



**UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

TEMA:

**MEDICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN Y
DISEÑO DE ENCERRAMIENTO**

CURSO : CONTAMINACIÓN ACUSTICA Y VIBRACIONES

PROFESOR : Dr. JOSE VEGA FARFAN

ALUMNOS :
ARBULU CHEREQUE CHEREQUE
ARBULU RAMOS JOSE
CACERES NARREA ANIBAL
CAPUÑAY SENMACHE JOSE
CASTAÑEDA BARBA JORGE
DE CASTAÑEDA GALINA
ESPINOZA MILLONES FRANCISCO
GAMONAL CRUZ HUMBERTO
HOYOS VASQUEZ ENRIQUE
PANTA SAMILLAN VICENTE

I. INTRODUCCIÓN:

Contaminación Acústica, una amenaza a la tranquilidad y salud del ciudadano y la población.

En la sociedad moderna, a la que aspiran y vienen transitando muchos países del mundo, se vive a diario el permanente impacto negativo de la contaminación ambiental de todo tipo. Un problema, muy bien conocido, principalmente por las personas que residen en los núcleos urbanos de las ciudades, es el de la Contaminación Acústica.

Observando las ciudades de nuestro país (incluidos sus pueblos jóvenes), encontramos que en la mayoría de ellas, muchos hospitales, centros de atención médica, asilos de ancianos, centros educativos, instituciones laborales públicas y privadas, y áreas residenciales; están rodeadas por calles y avenidas altamente turgurizadas y congestionadas por vehículos motorizados, actividades económicas y recreativas, obras públicas y privadas, que generan elevados índices de contaminación sonora. Los enfermos, ancianos y niños son los que más sufren con las bocinas de los vehículos; los estudiantes no se concentran en sus labores académicas y muchos trabajadores sufren de estrés y alteraciones psíquicas.

Existen normas internacionales que establecen los niveles permisibles máximos de contaminación sonora en decibeles (dB) que se puedan emitir; y en nuestro país, también han sido elaboradas reglas generales que vienen adecuándose específicamente a la realidad de las diferentes ciudades. Sin embargo, son pocos los que las tienen en cuenta y hacen caso, y casi nadie las hace cumplir, más aún, no existen señales que prohíban el uso de claxon y emisión de ruidos elevados en lugares sensibles y de restricción. A esto se suman las competencias y el marketing comercial y electoral (en época de elecciones) a través de sonidos excesivos emitidos por altavoces y otros equipos sofisticados, las discotecas que han iniciado un calvario sonoro durante las noches, así como las grandes y constantes actividades públicas recreativas generalmente de fin de semana (polladas, parrilladas y demás bulladas) que se realizan en cualquier domicilio o lugar público, ignorando el derecho de tranquilidad de los vecinos.

El estrés, la psicosis, las alteraciones nerviosas y emocionales y la impotencia son, entre otros, los principales efectos de la contaminación acústica, convirtiéndose así en un latente y constante peligro que atenta contra la salud fisiológica y psíquica de la persona. Como profesionales que venimos formándonos en la Maestría de Ingeniería Ambiental, y ciudadanos, nos compete exigir que se pare este creciente problema sonoro, pues, los seres humanos, como también los animales y las plantas, perciben estos ruidos y son sensibles cuando superan los límites normales de percepción, produciéndose entonces un desequilibrio fisiológico y ecológico en general. Asimismo, debemos exhortar a los Municipios y autoridades de turno, local, regional y nacional, para que tengan en cuenta estos problemas y consideren las soluciones en sus Planes Estratégicos de Desarrollo Sostenible y de gobierno.

Por que tenemos derecho a la tranquilidad y a la salud, es nuestro deber promover una actitud responsable en relación a evitar la contaminación sonora, y difundir una educación acústica ciudadana, evitando así sus repercusiones directas e indirectas sobre el hombre y el medio ambiente.

II. ALGUNOS CONCEPTOS Y DEFINICIONES NECESARIAS.

2.1. Vías de propagación del sonido.

El ruido puede propagarse por múltiples vías. A través del aire o a través de un medio sólido en el que parte del sonido se reflejará, parte será absorbida, y el resto transmitido a través del objeto. La cantidad de sonido reflejado, absorbido o transmitido depende de las propiedades del objeto, su forma, del espesor y del método de montaje, así como del ángulo de incidencia y de la onda acústica incidente. La propagación del sonido en el aire depende principalmente del tipo de fuentes de ruido, de su distribución en el espacio y de la topografía, así como de las condiciones de la atmósfera en que se realiza la propagación.

2.2. Tabla de sonidos.

Para medir la contaminación acústica de una ciudad es necesario realizar un monitoreo previo por un período de tiempo representativo, que posibilite elaborar una tabla de sonidos para determinadas horas del día, meses, estaciones del año, y otras condiciones resaltantes; la misma que será la base para establecer acciones de prevención y control. Una ayuda aproximada es la siguiente tabla:



2.3. Nivel de presión sonora.

Es la medición en escala logarítmica, del incremento de presión atmosférica en un punto determinado, por acción de las ondas sonoras de un determinado ruido. El rango de presiones sonoras que hallamos en el campo de control del ruido es tan amplio que es más cómodo emplear el nivel de presión sonora, que al usar la escala logarítmica comprime la amplitud del rango.

2.4. Nivel de potencia sonora.

Es la medición en escala logarítmica de la emisión de la energía acústica de las fuentes. La potencia instantánea (la tasa a la que la energía sonora es radiada en cualquier instante de tiempo) fluctúa considerablemente, de ahí el uso de la escala logarítmica que comprime la del rango y su fluctuación.

2.5. Atenuaciones.

En exteriores, es la disminución del nivel de sonido al aumentar la distancia entre la fuente y el receptor. Es el resultado de varios mecanismos, principalmente la divergencia geométrica desde la fuente de sonido, la absorción de la energía acústica por el aire a través del cual se propagan las ondas sonoras, y el efecto de propagación cerca de las distintas superficies del suelo.

2.5. Espectro de frecuencias.

Cuando se requiere información más detallada sobre un sonido complejo, la gama de frecuencia de 20 Hz a 20 KHz se puede dividir en secciones o bandas. Estas *bandas* suelen tener un *ancho de banda de una octava* o de un *tercio de octava*. Una octava es una banda de frecuencia donde la más alta es dos veces la frecuencia más baja. Este proceso de división de un sonido complejo se denomina análisis en bandas de frecuencia.

2.6. Aislamiento (Encerramiento) y acondicionamiento acústico.

El *aislamiento* del sonido consiste en impedir la propagación del mismo por medio de obstáculos más o menos reflectores, en cambio *absorción* es la disipación de energía en el interior del medio de propagación.

El aislamiento acústico consiste en conseguir que la energía que atraviesa una barrera sea lo más baja posible, lo que supone el instalar materiales que tengan una impedancia lo más diferente posible a la del medio que conduce el sonido. Así, si la transmisión se realiza a través del aire, las barreras deberán ser de materiales densos y pesados. El aislamiento de un elemento constructivo es función de sus propiedades mecánicas y de la denominada *Ley de Masas*, por la cual al aumentar de masa al doble, supone un incremento de 6 dB (A) en el aislamiento acústico.

El acondicionamiento acústico se debe tener muy en cuenta en la construcción y restauración de Iglesias, Teatros, Auditorios, Bibliotecas, etc., en definitiva en todo tipo de recintos donde se va necesitar de una buena inteligibilidad de la palabra o una buena audición de la música para su normal funcionamiento.

III. PRACTICA N° 1

Determinación del nivel de potencia, nivel de presión, líneas isófonas y atenuaciones, del ruido producido por una mezcladora de concreto.

1.1 Equipo usado en la práctica (sonómetro).

El instrumento utilizado para medir el nivel de ruido de la mezcladora de concreto, fue el *sonómetro*, el mismo que nos proporciona una medida (dB) del nivel acústico (promediado en el tiempo) de las ondas sonoras que inciden sobre el micrófono. En el equipo usado, el nivel del sonido lo visualizamos sobre una escala graduada con un indicador de aguja móvil (otro grupo uso uno de indicador digital).

El oído no es igualmente sensible para todas las frecuencias. Por esta razón, incluso aunque el *nivel de presión acústica* de dos sonidos pueda ser el mismo, es posible que pueda interpretarse como de distinto nivel si uno de ellos presenta una mayor concentración en las frecuencias en que el oído es más sensible. Por esta razón se incorporan en los sonómetros *filtros de ponderación* en frecuencia que modifican la sensibilidad del sonómetro con respecto a las frecuencias que son menos audibles por el oído. Muchos sonómetros están provistos de diferentes filtros de ponderación sensibilidad - frecuencia.

La *escala de ponderación A* es la utilizada más frecuentemente (fue la que utilizamos en el sonómetro de la práctica). La escala A está internacionalmente normalizada y se ajusta su curva de ponderación a la respuesta del oído humano. Los valores de nivel acústico medidos con esta escala se conocen como *dB (A)*.

Hay otras escalas de ponderación utilizadas menos frecuentemente tales como la escala B, usada para sonidos de intensidad media, la escala C, usada para sonidos altos, y la escala D, usada para medida del ruido de aviones a reacción. Debido a su buena relación con la respuesta subjetiva, la escala A, es la que se suele utilizar para todos los niveles, siendo poco frecuente el uso de las escalas B, C y D.

Frecuentemente, los sonidos emitidos por las fuentes de ruido fluctúan ampliamente durante un período de tiempo dado. Puede medirse un valor medio del ruido durante dicho período conocido como *nivel de presión acústica equivalente* L_{eq} . Viene a ser, el nivel equivalente de ruido continuo que suministrase la misma energía acústica que la del ruido fluctuante medido en el mismo período de tiempo.



Dimensiones de la fuente de ruido (Máquina mezcladora de concreto)

- ✓ Largo: 1.90 m
- ✓ Ancho: 0.72 m
- ✓ Alto : 1.70 m

Se pide:

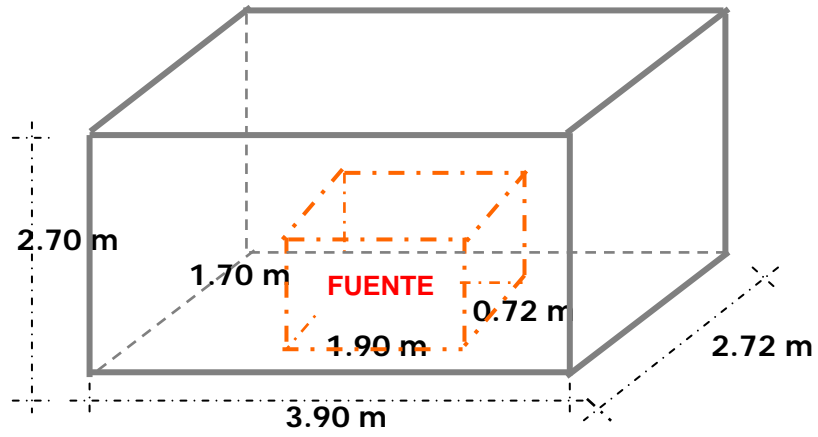
1. Calcular el nivel de potencia de la mezcladora.
2. Calcular el nivel de presión para un punto ubicado a 9.00 m de la fuente y en una dirección correspondiente al acimut 120°

1.1 Resultados.

TRABAJO DE CAMPO

- ✓ Frecuencia: $f = 500$ Hz
- ✓ Presión: 1 atm
- ✓ Temperatura: 22°C
- ✓ Humedad relativa: 78%

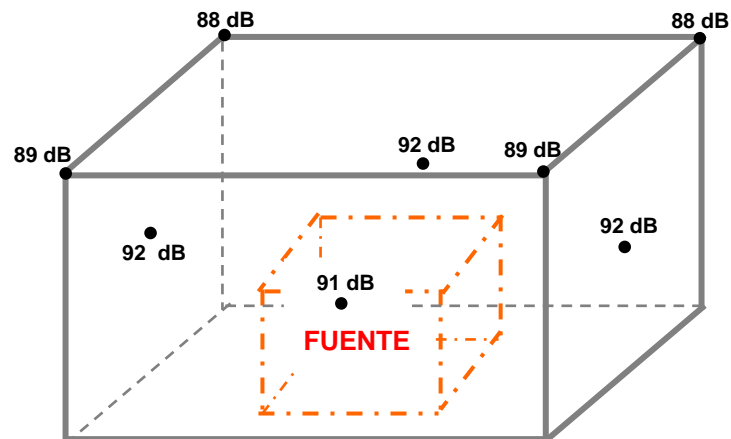




CONSTRUCCIÓN DEL POLÍGONO



MEDICIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN EN EL POLÍGONO, UTILIZANDO UN SONÓMETRO



VALORES DE NIVELES DE PRESIÓN EN EL POLÍGONO

**VALORES DE NIVELES DE PRESIÓN A 6 DISTANCIAS DIFERENTES
Y EN DIRECCIONES QUE VARÍAN DE 30 EN 30°**

PUNTO	ACIMUT MAGNETICO	DISTANCIA (m) / NIVEL DE PRESIÓN (dB)					
		3m	6m	9m	12m	15m	18m
N1	00° 00' 00"	87,0	83,0	78,0	75,0	73,0	70,0
N2	30° 00'00"	85,5	80,0	77,0	74,0	71,0	70,0
N3	60° 00' 00"	87,0	83,0	77,0	75,0	73,0	72,0
N4	90° 00' 00"	87,0	81,0	77,0	73,0	72,0	70,0
N5	120° 00'00"	88,0	78,0	73,0	71,0	70,0	68,0
N6	150° 00' 00"	84,0	79,0	75,0	72,0	70,0	68,0
N7	180° 00'00"	86,0	80,0	77,0	73,0	72,0	69,0
N8	210° 00' 00"	87,0	79,0	75,0	72,0	72,0	71,0
N9	240° 00'00"	87,0	80,0	79,0	75,0	72,0	70,0
N10	270° 00'00"	87,0	79,0	77,0	73,0	71,0	69,0
N11	300° 00' 00"	87,0	80,0	76,0	72,0	70,0	68,0
N12	330° 00'00"	87,0	80,0	77,0	74,0	72,0	70,0

TRABAJO DE GABINETE

Cálculos:

$$L_{\omega} = L\bar{P} + \log S / S_0$$

$$L\bar{P} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum 10^{L_{P_i} / 10} \right]$$

$$S = ab + 2(ac + bc)$$

L_{ω} : nivel de potencia

$L\bar{P}$: nivel de presión promedio

S: área lateral

a: largo

b: ancho

c: altura

1. Cálculo el nivel de potencia de la máquina mezcladora de concreto:

a) Cálculo del nivel de presión promedio

$$L\bar{P} = 10 \log \left[\frac{1}{8} (10^{8.9} + 10^{8.8} + 10^{8.8} + 10^{8.9} + 10^{9.2} + 10^{9.2} + 10^{8.8} + 10^{9.1}) \right]$$

$$L\bar{P} = 89.95 \text{ dB}$$

b) Cálculo del nivel de potencia

$$L_{\omega} = L\bar{P} + \log S / S_0$$

b.1) cálculo del área lateral de la fuente (S_0) y del polígono proyectado (S):

$$S = ab + 2(ac + bc)$$

A_0	b_0	c_0	A	b	c
1.90 m	0.72 m	1.70 m	3.90 m	2.72 m	2.70 m

$$S_0 = 1.90 \times 0.72 + 2(1.90 \times 1.70 + 0.72 \times 1.70) = 10.28 \text{ m}^2$$

$$S = 3.90 \times 2.72 + 2(3.90 \times 2.70 + 2.72 \times 2.70) = 46.36 \text{ m}^2$$

$$L_\omega = 89.95 + 10 \log(46.36 / 10.28)$$

$$L_\omega = 96.49 \text{ dB}$$

2. Cálculo del nivel de presión para un punto ubicado a 15 m de la fuente, en dirección acimut 120°

$$LP = L_\omega - A_{TOTAL}$$

$$A_{TOTAL} = A_{DIV} + A_{AIRE} + A_{SUELO}$$

a) Atenuación por divergencia:

$$A_{DIV} = 20 \log r + 10.9 - C$$

Para: $T = 22^\circ\text{C}$ y $P = 1 \text{ atm}$ \ $C = 0$

$$A_{DIV} = 20 \log 15 + 10.9 - 0$$

$$A_{DIV} = 34.42 \text{ dB}$$

b) Atenuación del aire:

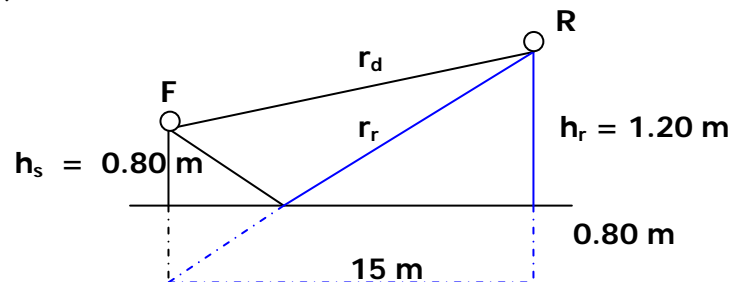
$$A_{AIRE} = \frac{\alpha d}{1000}$$

En tabla 3.1, para $d = 15 \text{ m}$, $T = 22^\circ\text{C}$, $H = 78\%$ y $f = 500 \text{ Hz}$ y luego de interpolar \ $\alpha = 2.80$

$$A_{AIRE} = \frac{2.80 \times 15}{1000} = 0.042$$

c) Atenuación del suelo:

d)



$$r_r = \sqrt{15^2 + (0.80 + 1.20)^2} = 15.13m$$

$$\lambda = V/f = 344/500 = 0.69$$

$$r_r - r_d = 15.13 - 15.00 = 0.13$$

$$(r_r - r_d) < \lambda$$

En tabla 3.2, para suelo blando y luego de interpolar:

$$A_{SUELO} = 2.54 \text{ dB}$$

$$A_{TOTAL} = 34.42 + 0.042 + 2.54 = 37.00 \text{ dB}$$

$$LP = 96.49 - 37.00 = 59.49 \text{ dB}$$

Nivel de presión medido = 70.00 dB

Nivel de presión calculado = 59.49 dB

Conclusión:

La diferencia entre el nivel de presión medido y el calculado se debe a:

- ☒ Que el ruido producido por las piedras en el trompo no era constante sino intermitente.
- ☒ A la oscilación de la aguja del Sonómetro.
- ☒ A la incorporación de ruidos producidos por los asistentes.

IV. PRACTICA N° 2

DISEÑO DE ENCERRAMIENTO PARA LA ATENUACIÓN DEL RUIDO PRODUCIDO POR LA MAQUINA DE LOS ANGELES

1. SOLUCIÓN A LA CONTAMINACIÓN SONORA: Recomendaciones y medios para evitarla.

Para controlar el ruido irritante que es cada vez más un agente contaminante de nuestro ambiente, contamos afortunadamente con tecnología moderna (también una de las principales causas del problema), que posibilita los medios de disminuir su producción, propagación y consecuencia en el hombre.

1.1. Recomendaciones:

Teniendo en cuenta la importante función que tienen la información y la prevención con relación al daño producido por niveles de ruido intensivos. Recomendamos lo siguiente, para prevenir la contaminación sonora en Chiclayo y en los lugares donde se realizaron las prácticas:

- Informar al público en general, en especial a los responsables de riesgo de contaminación y a las víctimas potenciales.
- Incitar a las empresas y fabricantes de maquinarias a instalar material fónico de aislamiento donde sea necesario a fin de asegurar una efectiva protección colectiva del personal.
- Convencer a los trabajadores y empleados de usar aparatos de protección individual contra los ruidos fuertes.
- Informar a los jóvenes sobre los riesgos del culto al ruido (droga acústica), motocicletas, equipos musicales, conciertos rock, discotecas, walkman, etc.
- Solicitar y promover regulaciones legales adecuadas contra los niveles de sonido intensivos en lugares públicos, de vacaciones, hogares de convalecencia y autopistas (muros aislantes).
- Respalda las sanciones legales y observar la eficacia de las medidas de control.
- Convencer a todas las autoridades educacionales de incluir enseñanza en todos los niveles del colegio sobre la prevención y eliminación de la contaminación acústica.

1.2. Medios para evitar la contaminación sonora:

Acciones normativas:

La necesidad de proteger a los ocupantes de las ciudades de las molestias físicas y psíquicas que ocasionan los ruidos debe llevar a la formulación de normas específicas y con detalles de distancias y otras condiciones de medición. Será necesario establecer las condiciones mínimas exigibles a los edificios para mantener en ellos un nivel acústico aceptable, así como la promulgación de las *Ordenanzas Municipales* para la protección del medio ambiente y confort de los ciudadanos contra las perturbaciones por ruidos y vibraciones generadas por actividades molestas, máquinas y equipos.

Será obligación del Empresario reducir al nivel más bajo técnica y razonablemente posible los riesgos derivados de la exposición al ruido, habida cuenta del progreso técnico y de las disponibilidades de control del ruido. Se deberá evaluar la exposición de los trabajos al ruido con el objeto de determinar si superan los límites fijados, comprendiendo la evaluación de los puestos de trabajo existentes en la fecha de promulgación de la norma, o la de los existentes que hayan sufrido modificaciones que supongan una variación significativa en la exposición de los trabajadores al ruido, y evaluaciones periódicas, como máximos anuales.

Medidas preventivas en los Centros laborales:

En los puestos de trabajo en los que el nivel diario equivalente supere 80 dB(A) deberán adoptarse las siguientes medidas:

- Proporcionar a cada trabajador una información, y cuando proceda, una formación adecuada con relación a la evaluación de su exposición al ruido y los riesgos potenciales para su audición, las medidas preventivas adoptadas, con especificación de las que tengan que ser llevadas a cabo por los propios trabajadores, y los resultados.
- Realizar un control médico inicial de la función auditiva de los trabajadores, así como posteriores controles periódicos, como mínimo quinquenales.
- Proporcionar protectores auditivos a todos los trabajadores expuestos.

En los puestos de trabajo en los que el nivel diario equivalente supere 85 dB (A) se adoptarán las medidas preventivas indicadas anteriormente, con las siguientes modificaciones:

- El control médico periódico de la función auditiva de los trabajadores deberá realizarse, como mínimo, cada tres años.
- Deberán suministrarse protectores auditivos a todos los trabajadores expuestos.

En los puestos de trabajo en los que el nivel diario equivalente o nivel de pico superen 90 dB(A) ó 140 dB, respectivamente, se analizarán los motivos por los que se superan tales límites y se desarrollará un programa de medidas

técnicas destinado a disminuir la exposición de los trabajadores al ruido. De todo ello se informará a los trabajadores afectados, así como a los órganos internos competentes en seguridad e higiene.

Pantallas acústicas:

Para evitar la transmisión de las ondas sonoras en campo libre, se puede intercalar un apantallamiento entre el emisor y el receptor.

Existen muchas variantes de apantallamientos, plantaciones vegetales, *pantallas acústicas* propiamente dichas, etc. (una muestra de ello presentamos en el Anexo).

Silenciadores

Para atenuar la propagación de las ondas sonoras que acompañan un flujo de aire o gas en movimiento sin impedir el paso de estos, se utilizan *silenciadores*. Estos suelen estar formados principalmente por un material absorbente que disipa la energía acústica transmitida a través del silenciador juntamente con el flujo del fluido o en los silenciadores en los que la atenuación se debe principalmente a la geometría interna del silenciador, es decir, a las formas y volúmenes de los recintos interiores.

Aislamientos (Encerramientos):

Cuando es posible y necesario, debe impedirse la propagación del ruido molesto en un recinto cerrado, mediante aislamientos o encerramientos, los mismos que deben estar correctamente diseñados en cuanto a dimensiones y material a usar, a fin que cumpla con el nivel de reducción del ruido que evite contaminación y proporcione bienestar y confort a las personas.

LA SOLUCIÓN A LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA



Debido a los efectos de atenuación, la colocación de pantallas acústicas es una práctica habitual en los países desarrollados desde hace años, estudiándose cada vez más los aspectos estéticos y de integración en el paisaje. Por esto, DANOSA ha desarrollado unas pantallas acústicas capaces de atenuar el ruido producido por las distintas fuentes sonoras existentes en el medio urbano, cuidando a la vez la integración paisajística de las pantallas en la zona donde se ubican.

Lo más adecuado para combatir el ruido del tráfico, es interponer una pantalla acústica entre el foco emisor y el elemento receptor, que tenga la altura precisa para reducir el nivel sonoro producido por el emisor en la fachada del edificio o zona a proteger. Acústicamente la pantalla opera reflejando una parte de la energía, aislando y absorbiendo otra parte, y difractando el resto.

El cálculo de la atenuación se basa en la teoría de la altura eficaz, dadas las características de la fuente, del receptor, y la posición de los mismos, y se contrasta con las teorías indicadas por Maekewa y Moreland.





PANTALLA ACÚSTICA METÁLICA

Pantalla compuesta por paneles fabricados con chapa perforada y lisa, de acero laminado o de aluminio. En su interior se incorpora material de aislamiento acústico, compuesto por lanas minerales de gran resistencia a la intemperie.

Todos los paneles y perfiles estructurales son galvanizados y lacados al horno con imprimación fosfatante y pintura de poliéster en polvo polimerizada al horno.

Ofrece versatilidad de diseño y color, ligereza y facilidad de montaje, y elevado coeficiente de absorción.

PANTALLA ACÚSTICA HORMIGÓN LIGERO

Pantalla de hormigón poroso suavemente coloreado, sobre base de hormigón armado. Se caracteriza por su elevado aislamiento acústico, resistencia mecánica, durabilidad y escaso mantenimiento.

PANTALLA ACÚSTICA TRANSPARENTE

Pantalla acústica formada por paneles compuestos por una plancha de polimetacrilato de metilo extrusionado, con estructura envolvente a base de perfiles L. Presenta una excelente resistencia al impacto, al envejecimiento y a la corrosión, además de una gran transmisión luminosa.



MAQUINA DE LOS ANGELES



MEDICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN (MAQUINA DE LOS ANGELES)

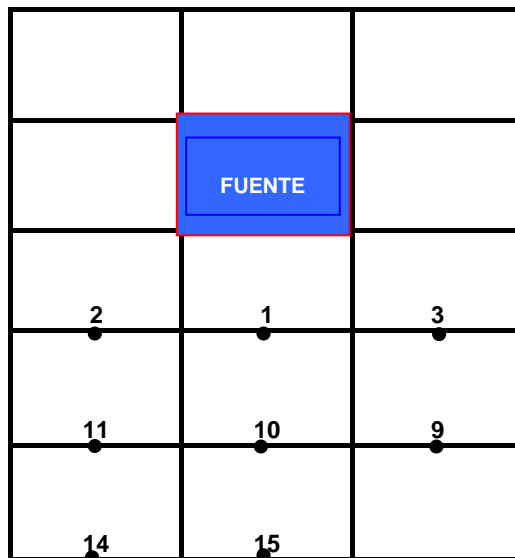


DOSÍMETRO



DOSÍMETRO

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO



VALORES DE NIVELES DE PRESIÓN A DIFERENTES FRECUENCIAS
(INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: DOSÍMETRO)

Puntos	Frecuencias (Hz) vs Niveles de presión (dB)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
p1	110,0	110,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	111,0	109,0	108,0
p2	108,0	107,0	107,0	107,0	108,0	107,0	108,0	107,0	107,0	107,0
p3	106,0	108,0	107,0	107,0	108,0	108,0	107,0	107,0	108,0	108,0
p9	103,0	107,0	106,0	107,0	106,0	107,0	106,0	107,0	105,0	105,0
p10	107,0	108,0	108,0	107,0	108,0	107,0	107,0	107,0	108,0	108,0
p11	106,0	107,0	107,0	107,0	106,0	107,0	106,0	107,0	108,0	107,0
p14	107,0	106,0	104,0	106,0	105,0	104,0	103,0	104,0	106,0	105,0
p15	102,0	105,0	102,0	103,0	102,0	102,0	103,0	105,0	104,0	105,0

El nivel de presión máximo (111 dB), se presenta en el punto N° 1 ubicado a 1.00 m de la fuente y a la frecuencia de 4000 Hz.

Si consideramos reducir el ruido desde 111 dB a 90 dB.

$$R = 20\log(m.f) - 48$$

$$R = 111 - 90 = 21 \text{ dB}$$

$$\log(4000 \times m) = (21 + 48) / 20 = 3.45$$

$$m = \frac{10^{3.45}}{4000} = 0.705 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$