

24.59

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Química

Proyecto de un Equipo de Aislamiento Acústico para el Molino de Martillos del Laboratorio de Ingeniería Química

T E S I S

Que para Obtener el Título de:

Ingeniero Químico

PRESENTA

María de la Luz Olivares Campos



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Introducción	6
¡CAPITULO I:	Generalidades	8
	Planteamiento del problema	9
	Información General	
	Terminología	16
	Medición	50
	Control	64
	Materiales Aislantes.....	97
CAPITULO II	Diseño y Construcción del Equipo.	100
	Tablas de Medidas Efectuadas	111
	Descripción del Equipo	117
	Diseño de la alimentación	131
CAPITULO III	Funcionalidad	155
	Observaciones	160
	Bibliografía	164

INTRODUCCION

Ante la inminente contaminación ambiental por agentes químicos, fisiológicos y sociales, se deben tomar medidas para evitar que tal contaminación cause un día un desastre ecológico.

Durante las últimas décadas más y más gente comienza a concentrarse en el problema del ruido.

Por lo que respecta al ruido, parece que al hombre común no le preocupa demasiado el deterioro de su capacidad auditiva, aunque sus oídos son órganos sensitivos y de protección personal; puesto que tanto en vehículos motores, aparatos eléctricos como tocadiscos, radios, etc., hasta en juguetes, se procura que hagan "ruido" o "sonidos más potentes", como si eso fuera sinónimo de efectividad, de una acción confortante o estimulante.

Pero cuando esos sonidos son intensos y producto del trabajo, se presenta la molestia o discomfort, al que sigue una serie de circunstancias fallidas; tales como el bajo rendimiento en el trabajo, lesiones de los trabajadores y necesidades de adecuación de las fuentes de trabajo a mejores condiciones médico-legales. Aunque hasta la fecha no se hayan tomado medidas convenientes, ni por las regiones, ni por las organizaciones internacionales. Pues las que se tienen aún adolecen de efectividad.

Si esto es en el campo del trabajo, estamos peor en cuanto a concientizar al vecino de evitar la contaminación por "su"

ruido, producido por el claxon de su vehículo, los acelerones de su carro, los sonidos de su tocadiscos, etc., etc.

De manera que debemos atacar el problema con lo que está a nuestro alcance. Empezar por nosotros mismos.

C A P I T U L O I**GENERALIDADES****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA****INFORMACION GENERAL****TERMINOLOGIA****MEDICION****CONTROL**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el laboratorio de ingeniería química de la facultad de Ciencias Químicas, de la U.N.A.M., se cuenta con un molino de martillos, que al ser accionado, produce un efecto sonoro de tipo "sirena", que rebasa los límites de tolerancia y seguridad para el oído humano, tanto en frecuencia como en intensidad (mayores de 85 dB que es el límite de peligro) produciéndose sonidos hasta de 113 dB.

Pensando en eliminar de algún modo la inconveniencia de este efecto, producto del trabajo del molino, se planteó como tema de tesis. Quedando en un principio de la siguiente manera:

TEMA: Diseño y construcción de un sistema anti-ruido para el molino de martillos. OBJETIVO: Eliminar en lo posible el ruido que produce el molino. Pasos a seguir: Investigación bibliográfica, tanto de materiales acústicos como del porqué del problema. Investigación de límites de tolerancia en el trabajador. Diseño y construcción del equipo necesario para eliminar el ruido y determinar su funcionalidad.

Para esto se intentó representar el equipo como un diagrama de bloques, en tres fases, alimentación, molienda, producto terminado; quedando representado como sigue:

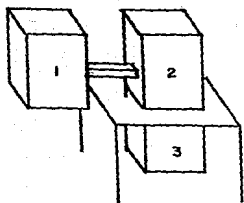


FIG. 1

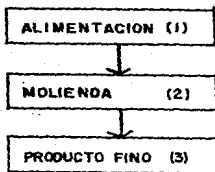


FIG. 2

Al recurrir a la información bibliográfica, la resumí en:

- Terminología
- Medición
- Control
- Tipo de materiales aislantes

La fundamentación del por qué un ingeniero químico toma este tema como tesis, se puede resumir de la siguiente manera:

I.- El equipo "problema", en este caso el molino de martillos se encuentra en el laboratorio de la facultad, obviamente para desempeñar un trabajo de Molienda: Acción de moler, reducir un cuerpo hasta menudas partes, hasta hacerlo polvo, triturar, etc.

El área "afectada" por el ruido producido, concierne a todo estudiante que tenga acceso al laboratorio, salones, cubículos y área que se localiza en esta zona de aproximadamente 2464 m^2 .

Por lo tanto el responsable directa o indirectamente de dar

una solución al problema es el encargado del trabajo que ahí se realiza, o sea el jefe del laboratorio, debiendo contar con el respaldo absoluto de las autoridades competentes, para dar la mejor solución no sólo a ese problema, sino a cualquier otro que llegue a suscitarse.

Es lógico suponer que los estudiantes de ingeniería química afectados por este fenómeno, sean los primeros interesados en querer atacarlo.

II.- La investigación bibliográfica, acerca del ruido, materiales aislantes, y la construcción mínima de cualquier aislamiento implica inversión de tiempo, dinero y esfuerzo, ya que un simple trapo, trozo de madera o material "X" que se use debe provenir de algún inventario (quizá hasta personal).

Ante la falta de recursos económicos, se pensó que siendo un tema de tesis, se reducirían en parte los gastos y la investigación quedaría sujeta al tesista, así como las consultas al personal experto o versado en el tema, la optimización, selección y diseño del equipo, entre los posibles proyectos de aislamiento. Además de las horas de trabajo en la planificación diseño y supervisión, las relaciones públicas para optimizar el tiempo, también juegan un papel importante.

III.- Serían suficientes estos fundamentos para comprender

por qué un ingeniero químico acepta este tema como tesis, aunado al problema de "contaminación por el ruido", está la forma en que opera el molino: Alimentación, carga y descarga. En fin, que la persona idónea para encargarse del aislamiento, debe tener relación con el equipo, la función que realiza y cómo lo hace, nociones (si se quiere elementales) de Física, Acústica y materias que se cursan afortunadamente en la carrera de ingeniería química.

IV.- Aunque para aislar correctamente, según recomienda el manual de sonido (Hand Book of Noise, 1), con las medidas efectuadas, se debe recurrir a un libro auxiliar de control, uno de arquitectura acústica, otro de vibraciones mecánicas, uno de acústica general, así como artículos actualizados de varias publicaciones.

Tratando de optimizar tiempo, se consultó cierta bibliografía y personal experto en el asunto, algunos de ellos fueron: Ing. Quím. Díaz Eugenio, jefe de sección del IMSS, Depto. de medicina del trabajo, de ahí mismo, Fis-Mat. e Ing. Quím. Nadia M. Vélez, al Dr. en Ciencias Fernando Pruneda, del IMSS, premio nacional en Ciencias y creador de una cámara acústica (que le valió el premio), al Ing. Quím. Luis Maldonado, de Celanese Mex.

Las personalidades mencionadas visitaron el Laboratorio,

para percatarse del problema y darle un enfoque, asistieron en diferentes ocasiones e hicieron sus sugerencias, comenzando por señalar los pasos recomendables al efectuar la medición del sonido producido por el molino. Quedando en la siguiente forma:

1.- ¿Por qué se hace la medición?

El molino de martillos (fuente fija), emite sonidos del tipo sirena (sirena: Rueda con orificios equidistantes del centro que al hacerla girar, en ocasiones coincide el orificio, con el tubo por donde se dirige el aire, dando un tipo específico de sonido), que desde luego sensorialmente es molesto, interfiere con la actividad que se lleva a cabo en el laboratorio, tal como las clases impartidas en los salones contiguos y en el propio laboratorio; Prácticas, seminarios, etc., presumiéndose ser un problema grave, de contaminación, de afectación a esa comunidad.

2.- ¿Cuál es el objeto de la medición?

Detectar la magnitud del problema y cómo se debe proceder al aislamiento.

3.- ¿Dónde efectuar la medición?

En el lugar donde actualmente se encuentra, mismo que se pretende siga funcionando.

Con estos principios se llegó a la primera medición, que

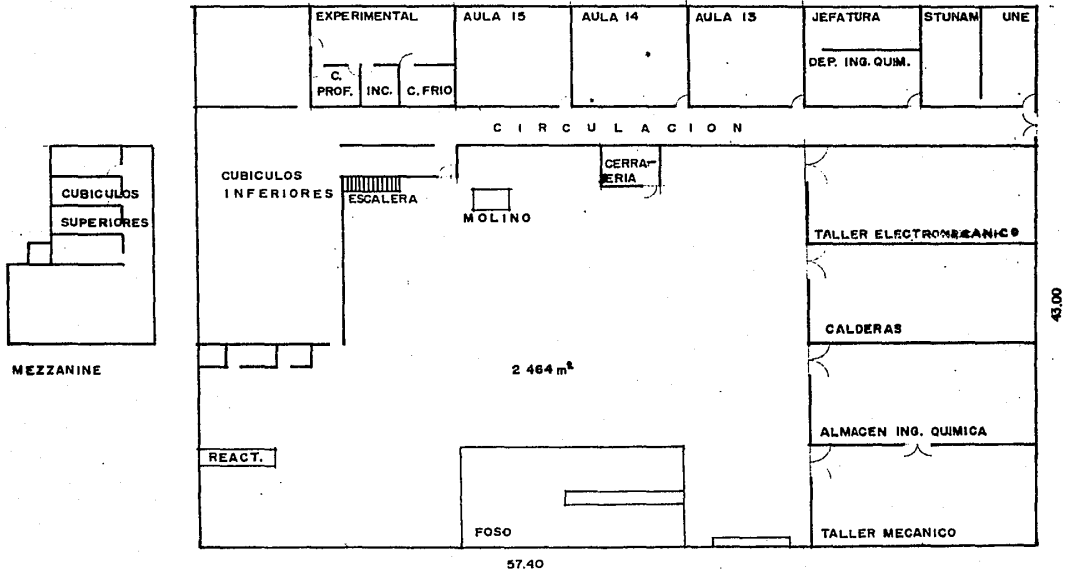
determinó el problema como difícil y lo confirmó como grave, ya que rebasa los límites de seguridad para el operador y demás trabajadores de esta zona.

A continuación se esquematizará el laboratorio y se marcarán equipos y zonas de importancia para el trabajo que en él se realiza.

FIG. 3

VISTA SUPERIOR DEL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA UNAM

PLANTA BAJA



T E R M I N O L O G I A

El sonido es consecuencia de un fenómeno de vibración, siendo el fundamento de cualquier manifestación acústica, vibraciones simples.

Se considera el sonido como un principio físico y se explica a partir del principio de Fourier.

Un segundo modelo corresponde al estudio de las ondas planas en el aire estudiando su origen y la naturaleza de su propagación considerando éstas, la etapa final más importante dentro del fenómeno sonoro.

Se establece la naturaleza subjetiva del ruido, determinando su razón de ser función de los problemas ocasionados a cada individuo, que por él se ve afectado. En consecuencia, se observa que los parámetros físicos estudiados para el sonido no son válidos para el ruido, necesitándose entonces determinar nuevos parámetros y sus características.

Así pues, para tratar de comprender el fenómeno real, se buscan las características de éste a la serie de leyes idealizadas por la ciencia.

La función que relaciona un elemento del conjunto científico con otro del conjunto real se llama modelación.

El modelo, por tanto, es el producto final de la modelación, como resultado de la investigación. En consecuencia los resul-

tados pueden ser parciales, sin que por esto no sean válidos.

Una oscilación o vibración simple es el movimiento de vaivén. Para que exista una vibración se necesita:

- 1.- Una partícula que se mueva, cuya característica es su masa es decir, su cantidad de materia en Kg.
- 2.- Un medio elástico en el que la partícula se mueva.
- 3.- Un agente externo o perturbación, que cause un desplazamiento de la partícula, desde su estado de reposo.

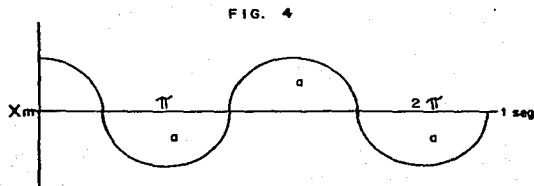
Simulando un modelo nos daría algunas características cualitativas y representando algunas definiciones quedaría:

Cada una de las repeticiones completas de una vibración se llama CICLO.

El número de ciclos por la unidad de tiempo se llama frecuencia de la vibración, HERTZ (Hz).

El desplazamiento máximo de la partícula en vibración se denomina amplitud.

Haciendo gráficamente la representación quedaría:



En función de este modelo puede verse que son tres los parámetros que influyen en el movimiento de la vibración:

La frecuencia

La amplitud

La fuerza de recuperación elástica del medio.

A partir de los elementos del modelo físico (cuantitativo), se está en condiciones de establecer el modelo matemático, que arroja las características del movimiento.

El movimiento de vibración simple puede considerarse que genera dos tipos de energía, una producida por la reestructuración del medio y otra por el movimiento de la partícula; siendo la primera energía potencial y la otra energía cinética.

Aunque el modelo es algo más complejo que el de vibraciones simples, sería una ecuación en función de senos y cosenos de arcos múltiples, que se encargó de solucionar Joseph Fourier, que publicó en su libro la Teoría Analítica (Théorie Analítica de la Chaleur). Pudiendo resumirse el principio de Fourier como: "Toda vibración por complicada que sea, puede ser expresada como la suma de un número infinito de vibraciones simples". Este principio también establece la razón matemática del oído humano como un gran analizador.

Propagación de las ondas en el aire.

Las vibraciones simples o compuestas de una partícula, tienden a propagarse por el contacto directo de unas contra otras a partir del modelo de vibración simple.

Cuando el medio donde se producen las perturbaciones es el aire, se produce una serie de compresiones y reflexiones en tres dimensiones, que tienden a propagarse en todos sentidos. (Esto se puede comprender con mayor claridad si en un cilindro encerramos gas y comprimimos con un pistón, producimos una onda longitudinal de compresión, perturbando la densidad, al mover el pistón en sentido opuesto, se presenta la expansión del gas hacia el vacío, ocurriendo también perturbación de la densidad original, y se producirá una onda llamada de rarefacción también longitudinal, pero al tener una extrapolación a espacios mayores o abiertos se presenta el fenómeno descrito anteriormente). Siguiendo una perturbación capaz de producir una estimulación auditiva, se observa la llamada onda acústica. Es importante recalcar que estos movimientos son invisibles y no tienen más sentido que definir un estado determinado de la perturbación. Al realizarse la perturbación en todos sentidos hace complejo su estudio. Para lo que debe recurrirse a una serie de simplificaciones que permitan realizar una modelación eficiente, a partir de la cual pueden efectuarse las generalizaciones

necesarias.

Las propiedades elásticas del medio durante la propagación, dependen de ciertas características propias como: la presión y temperatura a que se encuentra y su densidad.

Al producir la perturbación, se modifica la presión (fuerza/superficie), que se va moviendo con la onda. Al recordar cómo varían los otros parámetros con la presión se debe suponer, en principio, que el aire se comporta como un gas ideal y por lo tanto se emplean las siguientes relaciones:

$$P.V = \text{cte.} \quad \text{Si } T = \text{cte.} \quad \text{Ley de Boyle- Mariotte} \dots\dots(1)$$

$$\frac{P}{T} = \text{cte.} \quad \text{Si } V = \text{cte.} \quad \text{Ley de Charles} \dots\dots\dots(2)$$

Lo que supone una relación de la forma:

$$f (P . V . T) = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Y recordando la ley de Avogadro al mismo tiempo que la definición de mol (cantidad de sustancia cuya masa en gramos sea igual a la masa-fórmula), podemos decir:

$$n.R = \frac{PV}{T} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$n = \frac{P.V}{R.T} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Donde: n Número de moles

P Presión en Pa (Pa = Pascales y su eq. es:

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa})$$

V volumen en m³

R es la constante general de los gases

$$8.205 \times 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{mol } ^\circ\text{K}}$$

T temperatura en $^\circ\text{K}$

Que de acuerdo con la definición de mol:

$$n = \frac{m}{M} \quad \dots\dots\dots (6)$$

donde m es la masa, g.

M es masa molecular.

como

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} \quad \dots\dots\dots (6')$$

y como

$$m = n M \quad \dots\dots\dots (7)$$

sabiendo que:

ρ densidad es

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \dots\dots\dots (8)$$

sustituyendo

$$\rho = \frac{n \cdot M}{V} \quad \dots\dots\dots (8')$$

tenemos que

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} \quad \dots\dots\dots (8'')$$

Cuando un proceso mantiene la temperatura del gas constante, se dice que dicho proceso es isotérmico: Considerando el principio de conservación de la energía si se produce un ciclo, el trabajo efectuado por el gas es nulo. Si en un proceso no

hay liberación o absorción de calor (variación de entropía) se dice que el proceso es adiabático. Cuando un proceso adiabático es reversible es llamado entonces Isoentrópico.

Si al producirse una variación en las características de equilibrio, ésta se debe a una vibración acústica, se llamará presión acústica y se le designa con la letra P. Si un gas es sometido a frecuencias superiores de 10^6 Hertz, habrá que corregir el cálculo de la densidad final, por debajo de estas frecuencias, se considera la entropía (grado de desorden de las moléculas) en forma parcial, constante.

Para corregir el modelo matemático que representa el comportamiento de la perturbación de sistema elegido, deben tomarse en cuenta: Condiciones de continuidad, condiciones de equilibrio dinámico y condición de elasticidad. Aunque para establecer la ecuación de onda plana, se sigue una serie de pasos más o menos complejos, donde las simplificaciones realizadas no implican falta de generalidad, sino por el contrario, han permitido obtener una ecuación sencilla, aunque complicada en su estructura matemática, por ejemplo:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = \frac{c^2 \partial^2 P}{\partial x^2} \dots\dots\dots (9)$$

Las soluciones de la ecuación diferencial, darán como re-

sultado el conocimiento del comportamiento de los diferentes parámetros involucrados en el proceso de acuerdo con las condiciones de frontera que se les imponga.

EL CONCEPTO DE SONIDO

El proceso acústico de la vibración no tendrá ningún sentido si no se afectase de alguna manera al universo y de éste, en particular, al ser humano. Teniendo en cuenta que uno de los mecanismos de la comunicación está fundamentalmente regido por las vibraciones acústicas, este proceso cobra una importancia vital. Aunque se puede definir al sonido en un sinnúmero de formas, siempre estará relacionado con la comunicación oral de una u otra forma. Tomando la definición de la Dirección General de Normas Internacionales, la DGNI-J-149 -1972, que a su vez fue traducida del vocabulario de la Comisión Nacional de Electrotécnica, I.E.C. "Sonido: es el resultado de una vibración acústica, capaz de producir el efecto de la audición".

Definición, sin duda, física y objetiva para una población estadística muy grande. Los límites de tal definición no pueden ser fijados más que en términos de vibraciones simples llamados Sonidos Puros.

Se ha establecido, por medio de un gran número de medi-

ciones de una población estadística media de seres humanos, que los límites de frecuencia para tonos o sonidos puros, están entre los 16 Hz a los 16 KHz. Así mismo se ha podido determinar que esa población media puede oír, sin sufrir daño, vibraciones de amplitud que causan intensidades de 10^{-12} W/m^2 a 1 W/m^2 , pero deben ser producidos por un sonido puro a la frecuencia de 1 KHz.

De acuerdo a lo expresado en el párrafo anterior, se nota que la vibración de la frecuencia es del orden de mil a uno y la variación de las intensidades es del orden de un billón (10^{12}) a uno. Abajo de las frecuencias de 16 Hz, se tienen vibraciones no audibles denominadas Ultrasonidos. Vibraciones inferiores a 10^{-12} W/m^2 no logran excitar al mecanismo de la audición y las superiores a 1 W/m^2 , son peligrosas para el ser humano.

CONCEPTO DE NIVEL

Como se expresó anteriormente, el concepto de intensidad de una vibración no es empleado prácticamente, el ámbito es muy grande, por lo tanto es conveniente adoptar una escala logarítmica para manejar con facilidad el campo.

$$\text{Sea } y = 10^x \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$x = \log_{10} Y \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$x_{\min} = \log 10^{-12} = -12.. (12)$$

$$x_{\max} = \log 10^0 = 0 \dots\dots (13)$$

Quando dos números representan dos magnitudes físicas y dichos números son congruentes, se dice que el módulo de congruencia es el nivel de las dos magnitudes físicas. Es decir el ámbito de las intensidades que antes era de un billón de unidades, se ha reducido sólo a doce unidades de nivel. De acuerdo con la proposición hecha por la Bell Telephone and Telegraph Co. , la unidad recibió el nombre de Bell (B), en honor de Sir Alexander Graham Bell.

Para hablar de nivel es necesario siempre tener un valor de referencia. Este valor es arbitrario y justificado por asociaciones científicas internacionales.

Haciendo una serie de consideraciones tenemos lo siguiente:

$$10 \log \frac{I}{I_0} = \log 10^{12} = 12 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{NAI}(\text{nivel de intensidad}) = \log \frac{I}{I_0} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{NAI} = 10(\log I - \log I_0) \quad \dots\dots\dots (15')$$

en donde NAI es el Nivel de Intensidad Acústica en (dB)

I es una intensidad cualquiera

I_0 es la intensidad de referencia

Se dice que es el nivel de intensidad acústica, en vez de la intensidad sonora, ya que el valor de I no tiene límites y puede ubicarse dentro de la zona peligrosa para el oído.

Para dar un mayor valor práctico a la ecuación, se transforma a Niveles de Presión Acústica definiendo como sigue:

$$NPA = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \dots\dots\dots(16)$$

o sea

$$NPA = 20 \log \frac{P}{P_0} = 20(\log P - \log P_0) \dots\dots\dots(17)$$

NPA es el nivel de presión acústica

P es una presión acústica cualquiera

P₀ es la presión de referencia

Debe considerarse que los valores de las presiones acústicas, son los valores eficaces. Tanto para la presión acústica del medio como la de referencia, deben ser dados en Pascales (Pa) o múltiplos o submúltiplos de dicha unidad.

En algunos libros de Fisiología (Ref. Bibliog.) se encuentra la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Bel} &= \log \frac{\text{Poder físico de un sonido}}{\text{Poder físico del sonido de referencia}} \\ \text{Bel} &= \log \frac{E_1}{E_2} \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

Como en la práctica se usa el decibel (dB), submúltiplo del Bel, es necesario multiplicar la ecuación anterior por

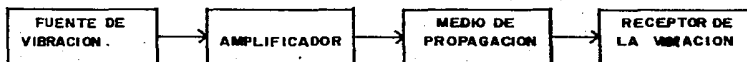
diez, para conservar la igualdad, por tanto:

$$dB = 10 \log \frac{E_1}{E_2} \dots\dots\dots (19)$$

EL FENOMENO SONORO

El fenómeno que explica el sonido requiere cuatro mecanismos fundamentales, que se explican por medio del siguiente diagrama de bloques:

FIG. 5



Así podemos decir: "El fenómeno sonoro consiste, en al menos, de un elemento generador de la vibración acústica, un sistema amplificador del fenómeno, un medio que permita su propagación y su recepción por un elemento, generalmente es el oído humano".

Estos cuatro elementos son esenciales, la ausencia de alguno de ellos no permite la presencia del fenómeno sonoro. Es obvio que la falta de cada uno de ellos tiende a desaparecer de una u otra forma la perturbación.

Las vibraciones del cuerpo sonoro se propagan a distancia en medios elásticos, sean sólidos, líquidos o gaseosos, pero no en el vacío. Son longitudinales, es decir que las partículas vibran con el movimiento de vaivén en el sentido de avance de

la onda, creando alternativamente zonas de aumento y disminución de la presión.

CONCEPTO DE RUIDO

La Organización Internacional para la Normalización (ISO) define al ruido como: "Todo sonido indeseable".

El problema que implica este concepto es de gran subjetividad, en virtud de que no se puede precisar cuál es o debe ser el criterio para puntualizar qué es lo "deseable".

La Comisión Internacional de Electrotécnica (I.E.C.) señala al ruido como; "Es el sonido desagradable o molesto, generalmente aleatorio, que no tiene componentes bien definidos".

La norma de la Dirección General de Normas Internacionales, DGNI - J - 149 - 1972, empleada en electroacústica admite el mismo criterio, que también es incompleto.

La definición de ruido sustentada por la norma de terminología del Instituto Americano Nacional de Normas (American National Standards Institute, A.N.S.I.) es la más completa, ya que su norma de terminología acústica (incluyendo impactos mecánicos y vibraciones) U.S.A. Standard S.I.1.1960 (R-1971) Acoustical Terminology (including mechanical shock and vibrations), en su página 62 expresa lo siguiente:

"1. 2. 4. Ruido:

- (1) El ruido es todo sonido no deseado. Por extensión es cualquier perturbación no deseada dentro de una banda útil, tal como las ondas eléctricas en un canal de transmisión o en un dispositivo.
- (2) El ruido es una oscilación errática, intermitente o estadísticamente azarosa".

Resumiendo, se puede decir que el ruido es una perturbación cuya magnitud es superior al de una señal dentro de un canal de comunicación, en un valor que sea capaz de producir una lesión.

De la misma norma se tiene el criterio de "deseabilidad" al definir el término "señal", el cual dice:

"1. 2. 3. Señal

Una señal es (1) una perturbación utilizada para transportar información, (2) la información transportada en un sistema de comunicación".

Tradicionalmente en Higiene Industrial se ha aceptado la definición de la Organización Internacional para la Normalización (ISO), que no contempla el concepto de lesión dentro de la misma, por lo que hasta el momento se ha producido un caos; ya que la Higiene Industrial la estudia desde el punto de vista energía que conlleva la señal y que no se encuentra

establecido por normas nacionales o internacionales.

Por otro lado, se puede demostrar y confirmar, que en todos los sistemas de comunicación siempre existe el ruido, aún cuando no sea éste el tipo de perturbación que predomina en el sistema, como lo muestra la figura a continuación:

FIG 6



Por lo tanto, podemos resumir en el diagrama de Shamon (fig. anexa), la descabilidad, quedando incluidos los conceptos de ruido y sonido de gran magnitud, en el concepto lingüístico .

Naturaleza Física del Sonido

De acuerdo al aspecto sintético del sonido, puede ser conocido dicho sonido en una distribución de acuerdo a su frecuencia, al tiempo de presentación y a la energía.

La variación del contenido de energía del fenómeno (amplitud de las ondas) en función de la frecuencia es llamado ESPECTRO.

Se acostumbra efectuar una clasificación de los sonidos de acuerdo con su distribución (temporal) de la forma siguien-

ESQUEMA DE SONIDO Y RUIDO
DIAGRAMA DE SHAMON

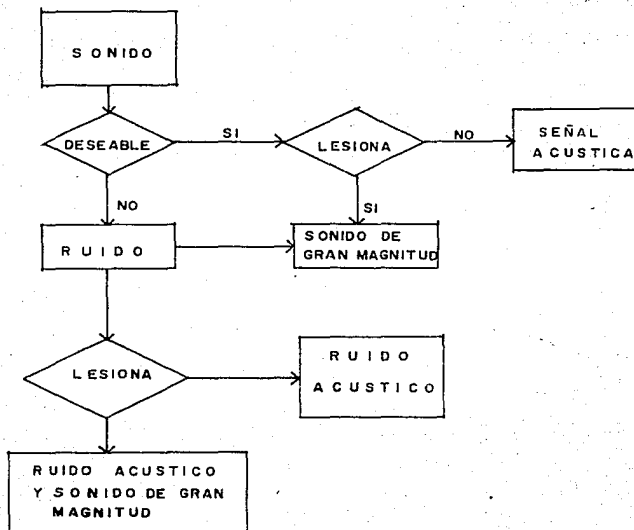


FIG. 7

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 7	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Acot.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
Esc.:		

te:

1.- Sonidos Continuos

2.- Sonidos No Continuos (Intermitentes)

Se dice que un sonido es continuo, cuando no se presenta en todo el período de observación una variación de ± 3 dB, es decir, que su intensidad no fluctúa en más del 100%, y cualquier sonido que no cumpla con estas condiciones será No Continuo y estos se pueden clasificar en :

1.- Sonidos Intermitentes

2.- Sonidos Pulsantes

3.- Sonidos Impulsivos

A su vez estos tres tipos de sonidos pueden ser:

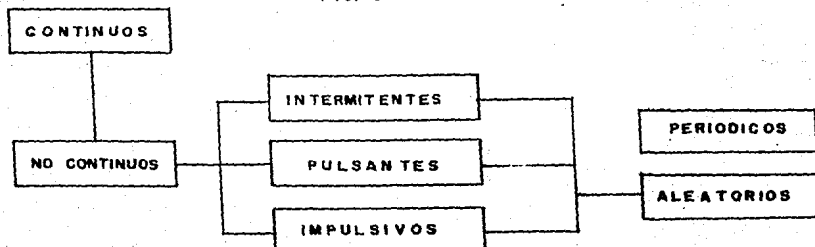
1.- Periódicos

2.- Aleatorios (Sin patrón)

La ISO no reconoce el sonido por impacto.

El diagrama muestra la distribución en tiempo y energía del sonido.

FIG. 8



EL FENOMENO DE LA AUDICION

La audición, como la mayor parte de los sentidos somáticos, es un sentido mecanoreceptivo, pues el oído responde a la vibración mecánica de las ondas sonoras en el aire.

Consiste en la recepción de las ondas sonoras por el oído que las detecta como rápidas y pequeñas modificaciones de la presión, originadas en la vibración del cuerpo sonoro y que habitualmente llegan por el aire.

La importancia es considerable fisiológica y psicológicamente, al poner en contacto al hombre con sus semejantes y ampliar su vida de relación, sirve para aprender a hablar, cantar, etc. Las sensaciones auditivas, en especial la música, tienen un tono afectivo. La función normal de la audición es importante para la personalidad y el carácter, y la sordera suele repercutir sobre ambas causando molestias y aún la neurosis o alteraciones psíquicas, a veces serias.

Oír un sonido es un fenómeno complicado que requiere de una gran cantidad de elementos para su complementación. Puede decirse que consta de tres fases, cada una de ellas representa un estudio diferente, tanto en conocimientos como de localización anatómica, siendo las siguientes:

1.- Estímulo

2.- Sensación

3.- Integración

Estímulo es la recepción de las vibraciones acústicas dentro del órgano auditivo. Consta de una fase de captación, realizado por el pabellón del oído u oreja; una forma de conducción realizada o bien en forma aérea por el conducto auditivo o en forma ósea y finalmente una fase de selección y amplificación, realizada por el mecanismo del oído medio.

La sensación es la conversión de las vibraciones acústicas en impulsos nerviosos. Su estudio es en extremo complicado y requiere de un proceso de análisis del estímulo recibido. La sensación pone en actividad treinta mil terminales nerviosas alojadas a lo largo del caracol del oído interno. Se produce inicialmente cuando la perturbación acústica excita las células ciliadas apropiadas, colocadas en cierto lugar preciso del caracol. Se transforma en impulsos nerviosos por una serie de cambios bioquímico-celulares.

La integración comprende dos fases, la primera que es la recepción de los impulsos nerviosos en el cerebro (a través del VIII par craneal) y su almacenamiento como punto de memoria y la segunda fase, que consiste en la comparación de ese impulso de memoria con el almacenado en el otro lóbulo cere-

bral para dar un aspecto cognocitivo.

Solamente habiendo alcanzado el estadio de la integración se puede decir que se ha escuchado el sonido. Sin embargo todavía existen una serie de procesos ulteriores más o menos complicados, como el de las relaciones somáticas y la elaboración cognocitiva del estímulo recibido.

Las tres fases del fenómeno de la audición son también esenciales, si falta alguna de ellas no se produce proceso alguno.

La alteración o deficiencia de cualquiera de las fases da lugar a lo que se llama sordera. La cual puede ser muy compleja y obedece a una serie de factores muy diversos, además puede ser parcial (Hipoacusia) o total (Anacusia).

El fenómeno de la audición se puede esquematizar así:

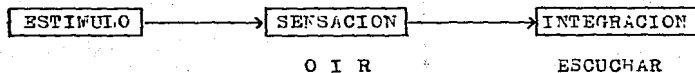


FIG. 9

El fundamento de la audición radica en el conocimiento de la relación estímulo-sensación, es decir, dada una vibración acústica, de qué forma y en qué proporción se transforma en estímulo nervioso.

El fisiólogo alemán E. H. Weber, trabajando en el proble-

ma de mecánica animal, y el profesor G.Th. Fechner, trabajando en el problema de la naturaleza cuantitativa de las relaciones estímulo-sensación, hicieron valiosas aportaciones, que a manera de conclusión pueden decirse: "La sensación crece con el logaritmo de la excitación, la parte de la ley propuesta por Weber, indica que el estímulo y la sensación presentan una función biunívoca, es decir:

$$E = F (s) \dots\dots\dots(20)$$

$$s = f (E) \dots\dots\dots(21)$$

La parte de la ley propuesta por Fechner cuantifica la función:

$$s = \log (K E) \dots\dots(22)$$

Donde K es una constante que representa la sensibilidad del individuo.

Con el perfeccionamiento de las técnicas clínicas y los aparatos de medición, se demostró que si la ecuación no es en realidad el modelo matemático de la relación, sí es la mejor aproximación para explicarlo cuantitativamente. La constante K está muy lejos de serlo, pues depende de las condiciones subjetivas de la persona en estudio, y K nuevamente puede ser función del estímulo, tan complejo como se desee.

Si bien, es inobjetable la ley de Weber y Fechner para ex-

plicar la sensación en relación al estímulo, como una síntesis de tonos puros, hacen que la percepción final tenga una naturaleza subjetiva, que se denomina sensibilidad.

El Dr. Fletcher, comenzó desde 1923 a estudiar el efecto de la audición a partir de mediciones realizadas en seres humanos requiriendo de una cámara especial y de aparatos para medir señales de tonos puros generados a voluntad, Son diversos y complejos los estudios realizados ya solo o en compañía de los doctores Steimberg y principalmente Munson. Siendo logros de estos trabajos los siguientes:

- 1.- Determinar el umbral mínimo de audibilidad
- 2.- Determinar el concepto de nivel de sonoridad
- 3.- Relacionar el nivel de sonoridad con sonoridad
- 4.- Relación entre sonoridad y el número de impulsos nerviosos producidos por el sonido.

Para efectuar sus investigaciones requirió de un tono de referencia que se definió como el de 1KHz por las siguientes razones:

- 1.- Es fácil de definir
- 2.- Muchas veces es empleado como norma de altura
- 3.- Hace más fácil el empleo de las fórmulas matemáticas
- 4.- La sensibilidad audible es tan grande o mayor que a

otras frecuencias.

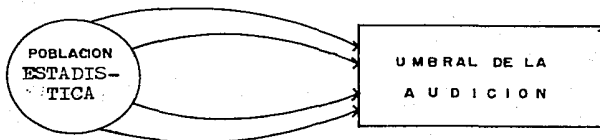
5.- Es la media de las frecuencias audibles

Aunque sonó lógico en su tiempo, trabajos recientes demuestran que la mayor sensibilidad del oído humano se manifiesta entre los 3.1 y 3.2 KHz, para tonos puros, la media de la audición no es de 1 000 Hz, sino de 680 Hz.

Umbral de la Audición

Se llama umbral de audibilidad a la menor cantidad de energía necesaria para producir la sensación audible en el Hombre. El umbral de audibilidad varía de persona a persona, para poder unificar el concepto de umbral, se requiere de investigación estadística, tal concepto se llama umbral de la audición y se ilustra de siguiente forma:

FIG. 10



Los Drs. Fletcher y Munson utilizaron para su población estadística un grupo de jóvenes universitarios no mayores de 20 años y sin secuelas patológicas auditivas. Se observó que para tonos puros, se requiere mayor cantidad de energía para

sentir los tonos graves, que la necesaria para los tonos medios, y, a su vez, se requiere mayor energía para sentir los tonos agudos.

Estudios realizados en Inglaterra por los Drs. Robinson y Dadson determinaron el umbral de la audibilidad de una población estadística llamándole umbral mínimo de la audición.

El proceso de integración humana es diferente al de la naturaleza física del agente estimulante, por eso aunque se produzcan dos tonos puros de diferentes frecuencias con el mismo nivel de presión acústica, parece que uno suena más fuerte que otro.

Por ello es necesario definir como nivel de sonoridad lo siguiente: "Nivel de sonoridad, es el nivel de presión acústica necesario para que un oído joven, sano y medio, escuche un tono cualquiera con la misma fuerza que otro de 1000 Hz".

Si se traza un sistema de coordenadas de frecuencia contra niveles de sonoridad, se tendrá una familia de curvas llamadas Isofónicas. Las primeras fueron trazadas por Fletcher y Munson en 1933 y son conocidas como básicas. Posteriormente Robinson y Dadson en 1956 trazaron otra familia de curvas isofónicas que son tomadas en consideración por las normas ISO. Shneider y sus colaboradores encontraron en 1972

otra familia más, siendo estas últimas las más justas a la luz de los avances tecnológicos actuales.

La unidad de sonoridad es el Phon y equivale al decibel a 1KHz.

El concepto de nivel de sonoridad es un concepto logarítmico, correspondiente al nivel de la presión acústica. Es necesario por tanto, obtener un concepto lineal correspondiente al de presión acústica o al de intensidad. Para este fin el Dr. S. S. Stevens en 1955 la definió como sonoridad, diciendo que "Sonoridad es la designación numérica, que para un sonido dado es proporcional a la magnitud subjetiva del mismo, denominada fuerza, cuando es juzgada por un receptor normal".

Lo cual quiere decir que una persona al juzgar dos tonos cualesquiera, puede establecer por medio de esta escala su fuerza relativa.

La escala de sonoridad tiene como unidad el Sone (SI), se dice que un sonido puro de 1 KHz tiene un Sone de sonoridad a 40 dB de presión acústica". La simplificación propuesta es:

$$\log S = 0.3010 (p - 40) \dots\dots\dots (23)$$

en donde S es la sonoridad en Sone

pues el nivel de sonoridad es Phon

Cuando se realiza una investigación del efecto que el so-

nido puede producir en el individuo, es necesario transformar las magnitudes subjetivas o más o menos representativas de la subjetividad de la comunidad, la norma de la Organización Internacional, ISO. R- 532/1967 "Method for Calculating Loudness level", establece dos procedimientos para determinar este nivel de sonoridad estadístico; uno si la señal sonora ha sido analizada en banda amplia (Banda de octava) y otro si la señal ha sido analizada en banda angosta (Banda de un tercio de octava). El primero fue propuesto originalmente en 1952 por el Dr. Stevens y lo determinó Markvi. El segundo, por el Dr. E. Zwicker en 1967.

Diversas investigaciones han mostrado que el procedimiento de Stevens es el más apropiado para estudios estadísticos de comunidades industriales. Los valores de Zwicker, por lo general son 5 dB menores que los de Stevens.

El concepto de sonoridad va íntimamente ligado al de binauralidad (escuchar con los dos oídos). De tal manera que un individuo que ha perdido totalmente su capacidad de oír con uno de sus oídos, va a escuchar los sonidos con una sonoridad inferior. Se ha visto que un individuo monoaural requiere niveles de presión acústica 10 dB superiores para tener la misma sonoridad que un binaural. Este hecho es sumamente peligroso,

se cree normalmente que personas "sordas" son mucho más resistentes al sonido que personas que no lo son; sin embargo, el hecho que una persona resista niveles de presión acústica superiores a causa de su sordera, no indica que su único oído, no se vea dañado por esos altos niveles. Podemos concluir, que una persona que ha perdido un oído, también ha perdido una gran capacidad de defensa contra el sonido. La sonoridad de sonidos impulsivos, es uno de los temas más apasionados para los investigadores de los últimos tiempos, ya los Drs. Fletcher y Munson habían propuesto: "La sonoridad (no definida aún en esa época) es proporcional al número de impulsos por segundo que los sonidos inducen en el VIII par craneal". Principio que puede expresarse matemáticamente por:

$$S = \phi \left[\frac{a (nIN)}{a t} \right] \dots\dots\dots (24)$$

donde S sonoridad del sonido en Sone

ϕ es la función por determinar

nIN es el número de impulsos nerviosos que llegan al VIII par craneal

t es el tiempo en segundos

En conclusión, la sonoridad de los sonidos impulsivos depende del número de dichos impulsos que llegan al VIII par craneal por segundo, pero de acuerdo a su amplitud de banda y

a la forma de su presentación de su trasiente de entrada.

CRITERIOS PARA LIMITAR LA EXPOSICION OCUPACIONAL

Existen fundamentalmente dos criterios para limitar la exposición ocupacional al sonido. El primero fue propuesto por el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica a través de la Administración para la Higiene y Seguridad en el trabajo (Occupational Safety and Health Administration) y que ha sido seguida por diferentes instituciones internacionales. Obedece a la fórmula fundamental:

$$T = \frac{16}{2 \left(\frac{L_1 - 85}{5} \right)} \dots\dots\dots (25)$$

en donde T es el tiempo máximo de exposición permisible al nivel sonoro L

L_1 es el nivel sonoro expresado en dB(A)

En caso de sonidos intermitentes, se dice que el individuo no puede excederse de la dosis definida por la fórmula:

$$D = \sum_n \frac{C_i}{T_i} \leq 1 \dots\dots\dots (26)$$

donde D es el tiempo real de la exposición en cada nivel sonoro en horas o minutos.

T_i es el tiempo de exposición permitido de acuerdo a la

ecuación.

El segundo criterio se encuentra expresado en la recomendación ISO. R - 1999/1971, denominada Imposición de la exposición ocupacional al ruido para la conservación del oído ("Assessment of occupational Noise Exposure for Hearing Conservation Purposes"), que representa la exposición práctica a un nivel sonoro expresado en dB(A); su duración en ella y el porcentaje de personas que pueden esperarse que presenten pérdidas de la audición, sólo como resultado de la exposición a ciertos niveles sonoros; eliminando los efectos presbiacústicos.

Esta recomendación define el criterio de deterioro de la audición, teniendo en cuenta que se considera afectada siempre que la media aritmética de la variación continua del umbral de la audición se vea afectado en más de 25 dB en las frecuencias de 500, 1 000 y 2 000 Hz.

$$H = \frac{dB_{500} + dB_{1000} + dB_{2000}}{3} \geq 25dB \dots (27)$$

en donde H es el grado de deterioro o lesión auditiva

dB_n es dB por debajo del umbral de la audición en 500, 1000, 2000 Hz.

Así mismo, esta recomendación establece el concepto de pérdida de la audición como la forma de relacionar esas pér-

didadas por la exposición a niveles sonoros capaces de lesionar el oído, teniendo en cuenta el grado específico natural de la audición estudiada estadísticamente.

Teniendo en cuenta que el nivel sonoro equivalente (L_{eq}) se define como: "El nivel sonoro en dB(A) que si estuviera presente durante 40 horas por semana daría el mismo índice compuesto de exposición de sonidos que los distintos niveles sonoros medidos en una semana. Teniendo en cuenta que el índice parcial de exposición al sonido; es el índice determinado por un nivel sonoro y su duración durante una semana laboral de 40 horas. Índice compuesto de exposición al sonido; es la sumatoria de los índices parciales de la exposición a todos los niveles sonoros durante una semana de trabajo de 40 horas".

Los valores de los índices parciales de exposición al sonido para niveles sonoros de 80 a 120 dB(A) y su duración entre 10 minutos y 40 horas semanales se presentan en la siguiente tabla (Tabla I). Los valores fueron calculados de acuerdo a la fórmula:

$$E_1 = \frac{A \cdot t_1}{40} 10^{0.1 (L_1 - 70)} \dots\dots\dots (28)$$

La relación entre el índice compuesto de exposición al sonido y el nivel sonoro equivalente continuo, se presentan en

la tabla anexa, (Tabla II) y fueron calculados con la fórmula:

$$L_{eq} = 70 + 10 \log \sum E_i \dots\dots\dots(29)$$

Para estimar el riesgo involucrado se presenta la Tabla III en función del nivel sonoro expuesto. (Tabla III anexa)

Tabla I
INDICES PARCIALES DE EXPOSICION AL RUIDO

DURACION POR SEMANA		NIVEL SONORO EN dB (A) (PUNTO MEDIO DE CADA CLASE)								
Horas	Minutos	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	10					5	15	40	130	415
	12					5	15	50	160	500
	14					5	20	60	185	585
	16					5	20	65	210	665
	18					10	25	75	235	750
	20					10	25	85	265	835
0.5	25				5	10	35	105	330	1040
	30				5	15	40	125	395	1290
	40				5	15	55	165	525	1670
	50				5	20	70	210	660	2060
1	60			5	10	25	80	250	790	2500
	70			5	10	30	90	290	920	2920
	80			5	10	35	105	330	1050	3330
1.5	90			5	10	40	120	375	1190	3750
	100			5	15	40	130	415	1320	4170
2	120			5	15	50	160	500	1550	5000
2.5				5	25	75	200	625	1950	6250
3				10						
3.5			5	10	30	90	275	875	2770	8750
4			5	10	30	100	315	1050	3180	10500
5			5	15	40	125	395	1250	3980	12500
6			5	15	45	150	475	1500	4780	15000
7			5	10	55	175	555	1750	5580	17500
8			5	20	60	200	630	2000	6320	20000
9			5	25	70	225	710	2200	7110	22500
10		5	10	25	80	250	720	2400	7910	25000
12		5	10	30	95	300	950	3000	9490	30000
14		5	10	35	110	350	1100	3500	11100	
16		5	15	40	125	400	1200	4000	12500	
18		5	15	45	140	450	1420	4500	14200	
20		5	15	50	160	500	1550	6000	15700	
25		5	20	65	200	625	1950	6250	19500	
30		10	25	75	235	750	2370	7500	23700	
35		10	30	90	275	875	2770	8750	27700	
40		10	30	100	315	1000	3180	10000	31800	

TABLA II

RELACION ENTRE EL INDICE COMPLETO DE EXPOSICION AL RUIDO
Y EL NIVEL SONORO CONTINUO EQUIVALENTE

<i>Indice compuesto de exposicion al ruido</i>	<i>Nivel sonoro continuo equivalente en dB (A)</i>
10	80
15	82
20	83
25	84
30	85
40	86
50	87
60	88
80	89
100	90
125	91
160	92
200	93
250	94
315	95
400	96
500	97
630	98
800	99
1.000	100
1.250	101
1.600	102
2.000	103
2.500	104
3.150	105
4.000	106
5.000	107
6.300	108
8.000	109
10.000	110
12.500	111
16.000	112
20.000	113
25.000	114
31.500	115

Para estimar el riesgo involucrado se presenta la tabla III en función del nivel sonoro expuesto.

T A B L A I I I

Nivel sonoro continuo equivalente dB(A)		c) Años de exposición									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
80	a) Riesgo, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	b) % total con déficit auditivo	1	2	3	5	7	10	14	21	35	50
85	a) Riesgo, %	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
	b) % total c.d.a.	1	3	6	9	13	17	22	30	43	57
90	a) Riesgo, %	0	4	10	14	16	16	18	20	21	15
	b) % total c.d.a.	1	6	13	18	22	26	33	41	54	65
95	a) Riesgo, %	0	7	17	24	29	29	31	32	29	23
	b) % total c.d.a.	1	9	20	28	34	39	45	53	62	73
100	a) Riesgo, %	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
	b) % total c.d.a.	1	14	32	42	48	53	58	65	74	83
105	a) Riesgo, %	0	18	42	53	58	60	62	61	54	41
	b) % total c.d.a.	1	20	45	57	64	70	76	82	87	91
110	a) Riesgo, %	0	26	55	71	78	78	77	72	62	45
	b) % total c.d.a.	1	28	58	75	84	88	91	93	95	95
115	a) Riesgo, %	0	36	71	83	87	84	81	75	64	47
	b) % total c.d.a.	1	38	74	87	93	94	95	96	97	97

a) Riesgo: Relación entre el nivel sonoro continuo equivalente durante una vida laboral de 0 a 45 años, y el riesgo de déficit auditivo con respecto a la conversación.

b) % Total con déficit auditivo: Porcentaje total de personas que presentan un déficit auditivo en un grupo expuesto al ruido (el porcentaje de personas que presentan un déficit auditivo en un grupo no expuesto al ruido es igual al porcentaje en un grupo expuesto a niveles sonoros continuos por debajo de 80dB(A)).

c) Años de exposición: Edad, 18 años.

M E D I C I O N

Definición: " Medir, significa comparar un objeto con otro normalizado, con el propósito de obtener sus características cuantitativas. Cuando las medidas son de objetos tangibles pueden hacerse de manera más o menos sencillas. Sin embargo, cuando se miden intangibles, las complicaciones son mucho mayores".

El sonido, como una manifestación de energía, es un intangible y sus propiedades cuantitativas deben ser referidas a los efectos que produce (o puede producir), como puede ser la presión de la perturbación en el aire o su potencia.

Por otra parte la medición de la capacidad auditiva del ser humano, presenta los siguientes problemas; establecer las bases de su objetividad y si se habla de un valor absoluto o estadístico, referido a una población.

Audiometrías

El primer objeto a ser medido es el oído humano. La finalidad es determinar si un estímulo común a una población estadística produce o no la sensación estadística normal a esa población y en el individuo en particular.

"Audiometría, es la técnica que permite determinar el umbral de audibilidad de un individuo, para así poder detectar las causas de la difusión auditiva posible".

Las técnicas audiométricas son variables, de acuerdo al

fin que se pretende conseguir en cada una de ellas. Puede decirse que existen dos tipos de audiometrías que son:

- 1.- Audiometrías de sonido (sono audiometrías)
- 2.- Audiometrías del lenguaje (longoaudiometrías)

Por las audiometrías del sonido (llamadas también fonaudiometrías), se puede conocer el umbral de audibilidad de sonido del paciente en cuestión, independientemente de las relaciones que éste pueda guardar con la comunicación oral. El procedimiento es totalmente físico y objetivo y requiere una interpretación adecuada para poder realizar una diagnosis correcta del problema.

Las audiometrías del lenguaje, por el contrario, tienden a comprobar el grado de la recepción oral y por consiguiente la afección auditiva en función de los problemas de la comunicación, aunque se presentan serios problemas, tales como las disfunciones de tipo cultural del paciente, así como la grave dependencia de la fonación del emisor. Las longoaudiometrías no determinan el umbral de audibilidad del individuo, sino el umbral de recepción del lenguaje, que en términos generales difiere del anterior. Por medio de las audiometrías pueden determinarse otros umbrales importantes para la audición del ser humano como:

1.- Umbral de molestia y discomfort

2.- Umbral de dolor

A partir de estos umbrales, puede determinarse un número importante llamado Índice de Sensitividad, que nos indica cual es la relación del individuo frente a estímulos acústicos externos.

El oído, como la vista, es un sentido proyectivo, es decir suele localizar la fuente fuera del sujeto, además permite reconocer la dirección de donde viene el sonido y a veces la situación exacta de la fuente sonora e incluso la naturaleza de ésta. La intensidad mínima necesaria para que un sonido sea percibido por el oído humano varía con el tono de ese sonido. El timbre es la característica que permite distinguir un sonido de otros de igual frecuencia e intensidad, debido a que la mayoría de los tonos no son puros, sino compuestos, formado por uno llamado fundamental - que es el de más baja frecuencia y mayor intensidad - al que se superponen tonos parciales o sobretonos, de mayor frecuencia y menor intensidad.

Medición del sonido

El objeto de la medición del sonido es conocer la cuantificación de sus parámetros. Para un sonido puro sus parámetros

son: Frecuencia y Amplitud (relacionada con la intensidad o presión); para un sonido compuesto: frecuencia central, amplitud de la banda de frecuencia y su intensidad o presión.

La intensidad es una representación de la energía acústica que se produce por el sonido; puede indicarse que es el flujo energético por unidad de área. Sin embargo, la intensidad del sonido no puede ser medida realmente, es decir, no existe un instrumento que permita establecer una comparación con un valor de referencia, pero puede hacerse en forma indirecta por medio de la ecuación:

$$\frac{P_e^2}{P_o} = I \quad \dots\dots\dots (30)$$

Las presiones acústicas producidas por el sonido se detectan fácilmente por instrumentos, de tal manera que sólo se necesita aplicar la ecuación después de medir presiones acústicas, para definir el primer parámetro del sonido.

Para conocer el espectro de un sonido compuesto se requiere un aparato que permita analizar para una cierta banda de frecuencias cuál es la correspondiente presión sonora que tiene el sonido. Esto implica dos cosas: Primero, la posibilidad de dividir el ámbito de frecuencias en intervalos de diámetro determinado (una octava, media octava, un tercio de

octava y micro intervalos); y en segunda, la medición de la presión acústica del sonido dentro de la banda. Esto es factible electrónicamente, mediante los llamados filtros de frecuencia, donde el sonido registrado es despreciado en cualquier intervalo de frecuencia, excepto en el de la banda requerida. De esta manera se determinan los parámetros de un sonido cualquiera, de una manera física.

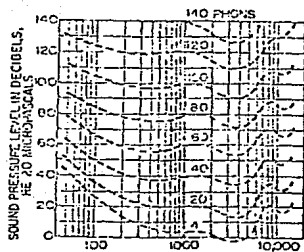
Sin embargo los aparatos no ponderan en la misma forma que el oído humano, es necesario, por lo tanto realizar una simulación artificial de lo que sucede.

Partiendo de los estudios de Fletcher y Munson y de sus curvas isofónicas, puede suponerse que el oído estadístico se va a comportar frente al sonido de la misma manera que dichas curvas. Suponiendo que éstas indican la cantidad de energía que necesita un tono en exceso con relación al de 1000 Hz para ser escuchado con la misma sonoridad, se pueden construir curvas que corrijan esas deficiencias en los aparatos. (Figs. 11 y 12).

En una reunión del Comité de Electroacústica Internacional (I.E.C.), se decidió que las curvas para corregir sonidos de baja, media y alta sonoridad fueran las de 40 phon, 70 phon y de 90 phon. Mismas que fueron suavizadas para ponderar o sopesar los valores medidos físicamente por aparatos.

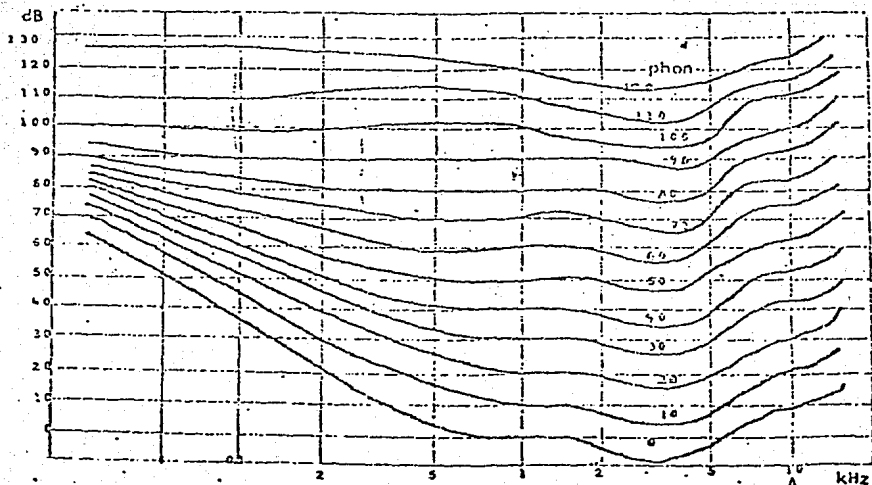
CURVAS ISOFONICAS DE ROBINSON Y DALSON.

FIG. 11



Curvas Isofónicas de Fletcher y Munson.

FIG. 12



En la figura anexa se muestran curvas de corrección que se denominan " A " , " B " y " C " respectivamente. (Fig.13)

Un sonómetro, lo que realiza es una determinación del sonido recibido a lo largo de su espectro, sopesándolo por los valores de estas curvas y representando el valor eficaz obtenido. Los últimos estudios demuestran que las medidas realizadas con las curvas " A " , son mucho más apropiadas para determinar los problemas de daños auditivos, sin importar la sonoridad del fenómeno. Cuando se utiliza esta medición con las redes de ponderación y un rango de frecuencias determinadas, se dice que se mide el Nivel Sonoro, en tanto que si se hace sin éstas se dice que se mide el Nivel de Presión Acústica por banda de octava.

Se ha insistido en la importancia que tiene conocer lo que se ha medido y si esto es lo que se quiso medir, ya que muchas mediciones acústicas no son satisfactorias por el desconocimiento del comportamiento del sonido en el espacio, esto es primordial para realizar una buena medición. Para efectuar este estudio debe realizarse un modelo matemático de la distribución espacial del vector sonido y este modelo es el Campo. "Campo acústico es todo espacio físico donde, para cada punto, puede identificarse de una manera biunívoca una deter-

EN LA FIGURA SE MUESTRAN TRES CURVAS DE CORRECCIÓN QUE SE DENOMINAN A, B Y C RESPECTIVAMENTE

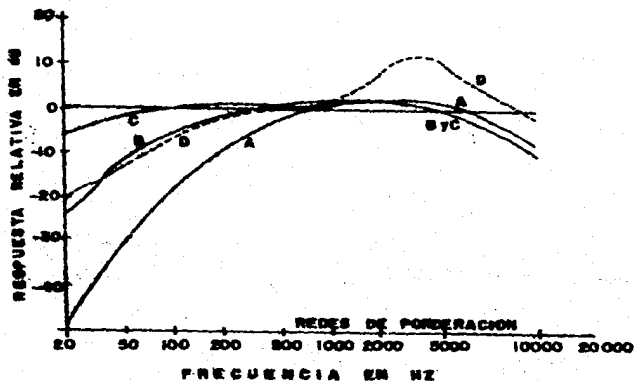




FIG. 13

FACULTAD DE QUÍMICA		LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA	U N A M
LAMINA Nº 13		PROYECTO DE INGENIERÍA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:		AISLAMIENTO ACÚSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO	
Ases.:		CARA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
 Esc.:			

minada intensidad acústica para cada tiempo".

Es de suponer, por lo tanto, que la intensidad es un vector direccional. De manera que podemos decir, que los campos acústicos dependen de la fuente sonora en magnitud y direccionalidad; pero además dependen de manera efectiva de los confinamientos donde se halle la fuente sonora. Por lo que es conveniente realizar las siguientes definiciones; " Recinto, es cualquier confinamiento de un espacio físico "; " Claustro, es un recinto cerrado ".

Los recintos determinan las condiciones de frontera del campo y establecen las posibles fuentes parásitas que pueden formarse a partir de la producción de una señal acústica. Es posible establecer una clasificación de los campos de acuerdo con sus características primordiales.

De acuerdo a los confinamientos se clasifican en :

- 1.- Libre
- 2.- Reverberante
- 3.- Difuso

De acuerdo a su posición respecto a la fuente:

- 1.- Cercano
- 2.- Lejano

De acuerdo a su geometría por la directividad de la fuente:

- 1.- Esférico
- 2.- Cilíndrico
- 3.- Plano
- 4.- Otros

De acuerdo a estas clasificaciones podemos definir:

"Campo acústico libre, es todo aquél que no se encuentra confinado a ningún recinto o donde las características del confinamiento son despreciables".

"Campo reverberante, es el campo acústico observado dentro de un recinto, sujeto a la reverberación (fuentes parásitas debido a la reflexión de la fuente original)."

"Campo difuso, es aquél campo acústico dentro de un claustro donde todo punto tiene la misma densidad de energía acústica".

"Campo acústico cercano, es aquél donde el receptor se encuentra alejado de la fuente a una distancia no mayor del recíproco del doble de los números de onda de la frecuencia central del sonido que produce el campo".

"Se dice que un campo acústico es lejano cuando el receptor se encuentra alejado de la fuente a una distancia mayor o igual al recíproco del doble del número de onda de la frecuencia central del sonido que produce el campo".

"Se dice que un campo acústico es geométrico cuando las super-

ficies que unen los puntos de igual intensidad son de familias de figuras geométricas determinadas".

Es claro que la medición consiste en la determinación de los parámetros del sonido en uno o varios puntos de un espacio físico. Por lo tanto si no se conoce de antemano la estructura matemática de modelación que guardan los puntos entre sí, no pueden determinarse las características de la fuente que produce el campo.

Instrumentos de Medición

Para medir el sonido se requiere de un instrumento capaz de transformar las presiones acústicas en ondas electromagnéticas, de una serie de correctores de estas ondas y de un instrumento de medición de la magnitud misma. El instrumento capaz de transformar presiones en impulsos eléctricos se llama transductor, que en el caso particular del sonido se llama micrófono. Todos los instrumentos de medición se acoflan en un solo aparato llamado Sonómetro. Este aparato puede ser portátil o fijo. Los más conocidos son los portátiles. En la siguiente figura se muestra esquemáticamente la composición de un sonómetro.

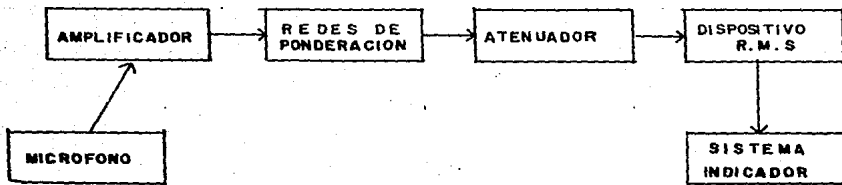


FIG. 14

El elemento más importante es el transductor o micrófono, pues de su funcionamiento apropiado depende la confiabilidad que se tenga para determinar las mediciones. La transformación de presiones acústicas a impulsos eléctricos depende del funcionamiento básico del transductor, es decir, si se trata de un elemento piezoeléctrico o de dieléctrico variable. Una vez determinada esta característica, son factores determinantes en el funcionamiento: su tamaño, la forma de la caja que lo contiene y de su elemento protector - radiador. La elección del micrófono depende esencialmente de las características del circuito interno del campo que piensa medir para determinar la forma de su nariz y de su caja y finalmente, el tamaño físico del campo que se desea medir, para determinar su tamaño.

Cuando el aparato se usa al aire libre o en una zona de corrientes de aire, el viento que incide sobre el micrófono modifica las lecturas de la mediciones realizadas. Por tanto

debe de utilizarse el protector de viento, que por lo general es una esfera de material plástico o de tela muy fina que se llama pantalla de viento.

Normalmente los sonómetros de calidad vienen fabricados según especificaciones internacionales tales como las normas IEC- 123 o IEC - 179, además algunos países incorporan a sus equipos normas de calidad como las ANSI 1.4 o las DIN -45633 y DIN - 45651, en vez de ser grabado para analizarse posteriormente en una cinta magnetofónica. Para ello se requiere de una grabadora de alta calidad, que generalmente no corresponde a las grabadoras comerciales. Cuando se requiere de una gráfica de la señal obtenida, se puede emplear un Registrador Gráfico, este aparato permite convertir impulsos eléctricos en vibraciones mecánicas de una aguja, que deja una señal grabada sobre una cinta de papel móvil. Aunque no pueden registrar todo tipo de señales, por las limitaciones obvias, aunque es un magnífico auxiliar en cualquier tipo de medición. Por regla general, los buenos sonómetros traen incorporado un circuito interno de autocalibración, que no necesita ser verificado más que en casos extremos, cuando la confiabilidad del aparato se encuentre en duda.

Método de Medición

Puede asegurarse que para cada caso particular de evaluación del fenómeno, existe un método diferente de la medición del sonido. El método más apropiado será aquel que proporcione los resultados más apegados a la realidad con el mínimo de esfuerzo posible. Puede decirse que generalmente son tres los elementos físicos a medirse:

- 1.- Fuentes fijas
- 2.- Fuentes móviles
- 3.- Ambientes o campos determinados

Lo importante es que dos mediciones realizadas por diferentes métodos y diferentes personas den resultados, si no iguales, al menos correlacionables, y, como resumen, se recomienda seguir el orden y cumplir los requisitos estipulados a fin de no olvidar los puntos de vista principales, ni el objetivo mismo de la medición:

- 1.- ¿ Porqué efectuar la medición ?
(Definición del problema)
- 2.- ¿Cuál es el objetivo de la medición ?
(Fuente fija, móvil, ambiente)
- 3.- ¿ Dónde efectuar la medición ?
- 4.- ¿ Cuáles son los accesorios que quiere el aparato para efectuar la medición ?

- 5.- ¿ Qué datos, en cuanto a tiempo de exposición, tipo de sonido, etc., se requiere anotar ?
- 6.- ¿ Cuánto tiempo se debe medir ?
- 7.- ¿ Cuántas veces es necesario repetir la medición ?
- 8.- ¿Cuál es la localización de las fuentes ?
- 9.- ¿ Cuánto tiempo trabajan las fuentes ?
- 10.- ¿ Está calibrado el aparato ?
- 11.- ¿ Efectuó la medición ?
- 12.- ¿ Se analizaron los resultados del proceso de evaluación ?
- 13.- ¿ Qué se concluye de los resultados ?

Todos los resultados son importantes a fin de tener un procedimiento de evaluación equiparable y en todo caso nos permita la repetición o retroalimentación que nos ubique en la realidad que pretendemos conocer.

CONTROL

Definición: " Control es la operación tendiente a evitar los efectos negativos de una causa "

A toda causa corresponde una serie de efectos, que se pueden clasificar en positivos y negativos. Efectos de acción reacción. En términos de esta dualidad, es que podemos dar esa definición.

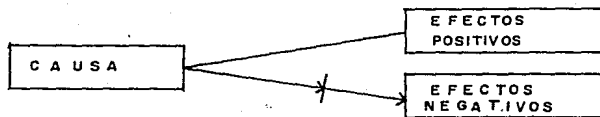
El control es una medida preventiva, independiente de la causa en sí. Es decir, el control muchas veces no tiende a la supresión de la causa; pero sí a la manipulación del efecto.

El primer paso en el establecimiento de un método de control consiste en averiguar cuales son todos los efectos que produce una causa, para posteriormente evaluarlos y clasificarlos en positivos y negativos, lo que nos dará la pauta para determinar cuál es el método para eliminarlos.

El control puede ser efectivo o inefectivo ; independientemente de la causa en sí, si se desea un control efectivo, es necesario que esté de acuerdo a la causa que lo produce y además que esté orientado a la supresión de los efectos negativos sin modificar los positivos.

Representando lo anteriormente dicho por diagrama de bloques.

FIG. 15



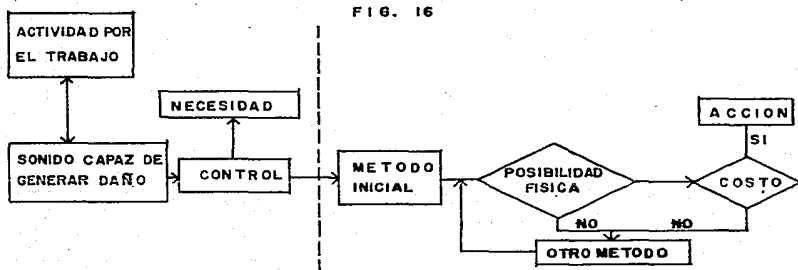
Los problemas de control del sonido en la industria tienen dos aspectos fundamentales:

1.- El primero es su fundamentación o sea, el estableci-

miento de una razón poderosa para realizar el control.

2.- El segundo es el método de solución del problema general.

En la figura siguiente podemos observar el esquema general de control.



Debemos observar que el sonido es producido por el equipo de trabajo, de no existir éste no se produce el sonido. La supresión total del sonido en la industria implicaría necesariamente la eliminación total de la actividad laboral salvo ciertas excepciones, como algunos tipos de actividades intelectuales, el sonido como manifestación del trabajo será de tal manera que a mayores esfuerzos físicos (maquinaria más grande y más pesada) es mayor el nivel sonoro producido, pudiendo concluir que la generación del sonido es una condición propia e inherente al trabajo.

Entre los efectos positivos del sonido con respecto al trabajo, está por ejemplo, el observar el buen funcionamiento de una máquina o equipo; sin embargo entre los efectos negativos, podemos mencionar dos tipos básicos:

1.- A corto plazo

2.- A largo plazo

Entre los efectos a corto plazo se tienen:

1.- Los que involucran los reflejos de los músculos voluntarios.

2.- Respuestas del sistema circulatorio y cardíaco

3.- Respuestas pupilares del ojo

4.- Movilidad gastrointestinal

5.- Efectos vestibulares

Efectos a largo plazo:

1.- Cambios en el sistema homeostático

2.- Fatiga física (cambios elevados en la adrenalina y norañrenalina).

3.- Cambios en el sistema nervioso autónomo

4.- Efectos en el sistema simpático y parasimpático

5.- Cambios en la actividad hormonal

Los efectos producidos por diferentes niveles sonoros en cuanto a un beneficio económico directo (aumento de producti-

vidad), se pueden medir los puntos siguientes:

- 1.- Reducción del ausentismo
- 2.- Confort en el trabajo
- 3.- Satisfacción por las labores
- 4.- Deseo de progreso
- 5.- Seguridad en las labores
- 6.- Estabilidad emocional
- 7.- Equilibrio doméstico

En la figura siguiente se representa una serie de efectos a diferentes niveles sonoros expuestos, considerando horas de labor efectiva, en semana de 40 horas. (Fig. 17).

SEVERIDAD DE LESIONES CONTRA NIVEL SONORO

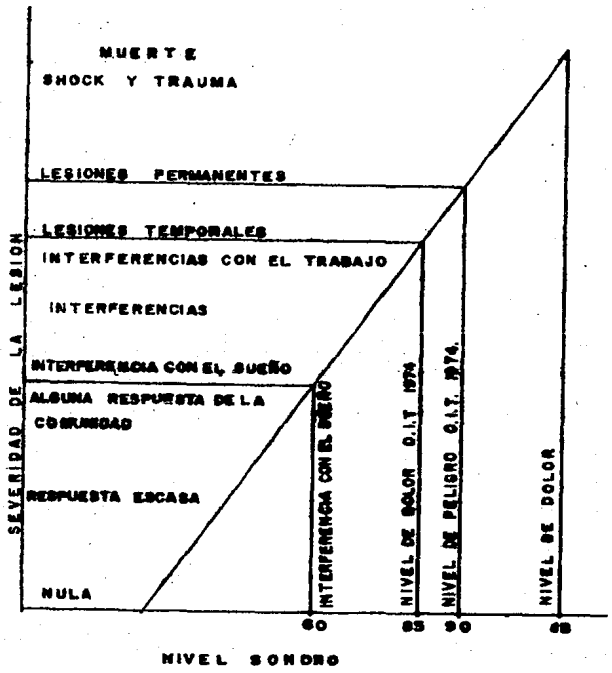




FIG. 1517

FACULTAD DE QUIMICA		LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA		U N A M	
LAMINA NO 17		PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL			
Fecha:		AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO			
Referencia:					
Acol.:		PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO			
 Esc.:		MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS			

NIVEL SONORO

La eliminación de la fuente no puede considerarse un método de control, ya que al suprimirla se elimina la actividad, por lo que resulta un acto absurdo.

La eliminación del medio es físicamente imposible, el sonido provocado por una máquina tiene dos medios de propagación; uno aéreo, formado por el aire que lo rodea y otro sólido a través del suelo donde está la máquina asentada o ejerciendo su acción. Suponiendo que se pudiera operar a vacío, la supresión del piso es imposible y todo el sonido generado sería transmitido por el medio sólido.

Finalmente, la supresión absoluta del receptor (operador), implicaría que el trabajador no estuviera en contacto íntimo nunca con ella. Al efectuarse este contacto, aunque sea por unos minutos o por vía indirecta, se nota la imposibilidad de la supresión del receptor en forma absoluta. Sin embargo, se puede estudiar la supresión parcial del receptor.

Como la eliminación de los elementos básicos del fenómeno sonoro es irrealizable, puede efectuarse con ello un control, suprimiendo los factores negativos que influyen.

Así pues, el control puede efectuarse en tres estadios jerarquizados de la manera siguiente:

Primer estadio: Control de la fuente

Segundo estadio: Control del medio

Tercer estadio: Control en el receptor

CONTROL DE LA FUENTE

Una fuente se define como: el elemento estadístico que genera sonidos por vibración interna y que la comunica al exterior por radiación al aire o por propagación indirecta a todos los elementos que le rodean.

Se deben distinguir los dos elementos en estudio:

- 1.- La forma por la cual se genera el sonido
- 2.- Las partes de la fuente causantes del sonido

A la forma por la cual se genera el sonido en la fuente se le da el nombre de causa; a las partes de la fuente que causan el sonido se les denomina generadores.

Es importante destacar que la naturaleza del control obedece esencialmente a la causa y que solamente una forma de control envuelve a los generadores. Esto es, el estudio de la causa es primordial para conocer la naturaleza del control, se parte del estudio de los generadores para llegar a la causa.

En diagrama sería:

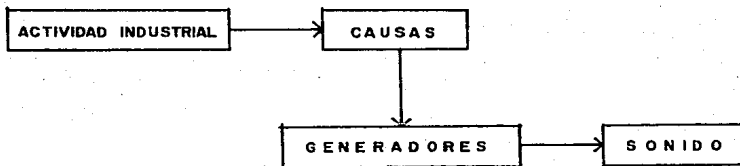


FIG. 18

Cuando un generador no puede ser modificado, debe modificarse la causa. El proceso de análisis del control parte pues del principio de la modificación inicial del generador y luego de la causa. Cuando ambos no pueden ser modificados, es el momento de pensar en la sustitución total, o la modificación de la actividad. Estas actividades implican decisiones a nivel gerencial, que por regla general no se lleva a efecto. Esto implica, además del problema técnico en sí del control de la fuente, que existe un problema humano de comunicación técnico - administrativo.

Estudio de las causas

El sonido, al ser consecuencia de una vibración, puede generarse en diferentes formas, de acuerdo a lo que vibra.

Así pueden ser:

- 1.- Mecánicas
- 2.- Neumáticas

3.- Explosiones o implosiones

4.- Hidráulicas

5.- Magnéticas

Toda causa mecánica es una forma de excitación cinética de las diversas partes de la máquina. El sonido mecánico es una transformación de la energía cinética y / o potencial en energía acústica. Toda causa mecánica requiere la interacción de dos o más piezas. Las causas mecánicas pueden ser de dos tipos:

1.- Impacto

2.- Fricción

El impacto, es la aplicación o separación brusca de una fuerza que actúa sobre una pieza, causando en ésta un esfuerzo de deformación.

La fricción, es la fuerza que se opone al movimiento relativo de dos cuerpos en contacto.

Las causas neumáticas, son producidas por un flujo de gases en movimiento, pueden presentarse en régimen turbulento y así causar desequilibrios internos que a su vez generan vibraciones, que pueden originarse en dos formas:

1.- Dentro de la misma columna de gases en movimiento

2.- En el ducto que las contiene

En el primer caso se habla de columnas vibrantes, donde

la vibración es un movimiento totalmente independiente del movimiento total que causa el flujo. Esto es, la columna de gas sufre un desplazamiento a una velocidad determinada y el gas se encuentra a una presión determinada; pero independientemente todas sus partículas sufren desplazamientos vibratorios a una velocidad mucho menor que la de flujo y tiene una presión acústica menor a la presión total de la columna. El sonido depende de las presiones acústicas y no de las presiones de velocidad de la columna. Sin embargo, a mayor susceptibilidad de formación de turbulencias se causa presión acústica.

Toda perturbación de la columna de gas contenida dentro de un tubo trae un desequilibrio de las fuerzas internas del ducto que lo contiene, causando impactos y, por consiguiente, vibraciones. Es evidente que el control de los sonidos neumáticos reside en la propia corriente de aire. Los sonidos neumáticos afectan directamente la eficiencia de la máquina, al producir trenes de ondas que viajan en sentido contrario al flujo. Consecuentemente, si el control es mal planeado, se puede afectar más aún el movimiento. Una modificación para resolver el problema del sonido, afecta normalmente el funcionamiento de la máquina. El control de las vibraciones neumáticas no reside solamente en el ducto de escape. El sonido

producido por causas neumáticas es un síntoma de baja eficacia; por lo tanto hay que tener cuidado de evitarlo y no como sucede muchas veces de enmascararlo. Además no deben confundirse los sonidos neumáticos con los sonidos de conducción. O sea que las columnas de aire son eficientísimos medios transmisores de ondas que generan el sonido. Además las columnas de aire pueden actuar como una pieza mecánica, que al interactuar con otras produce vibraciones por fricción o por impacto.

Se entiende por explosión o implosión al cambio brusco de la presión de un gas contenido en una cámara, causando una transformación de la energía potencial y cinética. Se dice que es explosión cuando la presión interior de la cámara es superior a la del ambiente o externa; en caso contrario; es decir cuando la presión interna de la cámara es inferior a la externa se denomina implosión.

Análogamente a las columnas gaseosas, puede considerarse las líquidas, en este caso las vibraciones sonoras que éstas producen son llamadas causas hidráulicas.

Al inducirse un campo magnético debido al paro de una corriente eléctrica, se genera una vibración por desequilibrio, (causas magnéticas) en el elemento inductor (el alambre) sin importar si está en forma de bobina (arrollado) o que cuelgue

como en las líneas de transmisión.

En términos generales se puede decir que los generadores del sonido son:

1.- Barras

2.- Placas

O sea que toda máquina, por complicada que sea, está formada de un conjunto de barras y placas (deben considerarse los tubos como placas con características muy especiales).

Las vibraciones de los generadores pueden ser de dos tipos:

1.- Autónomas

2.- Forzadas

Son autónomas cuando una excitación hace que el elemento generador vibre por sí mismo, de acuerdo a sus características geométricas.

Son forzadas cuando la excitación sobre el elemento es mantenida formándose un movimiento compuesto de la fuerza excitadora y del propio elemento. El movimiento del propio generador puede no coincidir con el de su excitador; pero cuando lo hace se dice que se produce resonancia.

La propagación al ambiente se genera por un fenómeno llamado radiación, que depende de las características del genera-

dor como de las del medio.

Se dice que un elemento generador es una barra cuando dos de sus dimensiones son comparables entre sí y la tercera mucho mayor que las anteriores.

Las vibraciones de una barra son muy complejas y obedecen a la superposición de un cierto número de vibraciones simples.

Estas son:

- 1.- Vibraciones longitudinales
- 2.- Vibraciones transversales
- 3.- Vibraciones torcionales
- 4.- Vibraciones flexionantes

Una placa es un elemento generador que tiene dos de sus dimensiones comparables entre sí y una tercera mucho menor que las anteriores. Para fines prácticos, se pueden considerar las placas como un conjunto de barras interactuantes.

La radiación es un problema Mecánico - Acústico. Para que exista radiación, es necesario que la velocidad de propagación del sonido en el elemento radiante, sea igual a la velocidad constante de propagación en el aire. Esto se consigue a una cierta frecuencia de vibración llamada Frecuencia de Coincidencia.

CONTROL EN LA FUENTE

Es claro que la mejor forma de solucionar un problema es evitarlo, en este caso, evitar en tanto sea posible que las fuentes generen sonidos molestos y/o lesivos. Esta solución puede tener varios estadios:

- 1.- Antes de la adquisición de la máquina
- 2.- Durante la operación de la máquina
- 3.- Por rediseño de la máquina
- 4.- Por sustitución de la máquina

El estadio uno compete fundamentalmente al fabricante del equipo y sus implicaciones pueden tener efecto en el usuario. Cabe al usuario la posibilidad de seleccionar de una serie de máquinas que tienen el mismo fin.

El estadio dos compete simultáneamente al fabricante y al usuario. El fabricante debe indicar cuáles son las condiciones óptimas de funcionamiento de su equipo, y el usuario debe seguir en lo posible, estas indicaciones. Las carencias de los datos de funcionamiento por parte del fabricante, es uno de los más graves problemas que se presentan para el control de los sonidos. Muchas veces el fabricante mismo ignora cuáles son las condiciones óptimas de su equipo, de tal manera que no es posible saber si pueden mejorarse las condiciones de operación.

para reducirse la emisión de espectros audibles.

El estadio tres compete solamente al usuario, dado que establece que el diseño original de la máquina no era el apropiado para las condiciones particulares que tiene y, por tanto, debe rediseñar la máquina de acuerdo a ciertas técnicas de ingeniería.

El estadio cuatro es una fase radical y final, que indica la posibilidad del rediseño en términos de la ingeniería o en términos económicos. Se determina que este estadio, de naturaleza anómala, está originado por una falta de planeación original donde la selección del equipo fue inadecuada, o que las características de éste fueron ignoradas por el fabricante o el usuario, sin considerar que se sustituye por defectuoso, ya que esto es un problema de calidad y no por la inadecuación hombre - actividad.

Como se ha visto el problema fundamental del control en la fuente, radica en una decisión técnica apropiada.

Tanto la radiación como la propagación están en función directa con el buen funcionamiento de la máquina. La mala colocación y el mantenimiento inadecuado, dan margen a la creación de problemas no considerados en el diseño y estos a su vez producen fuerzas de desequilibrio, fricción o impacto.

Por tanto es necesario conocer las especificaciones del fabricante para una correcta operación del equipo. Estas especificaciones deben contener los elementos de optimización en :

- 1.- Cimentación
- 2.- Montaje

La cimentación de una máquina se encuentra en íntima relación con la vía de transmisión indirecta del sonido, llegando al oído no por la vibración de la máquina, sino por la vibración del sitio en el que se halla soportada. De acuerdo con esto la cimentación debe ser planeada tanto en su estructura como en su funcionamiento

Las vibraciones entre máquina y suelo se evitan colocando elementos resistentes que en conjunto forman el amortiguador de las vibraciones. Sin olvidar otros puntos importantes como el peso y el calor, por ejemplo.

El montaje de la máquina es un factor primordial para llegar a conseguir una operación óptima del equipo.

Uno de los problemas fundamentales en Latinoamérica, consiste en tratar de prolongar la vida útil de la máquina hasta el punto más allá de lo recomendable económica y técnicamente.

Este problema se debe de resolver con políticas de fi-

nanciamiento adecuadas, que permitan la renovación del equipo y eliminar por completo sentimentalismos absurdos y herencias mal entendidas. En la figura anexa (19) se observa un resumen del control en la fuente.

Control de Procesos

Existe la tendencia a confundir el control en la fuente con el control en el proceso. La diferencia es sutil y depende de las definiciones de ambos conceptos.

El control en la fuente implica una alteración más o menos importante en la fuente misma, en tanto que, el control del proceso, por el contrario, consiste en una serie de análisis del uso de una serie de fuentes dentro de un proceso industrial. Las fuentes no se alteran, sino el proceso donde se emplean.

Dicho control puede realizarse antes o después de que el producto está en la máquina.

Del análisis operacional es importante conocer el tiempo en que se realiza cada una de las operaciones.

Toda actividad que representa niveles sonoros superiores o iguales a 85 dB (A) debe ser estudiada por separado, verificándose si existe la posibilidad de sustitución, pudiendo ser de diferente índole:

CONTROL DE LA FUENTE

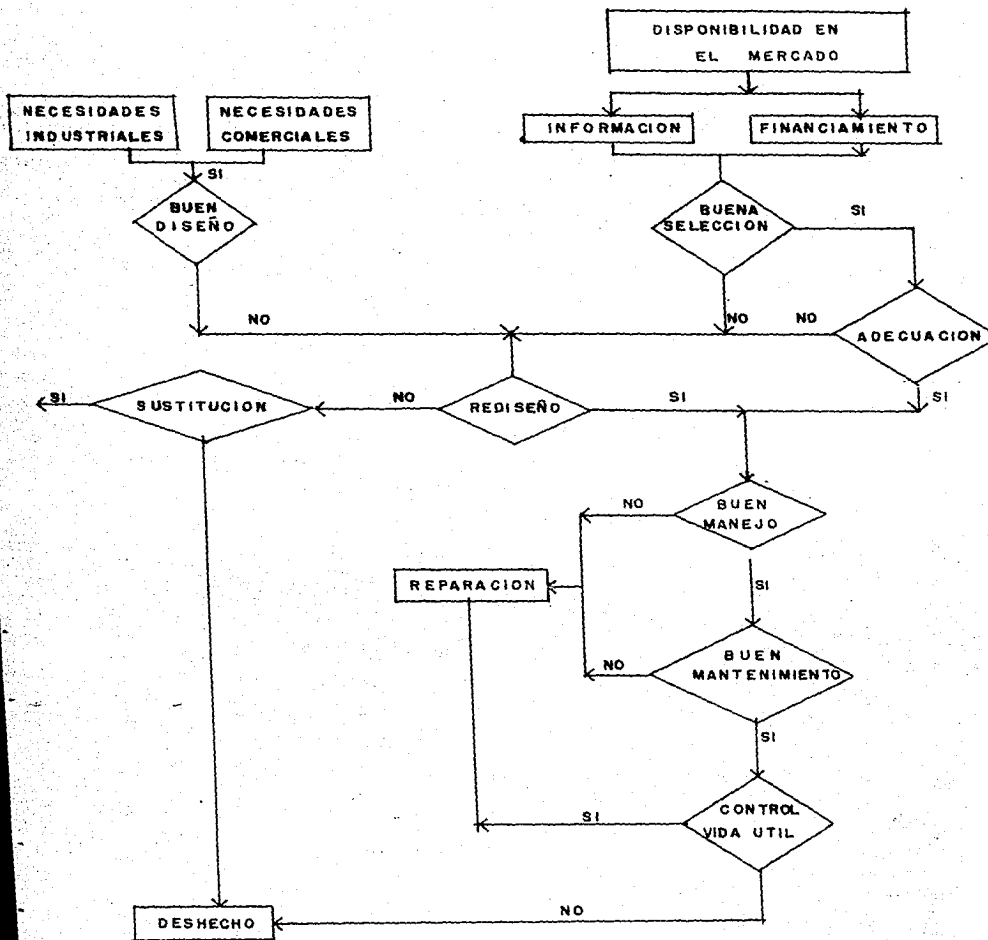


FIG 19

- 1.- De herramientas
- 2.- De continente
- 3.- De procedimiento de trabajo
- 4.- De avance de la línea
- 5.- De forma de depósito

Cuando surgen en una actividad dos o más elementos que deban ser sustituidos por su nivel sonoro, debe establecerse una prioridad de sustitución, que indique no sólo cuál debe ser el primer elemento a sustituir, sino cuál es la interrelación de sustitución de estos elementos.

Cuando un análisis operacional indica que una operación es peligrosa para la audición, y que no hay posibilidad de sustitución tendiente a modificar el proceso, es necesario tender a la sustitución total del proceso. Debiendo considerar que esto implica necesariamente una mudanza de actitud en toda la industria y a todos niveles. Significa establecer eventualmente cambios en todos los procesos a él conectados.

Si la modificación de un proceso es más difícil y acarrea más complicaciones que la sustitución del mismo, en este caso, la sustitución tiene prioridad.

Control en el medio

Dadas las condiciones de los elementos que intervienen en

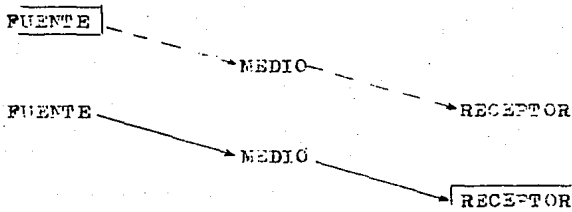
el fenómeno sonoro, el medio es el único que no es causa ni efecto. La posibilidad de control en el medio depende de los resultados producidos por los efectos de la transmisión del sonido emitido por la fuente y por las causas que esta transmisión produce en el receptor.

Así pues, el control de sonido en el medio puede realizarse en dos fases:

- 1.- Tratar de evitar la propagación por medio del aislamiento .
- 2.- Tratar de conseguir un máximo de pérdidas energéticas por absorción.

Aislar significa colocar una barrera que impida a la energía emitida por la fuente llegar a un receptor. Esto puede hacerse a dos niveles como se muestra en la figura (20)

A I S L A M I E N T O



En la primera figura, la barrera evita que el sonido emi-

tido por la fuente llegue a propagarse en el medio. En el dibujo inferior, la barrera evita que el sonido ya propagado llegue al receptor. Estas barreras son elementos físicos que separan efectivamente a los elementos que intervienen en el fenómeno sonoro.

Las barreras aislantes pueden ser totales o parciales. Las totales se construyen de forma tal que producen un enclaustramiento acústico de la fuente o del receptor. Como la intensidad acústica es mayor en torno de la fuente que en torno del receptor, los enclaustramientos de la fuente son más difíciles y más costosos que los del receptor. Las barreras son aconsejables cuando la directividad del sonido que va de la fuente al receptor es muy marcada y su trayectoria es aérea, en este caso, una barrera que obstruya esa trayectoria es lo indicado.

La efectividad de una barrera ya sea total o parcial se mide por la pérdida por la transmisión de los materiales que la forman.

Dicha pérdida por transmisión puede ser calculada por la fórmula:

$$pt = 10 \log \frac{1}{\epsilon} \dots\dots\dots (31)$$

donde pt es la pérdida por transmisión de los materiales

medida en dB

Z es el coeficiente de transmisibilidad (equivalente a dividir la energía transmitida por el material entre la energía incidente)

La pérdida por transmisión para la mayoría de los materiales se halla controlada por la rigidez, por la masa y por la reflexión de los mismos, se aconseja que se emplee la zona del material en donde se halle gobernado por su masa, para lo cual se aconseja reducir al mínimo la frecuencia fundamental del material y elevar al máximo de frecuencia de coincidencia. Esto se logra procurando materiales de alta densidad y baja flexibilidad, colocados en dimensiones lo más grande posibles, en estos casos la pérdida por transmisión tiene el siguiente valor:

$$pt = 10 \log \left[1 + \left(\frac{W \rho_s}{2 \rho_c} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (32)$$

donde W es la frecuencia angular de consideración

ρ_s es la masa por unidad de superficie del material empleado

ρ_c es la impedancia específica del medio en Rayls acústicos

Para evitar reflexiones que produzcan fuentes parásitas, es necesario procurar elementos que absorban energía acústica.

Esto puede lograrse mediante las siguientes formas:

- 1.- Absorción propia de los materiales
- 2.- Por resonancia de un sistema constituido con materiales apropiados

Los materiales responden a la absorción en función de las frecuencias, teniéndose que la absorción es pequeña a bajas frecuencias en los materiales comunes.

Pueden construirse resonadores con los materiales, esto es, cavidades llenas de aire que permiten que la energía incidente se gaste al tratar de mover la masa de aire en ellas contenida; los resonadores sólo son eficaces a frecuencias determinadas, de tal manera que si se presenta un sonido de amplio espectro, los resonadores no son efectivos, a menos que se construya una batería de ellos para poder absorber las frecuencias más importantes del espectro. La construcción de resonadores requiere ciertos requisitos:

- 1.- La cavidad debe estar cerrada en todas sus caras menos en una
- 2.- La cara no cerrada debe estar perforada con un taladro de diámetro controlado
- 3.- El espesor de esta cara también debe estar de acuerdo a las condiciones de trabajo del resonador

Cuando la decisión es un enclaustramiento para las máquinas, esto es una caja aislante, debe tenerse en cuenta una serie de requisitos fundamentales:

- 1.- Las máquinas a cubrir deben contar con un control remoto para que puedan ser operadas desde el exterior de la caja.
- 2.- Deben ser cajas móviles para dar acceso a los operarios y facilitar su mantenimiento, o bien deben ser de un tamaño tal, que permitan dentro de sí dar cabida a los operadores.
- 3.- Deben tener ventanas de observación
- 4.- En su interior debe existir una reverberación baja
- 5.- Debe estar ajustada a un sistema fijo que mantenga herméticamente cerrada
- 6.- Debe permitir el proceso industrial de tal manera que los materiales entren a la máquina
- 7.- Debe tener un sistema de ventilación para escape de gases

Las cajas aislantes para trabajadores se denominan cabinas de operadores, y deben reunir las características siguientes:

- 1.- Las máquinas que dependen de los trabajadores deben

tener control remoto para poder manejarlas desde cabina

2.- Deben construirse de manera tal que la observación del exterior sea completa y adecuada

3.- Deben ser confortables para los trabajadores

Un sistema ideal que se está usando en la actualidad es el logro de la vigilancia de las máquinas por medio de un sistema cerrado de televisión, Resultando ideal para permitir la separación entre la fuente y el receptor.

Al realizar el aislamiento con cajas o cabinas debe tenerse especial cuidado en su montaje para que las juntas de las paredes sellen perfectamente y evitar fuga o entrada de las energías acústicas. Muchas veces las vibraciones en los sitios de trabajo producen desajustes de estas cajas por lo que deben ser revisadas periódicamente para evitar los efectos negativos.

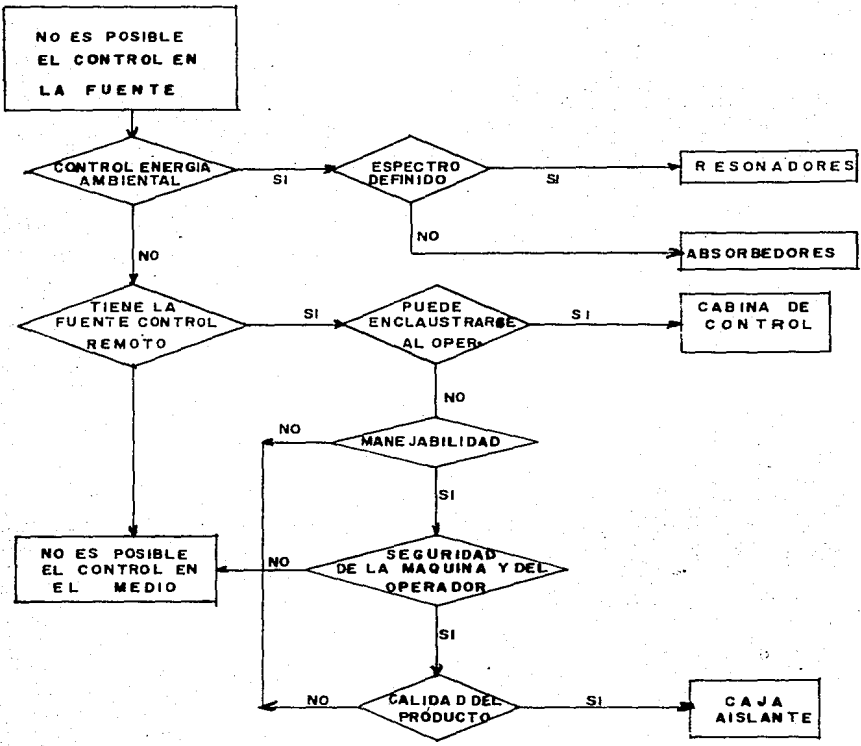
En la figura anexa se puede ver un criterio de selección de los métodos de control en el medio de transmisión (Fig.21).



Control del receptor

El objeto de controlar el sonido a nivel de receptor consiste en evitar que el oído humano se lesione y la persona tenga dificultad con la comunicación oral normal. Es impor-

CONTROL EN EL MEDIO

FIG 21



FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 21	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Aoot.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
 Esc.:		

tante señalar que esta forma de control debe de realizarse cuando todos los medios anteriores han fracasado y el individuo sigue expuesto a altos niveles sonoros.

Existen dos posibilidades de control en el receptor:

- 1.- A nivel colectivo
- 2.- A nivel industrial

El método de protección colectivo, consiste en el manejo de tiempos de exposición y niveles de energía. Una de las técnicas más importantes para adoptar este criterio, que en cuanto a la protección del operador debe ser fundamental, consiste en el trazado de curvas isóbaras. Un trazado de este tipo en una planta, en donde se muestran curvas que se unen los puntos del mismo nivel sonoro, deben tener las características:

- 1.- Ser cerradas
- 2.- No se cortan ni se cruzan
- 3.- No se bifurcan
- 4.- Su proximidad indica un aumento en el contenido de energía, su lejanía, cercanía, carencia, etc.
- 5.- Su distribución indica la distribución energética
- 6.- Su uniformidad indica la uniformidad del campo sonoro
- 7.- Todas las curvas son paralelas al piso y a la altura media de las orejas (normalmente de 1.40 a 1.55 m.).

Por medio de este tipo de manas y su tiempo de exposición, es posible elaborar histogramas y con la aplicación de la ecuación (28) obtener la dosis/día de exposición, o con la aplicación de la ecuación (29) calcular el nivel sonoro continuo equivalente a brindar así mejor protección a los trabajadores.

Es claro que al evitar la exposición a este grupo de trabajadores, se modificará el número de personal expuesto, por lo que es necesario verificar el análisis operacional de las personas involucradas.

Un ejemplo de estas curvas isóbaras se muestra en la figura (22).

Otro método muy usado en Europa consiste en hacer que los trabajadores expuestos a niveles sonoros importantes, entren de período en período a cabinas insonorizadas de descanso durante lapsos más o menos breves, con lo cual se evita la fatiga física y audiológica a que se somete al trabajador.

Este método requiere de una manipulación cuidadosa de los turnos de trabajo y otros cuidados obvios.

Equipo de protección personal

Con el fin de proporcionar el equipo de protección adecuado es necesario realizar dos tipos de evaluaciones, la de nivel de presión acústica por banda de octava y la del nivel

FIGURA 22
CURVAS ISOBIAS

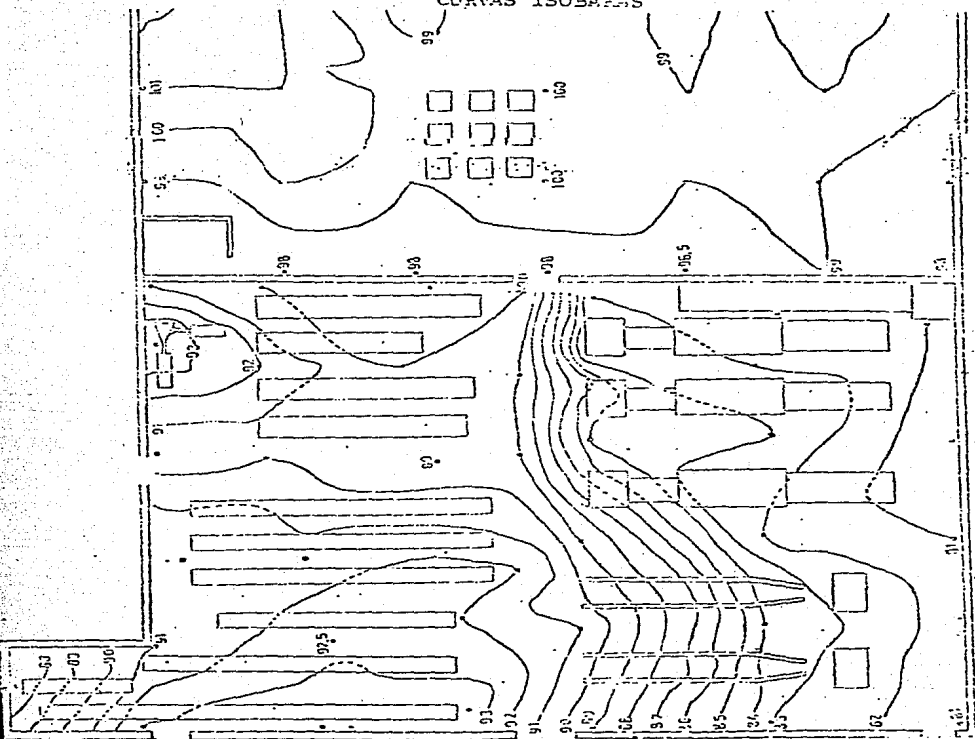
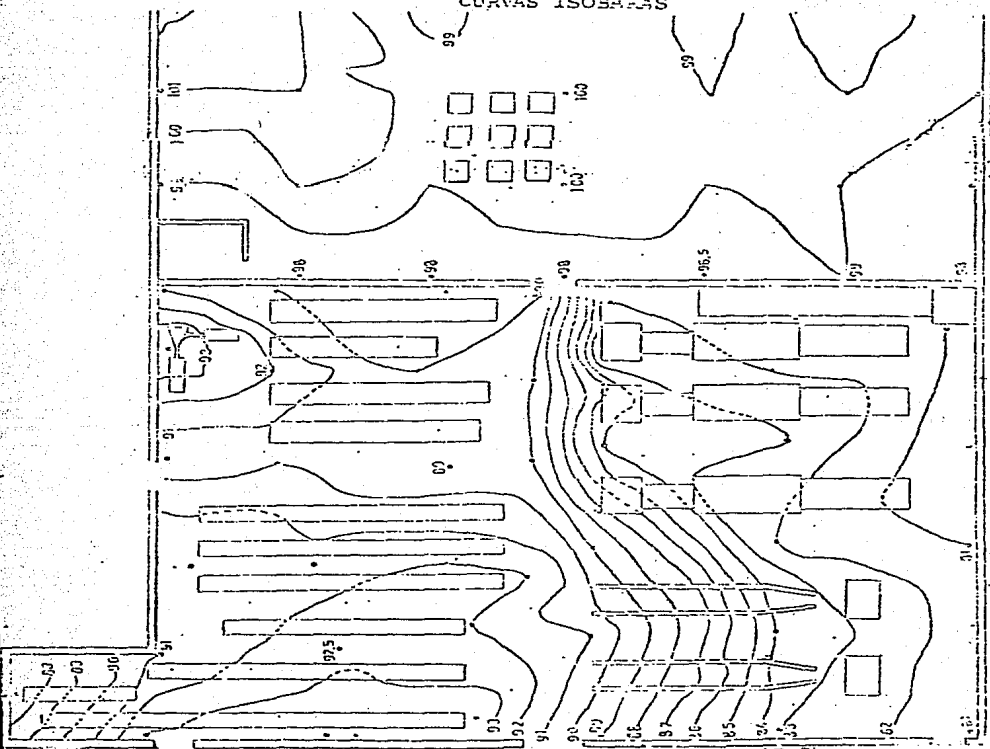


FIGURA 22
CURVAS ISOBARRAS



sonoro.

Se dispone en el mercado de varios tipos de protectores auditivos de acuerdo a sus formas, modelos y frecuencias que atenúan el efecto en dB.

La supervisión médica es de suma importancia para vigilar las posibilidades de la lesión auditiva producto del trabajo.

Se señalan para este fin tres tipos de exámenes:

- 1.- Examen de ingreso
- 2.- Exámenes periódicos (cada seis meses)
- 3.- Examen final (cuando se retira el trabajador de la empresa)

El examen previo debe ser exhaustivo acerca de la salud del trabajador, y deben incluirse antecedentes patológicos de carácter laboral y general.

Los exámenes médicos periódicos desde el punto de vista audiológico deben contar por lo menos de: Audiometría aérea con tonos puros y determinación de DTU₂

Los exámenes finales, se efectúan con el fin de evitar problemas con autoridades ya sea de trabajo, seguridad social, etc., deben considerar al menos tres pruebas: Examen timpánico y del oído externo, audiometría aérea con tonos puros y

audiometría ósea con tonos puros.

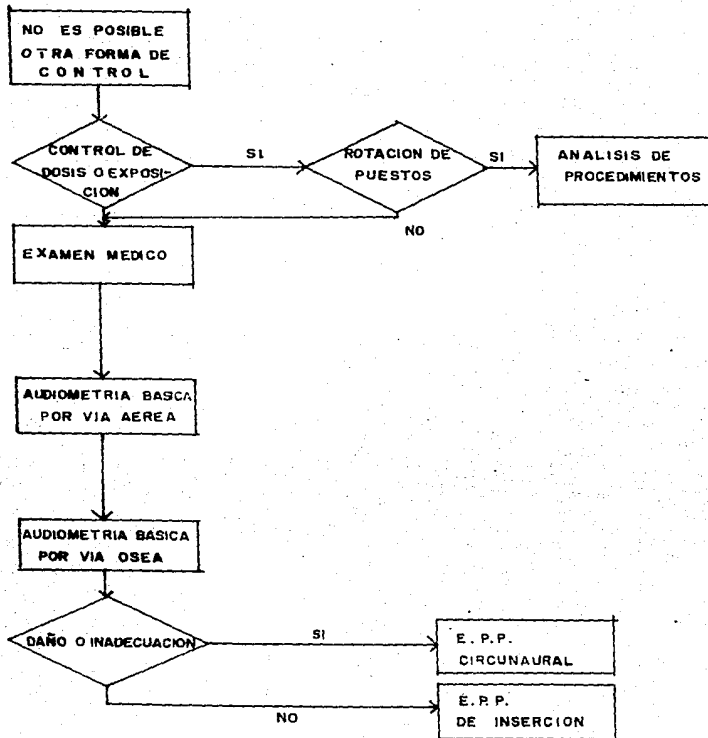
Finalmente es necesario hacer hincapié, que muchas veces, para solucionar un problema causado por la exposición a niveles sonoros capaces de producir daño, es adecuado adoptar varios métodos de control.


La combinación de diferentes métodos de control, nos dará la posibilidad de esperar que no se presente daño en el individuo.

Es importante insistir que el control en el receptor sólo debe intentarse cuando ningún método ha dado el fruto necesario; pero esto es independiente del control médico que obligatoriamente debe realizar cada patrón a sus trabajadores.

CONTROL EN EL INDIVIDUO

FIG. 23



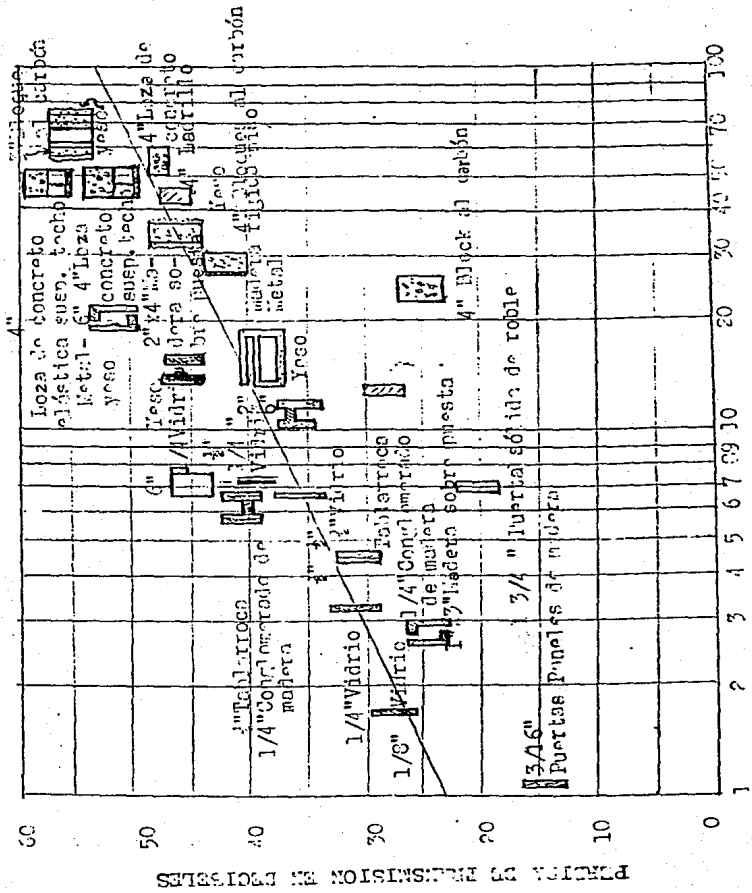
FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 23	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Acot.:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Esc.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	

MATERIALES AISLANTES

Los materiales aislantes pueden encontrarse reportados en forma de Tablas que contienen los tipos de material, espesor, pérdidas de transmisión y otros datos, como en el caso de la siguiente TABLA IV en que se muestran ejemplos de estos materiales. Dicha tabla fue tomada del libro The Industrial Environment (8). También se reportan tablas con coeficientes de absorción, entendiéndose éste como la relación entre la energía sonora que incide sobre una superficie y la que es absorbida. Por ejemplo, si el 55% de la energía sonora incidente es absorbida, el coeficiente (α) puede ser de 0.55. Pero el coeficiente (α) varía de acuerdo a muchos factores, tales como la frecuencia del sonido, densidad, tipo de montaje, condiciones de superficie, etc. Para estar seguros de un buen uso del coeficiente, se pueden consultar las publicaciones de las Asociaciones de Materiales Acústicos o listas de fabricantes. También en gráficas como la de la figura 24 que se presenta enseguida se suelen encontrar reportados los materiales aislantes acústicos. La figura 24 fue tomada y traducida del Industrial Noise (9), que a su vez la tomo del Reporte de la Oficina Nacional de Normas de Materiales y Estructuras de Construcción, BMS 144 U. S. A.

Materiales aislantes del sonido en paredes, techos y ventanas (Reporte de la Oficina Tecnica de Normas de Materiales de Estructuras y Construcción, NBS-144, U.S.A.)

FIG. 24



PESO EN LIBRAS POR PIE CUADADO

TABLA IV

Pérdidas de transmisión de sonido para
algunos materiales de construcción en general.

Materiales o estructu- ras.	Esp. en in	Peso en lb/ft ²	Pérdidas en dB a diferentes frecuencias.				
			125	250	500	1000	4000
- Puertas							
Madera rígida	2½	12.5	30	30	24	26	36
De roble sólido	1¾	12.5	12	15	20	22	-
- Ventanas							
Vidrio	1/8	1½	27	30	33	34	42
	1/2	6	17	22	34	29	24
	1	12	27	32	35	32	44
- Paredes homogéneas							
Lámina de acero (scanalada)		4.4	30	20	22	30	31
Lámina de asbesto		7	33	31	33	33	39
- Paredes no homogéneas							
Tablaroca con cemento y madera	1	4.5	24	25	31	32	34
	2" de fibra de vidrio entre vinil		-	4	4	13	31
- Maestros							
Concreto reforzado	4	5.3	37	36	45	52	67
Ladrillo común	12	121	45	44	53	59	61

C A P I T U L O I I
DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO

TABLAS DE MEDIDAS EFECTUADAS
DIAGRAMA DE DISEÑO
MEDICIONES EFECTUADAS DESPUES
DEL AISLAMIENTO Y OBSERVACIONES
DEL MISMO

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO

Para el diseño y construcción del equipo necesario para eliminar en lo posible el ruido que produce el molino de martillos, procuré basarme en las recomendaciones mencionadas de control.

Recordando que control es la operación tendiente a evitar los efectos negativos de una causa, se procede a tratar de controlar de alguna manera el ruido producido (diagrama de Shamon, Fig. 7 Pag. 31), observando las figuras de control(15, 16 y 18), se procede a analizar la causa del fenómeno.

El molino de martillos, se utiliza para triturar partículas sólidas de diferentes tamaños y características (material heterogéneo), hasta reducirlas a polvos. Tiene dimensiones aproximadas de 1.55 m de alto (de tolvera a piso), 78cm. de ancho y 88 cm. de largo, al accionar produce un ruido del tipo "sirena", que lo hace evidentemente un problema, pues interfiere en la comunicación y causa molestia. Al hacer una medida del sonido que produce, con un sonómetro, rebasó los límites de seguridad que son, por generalizar, de 80 dB, ya que se dijo que el umbral de audibilidad y dolor dependen de la persona y frecuencia del sonido, aunque este último se vuelve independiente de la frecuencia, presentándose por lo general a 120 dB.

Después de la consulta bibliográfica y personal efectuada, se procede a medir para tomar las providencias necesarias, de acuerdo a los pasos recomendados.

Como ya se dijo en el planteamiento del problema, la molestia que causa el sonido producido por el trabajo del molino nos llevan a intentar el aislamiento.

Con las medidas efectuadas se determinan los pasos a seguir, ya que las recomendaciones a groso modo fueron, confinar en otro lugar el molino o dejar de usarlo. Cosas que de ninguna manera fueron aceptadas, en primera por seguir cierta estética didáctica para el desarrollo de las prácticas y distribución del equipo en el laboratorio y por la utilidad que se obtiene de la molienda de los materiales que se procesan en el equipo. Por tanto, la opción es definitivamente el aislamiento. De los datos iniciales y finales que se obtengan, se determinará la efectividad del aislamiento.

El objeto de la medición es determinar hasta qué punto puede considerarse como "ruido" y qué problemas puede causar a las personas expuestas, así como también determinar cómo se puede realizar un control del fenómeno.

La medición se efectuará donde se encuentra actualmente el molino, mismo que se pretende sea definitivo, por las razo-

nes anteriormente expuestas.

De acuerdo a las características de la fuente que genera el fenómeno se puede clasificar como: Causas Neumáticas (debidas a un flujo de gases), fuente que debe controlarse durante la operación (ya que no se pudo prever antes de ser adquirida), y más que en la propia fuente, el control debe hacerse en el medio de acuerdo a dos fases: Tratando de evitar la propagación por medio del aislamiento y tratando de conseguir un máximo de pérdidas energéticas por absorción. La fuente se encuentra fija y el campo acústico es libre (por considerarse las características de confinamiento despreciables).

El aparato con que se efectuó la medición fue un sonómetro portátil proporcionado por el Departamento de Medicina del Trabajo del IMSS.

Inicialmente se hizo un reconocimiento sensorial del sonido y se consideró estable. Ya para efectuar las medidas hay que darle un tratamiento estadístico, considerando a la fuente puntual, y partiendo de ella una serie de coordenadas donde se determinará a cada metro de distancia un punto de medición. Para ello se procedió físicamente a trazar sobre el piso del laboratorio con cáñamo impregnado de yeso el mapeo de las coordenadas y un punto con sincl y martillo y una gota de pin-

tura, bajo la fuente y a cada metro de separación sobre la línea trazada, seleccionando seis coordenadas a 30° una de otra dando el mapeo que se anexa (Fig. 25). Las medidas se efectuaron en diferentes ocasiones y se anexan también las tabulaciones con las fechas de realización.

Por lo general se recomienda efectuar las medidas antes y después del aislamiento, pero como se intentó aislar de diferentes maneras se realizaron más de tres lecturas.

El molino por lo general trabaja en tiempo variable, pues es utilizado tanto por alumnos de ingeniería química, como de alimentos, para efectuar prácticas donde se estudia la molienda, como por alumnos que investigan ciertos materiales sólidos y los procesan en forma de polvos en este molino, hasta por personas ajenas a la facultad es utilizado, por las necesidades de molienda, por eso el material es tan variado como el tiempo de su funcionamiento. En promedio puede considerarse de 50 a 100 horas anuales. Distribuidas de acuerdo al programa del laboratorio vigente.

El inconveniente más grande para un equipo es lo heterogéneo de los materiales que maneje, especialmente sólidos.

Del análisis de las medidas efectuadas, se concluye que el control debe hacerse de inmediato. Ya sea que se opte por

aislar, confinar o por lo menos a los operadores más cercanos al molino, proporcionarles protectores auditivos. Para tal fin se propusieron varios tipos de aislamiento, que se describirán enseguida. En todos los casos el principal inconveniente es el costo.

Primera proposición

1.- Desde la primera medición efectuada a tres diferentes distancias de la fuente (al azar), se concluye que el molino debía quedar enclaustrado o dejar de usarse. Es obvio que el aparato no va a dejar de usarse, por lo que procede analizar el control por estadios:

- a) Control de la fuente
- b) Control del medio
- c) Control en el receptor

De acuerdo a lo recomendado en la última parte del capítulo anterior. De lo que se obtienen los siguientes resultados:

- 1) El generador no puede ser modificado
- 2) La causa no puede ser modificada.
- 3) No se pretende sustituir el equipo
- 4) El efecto producido se debe a causas neumáticas de gases en movimiento, de manera que las opciones serían:

1.- Aislar el molino para evitar la propagación al medio,

por un encajonamiento adecuado.

- 2.-Reinstalar el molino en otra área del mismo laboratorio, procurando una correcta cimentación, pero aún así se debe enclaustrar.

En todo caso, se opte por la primera o segunda proposición, debe evitarse que se produzcan reflexiones con otras fuentes llamadas parásitas, por lo que es necesario:

- a) Seleccionar los materiales con coeficiente de absorción de sonido apropiados. De preferencia los recomendados en el capítulo anterior en las tablas de materiales aislantes. Aunque en nuestro caso, al no haber presupuesto, debemos revisar el material del que se dispone en el laboratorio para aprovechar el que más se ajuste a las características del que fue seleccionado.
- b) Tomando en cuenta las características del sonido, de acuerdo a las normas de seguridad, se recomienda un cuarto cimentado para este propósito, con puerta automática de control, con paredes tipo emparedado (de varias capas, por lo menos tres), formado por materiales diferentes. Incluso sería necesaria la intervención de un Ing. Arquitecto (recomendación de Hand Book of Noise, y del Dr. Pruneda), para dimensionar apropiadamen-

te los cimientos y paredes del claustro. Si el arranque que pudiera colocarse afuera sería mejor, aunque por la capacidad y materiales a moler fuera necesario que un operador entrara eventualmente al claustro, éste debería llevar protectores auditivos, no debiendo permanecer dentro, más que para cargar el molino.

De poder cambiar de lugar el molino, se sugería fuera en el lado SW del laboratorio, donde se tienen utensilios de aseo. De esa manera, se aprovecharían dos paredes del mismo laboratorio, construyendo las otras dos de tablaroca con acolchonamiento de fibra de vidrio.

3.-Aún sin cambiar de lugar el molino se podrían alzar cuatro paredes de esos materiales y un techo de falso plafón u otro material adecuado. Dos de estas paredes serían fijas, una a manera de puerta y la otra y el techo desmontables para dar mantenimiento. Este aislamiento, con los materiales mencionados y las dimensiones apropiadas, fue propuesto por la Compañía Gypsum S.A., de materiales aislantes, en enero de 1983 con un costo aproximado de \$50,000.00, incluyendo material y mano de obra, mismo que fue rechazado por el costo.

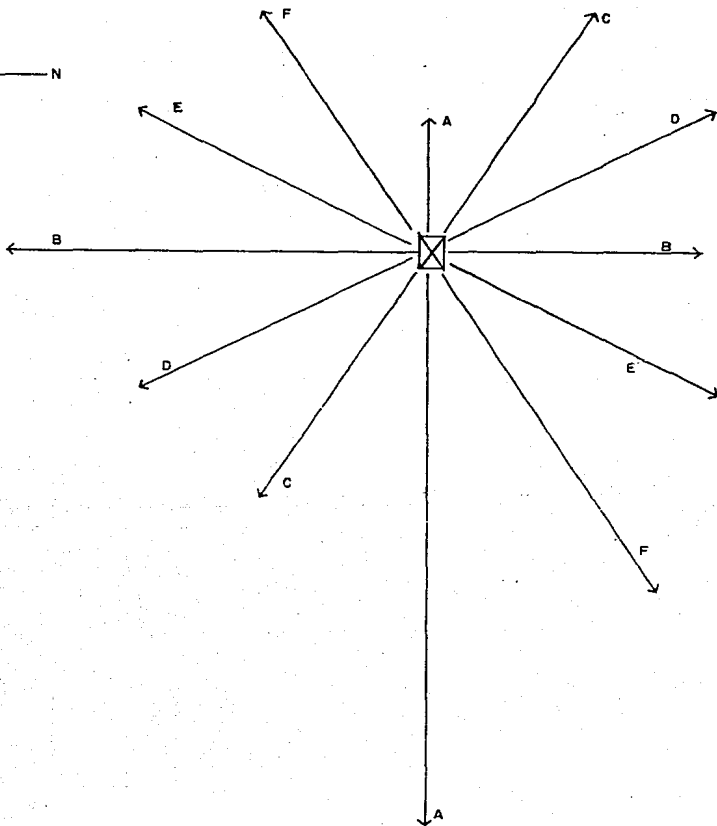
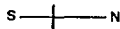
4.-Al intentar otro método, se aceptan las sugerencias de

los ingenieros Mandoky, Maldonado y Vélez, que observaron el problema desde el principio (mencionados en la introducción), con la intención de hacer adaptaciones apropiadas, como un cono de salida para el material molido, sello de las uniones entre las partes del molino con el piso y de los aditamentos aislantes con hule (a manera de juntas), etc. Se optó por enclaustrar, pero agregar accesorios para que se coloquen aislantes sobre ciertas partes, siendo material rígido el seleccionado para el enclaustramiento. Se anexan diagramas del posible diseño para el aislamiento (Figs. 28 a 34).

- 5.-Las medidas y la falta de presupuesto, llevaron a ajustar las condiciones de un enclaustramiento de la parte donde está colocado el molino, propiamente dicho, dejando fuera el arranque, la banda y el motor. Se montaron tres paredes de material rígido, y la cuarta, completa, como puerta y un techo que permite la entrada de material alimentado.

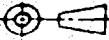

CUBICULOS

109



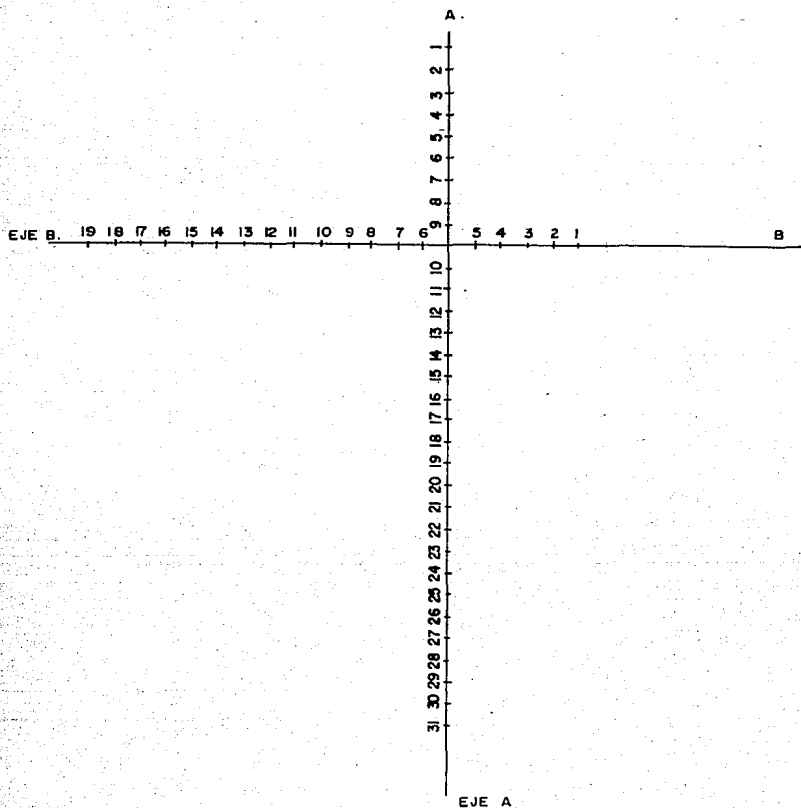
PASILLO Y SALONES

CALDERAS Y ALMACENES

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 25	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Acot.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
 Esc.		

CUBICULOS

110



PASILLO
SALONES

ALMACENES Y CALDERAS

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 26	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	ASLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Acot.:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
	Esc.:	

TABLA V

EJE A

Intervalo de medición 10 seg.

Punto	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1A	96	100	102	104	107	107	108	75	
2A	98	99	98	99	102	100	109	75	
3A	99	101	96	99	102	100	101	75	
4A	96	102	103	104	98	100	99	77	
5A	101	100	102	99	98	99	99	75.5	
6A	94	98	97	96	100	101	100	76	
7A	100	101	103	104	100	99	99	78	
8A	108	105	107	108	99	100	99	82	
9A	105	104	105	106	107	107	-	86	
10A	106	108	108	107	111	113	112	81	
11A	104	104	104	104	104	104	103	82	
12A	102	103	105	104	98	101	99	77.5	
13A	102	104	101	103	101	102	101	75	
14A	100	103	100	103	103	103	104	77	
15A	100	99	98	99	99	98	98	73	
16A	98	96	96	97	100	101	100	75	
17A	102	100	100	101	97	97	97	75	
18A	102	102	98	97	98	97	97	72	
19A	96	97	99	101	96	96	97	74	
20A	98	96	98	98	97	98	98	74	
21A	98	94	95	95	89	98	100	74	
22A	100	104	101	100	96	97	97	71	
23A	99	95	94	96	99	98	102	71	
24A	94	94	96	91	100	98	98	-	
25A	84	85	87	87	-	-	-	-	
26A	87	86	85	85	-	-	-	-	
27A	88	88	89	86	-	-	-	-	
28A	86	86	87	87	-	-	-	-	
29A	85	84	86	86	-	-	-	-	
30A	84	84	85	86	-	-	-	-	
31A	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fecha	1 ^a Lectura 10 / X / 1983				2 ^a Lectura 14 / XI / 83			3 ^a Lectura 5 / XII / 84	

- No efectuadas

Las medidas se hicieron con el molino trabajando sin alimen-

tación, ésta por lo general atenúa el nivel, dependiendo del material y cantidad a trabajar.

TABLA VI

EJE B

Punto	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1B	99	100	103	99		
2B	98	99	100	100		
3B	103	105	100	100		
4B	104	103	102	103		
5B	108	108	107	107		
6B	107	108	107	107		
7B	106	104	106	105		
8B	100	101	102	100		
9B	98	97	97	97		
10B	98	98	98	98		
11B	97	98	98.5	97		
12B	98	98	98	96.5		
13B	96.5	98	98	96		
14B	96	97	97	98		
15B	98	98	94	94		
16B	91	90	92	92		
17B	90	90	89	91		
18B	93	96	96	96		
19B	92	90	92	91		
20B	95	96	96	93		
21B	94	94	93	95		
22B	92	93	93	93		

TABLA VII

EJE C

Punto	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1C	98	97	97	98		
2C	98	94	96	96		
3C	96	97	96	96		
4C	95	93	95	95		
5C	99	100	99	102		
6C	97	97	98	98		
7C	98	99	99	100		
8C	103	103	104	103		
9C	103	103	103	103		
10C	107	105	106	105		
<hr/>						
11C	111	111	110	111		
12C	104	103	104	104		
13C	102	103	103	103		
14C	103	103	103	102		
15C	101	100	100	100		
16C	99	99	102	102		
17C	95	95	95	96		
18C	96	96.5	96	97		
19C	96	95	95	96.5		
20C	94	95	96	96		
21C	95	96.5	96.5	96		
22C	95	94	95	94		
23C	93	94	94	94		
24C	94	94	95	94		
25C	93	95	95	94		
26C	95	96	96	94		
27C	96	96	95	94		
28C	93	93	92	93		
29C	90	88	90	90		
30C	89	89	91	92		
31C	92	92	92	94		
32C	93	94	94	94		
33C	90	92	91	91		
34C	90	90	91	92		
35C	92	90	89	90		
36C	90	89	92	91		

TABLA VIII

EJE D

Punto	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1D	103	104	103	103		
2D	100	99	98	99		
3D	101	100	100	101		
4D	98	96	96	98		
5D	102	102	102	101		
6D	104	104	103	103		
7D	105	106	106	106		
8D	105	104	104	104		
9D	103	106	105	105.5		
10D	97	96	97	96		
11D	101	98	98	98		
12D	95	97	96	96		
13D	97	97	96.5	97		
14D	96	99	99	100		
15D	95	96	97	94		
16D	95	96	96	96		
17D	94	93	94	93		
18D	91	92	93	93.5		
19D	90	91	93	95		
20D	92	93	92	92		
21D	93	90	92	94		
22D	95	96	96.5	96.5		
23D	95	90	91	90		
24D	91	91	92	90		

TABLA IX

E.F.E E

Punto	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1E	96	96	95	97		
2E	102	101	101	103		
3E	98	99	98	99		
4E	99	102	100	100		
5E	103	103	103	103		
6E	108	108	109	109		
7E	104	104	105	104		
8E	104	104	105	103		
9E	99	98	98	100		
10E	95	97	97	96		
11E	99	99	99	98		
12E	95	97	98	97		
13E	97	100	102	100		
14E	97	96	95	95		
15E	95	95	96	97		
16E	94	95	94	95		
17E	95	96	95	97		
18E	91	92	90	91		
19E	93	94	94	93		
20E	94	93	93	94		
21E	94	93	93	91		
22E	95	95	96	95		
23E	93	92	90	93		
24E	91	93	94	90		
25E	91	94	92	94		
26E	92	92	92	91		
27E	91	93	92	92		
28E	90	90	90	88		
29E	88	87	89	89		
30E	88	87	86	87		
31E	89	90	86	87		
32E	86	89	90	92		
33E	-	-	-	-		

TABLA X

EJE F

Punto	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1F	96	94	96	95		
2F	102	101	102	100		
3F	97	98	98	99		
4F	96	98	97	97		
5F	98	99	99	101		
6F	103	102	103	103		
7F	103	102	100	102		
8F	103	103	102	102		
9F	105	105	106	105		
10F	108	109	109	110		
11F	106	107.5	107	107		
12F	102	101	100	100		
13F	100	101	101	102		
14F	100	99	99	100		
15F	100	101	100	99		
16F	95	97	97	96		
17F	98	97	95	99		
18F	97	95	94	94		
19F	95	95	96	95		
20F	94	95	94	95		

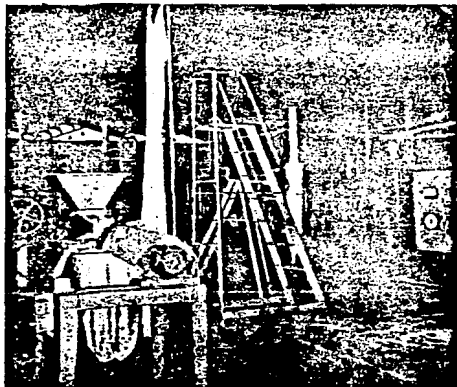
Descripción del equipo

El molino de martillos, originalmente se encontraba sobre una mesa metálica, la que hasta la fecha permanece fijada al piso; consta el molino principalmente de una tolva de alimentación, el molino en sí y al fondo de éste, la salida del producto molido que es recolectado en un saco, a un lado del motor y del otro, un saco que recoge el polvo volátil, desahogando con esto la posibilidad de explosión que se tuviera en ciertos materiales por la velocidad y presión que genera la molienda.

De manera que para hacer el enclaustramiento deben ajustarse los aditamentos, sacos a dimensiones óptimas.

En las siguientes figuras se irá describiendo el proceso de aislamiento intentado, hasta las condiciones finales, para el propósito de esta tesis.

MOLINO DE MARTILLOS



COMO SE ENCONTRABA ORIGINALMENTE

FIG 27

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 27	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Acot :	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
	Esc. MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	

MOLINO DE MARTILLOS

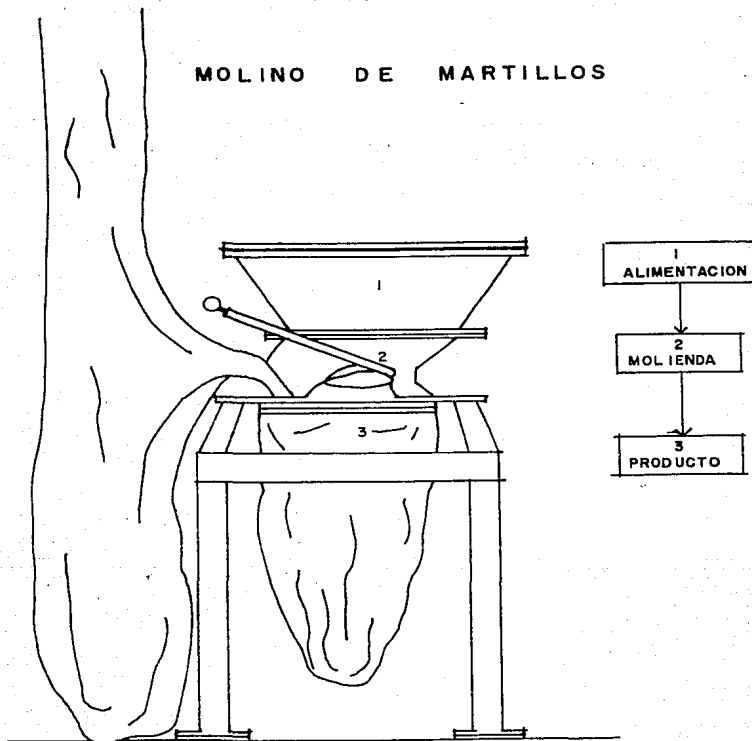


FIG 28

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 28	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Escal:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Esc:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	

Como primer intento de aislamiento se colocó una tapa de madera sobre la tolva de alimentación haciendo una perforación de 15 por 8 cm. aproximadamente, para colocar otra tolva más pequeña, con objeto de reducir la salida de sonido al tener una área menor, ya que al estar alimentando mientras se muele una carga, se mantendrá tapada también la tolva pequeña.

Como segundo paso, se pensó sustituir el saco inferior, de recolección del producto, por otro más pequeño, colocando a la salida del molino propiamente dicho, una tolva en forma de embudo y, al final de ésta, el saco pequeño. Esto se hace con objeto de reducir el área de salida de aire, que es el medio principal de propagación del sonido en nuestro caso.

En tercer lugar colocar por fuera de este como un recubrimiento de material aislante acústico, disponible en el laboratorio, tal como, fibra de vidrio, cartón comprimido o algún otro de propiedades semejantes, con la condición de poder ser fácilmente moldeado a la forma del cono.

Se intentará también colocar una "camisa" a la primera tolva.

Pensando en que el saco de recolección de volátiles no podía ser suprimido, se pensó en colocar unas mangueras de hule, del tipo que usan los autos para el enfriamiento por

aire en la parte de los motores.

Con estos intentos de aislamiento "directo" no se logró gran cosa, resultando que la "camisa metálica" y el cono de salida sin aislamiento, resultaban contraproducentes, ya que parecía seforzarse el ruido.

De tal manera que se optó definitivamente por un cajón de enclaustramiento. (Indicado en la propuesta 3 y también en la 5, pags.107 y 108).

El material del que se dispone en el laboratorio para contruir el claustro, es madera de 3 cm de espesor en tramos de diferentes largos y anchos, bloques de poliuretano de 2.5 cm. de espesor, 30 de largo y 20 cm. de ancho, triplay, cartón comprimido y madera delgada en placas de diferentes tamaños.

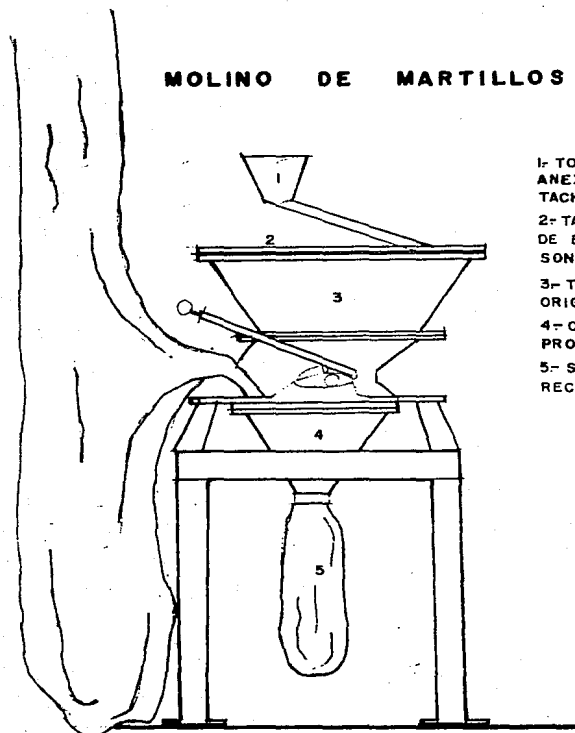
Con estos materiales se formaron las paredes tipo emparedado, dejando en la parte exterior la madera rígida de mayor espesor, en medio los bloques de poliuretano y en el interior, cartón comprimido.

Las dimensiones finales de las paredes son:

Las paredes Norte y Sur, 60 cm. de largo, 6.5 cm de espesor y 170 cm. de alto.

Las paredes Este-Oeste, 89 cm. largo, por 170 cm. de alto

MOLINO DE MARTILLOS



- 1- TOLVA QUE SE PUEDE ANEXAR PARA LA ALIMENTACION.
 2- TAPA DE MADERA A FIN DE EVITAR LA FUGA DEL SONIDO
 3- TOLVA DE ALIMENTACION ORIGINAL
 4- CONO DE SALIDA DEL PRODUCTO MOLIDO
 5- SACO PEQUEÑO QUE RECOGE EL PRODUCTO

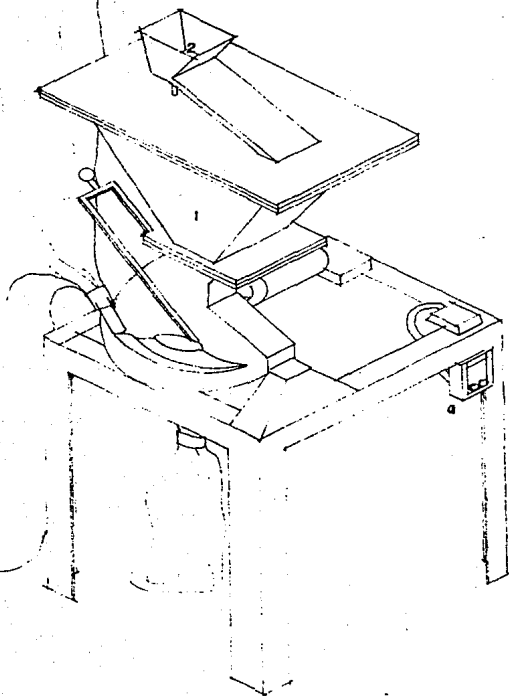
PRIMEROS ADITAMENTOS COLOCADOS DIRECTAMENTE
 PARA INTENTAR EVITAR LA PROPAGACION DEL SONIDO

FIG. 29

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 29	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Acot.:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
	Esc.:	

MOLINO DE MARTILLOS

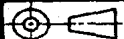
VISTA EN PERSPECTIVA DE LA
POSIBLE ALIMENTACION



DENTRO DE LA PRIMERA TOLVA SE COLOCARA - UNA "CAMISA" METALICA, SIGUIENDO LA FORMA DE ESTA. POSTERIORMENTE SE AISLARA EXTERIORMENTE. (1)

A LA TAPA SE LE PRACTICARA UNA PERFORACION PARA LA ALIMENTACION QUE SE COLOCARA EN LA 2a. TOLVA. (2)

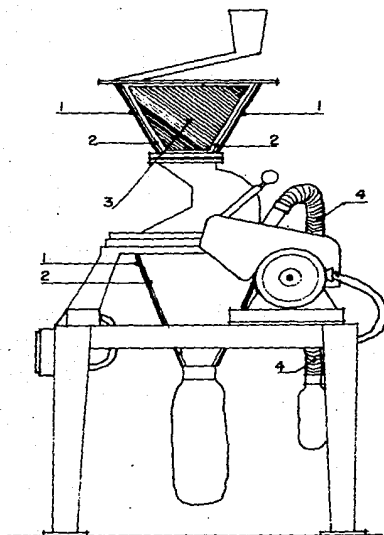
EL SACO "S" SERA CAMBIADO POR MANGUERA DE HULE FORRADA. EL ARRANQUE "a" IRA FUERA DEL CLAUSTRO

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 30	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Acot.:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
 Esc.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	





MOLINO DE MARTILLOS

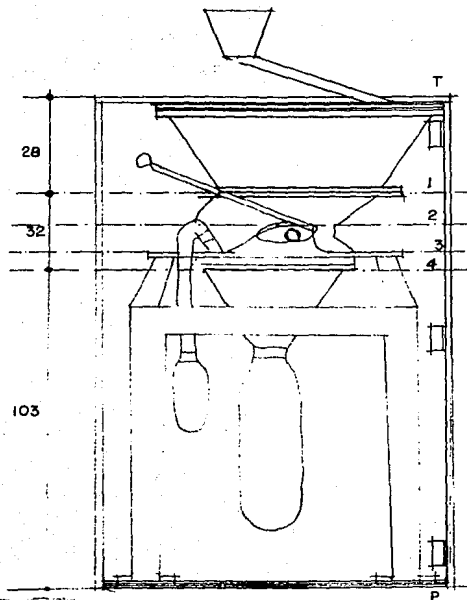
PROPUESTA PARA AISLAMIENTO DIRECTO



- 1- MATERIAL PISADA
- 2- MATERIAL POFISI
- 3- MATERIAL COMBINADO O ESPECIAL COMO EMPAQUE AISLANTE O SELLADOR.
- 4- AISLANTE PARA MANUE-
RAS.

FIG. 31

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO. 31	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Acot.:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Esc.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
		

MOLINO DE MARTILLOSCAJON DE ENCLAUSTRAMIENTO
CONSTRUIDO EN MADERA

2 CAJONES QUE ENSAMBLAN (A Y B):

A) INFERIOR: DOS PAREDES EXTERIORES (N, S, 40 CM x h) UNA INTERIOR (PTE; 86.5 x h) UNA PUERTA (OTE; 86.5)

B) SUPERIOR: 4 PAREDES a (LUCERNAS) Y UN TECHO (40 x 86.5)

ENTRE EL PISO Y LA MADERA DEL CLAUSTRO HULE.

APARTE DEL "CAJON" EL CONO INFERIOR, LA DELVA, LA MANGUERA DE SALIDA Y LA TAPA ENTRE TOLVAS LLEVAN AISLANTE, QUE SE DESCRIBE EN OTRO DIAGRAMA (4)

T TAPA (TECHO)

DE T A 1: 28 CM ESPESOR, MADERA 23 - 25 CM

DE 1 A 4: 32 CM DE DIVISION A DIVISION

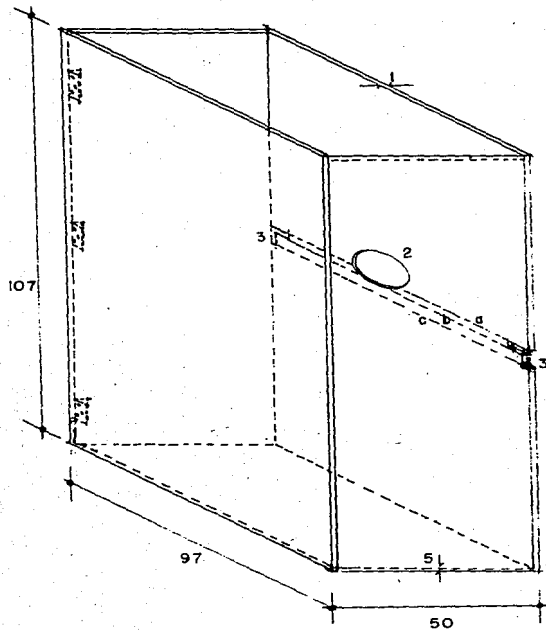
DE 4 A P: 103 - ESPESOR HULE EN LA OSTILLA.

ESTOS DIAGRAMAS CORRESPONDEN A POSIBLES CLAUSTROS INTENTOS DE ACUERDO A LOS MATERIALES QUE SE DISPUSIERA EN EL LABORATORIO Y CONSIDERANDO LA FORMA DEL MOLINO

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO. 32	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Acof.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
Esc.:		

MOLINO DE MARTILLOS

CAJON DE ENCLAUSTRAMIENTO



1. ESPESOR DE LA MADERA
2. PERFORACION PARA UN ADI-TAMENTO QUE SOBRESALE (BANDA Y TAPA METALICA)
3. PERFORACION ENCLAUSTRADA PARA QUE LA MADERA NO SALGA
4. LINEA POSIBLES A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ, AR, AS, AT, AU, AV, AW, AX, AY, AZ, BA, BB, BC, BD, BE, BF, BG, BH, BI, BJ, BK, BL, BM, BN, BO, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ, CA, CB, CC, CD, CE, CF, CG, CH, CI, CJ, CK, CL, CM, CN, CO, CP, CQ, CR, CS, CT, CU, CV, CW, CX, CY, CZ, DA, DB, DC, DD, DE, DF, DG, DH, DI, DJ, DK, DL, DM, DN, DO, DP, DQ, DR, DS, DT, DU, DV, DW, DX, DY, DZ, EA, EB, EC, ED, EE, EF, EG, EH, EI, EJ, EK, EL, EM, EN, EO, EP, EQ, ER, ES, ET, EU, EV, EW, EX, EY, EZ, FA, FB, FC, FD, FE, FF, FG, FH, FI, FJ, FK, FL, FM, FN, FO, FP, FQ, FR, FS, FT, FU, FV, FW, FX, FY, FZ, GA, GB, GC, GD, GE, GF, GG, GH, GI, GJ, GK, GL, GM, GN, GO, GP, GQ, GR, GS, GT, GU, GV, GW, GX, GY, GZ, HA, HB, HC, HD, HE, HF, HG, HH, HI, HJ, HK, HL, HM, HN, HO, HP, HQ, HR, HS, HT, HU, HV, HW, HX, HY, HZ, IA, IB, IC, ID, IE, IF, IG, IH, II, IJ, IK, IL, IM, IN, IO, IP, IQ, IR, IS, IT, IU, IV, IW, IX, IY, IZ, JA, JB, JC, JD, JE, JF, JG, JH, JI, JJ, JK, JL, JM, JN, JO, JP, JQ, JR, JS, JT, JU, JV, JW, JX, JY, JZ, KA, KB, KC, KD, KE, KF, KG, KH, KI, KJ, KK, KL, KM, KN, KO, KP, KQ, KR, KS, KT, KU, KV, KW, KX, KY, KZ, LA, LB, LC, LD, LE, LF, LG, LH, LI, LJ, LK, LL, LM, LN, LO, LP, LQ, LR, LS, LT, LU, LV, LW, LX, LY, LZ, MA, MB, MC, MD, ME, MF, MG, MH, MI, MJ, MK, ML, MM, MN, MO, MP, MQ, MR, MS, MT, MU, MV, MW, MX, MY, MZ, NA, NB, NC, ND, NE, NF, NG, NH, NI, NJ, NK, NL, NM, NN, NO, NP, NQ, NR, NS, NT, NU, NV, NW, NX, NY, NZ, OA, OB, OC, OD, OE, OF, OG, OH, OI, OJ, OK, OL, OM, ON, OO, OP, OQ, OR, OS, OT, OU, OV, OW, OX, OY, OZ, PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PJ, PK, PL, PM, PN, PO, PP, PQ, PR, PS, PT, PU, PV, PW, PX, PY, PZ, QA, QB, QC, QD, QE, QF, QG, QH, QI, QJ, QK, QL, QM, QN, QO, QP, QQ, QR, QS, QT, QU, QV, QW, QX, QY, QZ, RA, RB, RC, RD, RE, RF, RG, RH, RI, RJ, RK, RL, RM, RN, RO, RP, RQ, RR, RS, RT, RU, RV, RW, RX, RY, RZ, SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SI, SJ, SK, SL, SM, SN, SO, SP, SQ, SR, SS, ST, SU, SV, SW, SX, SY, SZ, TA, TB, TC, TD, TE, TF, TG, TH, TI, TJ, TK, TL, TM, TN, TO, TP, TQ, TR, TS, TT, TU, TV, TW, TX, TY, TZ, UA, UB, UC, UD, UE, UF, UG, UH, UI, UJ, UK, UL, UM, UN, UO, UP, UQ, UR, US, UT, UY, UZ, VA, VB, VC, VD, VE, VF, VG, VH, VI, VJ, VK, VL, VM, VN, VO, VP, VQ, VR, VS, VT, VU, VV, VW, VX, VY, VZ, WA, WB, WC, WD, WE, WF, WG, WH, WI, WJ, WK, WL, WM, WN, WO, WP, WQ, WR, WS, WT, WU, WV, WW, WX, WY, WZ, XA, XB, XC, XD, XE, XF, XG, XH, XI, XJ, XK, XL, XM, XN, XO, XP, XQ, XR, XS, XT, XU, XV, XW, XX, XY, XZ, YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH, YI, YJ, YK, YL, YM, YN, YO, YP, YQ, YR, YS, YT, YU, YV, YW, YX, YY, YZ, ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF, ZG, ZH, ZI, ZJ, ZK, ZL, ZM, ZN, ZO, ZP, ZQ, ZR, ZS, ZT, ZU, ZV, ZW, ZX, ZY, ZZ
5. HUELE ENTRE PISO Y MADERA

OTRAS POSIBILIDADES QUE SE PROPUSIERON

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO. 33	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Asot.:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Esc.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	

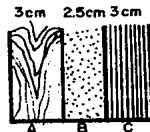
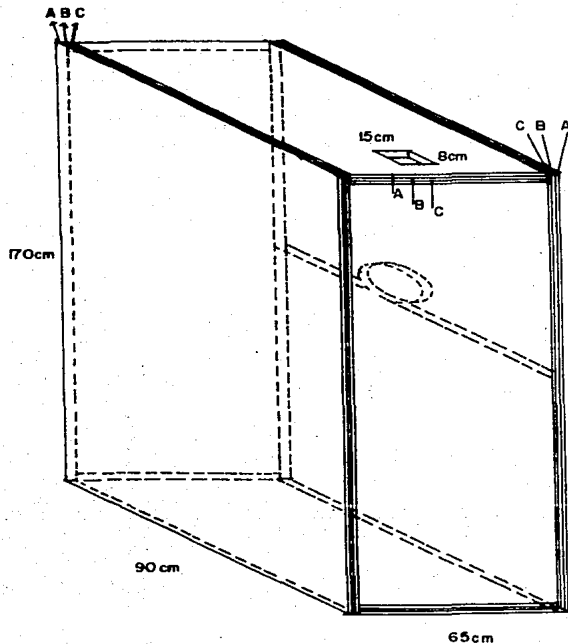
el espesor de cada una es diferente pues la que da al Este, es una puerta formada por madera rígida y cartón comprimido, en tanto que la otra además de las tres capas de materiales usados, en la zona cercana al recorte que se hizo para libre la banda del motor, se le colocaron algunos tramos más de poliuretano.

El techo tiene la misma estructura que las paredes con un espesor aproximado de 6.5 cm., largo de 89 cm. y ancho de 60 cm. Sobre el techo se colocó, a manera de extensión, una pequeña tolva con base de 8 x 15 cm., en la perforación practicada al techo a 10 cm. aproximadamente de la pared Norte, con el objeto de alimentar el molino. Por este orificio o con esta extensión se acondicionará la nueva forma de alimentar el molino.

Con el orificio elíptico, practicado en la pared Oeste, se libra la banda y el motor quedando la pared justamente entre éstos y el molino, aproximadamente a la mitad de la base metálica, quedando el amagado y encendido fuera del claustro.

Como ya se dijo, una vez hecho el aislamiento directo, se observó que al colocar el cono y la placa metálica parecía reforzado el ruido, por lo que se procedió a medir nuevamente con el mismo Sonómetro y personal proporcionado por el De-

ENCLAUSTRAMIENTO DEL MOLINO DE MARTILLOS



- A- MADERA RIGIDA
 B- BLOQUES DE POLIURETANO
 C- CARTON COMPRIMIDO

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 34	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Acot.:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Esc.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	

partamento de Medicina del Trabajo, IMSS, notando que en muchos puntos el sonido ciertamente aumentaba. Analizando las medidas efectuadas sobre el eje A de coordenadas (Fig.26, tabla V), se hizo innecesaria la lectura de las medidas del sonómetro en los demás ejes, pues era de esperarse resultados semejantes. Por tal motivo se optó definitivamente por el claustro.

Se describió ya como quedó enclaustrado el molino en su mismo sitio, logrando de esta manera mejores resultados, aunque en algunos puntos rebaza los 80 dB, y, sensorialmente sigue resultando molesto dicho sonido. Para atenuar este efecto, el Dr. Pruneda sugirió, que debían cubrirse, de ser posible, todas las fugas, esto es, empacar de alguna manera las uniones madera-madera, puertas-piso, piso-paredes, etc., etc., que aparentemente son despreciables, pero que con respecto al sonido llegan a representar áreas grandísimas para la propagación de este fenómeno. Se deben evitar también los puentes, esto es que un material aparentemente aislado haga contacto con el material vibrante rígido, ya que esta sería una desventaja del aislamiento pudiendo llegar a tener un efecto semejante al dianasón, que también es la forma que tiene el equipo del molino de martillos y refuerza el efecto sonoro.

El efecto puente y disipación se ilustran en la Fig. anexa (Fig. 35).

En la medida que puedan reducirse las fugas y efectos desfavorables se optimizará el aislamiento. De no poderse empacar las uniones, el área representativa de escape del sonido es por la parte donde se alimenta el producto, por lo que se aconseja otra forma de alimentación, que pueda reducir la propagación del sonido.

Para los fines de esta tesis, se sugirió diseñar solamente la posible alimentación, aunque se realiza posteriormente, en la medida que se disponga de materias para la construcción de tal diseño. Por lo que nuevamente se recurrió a la literatura apropiada concluyendo con el diseño nuestro trabajo.

De ser posible la realización de la alimentación que aquí se sugiere, se podrá recurrir nuevamente al IMSS, para efectuar las medidas posteriores, y aún, si el sonido sigue siendo molesto, las dimensiones de la nueva forma de alimentación, se deben sujetar al criterio de poder adaptar una cámara (caja) de vacío, que al adaptarse a cubrir la forma de alimentación, asegure el aislamiento, ya que se dijo, capítulo II, que el sonido se propaga en sólidos, líquidos y gases pero no en el vacío.

PUENTE DE TRANSMISION

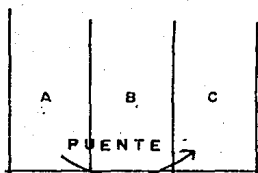


FIG. 35

La forma del molino vista lateralmente en forma simplificada

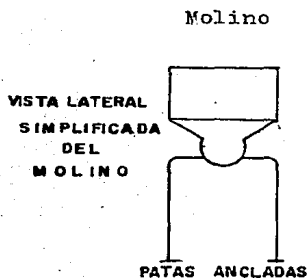


FIG. 36

Diseño de la alimentación

Diapasón: Varilla metálica, en forma de horquilla, al golpearlo vibra produciendo sonido puro de acuerdo a su especificación.



FIG. 37

En general los sólidos son más difíciles de manejar que los líquidos, vapores o gases. Los sólidos se encuentran en muchas formas: Trozos angulares grandes, láminas anchas y continuas, polvos finamente divididos, esferas, etc. Pueden estar calientes o ser abrasivos, frágiles, pulverulentos, explosivos, plásticos o pegajosos, secos o con humedad. A pesar

del costo y la dificultad de la manipulación de tales materiales su utilización resulta indispensable en operaciones (a gran escala) industriales.

Nuestro problema, se debe a que no son sólidos homogéneos, por que la alimentación cada vez es de materiales diferentes, de diferentes tamaños, formas irregulares, distintas propiedades como: Densidad, consistencia, cantidad, etc., de acuerdo a las necesidades que se tengan de molienda. Por ejemplo, si en tecnología de alimentos desean moler unas hojas de ciertas plantas, lo hacen en el molino, si se desea analizar semillas o troncos de plantas, si se desea moler terrones de minerales porosos, etc. Esto obstaculiza una alimentación óptima, por ejemplo; si siempre fueran a molerse granos, arena, escamas, etc. Generalmente al diseñar un equipo se especifican las características de los materiales que se pueden manejar con éste. En el caso de sólidos, se propone como parámetro de selección al tamaño, la forma y densidad para restringir a cierto tipo de materiales el equipo, cosa que la versatilidad de molienda lograda con el molino de martillos, nos impide hacer.

Lo que sí es recomendable en este caso es que se procure alimentar con trozos pequeños, de acuerdo a las dimensiones

de la nueva forma de alimentación.

Las masas sólidas, especialmente cuando las partículas están secas y no son pegajosas, tienden a tener propiedades de los fluidos. Ejercen presión sobre los lados y paredes del recipiente y fluyen a través de orificios y conducciones. Sin embargo difieren porque se comportan por efecto de la presión y no pueden deslizarse una sobre otra mientras las fuerzas aplicadas no alcancen un valor considerable, a diferencia de la mayoría de los fluidos. Los sólidos y las masas sólidas grandes resisten la distorsión cuando se someten a una fuerza moderada de distorsión. Cuando la fuerza es suficientemente grande se deslizan las capas una sobre otra pero entre las capas en movimiento existe una fricción apreciable. Hay una gran analogía entre flujo de sólidos granulares y de los plásticos no newtonianos.

Las masas sólidas tienden a fluir al exterior por cualquier abertura cerca del fondo en un dispositivo o depósito, pero se descargan mejor a través de una abertura practicada en el fondo ya que la presión lateral es menor que la vertical.

Para alimentar sólidos se recomienda analizar las tolvas, válvulas, transportadores o alimentadores rotatorios.

Para nuestro molino la tolva resulta la forma óptima de alimentación por la gran variedad de materiales que puede moler, pero con respecto al sonido, debemos adaptar otra manera de alimentar.

Si a la tolva de alimentación metálica se le acondicionara un rodillo o torno con placas de hule (Fig. 38), para que al ir cayendo el material fuera quedando sellado por el mismo material o la placa de hule, se tendría la desventaja de introducir material de ciertas dimensiones, la forma de girar el torno, en todo caso manualmente, y tener cuidado en el llenado de la tolva de alimentación.

Por otra parte, se podría construir un dispositivo tipo valvula de paso (Fig. 39), pero las condiciones desfavorables serían semejantes, a menos que se limitara su empleo a ciertos materiales.

Se pensó también en un cilindro transparente, de vidrio o mica, para que por medio de charolas se pudiera ir alimentando. (Fig. 40).

Se pensó en un gusano horizontal (Fig. 41), y también en una columna vertical con gusano y aspas de hule para mover el material hacia la entrada, quedando sellada ésta con más material, o los tramos de hule de que constara el gusano.

(Fig. 42).

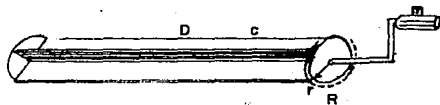
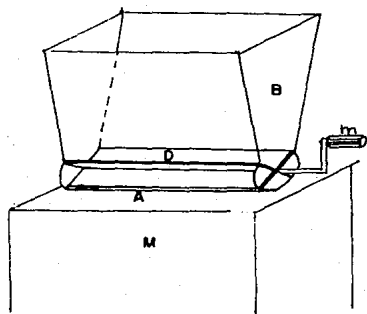
Al concluir la consulta a la literatura apropiada, se decidió diseñar un transportador tipo tornillo sin fin, que corresponde a la cuarta opción de alimentación (Fig. 41), colocándolo sobre el techo del enclaustramiento del molino.

De cualquier manera, quedará sólo como diseño de la posible alimentación, por lo que se detallará para trabajos posteriores, dejando abiertas las otras posibilidades, aunque desde el punto de vista funcional, pensamos que es la mejor opción y se dimensionará de tal manera que se pueda colocar sin mayores problemas sobre el techo del cajón que se construyó como enclaustramiento al molino de martillos, y, si esto no fuera aún satisfactorio, en cuanto al problema del sonido, se pueda cubrir ese transportador con una caja al vacío como se propuso. (Pag. 130)

Para el cálculo del equipo auxiliar de alimentación, transportador de tornillo sin fin, seleccionamos granos como material a moler, para facilitar el cálculo de diseño.

Con el cajón realizado como enclaustramiento al molino se considera concluido el trabajo práctico de esta tesis.

ALIMENTACION DEL MOLINO TIPO VALVULA DE PASO (1)



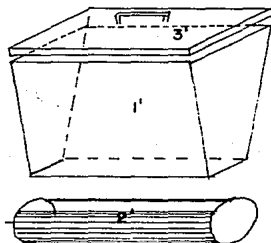
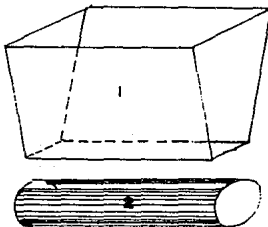
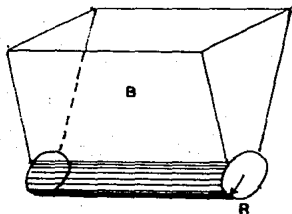
D = TORNO

R = RADIO DE LA TOLVA $R > r$

r = RADIO DEL TORNO

C = ALETAS DE HULE (DOBLE DE SER POSIBLE Y CON CUCHILLA EN EL CENTRO, EN NUMERO DE 2 A 4 ALETAS)

B = TOLVA METALICA CONSTRUIDA EN UNA O DOS PARTES



PARTES DE LA TOLVA

B DE LA TOLVA

$$\left. \begin{array}{l} a = 50 \text{ CM} \\ b = 50 \text{ CM} \\ a = 30 \text{ CM} \end{array} \right\} \text{ MAX.}$$

B' = CON ACOLOCAMIENTO AISLANTE EN LA CASCABELA Y CUERPO DE SER POSIBLE:

CON POSIBLES

D TORNO

$$\left. \begin{array}{l} r = 10 \text{ CM} \\ l = 40-50 \text{ CM} \\ a = r \end{array} \right\}$$

B'' = AISLAMIENTO DE CARTON COMPRIMIDO

B''' = AISLAMIENTO CON TELA AHULADA Y POLIURETANO

B'''' = TAPA DE MADERA CON HULE O TELA AHULADA EN EL FONDO (INTERIOR DE LA TAPA)

DIMENSIONES

A

$$\left. \begin{array}{l} R = 15 \text{ CM} \\ l = 40-50 \text{ CM} \end{array} \right\}$$

M = CUERPO AISLADO DEL MOLINO

m = MANIVELA 1 40-50 CM METALICA (PC, ETC) CON MANOS DE MADEPA

FACULTAD DE QUIMICA

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

U N A M

LAMINA NO. 38

PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL

Fecha:

AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO.

Referencia:

DE MARTILLOS DE LABORATORIO

Asot.:

PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

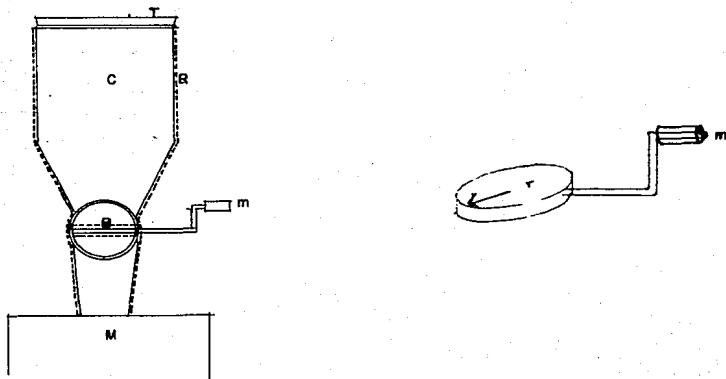
MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS

Esc.:



ALIMENTACION DEL MOLINO

TIPO VALVULA DE PASO (2)



T = TAPA DE HULE DURO O MADERA,
O CARTON COMPRIMIDO

C = CONO METALICO AISLADO
(EMBUDO)

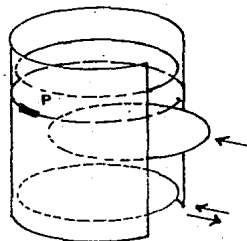
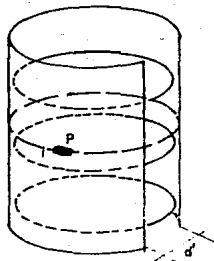
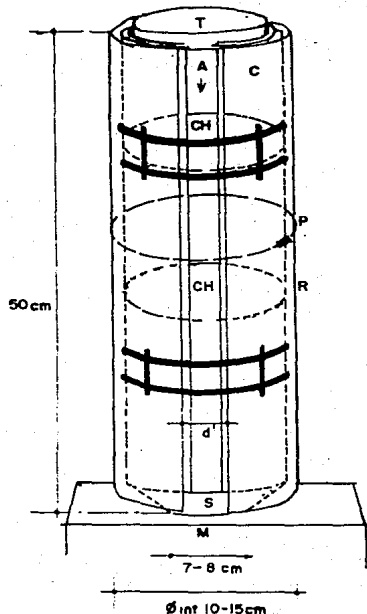
B = VALVULA DE PASO (HULE DURO)

m = MANIVELA

R = RECUBRIR CON AISLANTE TIPO
COSTAL PARA DAR FORMA, CON
TROZOS DE UNICEL, HULE ESPU
MA, ETC.

FACULTAD DE QUIMICA		LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA		U N A M	
LAMINA NO. 39		PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL			
Fecha:		AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO			
Referencia:					
Anot.:		PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO			
Eec.:		MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS			

ALIMENTACION DEL MOLINO CILINDRO CON CHAROLAS (3)



M = MOLINO AISLADO

A = ALIMENTACION AL SAJAR LA CHAROLA, NO PUEDE YA AL INTERIOR PORQUE SUCCIONA POR VACIO

C = COLUMNA DE VIDRIO O MATERIAL SIMILAR (SMEJANTE)

CH = CHAROLA DE ASBESTO O HULE DURO

V = UNIONES (3 O 4 POR CHAROLA)

R = RECUBRIMIENTO DE AISLANTE ACUSTICO (HULE, UNICEL, ETC.)

S = SECCION DE ENTRADA (SE MODIFICARIA LA ACTUAL O SE ADECUARIA)

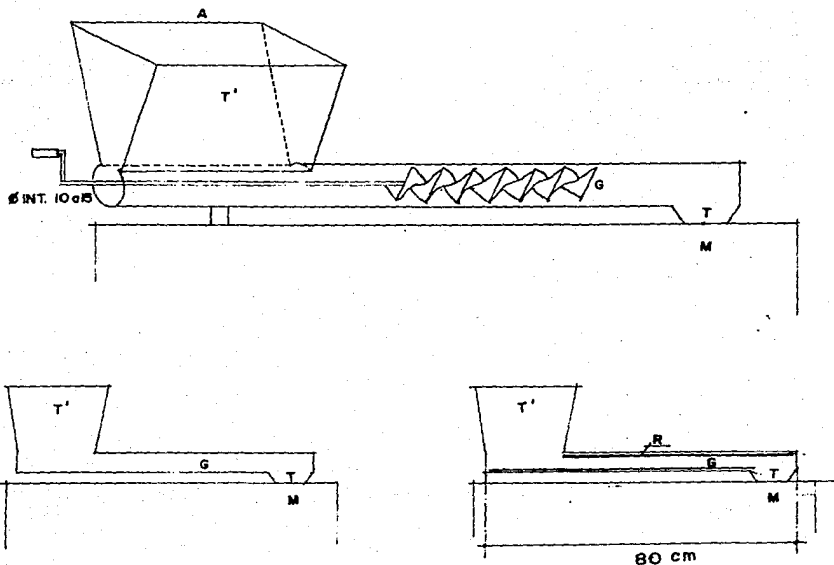
T = TAPA DE ASBESTO, MADERA O HULE

P = SOTEN DEL AISLANTE ALREDEDOR DE LA COLUMNA

d' = DISTANCIA SUFICIENTE DE AISLANTE SUFICIENTE PARA SAJAR Y METER LA CHAROLA

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO. 40	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha:	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia:		
Anot.:	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
Esc.:	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	

ALIMENTACION DEL MOLINO GUSANO HORIZONTAL (4)



A= ALIMENTACION

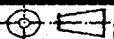

C= TAPA DE MADERA, HULE, ETC

T= TOLVA DEL MOLINO

T'=TOLVA DE ALMACENAMIENTO

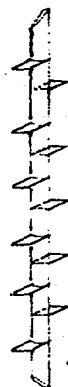
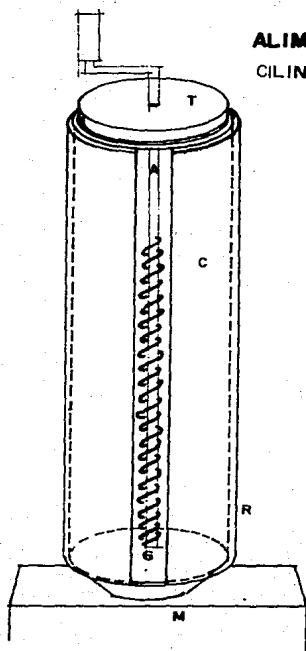
G= GUSANO TIPO TIRABUSON (DE SER POSIBLE
QUE SE CONTRAIGA EL ESPIRAL AL SALIR
DEL VASTAGO)

R= RECUBRIMIENTO ACUSTICO

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO. 41	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha	ANSLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
Referencia	PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	
		

ALIMENTACION DEL MOLINO

CILINDRO VERTICAL CON GUSANO (5)



ASPAS DE HULE

- A = ALIMENTACION
 C = CILINDRO DE VIDRIO O MATERIAL SEMEJANTE, ETC.
 G = GUSANO VERTICAL CON ESPIRAL DE METAL O ASPAS DE HULE O ASBESTO (INTECALADAS).
 T = TAPA DE MADERA, ASBESTO, HULE DURO, ETC.
 M = MOLINO ASBESTO
 R = RECUBRIMIENTO AISLANTE ACUSTICO

FACULTAD DE QUIMICA	LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA	U N A M
LAMINA NO 42	PROYECTO DE INGENIERIA PARA TESIS PROFESIONAL	
Fecha	AISLAMIENTO ACUSTICO DE UN MOLINO	
Referencia	DE MARTILLOS DE LABORATORIO	
	PARA OBTENER EL TITULO DE	
	INGENIERO QUIMICO	
	MARIA DE LA LUZ OLIVARES CAMPOS	

Transportadores

Los transportadores son dispositivos para mover material de un punto a otro situado a la misma altura o diferente. En el transporte intermitente, el material se mueve en una sucesión de distintas cargas; en el transporte continuo, el material se entrega en una corriente prácticamente continua.

El ángulo de reposo de cualquier material es el que forma con la horizontal y en el cual se mantiene cuando se apila. El contenido de humedad es con frecuencia el factor que gobierna. El porcentaje de material fino presente en la masa tiene una influencia fundamental sobre el ángulo, ya que los finos llevan la mayor parte de humedad.

El ángulo de deslizamiento es aquél al cual el material correrá sobre una superficie inclinada. Donde se requiera cuidado para evitar fracturas se deben hacer pruebas especiales para determinar el ángulo mínimo de deslizamiento. Cuando se vea que un vertedero es demasiado pendiente, se pueden disponer ángulos transversales para retardar la caída del material.

Los pesos específicos, los materiales a granel manejados comúnmente por los aparatos de transporte varían aproximadamente en los siguientes intervalos:

TABLA XI

PESOS ESPECIFICOS DE MATERIALES A GRANEL

	Kg por m ³		Kg por m ³
Arcilla.....	1530-2700	Cebada.....	592-640
Arena.....	1200 -1920	Cemento.....	1440-1883
Avena.....	448-498	Cenizas.....	720-800
Cal.....	920-1200	Centeno.....	704-800
Caliza.....	1440-1760	Coque.....	416-480
Carbón de madera....	272-432	Escoria, de alto horn no	592-1008
Carbón mineral (ga- lleta).....	800-864	Grava.....	1440-2160
Carbón mineral (me- nudo, tamaño nuez, cribado).....	848-960	Lignito.....	496-752
Tierra.....	1200-1840	Mineral.....	1680-3440
		Piedra machacada...	1440-1920
		Trigo.....	704-800

TABLA XII

Tipos preferidos de transportadores y elevadores para materiales a granel

Material	Condición física	Peso promedio por m ³ , Kg	Reacción sobre el transportador	Transportadores preferidos *	Elevadores preferidos *	Comentarios
Algodón, semilla de	Granular	360 - 641	A veces se pega	a, b, c, d, e	g, A	Polvo explosivo
Almidón	Pulverizado	490 - 641		a, b, c, e	g, c	
Aloubré	Granular	561 - 1 041	Abraiva	a, b, c, e	g, A	Pegajoso
Aluminio, ácido de	Pulverizado	721	Se adhiere	b, c, e	g, A	
Amonio, nitrato de	Húmedo	1 041	Se adhiere	b, c, e	g, A	Difícil de correr
Amonio, nitrato de	Pulverizado	560 - 961	Higroscópica	b, c, e	g, A	
Arcillas	Granular	560	Abraiva	a, b, c, e	g, A	Venenosas
Aznar, siles de	Pulverizadas	1 441 - 1 762	Fuerte	a, b, c, e	g, A, c	
Avreña	Granular	240 - 320	Pegajosa	a, b, c, e	g, A, c	Debe manejarse con cuidado
Aznar: tin refinado	Granular	581 - 1 041	Corrosivo si está húmedo	a, b, c, e	g, A	
Aznar	Pulverizado	801	Abraivo	a, b, c, e	g, A	Rizgo de explosión
Beras	Granular	801 - 1 211		a, b, c, e	g, A	Frágil
Café, grano de	Granular	641 - 721		a, b, c, e	g, A	
Cal, en pedruzcos	Granular	881	Abraivo	a, b, c, e	g, A	Frágil
Cal, en polvo	Pulverizada	1 361 - 1 522		a, b, c, e	g, A	
Carbón, negro de (pastilla)	Granular	641		a, b, c, e	g, A	Frágil
Carbón, Antracita	En pedruzcos gruesos	801		a, b, c, e	g, A	
Cemento, para vapor	Granular	801		a, b, c, e	g, A, c	Forma bolas
Cemento, para vapor	En pedruzcos	501		a, b, c, e	g, A	
Bituminoso, galleta	Granular	801		a, b, c, e	g, A	Producen polvo
Bituminoso, menudo	Granular	801		a, b, c, e	g, A	
Cemento, seco	Pulverizado	1 441 - 1 602	Abraivo	a, b, c, e	g, A	Producen polvo
Cenizas: acas	Granular	561 - 641	Abraivo	a, b, c, e	g, A	
moladas	Pegajosas	721 - 801	Abraivo suave	f, g, c, d, e	g, A, c	Corre libremente
Cenizas voladora (limpia)	Pegajosa	561 - 721	Correa abrasiva	a, b, c, e	g, A, c	
Maíz, en hojuelas	Granular	320 - 361	Forma bolas	a, b, c, e	g, A, c	Evita la decoloración
Cinco, óxido de	Pulverizado	1 121	Forma bolas	a, b, c, e	g, A, c	
Cinco, sulfato de	Pulverizado	721	Puede pegarse	a, b, c, e	g, A, c	Construye fresca
Cela	Granular	240 - 480		a, b, c, e	g, A	
Combustible de madera triturado	Fibrosa					
Copra, molida	Pulverizada	641	Puede ser abrasiva	a, b, c, e	g, A	Pegajosa
Coque de petróleo	En pedruzcos	675	Abrasivo ligero	a, b, c, e	g, A	
Corcho, molido	Pulverizado	80 - 240	Muy abrasivo	a, b, c, e	g, A	Difícil de correr
Cuayzo, molido	Pulverizado	1 762	Se adhiere	a, b, c, d, e	g, A	
Ferroso ácido	Húmedo	1 442		a, b, c, e	g, A	Pegajoso
Creta	Pulverizada	1 121 - 1 201		a, b, c, e	g, A, c	
Granos (harina)	Granular	641	Abraivo	a, b, c, e	g, A	Difícil de correr
Granos cereales, calientes	Granular	881	Corrosivos	a, b, c, e	g, A	
Grasa	Granular	1 602	Abraivo	a, b, c, e	g, A	Difícil
Hueto, molido	Pulverizado	891 - 961	Difícil de correr	a, b, c, e	g, A	
Huile, pedregosa	Fibrosa	801	Frágil	a, b, c, e	g, A	Difícil
Indio, en hojuelas	Granular	160 - 320	Frágil	a, b, c, e	g, A	
Lino, semilla de	Granular	721	Corrija abrasiva	a, b, c, e	g, A, c	Corre libremente
Lodo de aguas de cloaca	Pulverizado	561 - 641	Pegajoso si está húmedo	a, b, c, e	g, A, c	
Madera, viruta de	Granular	268 - 320	Puede formar arco	a, b, c, e	g, A	Corrosiva si está mojada
Mala	Granular	721	Puede ser pegajosa	a, b, c, e	g, A, c	
Mica, en polvo	Pulverizada	320 - 380	Corre libremente	a, b, c, e	g, A, c	Producen polvo
Huile, pedregosa	En pedruzcos	801	Abraivo	a, b, c, e	g, A	
Nolúidos, concentrados de	Pulverizado	1 762	Abraivos	a, b, c, e	g, A	Pueden ser tenaces
Hollis	Pulverizado	1 602	Abraivo	a, b, c, e	g, A	
Petro, sales de	Pulverizadas	961 - 2 403	Difícil de correr	a, b, c, e	g, A	Venenosas
Polvos metálicos	Pulverizadas	801 - 1 602	Abraivos	a, b, c, e	g, A	
Pómeros	Pulverizada	721	Abraivo suave	a, b, c, e	g, A	Evita las superficies
Sal: gruesa	Granular	801	Higroscópica	a, b, c, e	g, A	
es terrones	Pulverizada	1 201 - 1 522	Corre libremente	a, b, c, e	g, A	A veces pegajoso
Salvado	Granular	226 - 320	Corre libremente	a, b, c, e	g, A	
Silice, harina de	Pulverizada	400 - 281	Difícil de correr	a, b, c, e	g, A	Abraivo
Sosa (carb. sod. anhídrido): ligera	Pulverizada	400 - 561	Corre libremente	a, b, c, e	g, A	
pesada	Pulverizada	880 - 1 041	Corre libremente	a, b, c, e	g, A	Clástica
Sosa, harina de	Pulverizada	480	Corre libremente	a, b, c, e	g, A	
Tabaco, tallos de	Fibrosa	801 - 961	Difícil de correr	a, b, c, e	g, A	Polvo explosivo
Telco	Pulverizado	400	Abraivo suave	a, b, c, e	g, A	
Trijo	Granular	769	Corre libremente	a, b, c, e	g, A	Se adhiere al metal
Vidrio, machacado	Granular	1 281 - 602	Abraivo suave	a, b, c, e	g, A	
Vidrio, hornada de	Granular	1 281	Abraivo	a, b, c, e	g, A	Construye limpio
Yeso	Pulverizado	961		a, b, c, e	g, A	

* Esignificación de la letra simbólica: a, de banda; b, de paleta; c, de circulación continua; d, neumático; e, de tornillo; f, de cadena de arrastre; g, de banda y conlén; A, de cadena y conlén.

Selección de transportador o elevador

El tipo de transportador o elevador que conviene emplear para el transporte de cualquier material particular a granel, debe basarse en la experiencia sobre el manejo de dicho material.

Los tipos de transportador más comunes utilizados son: De banda, de paletas, de circulación continua, neumáticos de tornillo, de cadena de arrastre, de banda de cangilones, de cadena de cangilones, etc.

Debido a las necesidades de este proyecto el transportador de tornillo es el más recomendable, ya que el espacio en que debe colocarse es pequeño (menos de 1 m.), sobre el techo del molino, por medio de una simple cubierta de lámina se puede hacer hermético y otras ventajas, a continuación describas.

Transportador de tornillo sin fin (sinfin)

Un transportador normalizado de tornillo sin fin está constituido por una hélice montada sobre un eje que se encuentra suspendido en el canal en forma de U. Un grupo motorreductor hace girar la hélice que arrastra el producto a transportar.

Las ventajas de este tipo de transportador son: Senci-

llez de construcción, bajo costo, facilidad de transporte en ambiente cerrado, evitando polvo y posibles exhalaciones molestas, posibilidad de colocar bocas de descarga en diferentes puntos, amplio uso para materiales pulverizados o granulares cuando se requiere de capacidad moderada.

Las desventajas que ofrece son: Alta potencia absorbida, dificultad de sobrepasar ciertas pendientes de elevación, disminuyendo la capacidad de transporte con la pendiente, peligro de deterioro para ciertos productos y fuerte desgaste.

Las partes fundamentales de un tornillo sin fin son: La hélice y eje, caja o carcasa y grupo motriz.

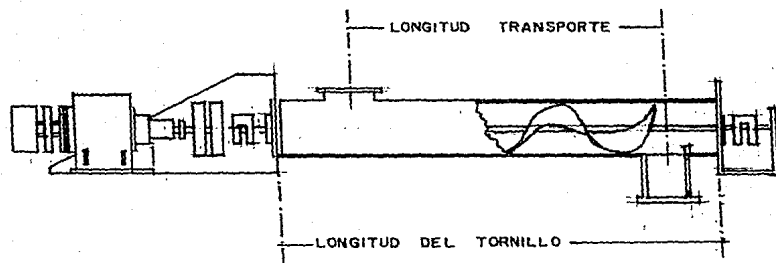


FIG. 43

La hélice está normalmente construida, para productos normales, en chapa de acero al carbón de 3 a 4 mm de espesor.

Su diámetro es inferior en unos 2 cm. , al de la carcaza, ya que no debe rozar las partes de la misma. El tipo de hélice varía en relación al producto a transportar y de su función.

La hélice va montada sobre el eje portante generador a su vez del movimiento giratorio. Para evitar flexiones del mismo es necesario disponer de sonortes de apoyo, que significan una interrupción en la hélice, que normalmente van distanciados a cada 3-4 m y que representan puntos de atasco del producto, por lo que es necesario diseñar muy bien esos puntos de apoyo.

Normalmente las carcazas de estos transportadores están construidas en chapa de acero al carbón de 3 a 6 mm de espesor. Cuando se trata de productos altamente abrasivos o corrosivos, o por razones sanitarias, como en el caso de productos alimenticios, se construyen en acero inoxidable. En la carcaza se colocan las bocas de carga o descarga, dispuestas de acuerdo con las necesidades del proceso.

La capacidad teórica de un transportador de tornillo sin fin horizontal viene dada por la siguiente fórmula:

$$Q = 60 \frac{D^2}{4} \pi P n \dots\dots\dots (33)$$

en donde:

$$Q = m^3/K.$$

D = Diámetro del tornillo, en metros.

P = Paso de la hélice, en metros.

n = Velocidad de giro, r.p.m.

No obstante en la práctica, el transportador no trabaja lleno, y hay que multiplicar por un coeficiente α de llenado, por lo que la capacidad real varía y está dada por:

$$Q_R = 60 \frac{D^2}{4} \pi P n \alpha \dots\dots\dots (34)$$

$$Q_R = Q \alpha \dots\dots\dots (35)$$

La velocidad de avance del material dada por:

$$V = \frac{P \times n}{60} \dots\dots\dots (36)$$

El coeficiente de llenado α es función de las características del transportador (diámetro, longitud, r.p.m., inclinación) y de la naturaleza del material a transportar (granulometría, ángulo de rozamiento interno, abrasividad). Otro de los factores que influyen en la capacidad de trabajo es la inclinación del tornillo respecto a la horizontal, pudiendo establecerse que la capacidad efectiva de un tornillo disminuye en aproximadamente 2% por cada grado de inclina-

ción.

La potencia absorbida por el eje de un transportador de tornillo sin fin viene dada por la fórmula:

$$W = \frac{Q L P_e f}{270 \eta} + \frac{Q P_e H}{270} \quad (CV) \dots\dots (37)$$

en donde:

Q = caudal en m³/h.

L = longitud entre centros de boca de carga y descarga, en metros.

P_e = peso específico del material en Tm/m³

H = desnivel a salvar en metros

f = coeficiente según el material

η = rendimiento mecánico

El primer sumando de la ecuación anterior representa la potencia necesaria para el transporte del material en horizontal y el segundo sumando la potencia necesaria para elevar el material al desnivel H.

El coeficiente η es el rendimiento mecánico, que depende de la construcción del transportador. La dificultad de determinar este valor, así como el coeficiente f, hacen difícil determinar con exactitud la potencia absorbida, que indica el constructor del tornillo.

Una fórmula utilizada para determinar de una forma aproximada la potencia de un motor a instalar es:

$$W = \frac{Q L P_e f}{80} + \frac{Q P_e H}{270} \dots\dots\dots (38)$$

En la que se considera englobado el rendimiento del equipo.

La máxima velocidad de giro a que puede trabajar un tornillo sin fin depende de su diámetro y de la naturaleza del material a transportar. La siguiente tabla recoge, en función del diámetro y de la clase de material a transportar, las velocidades máximas utilizadas en el diseño de los transportadores.

Diámetro del tornillo (mm)	Velocidad máxima (r.p.m.) según clase de material				
	I	II	III	IV	V
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

Capacidad de transporte de un sin fin

Ø del tornillo (mm)...	160	200	250	315	400	500	630	800
Paso de hélice (mm) ...	160	200	250	300	355	400	450	500
Velocidad normal (rpm).	70	65	60	55	50	45	40	35
Capacidad en horizontal al 100% (m ³ /h)	14	26	45	78	130	217	342	525

En seguida se expone una lista con materiales en cinco clases, indicando para cada una de ellas, el valor comunmente utilizado para el coeficiente de llenado α , y el valor del coeficiente f , incluido en la fórmula de la potencia absorbida.

Clase I

Son materiales pulverulentos, no abrasivos, con peso específico entre 0.4 - 0.7 aproximadamente, que corren fácilmente. Para estos materiales el coeficiente de llenado α es de 0.4 coeficiente $f = 1.2$.

- Cebada, trigo, malta, arroz y similares.
- Harina de trigo y similares.
- Carbón en polvo
- Cal hidratada y pulverizada

Clase II

Son materiales en granos o pequeños tamaños, mezclados en polvo, no abrasivos, que corren fácilmente. Peso específico entre 0.6-0.8. Para estos materiales el coeficiente de llenado es de 0.3 y el coeficiente $f = 1.4$ a 1.6.

- Alumbre en polvo
- Haba de soya
- Granos de café, cacao y maíz.

- Carbón de hulla en finos y menudos
- Cal hidratada

Clase III

Son materiales semiabrasivos de pequeño tamaño, mezclados con polvos. Peso específico entre 0.6 - 1.2. Para estos materiales el coeficiente de llenado es de 0.25 y el $f = 2$ a 2.5.

- Alumbre en terrones
- Bórax
- Carbón vegetal
- Corcho troceado
- Pulpa de panel
- Leche en polvo
- Sal
- Almidón
- Azúcar refinada
- Jabón pulverizado

Clase IV

Son materiales semiabrasivos o abrasivos, granulares o en pequeños tamaños en mezcla con polvos. Peso específico 0.8-1.6. Para estos materiales el coeficiente de llenado es de 0.20, el $f = 3$ a 4.

- Bauxita en polvo

- Negro de humo
- Harina de huesos
- Cemento
- Arcilla
- Azufre
- Arena
- Polvo de piedra caliza
- Azúcar sin refinar
- Resinas sintéticas
- Oxido de cinc

Clase V

Son materiales abrasivos, troceados o en polvo, como pueden ser cenizas, hollines de conductos de humos, cuarzo pulverizado, arena silíceas. Con estos materiales se debe trabajar con coeficiente de llenado muy bajo, $\alpha = 0.10 - 0.12$, evitando que entre en contacto con soportes o cojinetes. No es aconsejable utilizar transportadores de tornillo sin fin para este tipo de materiales.

De acuerdo a lo anterior tenemos que para calcular la capacidad del transportador:

$$Q = 60 \frac{D^2}{4} \pi n p \dots\dots (33) \quad Q_2 = 60 \frac{D^2}{4} \pi n \alpha \dots\dots (34)$$

$$Q_R = Q \text{ Real}$$

$$D = 20 \text{ cm (tabla XIII)}$$

$$p = 20 \text{ cm (tabla XIV)}$$

$n = 20 \text{ r.p.m. (se toma esta velocidad porque el funcionamiento se pretende sea manual)}$

$$\alpha = 0.3 \text{ (según lista de clase de materiales, Clase II)}$$

entonces

$$Q = 60 \frac{(.2)^2}{4} (3.1416)(20)(.2) = 7.54 \frac{\text{m}^2}{\text{hr}} \dots (33')$$

$$Q_R = Q \alpha \dots \dots \dots (35)$$

por lo tanto

$$Q_{R.} = 7.54 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} (0.3) = 2.262 \dots \dots \dots (34')$$

La velocidad de avance del material será entonces

$$V = \frac{p n}{60} = \frac{20(0.2)}{60} = 0.06 \text{ m/s} \dots (36')$$

La fórmula para calcular en forma aproximada la potencia de un motoreductor es:

$$W = \frac{Q L P_e f}{80} + \frac{Q P_e H}{270} \dots \dots \dots (30')$$

donde

$$H = 0 \text{ (no hay inclinación, es horizontal)}$$

$$L = 80 \text{ cm (espacio disponible)}$$

$$Q = 2.262 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$P_e = 0.7 \text{ (promedio, material Clase II)}$$

$$f = 1.5 \text{ (promedio, material Clase II)}$$

por lo tanto

$$W = \frac{Q L P e f}{80} = \frac{(2.262)(.8)(.7)(1.5)}{80} = 0.023 \text{ CV.. (38")}$$

Deduciendo de los resultados anteriores, que no es necesario un reductor de velocidad y puede hacerse manualmente, debido al bajo volumen de material que se trabaja a nivel laboratorio con este equipo.

C A P I T U L O I I I

F U N C I O N A L I D A D

O B S E R V A C I O N E S Y R E C C M E N D A C I O N E S

FUNCIONALIDAD

Se dice en lenguaje común, que un equipo es funcional, cuando se ajuste principalmente a su utilidad y comodidad. Así que desde ese punto de vista, nuestro equipo es funcional. Pero no podemos limitarnos a un razonamiento simple, hay que analizar, si cumple con el objetivo fijado; si esto ocurre, se dice que además de funcional es efectivo. Esto es, si el objetivo fue alcanzado positivamente, en la mejor forma.

Desde ese punto de vista, el aislamiento del molino de martillos ha cumplido su objetivo, bajando la intensidad del nivel sonoro a menos de 85 dB, que es el umbral de alerta (Pag. 17) causando interferencia con el trabajo, (excepto en un punto, 9A Tabla (Pag. 111). Al lograr abatir el nivel hasta el límite permitido menor de 90 dB, nivel de peligro, se considera alcanzado el objetivo de esta tesis.

Para atenuar más el sonido, se ha dicho ya, que deben sellarse todas las posibles fugas, empacando también las uniones entre tramos de materiales entre sí y/o con el piso y techo.

Con objeto de estimar la efectividad que reporte este aislamiento, contemplo varios criterios:

El Primero en sentido práctico (como se acaba de mencio-

nar), el objetivo fue alcanzado y por tanto es funcional y efectivo.

El Segundo, lo enfoca desde un aspecto cualitativo, de la siguiente manera: Con el fin de eliminar el ruido producido por el molino de martillos, se optó por enclaustrarlo, con lo que se obtuvo un resultado satisfactorio, pero que aún puede mejorarse, por lo que se aconseja cambiar la actual forma de alimentación y tratar de evitar áreas de propagación.

El tercer criterio será en forma cuantitativa, fijando las condiciones de frontera entre lo que se tiene y lo que se pretende, aplicando una ecuación que relacione estas condiciones y posteriormente relacionando a un porcentaje, pueden ser las siguientes:

Condiciones de máxima intensidad

113 dB (Pag.111)
I

Condiciones que se pretenden

(máximo) 80 dB
I_o

Teniendo que $\frac{I_o}{I} = 1$ (39)

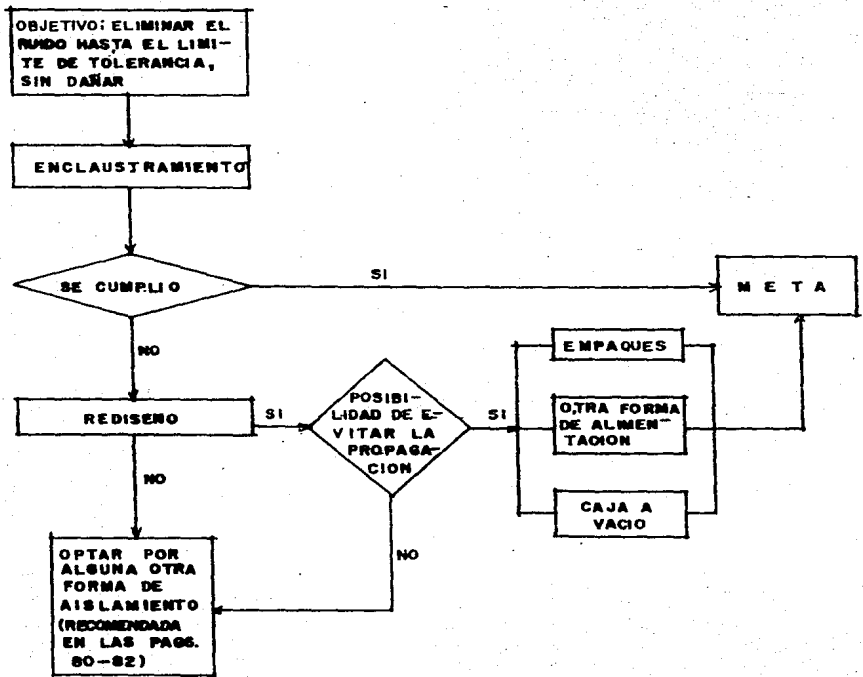
donde I_o es la intensidad deseada o de referencia

I es cualquier intensidad producida

$\frac{I_o}{I} = 1$ se tiene 100% de efectividad(40)

CRITERIO PARA ESTIMAR CUALITATIVAMENTE EL AISLAMIENTO

FIG. 44



Pero si

$$Y = \frac{I_0}{I} < 1 \quad \dots\dots\dots(41) \text{ la efectividad disminuye}$$

$$\text{Por tanto } 1 = \frac{I_0}{I} = 100\%$$

$$Y = X\% \quad \dots\dots\dots (42)$$

Al tener los valores finales, posteriores al aislamiento en la tabla, Pág. 111, tan variados; se opta por la media aritmética de los valores obtenidos que I (media) = 76.2 dB.

Sustituyendo encontramos

$$\frac{I_0}{I} = \frac{60}{76.2} = 1.04 \text{ dB} > 1 > 100\% \quad \dots\dots(39 \text{ a } 42)$$

Resultados bastante optimistas si sólo consideramos el umbral de peligro como 90 dB y no tomamos en cuenta que lo agudo del sonido, lo deja aún como ruido, por lo que se hacen las otras sugerencias de optimización.

OBSERVACIONES

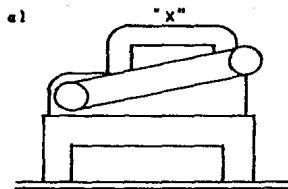
Algunas observaciones para el aislamiento acústico son:

Para predecir el aislamiento acústico desde el diseño, se cuenta con tablas de coeficientes de transmisión o absorción del sonido como se muestra en la tabla IV, lo que puede servir si se cuenta en realidad con esos materiales prácticamente, ya que al sustituir los materiales especificados por otros que se consideran parecidos, se corre el riesgo de que esos coeficientes sean muy diferentes. Sucedió en nuestro caso que los materiales con que podíamos contar en el laboratorio, no venían especificados en tabla alguna, por lo que se procedió empíricamente.

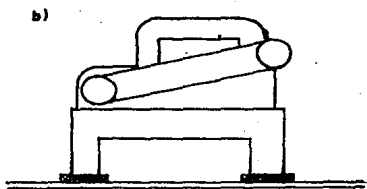
El colocar una buena cimentación siempre es aconsejable.

El colocar aditamentos o claustros a los equipos tiene las siguientes probabilidades, a grandes rasgos, el aislante de vibraciones, baffles, enclaustramiento con material absorbente, con sellado rígido, y la combinación de estos reducen notablemente el ruido, siendo la atenuación mayor en el último caso. De una manera objetiva podemos ejemplificar con los siguientes dibujos:

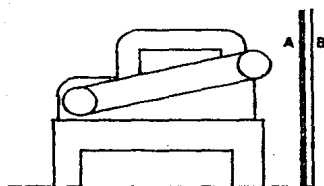
FIG. 45



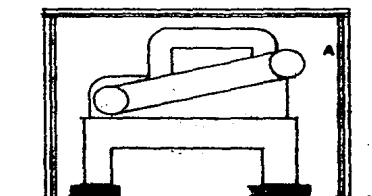
EQUIPO ORIGINAL



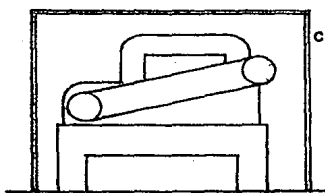
AISLAMIENTO DE VIBRACIONES



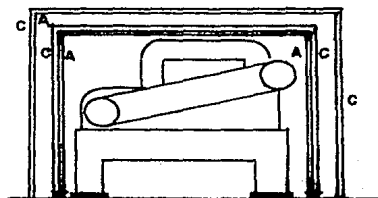
A- MATERIAL ABSORVENTE ACUSTICO
B- BAFFLE



ENCLAUSTRAMIENTO DE MATERIAL
ABSORVENTE



ENCLAUSTRAMIENTO SELLADO
RIGIDO



COMBINACION DE MATERIALES Y
RECURSOS AISLANTES

No se debe perder de vista el factor económico desde ningún punto de vista, ya que al pretender que un equipo funcione más allá de su vida útil resulta, la mayor parte de las veces contraproducente, sobre todo por el mantenimiento, pues se llega a perder el concepto de funcionalidad óptima.

De las medidas efectuadas el 5 de diciembre de 1964, el Dr. Pruneda (Premio Nacional en Ciencias -Acústica -) recomendó:

Para saber con cierta exactitud las vibraciones transmitidas por gases, adaptar al sonómetro normal una reducción con el objeto de mantener la vida óptima del instrumento y determinar el número de capas entre las que fluye el gas, ilustrado en la Fig 46.

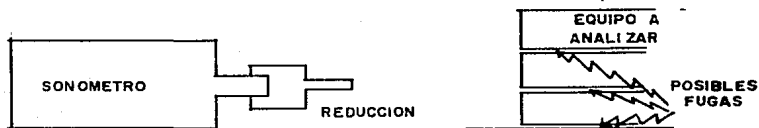
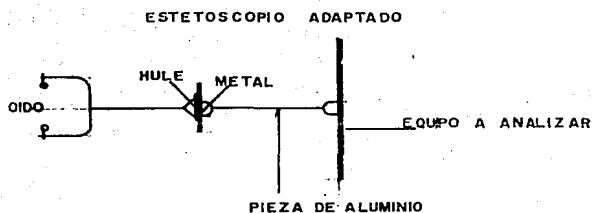
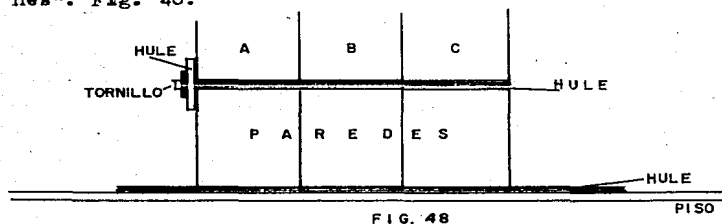


FIG. 46

También propuso que para vibraciones transmitidas por sólidos, podíamos solicitar su estetoscopio adaptado, en forma empírica de la siguiente manera, y que él usa en sus investigaciones. Fig. 47.



Para mantener el concepto funcional del aislamiento, sugirió, como ya se dijo, empaques de hule en "todas las uniones". Fig. 48.



Finalmente recomienda la implantación de "clases de acústica", ya sea por separado o incluidas en una asignatura, para evitar el riesgo que se corre al sufrir deterioro orgánico y profesional, pues se tiene la tendencia a acostumbrarse a los malos hábitos.

Con esto doy por concluida mi tesis, sin embargo estoy dispuesta a seguir colaborando hasta optimizar el aislamiento.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Peterson A.P.G. and Gross Jr. R.E. Handbook of Noise Measurement. 7th Ed. General Radio Co. W. C. M. 1972.
- 2.- Houssay B.A. Fisiología Humana. Cap. 52, 5^a Ed. El Ateneo.
- 3.- Guyton A.G. Fisiología y Fisiopatología Básica. Cap. 41, 2^a Ed. Interamericana.
- 4.- Ruch T.C. Medical Physiology and Biophysics. Cap. 17 W.B. Jaundres Col Ph. London.
- 5.- Cascajares P.J.L. y otros. Compendio de Anatomía Fisiología e Higiene. Cap. VIII Ed. Edal S.A. México 1976.
- 6.- Tatarinov V.G. Anatomía y Fisiología Humana. Cap. X Ed. Mier. Moscú 1974.
- 7.- F. Barbara Z. Materiales y Procedimientos de Construcción. Vol. I y II.
- 8.- The Industrial Environment-its evaluation and control- U.S. Department of Health, Education and Welfare Public Health Service. Center for disease control. National Institute for Occupational Safety and Health 1973.
- 9.- Industrial Noise- its evaluation and control- Dr. Charles R. Williams. American Industrial Hygienist Association 1964.
- 10.- Rockewell T.H. Real and Imaginary OSHA Noise Violations. Instrumentation Buyer's Guide. March 1981 S.V. Instru-

mentation Reference ISSUE.

- 11.- Warren R. Kudert. (Contributing Editor) How to Measure Impulsive Noise. Instrumentation Buyer's Guide March 1981.
S.V. Instrumentation Reference ISSUE.
- 12.- Marsh D. Instruments for measuring noise. Electronics and Power Vol. 26 No. 2 pag. 173-175 Febrero 1980 INFOTEC, CONACYT.
- 13.- Russell M.F. Technology developoe for controlling noise from products. Vol. 13 No. 2 Noise Control Engineering Sep-Oct. 1979.
- 14.- Thomas N. Stein. Analyzing and controlling noise in process plants. Chemical Engineering March 1980.
- 15.- Walter D.A. Noise in the commercial environment. Technical Information Service March 1979.
- 16.- Skinner R.S. Noise control the worker and environment ICI Acustics Pollution Monitor.
- 17.- Guinter M.J. Noise control from electrical equipment. Vol. 13 No. 3 Noise Control Engineering Nov-Dic. 1979.
- 18.- Andracs Soto J. Ing. Curso de Ruido (Apuntes) Jefatura de Medicina del Trabajo, Depto. de promoción para la prevención del riesgo en el trabajo. IMSS México 1980.
- 19.- ASA. SI. 1-1960 Acustical Terminology (Including Mechani-

cal Shock and vibration)

- 20.- DGN- J - 149-1972 que cambió a DGN-I-41-1972 Norma oficial de terminología empleada en electroacústica.
- 21.- ISO R - 1999/1971 Assesment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes.
- 22.- Baens Paz G. Lic. Instrumentos de investigación 3^a Ed. 1980 Editores Mexicanos Unidos, S.A.
- 23.- Mc. Cabe W.L. y Smith J.C. Vol. II Ed. Reverté. Barcelona- Buenos Aires México 1968 Oneraciones Básicas de Ingeniería Química.
- 24.- Perry R.H. y Chilton C.H. Chemical Engineers' Handbook. 5^a Ed. Mc Graw-Hill Book Co.
- 25.- Marks. Manual del Ingeniero Mecánico. Mc Graw-Hill
- 26.- Normas generales de control de ruido y vibraciones en áreas industriales. Trabajo monográfico. Severo Aoyama Méndo. México D.F. U.N.A.M. (Fac. Química) 1965.
- 27.- J. Baquero F. V. Llorente H. Escudos para la industria química y alimentaria. ED. Alhambra. (37 aula politécnica Zairo).