J. (2013). Real time noise and wavelength correlations in octave-spanning supercontinuum generation. *Optics express*, 18452-18460.

INTECO. (2001). INTE 31-09-14-2001 Condiciones de seguridad e higiene para la estiba y desestiba de los materiales en los centros de trabajo. Obtenido de Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica Web site : <http://www.inteco.or.cr/esp/centro-documentacion/catalogo-de-normas/article/743-condiciones-de-seguridad-e-higiene-para-la-estiba-y-desestiba-de-los-materiales-en-los-centros-de-trabajo>

McNamara, D., & Buland, R. (2004). Ambient Noise Levels in the Continental United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1517-1527.

Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J., Pardo, A., & Rendón, J. (2012). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. *Revista Ingenierías*, 62-68.

Sánchez Fernández, L., Sánchez Pérez, L., Carbajal, J., & Rojo, A. (2013). Aircraft Classification and Acoustic Impact Estimation Based on Real-Time Take-off Noise Measurements. *Neural Processing Letters*, 239-259.

Wang, Y., Xing, Y., Shi, L., Guo, H., & Chen, H. (2015). Sound quality recognition using optimal wavelet-packet transform and artificial neural network methods. *Mechanical Systems and Signal Processing*.

SECCIÓN 2

CASOS DE ANÁLISIS EN AGENTES AMBIENTALES FÍSICOS; MÓDULO EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RUIDO

MÓDULO 1. NIVELES DE PRESIÓN SONORA

Ejercicio No.1: Exposición ocupacional considerando ciclos de trabajo con ruido aleatorio y estable.

En una empresa de metalurgia se han presentado una serie de problemas en lo que a exposición ocupacional a ruido se refiere; por ello, desde la Oficina de Seguridad, Salud y Ambiente se ha definido una estrategia para evaluar lo que ellos han considerado como caso crítico. Así; se ha identificado al Encargado de Mantenimiento y Reparaciones como el puesto crítico; y según el estudio previo realizado por el Encargado de Seguridad, Salud y Ambiente, se ha determinado que dadas las características del trabajo realizado por el colaborador; es necesario hacer una evaluación por cada uno de los puestos de trabajo por los que rota durante la jornada laboral (Puesto 1, Puesto 2, Puesto 3 y Puesto 4); de esta manera se hizo un estudio de ruido (no aleatorio para el período de observación); obteniendo que la persona por las características propias de su trabajo debe rotar entre diferentes puestos; cuyos resultados se presentan en la Tabla No. 1.

Considerando la información brindada, atienda los siguientes cuestionamientos:

1. Analice los resultados de los niveles de presión sonora por cada puesto y determine la exposición del colaborador en cada uno de ellos según el tiempo de exposición indicado; con tal información justifique si el método empleado para el abordaje de la situación (estudio no aleatorio) es el método ideal para su abordaje.
2. Empleando los resultados de la exposición del colaborador por cada puesto, qué puede indicar con respecto a la exposición del mismo para la jornada completa y en relación a su exposición semanal; contemplando que la misma es de seis días por semana.
3. Defina de manera esquemática qué tipo de evaluaciones complementarias son necesarias para abordar un caso de éste tipo.

Tabla No. 1. Niveles de presión sonora para los diferentes puestos de trabajo

NPS (dB A)			
Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4
60,5	62,5	95,7	78
64	65,8	96,7	80,4
61,8	67	96,7	83
67	65	95,4	77,5
65	64,5	95,5	84
64,8	64,5	95	80,1

En el puesto 1 el trabajador pasa 3,5 horas, en el 2 pasa 1,5 horas, en el 3 pasa 2 horas y en el 4 pasa 1 hora.

Respuesta Ejercicio No.1:

1. Análisis individual: ruido aleatorio para dos de los puestos; implica un muestreo aleatorio; por lo cual el muestreo es incorrecto. Nota importante: debe hacer referencia a la norma técnica (según lo establecido en su país) que le permite discriminar mediante el método del rango y las medidas de dispersión si el ruido es aleatorio o estable.

Análisis por puesto			
NPS (dB A)			
Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4
6,5	4,5	1,7	6,5
Ruido aleatorio	Ruido estable	Ruido estable	Ruido aleatorio

2. Análisis de la jornada: Se recomienda que determine el nivel equivalente para la jornada, integrando los valores de niveles de presión sonora y el tiempo de exposición.

Determinación del L _{pi} para cada puesto de trabajo			
L _{pi} (dB A)			
Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4
64,1	64,9	95,8	80,8

3. Esquema de abordaje: a. Esquema de análisis aleatorio para los puestos con ruido aleatorio + Esquema de análisis para puestos de ruido estacionario + Esquema de análisis para controles + Esquema de identificación y caracterización de fuentes.

Ejercicio No.2: Evaluación de exposición ocupacional a ruido aleatorio

Usted labora para una empresa del Sector Construcción; y dentro de la determinación de necesidades se ha visto que el puesto de "Ingeniero de la Obra" es particularmente de cuidado desde el punto de vista de exposición a ruido; lo anterior, dado que en el estudio previo se determinó que el personal en dicho puesto debe estar haciendo recorridos por todo el proyecto, exponiéndose a altos niveles de presión sonora provenientes de distintas fuentes.

Por ello, desde el Departamento de Seguridad, Salud y Ambiente de la Constructora, se hizo un requerimiento de realizar una evaluación de exposición ocupacional a ruido del "Ingeniero de la Obra"; para lo cual el punto de partida fue hacer un estudio aleatorio para dos jornadas de trabajo (ver tabla 1.a y tabla 1.b). Considerando dicha información analice lo siguiente:

1. ¿Qué se puede indicar con relación al tamaño de muestra obtenido por cada jornada? Considere un abordaje mediante iteración y fundamente su respuesta de acuerdo a las normas técnicas aplicables a su país.
2. ¿Qué puede indicar con relación a la exposición del colaborador para cada jornada laboral y en total? Recuerde emplear criterios de referencia en cuanto a exposición ocupacional.

Tabla 1.a Niveles de presión sonora tomados en el puesto de trabajo el día 1

NPS (dB A)									
81,3 /h1	83,0/ h2	79,5/ h3	79,6/ h4	80,2/ h5	77,9/ h6	78,9/ h7	80,6/ h8	81,0/ h9	78,6/ h10

Ver h: hora de medición

Tabla 1.b Niveles de presión sonora tomados en el puesto de trabajo el día 2

NPS (dB A)						
85,6/ h1	90,5/ h2	80,6/ h3	94/ h4	87/ h5	95,4/ h6	87/ h7

Ver h: hora de medición

Respuesta Ejercicio No.2:

1. Al considerar un 95% de confianza se deben indicar que el tamaño de muestra para el día uno queda dentro de lo aceptable, pero muy cerca de los límites, por ello es recomendable tomar más datos. En cuanto al día dos el tamaño de muestra no es apropiado para concluir en cuanto al nivel de exposición ocupacional a ruido; la muestra se debe recalcular. Recuerde que debe estimar las medidas de tendencia central requeridas según el método que va a emplear.
2. Para el día uno el trabajador está dentro del nivel de acción (80,2 decibeles escala A), mientras que el día dos se encuentra sobre expuesto (89,8 decibeles A).

Ejercicio No.3: Mapa de ruido en interiores; distribución de ondas sonoras en el interior de un recinto.

En la empresa para la cual usted labora, se desea realizar una caracterización de los niveles de presión sonora y la forma como los mismos se distribuyen dentro de las instalaciones. Para ello, se le indica que la metodología que se debe seguir es la elaboración de un "Mapa de ruido", de manera que se pueda caracterizar dicha distribución de las ondas sonoras y a la vez identificar zonas críticas de concentración de niveles de presión sonora.

Para ello se han definido dos estrategias de abordaje de la situación; la primera se puede apreciar en la figura 1, en la cual cada número corresponde a cada cuadrante que debe ser medido y la secuencia de los números indica la secuencia en que deben ser tomados los datos por cada cuadrante (se le recomienda un dato cada media hora). La segunda opción se le recomienda hacerlo de manera aleatoria entre los cuadrantes de forma que pueda obtener mayor representatividad; no obstante el método seleccionado es el descrito en la figura 1.



Figura 1. Diagrama de la secuencia seleccionada para medir los niveles de presión sonora por cada cuadrante.

Una vez realizada la medición (ver tabla 1.a – 1.c) y destacando como observación general que los horarios de comidas son: desayuno 9:15 a 9:30 y almuerzo de 12:05 a 13:00 y la jornada laboral es de 7:00 a las 16:00. En el cuadrante 4 se encuentra un equipo especial, el cual se requiere que funciones las 24 horas del día.

Considerando la información brindada y justificando sus observaciones y conclusiones en normativa técnica; proceda a analizar lo siguiente:

1. ¿Qué puede indicar con respecto a la distribución de las ondas sonoras en el interior del local?
2. ¿Por qué razón el método que se debe seguir debe tomar en cuenta el uso de promedios logarítmicos y no aritméticos para éste caso?
3. ¿Cuál es el cuadrante que consideraría como crítico y a qué obedece dicha apreciación?
4. ¿Por qué razón considera usted que se descartó la opción dos para la toma de muestras?

Tabla 1.a Datos de niveles de presión sonora tomados el día 1

	Cuadrante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Recorrido 1	75	76,8	83,4	95	90,4	81	70,5	80,5	91,2
Hora	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	7:40	7:45
Recorrido 2	73,6	76	82,5	97,8	91,4	86	74	80,6	92,5
Hora	8:05	8:10	8:15	8:20	8:25	8:30	8:35	8:40	8:45
Recorrido 3	74	77	80	98,2	92	84,7	73,2	85	89,5
Hora	9:05	9:10	9:15	9:20	9:25	9:30	9:35	9:40	9:45
Recorrido 4	77	78	81,3	95,6	92	85	73,9	86,7	88,7
Hora	10:05	10:10	10:15	10:20	10:25	10:30	10:35	10:40	10:45
Recorrido 5	78,6	76,5	85,9	99	92,5	85	76	88,5	88
Hora	11:05	11:10	11:15	11:20	11:25	11:30	11:35	11:40	11:45
Recorrido 6	65,6	64	79,8	93	86,7	85	70,1	80,5	82,1
Hora	12:05	12:10	12:15	12:20	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45
Recorrido 7	77,9	76	88,9	110	90,4	85	79	90,1	90,5
Hora	13:05	13:10	13:15	13:20	13:25	13:30	13:35	13:40	13:45
Recorrido 8	80	77,4	80,5	95,7	92,4	86,9	75,5	88,6	-
Hora	14:05	14:10	14:15	14:20	14:25	14:30	14:35	14:40	14:45
Recorrido 9	74,6	78	85,5	96,4	90,8	90	74	81,3	-
Hora	15:05	15:10	15:15	15:20	15:25	15:30	15:35	15:40	15:45

Observaciones: En el cuadrante 9 a partir de las 14 se utilizó para almacenar material.

Tabla 1.b Datos de niveles de presión sonora tomados el día 2

	Cuadrante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Recorrido 1	75,6	77,8	83	94,7	91	71,9	76,5	87,1	91,7
Hora	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	7:40	7:45
Recorrido 2	70	75,6	83	98,7	91,6	87,5	70	80	92
Hora	8:05	8:10	8:15	8:20	8:25	8:30	8:35	8:40	8:45
Recorrido 3	77,8	77,7	83	97,5	92,4	84	72	-	89
Hora	9:05	9:10	9:15	9:20	9:25	9:30	9:35	9:40	9:45
Recorrido 4	78	79,5	85,7	96	92,4	85,4	73	88,5	87,7
Hora	10:05	10:10	10:15	10:20	10:25	10:30	10:35	10:40	10:45
Recorrido 5	76,8	70,6	87,8	97,6	92,5	83,2	76,9	-	85,8
Hora	11:05	11:10	11:15	11:20	11:25	11:30	11:35	11:40	11:45
Recorrido 6	67,3	66,5	75	92,1	86	86,4	70	86,5	88,1
Hora	12:05	12:10	12:15	12:20	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45
Recorrido 7	77	76	89,7	97	95,6	84,3	76	96,1	94,8
Hora	13:05	13:10	13:15	13:20	13:25	13:30	13:35	13:40	13:45
Recorrido 8	80,7	77,4	89	96,7	92,8	83,2	75,5	89,4	97,3
Hora	14:05	14:10	14:15	14:20	14:25	14:30	14:35	14:40	14:45
Recorrido 9	85,6	79	88,5	90,7	94,8	88,1	74,7	83,3	94,9
Hora	15:05	15:10	15:15	15:20	15:25	15:30	15:35	15:40	15:45

Observaciones: En el cuadrante 8 se almaceno material de 9:00 a 10: 15.

Tabla 1.c Datos de niveles de presión sonora tomados el día 3

	Cuadrante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Recorrido 1	80,5	76,8	83,4	95	90,4	81	-	80,5	-
Hora	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	7:40	7:45
Recorrido 2	-	76	82,5	97,8	91,4	86	-	80,6	92,5
Hora	8:05	8:10	8:15	8:20	8:25	8:30	8:35	8:40	8:45
Recorrido 3	74,5	77	80	98,2	92	84,7	-	85	87,5
Hora	9:05	9:10	9:15	9:20	9:25	9:30	9:35	9:40	9:45
Recorrido 4	77,8	78	-	95,6	92	85	-	-	88,7
Hora	10:05	10:10	10:15	10:20	10:25	10:30	10:35	10:40	10:45
Recorrido 5	74,6	76,5	85,9	99,6	92,5	85	-	88,5	88
Hora	11:05	11:10	11:15	11:20	11:25	11:30	11:35	11:40	11:45
Recorrido 6	66	64	79,8	93	94	84,5	79,8	93	92,3
Hora	12:05	12:10	12:15	12:20	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45
Recorrido 7	75,9	76	-	110	90,4	85	80	90,1	90,5
Hora	13:05	13:10	13:15	13:20	13:25	13:30	13:35	13:40	13:45
Recorrido 8	80,6	77,4	-	100	-	86,9	76,7	88,6	94
Hora	14:05	14:10	14:15	14:20	14:25	14:30	14:35	14:40	14:45
Recorrido 9	77,3	78	-	96,4	90,8	90	74	-	-
Hora	15:05	15:10	15:15	15:20	15:25	15:30	15:35	15:40	15:45

Observaciones generales: En los cuadrantes sin mediciones se almaceno materiales en el momento del muestreo y la hora de almuerzo ese día fue de 12:00 a 12:15 por cuestiones de producción.

Respuesta Ejercicio No.3:

1. En cuanto a la distribución de los niveles de presión sonora el local; los cuadrante críticos son el cinco, el cuatro y el nueve; lo anterior al estimar la energía asociada.
2. Se debe justificar en función del método y la norma técnica de referencia; de hecho existen oportunidades de mejora a la secuencia definida según la organización.
3. El cuadrante crítico es el número 4; con 98,4 decibeles en promedio.
4. No se puede realizar pues es un incumplimiento al protocolo para la toma de datos en interiores bajo la metodología seguida.

Ejercicio No.4: Patrón de emisión acústica por parte de una fuente.

Una empresa presenta problemas de ruido, por ello, procedieron a realizar una identificación de fuentes emisoras de ruido, de la cual determinaron que la máquina de corte de metal era la que generaba mayores niveles de presión sonora; por ello procedieron a realizar un análisis puntual a dicha máquina; procurando obtener una caracterización de la emisión acústica de la misma.

El método seguido para la estimación de la misma se ejemplifica en la figura 1; en la cual se puede observar que se propuso una red de puntos imaginarios sobre dicho equipo; obteniendo las mediciones tal y como se describe en la figura y siguiendo esa lógica para la secuencia de las mediciones.

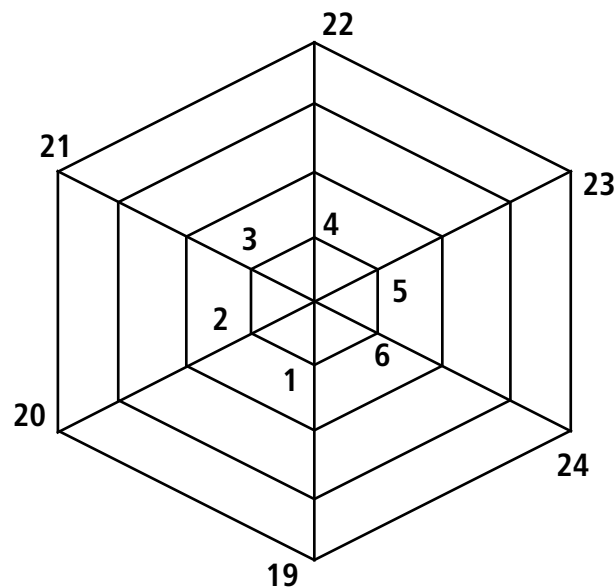


Figura 1. Esquema de los puntos de medición de la fuente sonora.

Es importante resaltar que la evaluación se llevó a cabo durante tres días consecutivos; tomando los datos por cada punto de manera secuencial por un período de hora y media, los datos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles de presión sonora de la fuente de ruido

Punto	dB A		
	Día 1	Día 2	Día 3
1	110	96,7	98,5
2	98,5	99	100
3	95,6	94	97,8
4	90,4	90	94,1
5	91,4	92,3	95
6	95,6	94,3	92
7	96,5	95	95
8	95,5	96	95,3
9	93	92,4	91,7
10	88,5	87,4	89
11	-	-	-
12	90,4	91,2	92,3
13	92,5	93,2	91
14	86	-	86,7
15	80	81,2	83
16	78	77,5	76,3
17	74,5	72,1	71
18	77	-	76,3
19	80	81,2	79,3
20	73,9	74,9	74
21	-	65,4	65
22	-	63,6	64,2
23	58,6	57,9	65
24	70,4	70,4	71

Observaciones: Durante el muestreo la máquina se encontraba en mantenimiento por lo cual algunos puntos no se pudieron medir.

Como parte de las mediciones adicionales; se realizó un muestreo por frecuencia en el punto de medición número uno; y los datos obtenidos se consignan en la tabla 2.

Tabla 2. Niveles de presión sonora por frecuencia tomados en el punto 1

Medición	Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	87	83	100,5	111,9	89	77	60
2	85	79	98,7	110	86	76	61,7
3	84	85,5	97,4	100	88,5	73	62,7

De acuerdo con la información brindada; qué puede indicar con relación a la generación de los niveles de presión sonora para ese equipo en particular.

Respuesta Ejercicio No.4:

El análisis debe contemplar el promedio logarítmico por cada punto de medición (considerando los tres días medidos); siendo el punto número 1 el que presenta mayores niveles de presión sonora con 103,9 decibeles en la escala de medición. Además de acuerdo con el análisis de los datos de niveles de presión sonora por frecuencia, se puede obtener que las frecuencias que predominan son las de 500 y 1000 Hz.

Ejercicio No.5: Contaminación ambiental por ruido.

Los habitantes de una vivienda cercana a una empresa automotriz han mostrado su inconformidad con los niveles de presión sonora que han estado llegando a sus viviendas en los últimos días; por ello han solicitado a la empresa en cuestión que analice dicha situación en aras de no caer en un conflicto legal entre las dos partes. Así las cosas, los personeros de la empresa automotriz se han dado a la tarea de revisar los requerimientos normativos para evaluar dichas situaciones y han determinado que la manera apropiada de atender tal situación es mediante la evaluación de los niveles de presión sonora en el punto más cercano a la vivienda (lo anterior dado que los vecinos no desean que ingresen a su casa); tomando datos de manera consecutiva cada minuto por un período de media hora, lo anterior durante dos días.

Las mediciones fueron tomadas de 10:00 pm a 10:30 pm; contemplando el funcionamiento normal de los equipos en la empresa; por ello se le solicita que como especialista en el campo proceda a realizar el análisis correspondiente.

Cuadro 9. Niveles de presión sonora tomados dentro de la vivienda

Medición	NPS día 1 (dB A)	Medición	NPS (dB A) día 2
1	77	31	80,5
2	74,6	32	84,2
3	80,4	33	88,7
4	83,7	34	65,4
5	69	35	60
6	56	36	80,6
7	70,4	37	90,5
8	70,5	38	74
9	80	39	65
10	81	40	60,5
11	82	41	73,6
12	82	42	79
13	82,3	43	70,1
14	77,6	44	64
15	66,7	45	74,6
16	70,5	46	80,4
17	80	47	83,7
18	90,5	48	69
19	74,7	49	54,7
20	65	50	50
21	55	51	49,6
22	71,3	52	48,5
23	69	53	50
24	78,5	54	70,6
25	64,9	55	71,4
26	50,5	56	71,4
27	73,6	57	71
28	77,7	58	89,0
29	66,4	59	64,5
30	70	60	65,8

Respuesta Ejercicio No.5:

El 10% de las mediciones obtenidas en ambos días están por encima del valor del referencia para estos casos según la normativa costarricense; para la resolución de este ejercicio debe considerar los criterios de emisión o inmisión acústica definidos en la legislación o normativa técnica de su país.

MÓDULO 2. METROLOGÍA

Ejercicio No.1: Protocolos de control del equipo de medición.

La empresa para la cual usted labora ha adquirido un equipo de medición de niveles de presión sonora; no obstante para efectos de cumplir con los parámetros asociados a la normativa de casa matriz en cuanto a control del equipo; es necesario que se establezca un protocolo de control del equipo como tal; por ello se ha identificado como una de las opciones; el desarrollar un prueba bajo condiciones controladas en la cual se somete el equipo a un estímulo fijo de 114 decibeles a 1000 Hz; tomando catorce datos consecutivos; uno cada minuto. Para ello se espera que la persona a cargo de la prueba sea un experto en el uso de tal equipo y que conozca la prueba a desarrollar.

El protocolo indica que la toma de muestras debe hacerse semanal; de manera que se pueda generar un registro de los datos; así; al llevar el primer mes de recolección de la información, se le solicita a usted como especialista en el campo que analice la información recopilada por el encargado de prueba y le brindan los datos de la tabla 1.

Contemplando la información brindada; qué puede indicar con respecto al diseño planteado y a los resultados obtenidos de la prueba.

Tabla 1. Resultados de la prueba de control de equipo

Equipo: Sonómetro con Filtro de Bandas de octava					
Marca: Quest					
Modelo: 2900					
Medicación No.	NPS (1 día)*	NPS (2 día)*	NPS (3 día)*	NPS (4 día)*	NPS (5 día)*
1	114	113.8	113.9	114	113.9
2	114.1	113.8	114	114	114
3	113.9	113.9	114	113.9	114
4	114	113.9	114	114	114
5	113.9	113.9	114	114	114
6	114.1	114	114	114	114
7	114	114	114	114	114
8	114	114	114	114	114
9	114	114	114	114	114
10	114	114	114	114	114
11	113.9	114	114	114	114
12	113.9	113.9	114	114	114
13	113.9	114	114	114	114
14	113.9	114	114	114	114
Promedio	113.97	113.94	113.99	113.99	113.99
D. Estandar	0.0726	0.076	0.027	0.027	0.027
Referencia**	114	114	114	114	114
Sesgo	0.0286	0.0571	0.0071	0.007	0.007

* NPS: Nivel de presión sonora en decibeles lineales y tomados cada 30 seg.

** Valor de referencia de 114 decibeles lineales a 1000 Hz

Respuesta Ejercicio No.1:

De los datos obtenidos se puede observar que el sesgo obtenido es muy bajo; no obstante se debe comparar si se encuentra dentro de los parámetros recomendados para el equipo; de ser así, se puede concluir que el equipo posee buenas características en linealidad.

Ejercicio No.2: Ensayo para determinar la respuesta del equipo en su rango de medición.

Se desea conocer si un sonómetro posee características apropiadas para su uso en entornos labores en los que el rango de niveles de presión sonora que se han medido van desde los 40 decibeles hasta los 100; por ello se propuso un ensayo para determinar el nivel de variación obtenido en los diferentes rangos de medición; ver tabla 1; con la información obtenida; qué puede concluir con respecto a la resolución y la respuesta del equipo en condiciones controladas?

Tabla 1. Resultados del ensayo propuesto para la resolución del equipo de medición de niveles de presión sonora

n\ dB	40 - 100 dB												
	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
1	38.8	43.2	49.6	56.1	59.8	61.6	68.2	74.5	74.5	83.4	87.6	90.2	91.8
2	38.7	43.2	48.3	56.1	58.2	61.5	67.8	74.2	78.3	81.2	85.9	91.4	91.7
3	40.1	44.1	49.5	54.4	57.9	62.7	67.5	74.8	77.5	81.9	86.7	91.5	91.5
4	42.3	44.7	49.1	53.9	56.1	61.8	66.9	75.4	76.5	80.9	90.2	90.5	90.8
5	41.1	42.8	47.7	52.4	59.1	63	66.9	73	76.5	83	88.4	88.1	92.4
X	40.2	43.6	48.84	54.58	58.22	62.12	67.46	74.38	76.66	82.08	87.76	90.34	91.64
R	3.6	1.9	1.9	3.7	3.7	1.5	1.3	2.4	3.8	2.5	4.3	3.4	1.6
S	1.536	0.778	0.817	1.571	1.402	0.683	0.568	0.890	1.424	1.094	1.656	1.372	0.577
LCS	41.67	44.35	49.62	56.09	59.57	62.78	68.01	75.23	78.03	83.13	89.35	91.66	92.19
LCI	38.73	42.85	48.06	53.07	56.87	61.46	66.91	73.53	75.29	81.03	86.17	89.02	91.09

$t_{0.05} = 2.145$

Respuesta Ejercicio No.2:

Como se puede observar en los resultados y realizando el manejo de los datos según corresponde a la dispersión de los mismos; se determina que el equipo presenta variaciones importantes en puntos específicos; tal es el caso de las mediciones codificadas con 60, 45, 40, 20, 10 y 5; por ello se considera que el equipo no se encuentra en condiciones de uso.

Ejercicio No.3: Ensayo de repetibilidad y reproducibilidad como control de calidad para la posterior toma de mediciones.

Dentro de los protocolos de control y aseguramiento de la calidad de las mediciones que se han implementado en la empresa para la cual usted labora; se ha establecido un protocolo específico para la determinación del margen de variación relacionado con las personas encargadas de recopilar dicha información; por ello se le ha solicitado que emita su criterio con respecto a los resultados de dicho ensayo y la pertinencia de manejar dos encargados de recolectar los datos en campo.

Respuesta Ejercicio No.3:

De acuerdo con los datos obtenidos el operario B presenta mayor margen de variación, lo cual debe ser considerado en la estimación de la incertidumbre final.

Puesta de repetitividad y reproductividad del grupo de datos recolectados																						
Tasador	Parte																				Promedio	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
	Tiempo (seg)																					
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	X _̄	R ₁	
Inspector A	1	59.9	67.2	65.5	66.3	62.2	63	63.6	65.9	61.8	60.7	64.1	66.4	65	60.5	60.8	63.6	64.2	63.6	61.1	63.2	63.4
	2	60.2	64.7	66.2	65.4	63.6	63.4	62.6	65.4	62.7	61.1	61.3	54.4	64.8	61.2	60.8	62.5	63.5	62.8	60.9	63.6	63.11
	Promedio	60.1	66	65.85	65.9	62.9	63.2	63.1	65.7	62.3	60.9	62.7	65.9	64.9	60.9	60.8	63.1	63.9	63.2	61	63.4	63.27
Rango	0.3	2.5	0.7	0.9	1.4	0.4	1	0.5	0.9	0.4	2.8	1	0.2	0.7	0	1.1	0.7	0.8	0.2	0.4	0.845	
Inspector B	1	60.6	64.2	65.1	63.1	63.5	65	62.9	65	64.9	60.9	64.2	66.5	63.1	62.7	63.8	64.9	64.4	61.4	63.6	63.6	63.7
	2	61.1	64	60.8	63.9	61.6	65.7	63	64.9	64.7	59.5	63.9	65.7	65	60.8	61.5	63.5	63.5	62.5	61.2	64.8	63.1
	Promedio	60.9	64.1	62.95	63.5	62.6	65.35	62.95	65	64.8	60.2	64.1	66.1	64.1	61.8	62.7	64.2	64	62	62.4	64.2	63.38
Rango	0.5	0.2	4.3	0.8	1.9	0.7	0.1	0.1	0.2	1.4	0.3	0.8	1.9	1.9	2.3	1.4	0.9	1.1	2.4	1.2	1.22	
Promedio	60.5	65	64.4	64.7	62.7	64.28	63.03	65.3	63.5	60.55	63.4	66	64.5	61.3	61.7	63.6	63.9	62.7	61.7	63.8	5.55	

R 1.03

X_{DIFF} 0.11

UCL_R 3.38

Andrés Robles Ramírez



Director e investigador
Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e
Higiene Ambiental
Tecnológico de Costa Rica
Coordinador Nacional Programa SALTRA
Costa Rica
anrobles@itcr.ac.cr

Es ingeniero en seguridad laboral e higiene ambiental y posee una maestría en sistemas modernos de manufactura. Docente en los programas de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, grado bachillerato universitario, licenciatura y de la Maestría en Salud Ocupacional. Investigador en las áreas de: agentes ambientales físicos, ingeniería económica, metrología y normalización, sistemas modernos de manufactura y la salud y seguridad laboral. Consultor para empresas de los diferentes sectores productivos.

Esteban Arias Monge



Docente e investigador
Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene
Ambiental
Tecnológico de Costa Rica
Asistente Técnico Nacional Programa SALTRA
Costa Rica
esarias@itcr.ac.cr

Es ingeniero en seguridad laboral e higiene ambiental. Master en Salud Ocupacional con énfasis en Higiene Ambiental. Docente en el programa de bachillerato universitario de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Tecnológico de Costa Rica. Investigador en las áreas de: posturas de trabajo, carga metabólica, exposición a altas temperaturas, cambio climático y mitigación de riesgos antes desastres. Consultor académico centroamericano, y consultor para empresas productivas.

Programa Salud, Trabajo y Ambiente en América Central (SALTRA)
Escuela de Ingeniería en Salud Laboral e Higiene Ambiental (EISHLA)
Instituto Tecnológico de Costa Rica Tel/Fax 506 2550-2317/2550-2532
[http://www.saltra.una.ac.cr/
index.php/home/centro-soa/costa-rica](http://www.saltra.una.ac.cr/index.php/home/centro-soa/costa-rica)

