

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA PREDICCIÓN DE  
NIVELES DE RUIDO EN INSTALACIONES DE GAS Y  
PETRÓLEO.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Theot M. Marcel G, para  
optar al título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2001

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA PREDICCIÓN DE  
NIVELES DE RUIDO EN INSTALACIONES DE GAS Y  
PETRÓLEO.**

Tutor Académico: Ing. Felix Flores

Tutor Industrial: Ing. Jorge Vincentelli

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Theot M. Marcel G, para  
optar al título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2001

## **RESUMEN**

**Theot M. Marcel G.**

### **DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN INSTALACIONES DE GAS Y PETRÓLEO.**

**Tutor Académico Prof. Ing. Felix Flores. Tutor industrial Ing. Jorge Vincentelli. Tesis. Caracas UCV.**

**Facultad de ingeniería. Escuela Mecánica. 2001, N° 120 pag.**

Ruido. Procedimiento. Predicción

El objetivo de este trabajo, es crear un procedimiento para lograr predecir los niveles de ruido que se pueden presentar en instalaciones de gas y petróleo. Para ello se definirán los tipos de equipos que se utilizan en dicha instalación.

El trabajo consiste en estimar el nivel de potencia sonora generado por cada equipo, a través de ecuaciones empíricas, luego realizar un cálculo de la atenuación debida a varios factores, pudiendo estimar el nivel de ruido al que se encuentra sometido un determinado espacio físico dentro de la planta.

Además se realizó un estudio de ruido en parte de la planta de Acogas ubicada en Jusepín Estado Monagas, comparando los resultados obtenidos con los resultados teóricos, para luego proceder a modificar algunas de las ecuaciones empíricas utilizadas.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, que constituyen lo más importante en mi vida, que gracias a su esfuerzo y constancia, han logrado que hoy en día cuente con una formación integral, por inculcarme desde mis primeros pasos los principios de constancia, dedicación, amor y honestidad, los cuales me dieron herramientas para poder cumplir con mi meta. Además por apoyarme en todos mis proyectos e ideas, dándome su opinión, su experiencia y su ejemplo.

### **AGRADECIMIENTOS**

- Al Ingeniero Felix Flores, por concederme su tiempo, equipos, conocimientos y experiencia en el área, para poder llevar a cabo éste trabajo.
- A la empresa INELECTRA S.A, por brindarme su apoyo y la oportunidad de poder desarrollar este proyecto esencial para mi graduación.
- A la planta de Acogas, propiedad de PDVSA, por concederme sus instalaciones para realizar las diferentes medidas de ruido, sin las cuales no podría concluir éste trabajo.
- A los profesores de buena mística y voluntad de enseñar que durante el estudio de la carrera me enseñaron no solo a ser un buen profesional sino a ser una mejor personal cada día.
- A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por albergarme en sus instalaciones y enseñarme a ser una persona cada día mejor tanto en lo personal como en lo profesional.

## Índice

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
3.1	OBJETIVO GENERAL: .....	5
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	5
<b>4</b>	<b>MARCO TEORICO</b> .....	<b>6</b>
4.1	SONIDO .....	6
4.1.1	<i>Propiedades de las ondas sonoras</i> .....	6
4.1.2	<i>Niveles</i> .....	8
4.2	PROPAGACIÓN DEL SONIDO AL AIRE LIBRE .....	14
4.2.1	<i>Cálculo de la atenuación al aire libre</i> .....	14
4.2.2	<i>Atenuación por divergencia geométrica (<math>A_{div}</math>)</i> .....	14
4.2.3	<i>Atenuación resultante de la absorción del aire (<math>A_{aire}</math>)</i> .....	15
4.2.4	<i>Atenuación debida al suelo (<math>A_{suelo}</math>)</i> .....	16
4.2.5	<i>Barreras</i> .....	18
4.3	PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIOS CERRADOS.....	23
4.3.1	<i>Reflexión de las ondas sonoras</i> .....	23
4.3.2	<i>Reverberación</i> .....	24
4.3.3	<i>Reflexiones múltiples del sonido en un local cerrado</i> .....	25
4.3.4	<i>Absorción del sonido por los materiales, el mobiliario y el aire</i> ..	25
4.3.5	<i>Absorción sonora total en un local cerrado</i> .....	26
4.3.6	<i>Nivel de presión sonora del sonido reflejado (<math>L_r</math>)</i> .....	28
4.3.7	<i>Nivel de presión sonora directo (<math>L_d</math>)</i> .....	29
4.3.8	<i>Nivel de presión sonora combinada</i> .....	30
4.3.9	<i>Factor directividad</i> .....	30
4.3.10	<i>Transmisión del sonido a través del aire</i> .....	30
4.4	EL OÍDO .....	33
4.4.1	<i>El oído externo</i> .....	33

## Indice

---

4.4.2	<i>El oído medio.....</i>	34
4.4.3	<i>El oído interno: .....</i>	34
4.4.4	<i>Efectos del ruido en el hombre .....</i>	35
4.5	<b>RUIDO .....</b>	<b>37</b>
4.5.1	<b>INSTRUMENTOS DE MEDIDA ACÚSTICA.....</b>	<b>37</b>
4.5.2	<i>Exposición sonora.....</i>	39
4.5.3	<i>Control del ruido .....</i>	39
<b>5</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA LA PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO</b>	<b>43</b>
5.1.1	<i>Determinación de las fuentes de ruido continuo.....</i>	43
5.1.2	<i>Ubicación dentro de la planta de las fuentes de ruido. ....</i>	43
5.1.3	<i>Conocer los datos de funcionamiento requeridos para la estimación del nivel de potencia sonora de cada tipo de fuente.....</i>	43
5.1.4	<i>Estimación los niveles de potencia sonora producto de dichas fuentes.....</i>	44
5.1.5	<i>Condiciones atmosféricas del lugar. ....</i>	56
5.1.6	<i>Estimación del nivel de presión sonora directo. ....</i>	56
5.1.7	<i>Estimación el nivel de presión sonora reflejado (en caso de espacio cerrado). ....</i>	58
5.1.8	<i>Estimar las pérdidas por transmisión del sonido a través de las divisiones. ....</i>	60
5.2	<b>CONTROL DEL RUIDO .....</b>	<b>62</b>
5.2.1	<i>Control del ruido en la fuente .....</i>	62
5.2.2	<i>Control del ruido en el medio.....</i>	69
5.3	<b>PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DEL RUIDO .....</b>	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>92</b>
7.1	<b>METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....</b>	<b>92</b>
7.2	<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>94</b>

Indice

---

<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>102</b>
<b>9</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>103</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>104</b>
<b>11</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>106</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles son la principal fuente de energía hoy en día a escala mundial. El gas y el petróleo tienen una alta demanda y la economía mundial depende del mercado de estos productos. Estos combustibles, para ser utilizados deben ser explotados y procesados, para ello el hombre ha creado procesos industriales en los cuales se transforman dichos hidrocarburos en productos derivados. Estos procesos se llevan a cabo en plantas o instalaciones de gas y petróleo.

En las instalaciones dedicadas al procesamiento de gas y petróleo se llevan a cabo diferentes procesos, con equipos los cuales, en su funcionamiento producen ruido. En este sentido las leyes establecen un nivel de ruido máximo para las jornadas laborales, el cual se basa en estudios estadísticos. En la normativa nacional ese nivel se establece en 85 decibeles para una jornada de trabajo de 8 horas diarias.

Una de las formas de contaminación es la contaminación sónica, cuyo principal agente es el ruido. El hombre ha tenido la necesidad de poder evaluar este tipo de contaminación, para ello ha buscado la manera de medirla y clasificarla.

En los últimos años, la higiene y seguridad industrial, ha elevado su nivel de importancia en la industria, ya que existen enfermedades ocupacionales, las cuales anteriormente no eran tomadas en cuenta. Por ésta razón a escala mundial, se han establecido leyes y normas para proteger a los trabajadores de dichas enfermedades y de accidentes debido a situaciones inseguras en los lugares de trabajo.

Un problema para los diseñadores de estas instalaciones es poder predecir el nivel de ruido que se va a encontrar en dicha planta, para tomar las medidas necesarias en su control, no afectando así a los trabajadores que allí laboren ni a las personas y animales que se encuentren en sus alrededores.

## Introducción

---

En consecuencia nace la inquietud de diseñar un procedimiento para la predicción de niveles de ruido en las instalaciones de gas y petróleo, para poder conocer los niveles de ruido que se van a generar en las diferentes zonas de la planta, para así tomar las medidas necesarias para su control.

Para realizar dicho procedimiento, se evaluarán las variables básicas para predecir los niveles de ruido, como son el nivel de potencia sonora en decibeles de las fuentes de ruido, la atenuación debida a varios factores.

Los niveles de presión sonora estimados a través del procedimiento serán comparados con los niveles de ruido existentes en una planta, para ello se procederá a la Planta de Acogas ubicada en Jusepín estado Monagas, donde se realizaran mediciones de ruido en diferentes ubicaciones.

Además se diseñará un procedimiento de control de ruido en el cual se toma en cuenta todos los tipos de control que se emplean en plantas, para así poder escoger cual sistema es el más óptimo.

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En las diferentes plantas utilizadas para la extracción y explotación del petróleo y el gas, se llevan a cabo muchos procesos, con diferentes equipos que producen altos niveles de ruido el cual afecta a las personas cercanas a la planta y a los trabajadores que laboren en ella.

El problema planteado es diseñar un procedimiento que permita predecir los niveles de ruido que se estiman encontrar en diferentes lugares de una planta, para así poder incluir en el diseño, mejoras que controlen los niveles de ruido a los cuales van a estar expuestos los trabajadores.

Para el diseño de éste procedimiento se debe tomar en cuenta las siguientes variables:

1. Fuentes de ruido continuo.
2. Nivel de potencia sonora generado por cada fuente.
3. Leyes de propagación del sonido al aire libre y en espacios cerrados.
4. Ubicación de las fuentes de ruido.
5. Distancia entre el punto en observación y las fuentes de ruido.
6. Condiciones atmosféricas (temperatura de bulbo seco, humedad relativa).
7. Las fuentes de ruido serán tomadas como fuentes puntuales.
8. Las propiedades acústicas de los materiales de construcción.

Luego después de evaluar el nivel de ruido en la planta, se debe proceder a conocer las variables para el control del mismo, para ello, se debe conocer la Legislación Nacional en éste sentido, estipulada por la Norma COVENIN 1565-1995, la forma de evaluación de los niveles de ruido, así como los niveles permisibles a los que puede estar expuesto una persona.

Para realizar un control efectivo del ruido, se debe seguir un procedimiento, en el cual se deben tomar en cuenta las siguientes variables:

1. Conocer las fuentes de ruido y su medio de propagación.
2. Conocer las ventajas y desventajas de las diferentes formas de atenuación del ruido.

## Planteamiento del Problema

---

3. Conocer las diferentes medidas de control de ruido para cada tipo de fuente.
4. Tener un objetivo de diseño.
5. Evaluar las diferentes opciones para el control del ruido.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Predecir los niveles de ruido en instalaciones petroleras y de gas.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Calificar el tipo, naturaleza e intensidad del ruido producidos por equipos utilizados en plantas de petróleo y de gas.
- Comparar los resultados obtenidos de forma teórica con los niveles reales de ruido.
- Conocer los diferentes dispositivos de atenuación de ruido según fuente emisora, medio de transmisión y receptor.

## 4 MARCO TEORICO

### 4.1 SONIDO

Es una alteración física a través de un medio elástico, (gas, líquido, sólido), que puede ser detectado por el oído humano. Se puede definir como la sensación auditiva excitada por una perturbación en el medio.

#### 4.1.1 *Propiedades de las ondas sonoras*

**Velocidad del sonido:** se define así a la velocidad con que se desplazan las ondas sonoras en el medio, depende de la naturaleza del medio y es proporcional a la temperatura del medio, se designa con la letra  $c$ .

**Ondas planas:** son aquellas que poseen la misma dirección de propagación en todos los puntos, y la dirección es perpendicular al frente de onda.

**Ondas esféricas:** son aquellas ondas cuyos frentes forman círculos concéntricos.

**Frecuencia:** es el número de veces que la onda sonora se repite a sí misma en un período de tiempo, la unidad de tiempo es el segundo y la unidad de frecuencia es el hertzio (Hz) o ciclo por segundo, se designa con la letra  $f$ .

**Período:** es el tiempo, que tarda una onda sonora en cumplir un ciclo y es el inverso de la frecuencia, la unidad del período es el segundo y se designa con la letra  $T$ .

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 4.1.1}$$

**Longitud de onda:** es la distancia perpendicular entre dos frentes de onda que poseen la misma fase. Esta longitud es la distancia recorrida por la onda sonora en un ciclo completo de vibración. Se designa con la letra  $\lambda$ , se encuentra relacionada con la frecuencia  $f$  y la velocidad del sonido según la siguiente expresión:

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad ^1 \quad \text{Ec. 4.1.2}$$

**Movimiento armónico simple:** es un movimiento que puede describirse con una onda sinusoidal, esta onda puede ser representada matemáticamente mediante la función seno:

$$x = A * \text{Sen}(2 * \pi * f) * t \quad ^1 \quad \text{Ec. 4.1.3}$$

$A$  = amplitud de la vibración.

$x$  = elongación.

$t$  = tiempo

**Presión sonora:** es la variación en la presión atmosférica en un punto producida por el paso de las ondas sonoras, y viene dada por la siguiente relación:

$$p = p_0 * \text{Sen}(2 * \pi * f) * t \quad ^1 \quad \text{Ec. 4.1.4}$$

$p$  = presión sonora

$p_0$  = constante denominada amplitud de presión.

**Amplitud de raíz cuadrática media (RMS):** es la raíz cuadrada de la suma de los desplazamientos medios durante un período.

**Ondas Complejas:** son aquellas ondas que poseen mas de un componente de frecuencia, puede demostrarse que una onda compleja se encuentra compuesta de una serie de ondas armónicas simples.

**Difracción del sonido:** es el cambio en la dirección de la propagación de las ondas sonoras cuando chocan con un obstáculo.

**Potencia Sonora:** es la energía sonora irradiada por una fuente en un intervalo de tiempo, su unidad es el vatio y su letra símbolo es W.

**Intensidad del sonido:** en una dirección específica, en un punto del campo sonoro es igual al flujo de energía sonora a través de un área perpendicular a la dirección específica.

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

#### 4.1.2 Niveles

El nivel es el logaritmo de la razón de una cantidad dada respecto de una cantidad de referencia del mismo tipo. Hay que indicar la base del logaritmo, la cantidad de referencia y el tipo de nivel. Para el caso de sonido, la base del logaritmo es 10 y el nivel puede ser de tres tipos, nivel de presión sonora, nivel de potencia sonora o nivel de intensidad sonora.

El Decibelio (dB), es una unidad de nivel que denota la relación de dos cantidades que son proporcionales en su potencia, el número de decibelios es 10 veces el logaritmo de base 10 de la relación entre estas dos cantidades.

##### 4.1.2.1 Nivel de potencia sonora ( $L_w$ )

Al representar la potencia sonora en una escala logarítmica, se obtiene el nivel de potencia sonora de una fuente, el cual en dB se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$L_w = 10 * \text{Log}_{10} \left( \frac{W}{W_0} \right) \quad ^1 \quad \text{Ec. 4.1.5}$$

$W$  = potencia de la fuente en vatios.

$W_0$  = potencia de referencia en vatios ( $10^{-12}$  vatios)

##### 4.1.2.2 Nivel de presión sonora ( $L_p$ )

El nivel de presión sonora en dB viene dado por:

$$L_p = 20 * \text{Log}_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad ^1 \quad \text{Ec. 4.1.6}$$

$p$  = presión sonora correspondiente en micropascales

$p_0$  = presión sonora de referencia (20 micropascales)

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

#### 4.1.2.3 Nivel de intensidad sonora ( $L_I$ )

El nivel de intensidad sonora en dB viene dado por la siguiente expresión:

$$L_I = 10 * \text{Log}_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad ^1 \quad \text{Ec. 4.1.7}$$

$I$  = intensidad del sonido en  $\text{W/m}^2$ .

$I_0$  = intensidad sonora de referencia ( $10^{-12} \text{W/m}^2$ )

#### 4.1.2.4 Niveles sonoros ponderados

Son aquellos que se obtienen a partir de las lecturas de un sonómetro, aunque pueden ser calculados según la tabla 4.1. Ya que el oído no es igualmente sensible a todas las frecuencias, la ponderación en frecuencia se incorporan los sonómetros, para alterar la sensibilidad del aparato respecto a la frecuencia, de manera que sea menos sensible a frecuencias en las que el oído humano es menos sensible.

Para tener en cuenta este cambio de sensibilidad en función de la frecuencia, se han incorporado tres características de respuesta en frecuencia en los sonómetros, identificándose como ponderaciones A, B, C, el nivel sonoro con ponderación A es el más utilizado, ya que tiene en cuenta, la sensibilidad reducida de la audición humana normal para frecuencias bajas, comparada con la respuesta frente a frecuencias altas. El nivel sonoro con ponderación C, la respuesta es bastante uniforme, discrimina poco las bajas frecuencias y por esta razón es utilizado para ruidos de impacto.

#### 4.1.2.5 Nivel de banda de octava

Una medida importante del sonido es su distribución en frecuencia, para ello se utilizan los analizadores de espectro. El nivel de presión sonora

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

dentro de una banda con una octava de anchura se denomina nivel de banda de octava.

**Tabla 4.1<sup>1</sup>**

Corrección de la potencia sonora con ponderación A.	
Frecuencia Hz	Ponderación A dB
25	-44,7
31,5	-39,4
40	-34,6
50	-30,2
63	-26,2
80	-22,5
100	-19,1
125	-16,1
160	-13,4
200	-10,9
250	-8,6
315	-6,6
400	-4,8
500	-3,2
630	-1,9
800	-0,8
1000	0
1250	0,6
1600	1
2000	1,2
2500	1,3
3150	1,2
4000	1
5000	0,5
6300	-0,1
8000	-1,1
10000	-2,5

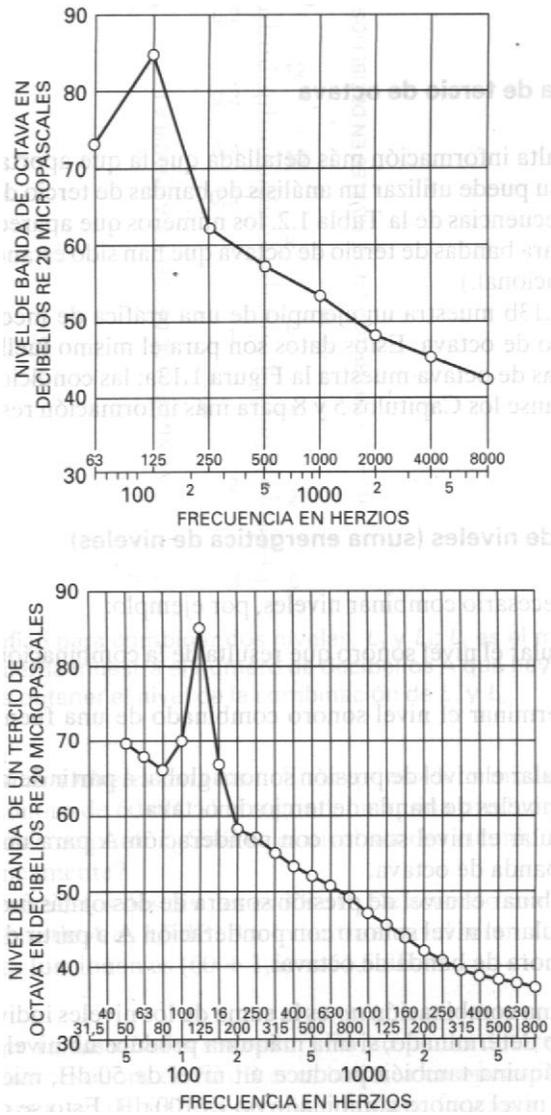
#### 4.1.2.6 Nivel de banda de tercio de octava

Este nivel se utiliza cuando es necesario una información mas detallada en la figura 4.1, se observa el análisis de banda de octava y de banda de tercio de octava, para la misma fuente de ruido.

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

Fig 4.1<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

#### 4.1.2.7 Nivel sonoro continuo equivalente (Leq)

Es el nivel de un ruido estable que corresponde al promedio integral en el tiempo de la presión sonora al cuadrado con ponderación de frecuencia producto de fuentes estables, intermitentes, fluctuantes, o impulsivos en el mismo intervalo de tiempo, ésta cantidad es medida directamente con un sonómetro integrador.

El nivel sonoro continuo equivalente para un intervalo de tiempo T, viene dado por:<sup>1</sup>

$$L_{eq} = 10 * \text{Log}_{10} \left\{ \left[ \left( \frac{1}{T} \right) * \int_{t1}^{t2} p^2(t) dt \right] / p_0^2 \right\} \quad \text{Ec. 4.1.8}$$

Donde:

**p** = es la presión sonora instantánea con ponderación A en pascales, en función del tiempo **t**.

**T** = intervalo de tiempo que comienza en **t1** y termina en **t2**.

**p<sub>0</sub>** = presión de referencia normalizada en 20 micro pascales.

#### 4.1.2.8 Combinación de niveles

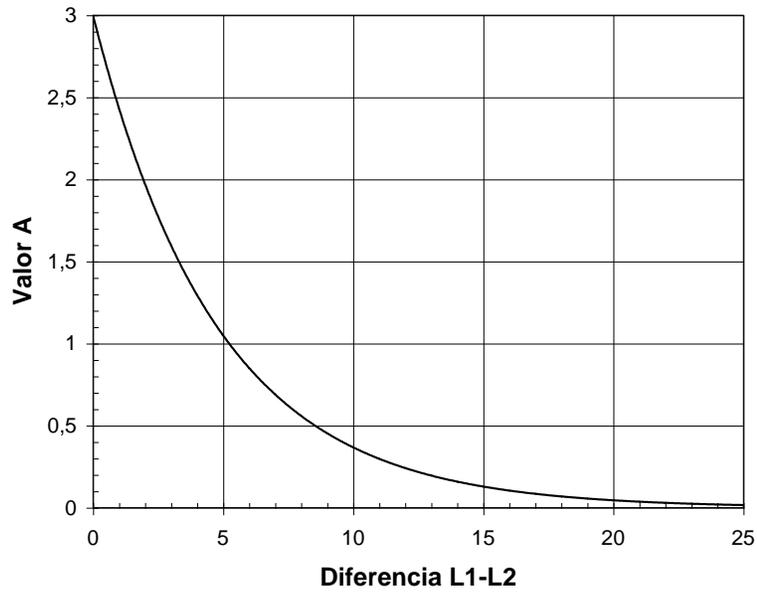
A menudo es necesario la combinación de niveles, para obtener niveles totales de ruido de diferentes fuentes, ya que el nivel sonoro en decibelios no es una relación lineal, para lograr la combinación de niveles, se puede proceder a través de las siguientes formas:

1. Supongamos que L1 es el nivel debido a una fuente de sonido y L2 es el nivel debido a una segunda fuente, y L1 > L2. Entonces, el nivel de la combinación de ambas fuentes es igual a (L1 + A), donde A, es el número de decibelios a añadir al nivel mayor y viene dado en la Figura (4.2).

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

Fig 4.2<sup>1</sup>



2. La combinación de decibeles viene dada a través de la siguiente ecuación: <sup>1</sup>

$$L_{comb} = 10 * \text{Log}_{10} \sum_{j=1}^n 10^{0,1 * L_j} \quad \text{Ec. 4.1.9}$$

$L_j$  = nivel sonoro en la iteración j.

$L_{comb}$  = Nivel sonoro combinado.

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

## 4.2 PROPAGACIÓN DEL SONIDO AL AIRE LIBRE

La propagación del sonido al aire libre suele originar una disminución de nivel al aumentar la distancia entre la fuente y el receptor, esto se debe fundamentalmente a tres causas las cuales son:

1. Atenuación por divergencia geométrica.
2. Atenuación resultante por la absorción del aire.
3. Atenuación debida al suelo.

Las condiciones atmosféricas, viento y temperaturas principalmente, tienen efectos importantes sobre la propagación del sonido a distancias mayores a 100 metros.

### 4.2.1 Cálculo de la atenuación al aire libre

La atenuación total  $A_{total}$  viene dada por:<sup>1</sup>

$$A_{total} = A_{div} + A_{aire} + A_{suelo} \quad \text{Ec. 4.2.1}$$

Los términos debidos a la divergencia geométrica ( $A_{div}$ ), absorción del aire ( $A_{aire}$ ) y el efecto suelo ( $A_{suelo}$ ) de esta ecuación deben considerarse en primer lugar por ser casi universales.

### 4.2.2 Atenuación por divergencia geométrica ( $A_{div}$ )

Es la disminución de la intensidad del sonido por la expansión esférica de la energía acústica en campo libre a partir de una fuente puntual. Viene dada por la siguiente ecuación:<sup>2</sup>

$$L_{div} = 10 * \text{Log}_{10} \frac{DF}{4 * \pi * r^2} + C \quad \text{Ec. 4.2.2}$$

$r$  = distancia desde la fuente puntual en metros.

$C$  = corrección en decibelios debida a la presión y la temperatura fig.

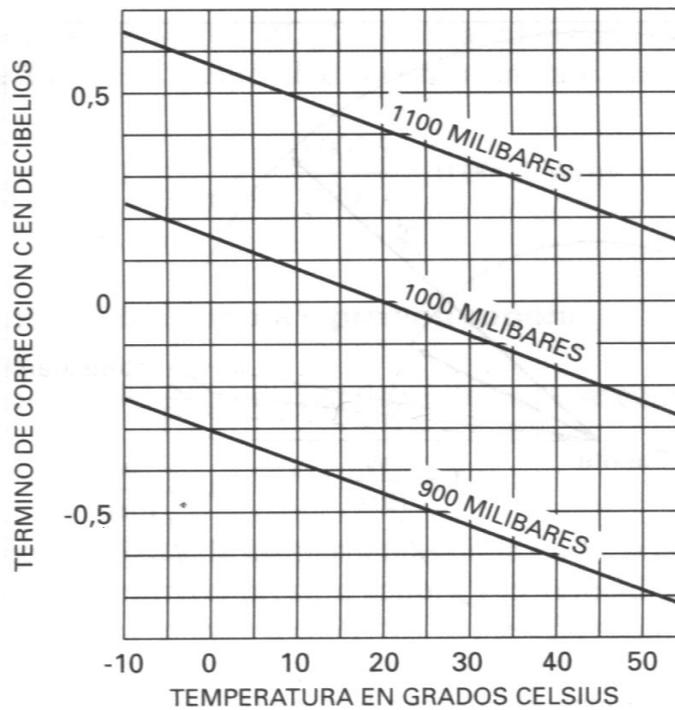
4.2

$DF$  = Factor de Directividad. (Tratado mas adelante).

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

<sup>2</sup> Fuente Talty, John.

Fig 4.2<sup>1</sup>



#### 4.2.3 Atenuación resultante de la absorción del aire ( $A_{aire}$ )

Es la disminución de la intensidad del sonido al propagarse a través de la atmósfera, debida a la conversión de energía acústica en calor. Viene dada por la siguiente ecuación:<sup>1</sup>

$$A_{aire} = \frac{\alpha * d}{1000} \quad \text{Ec. 4.2.3}$$

$\alpha$  = coeficiente de atenuación (Tabla 4.2) del aire en decibelios por kilometro.

$d$  = distancia en metros.

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

**Tabla 4.2<sup>1</sup>**

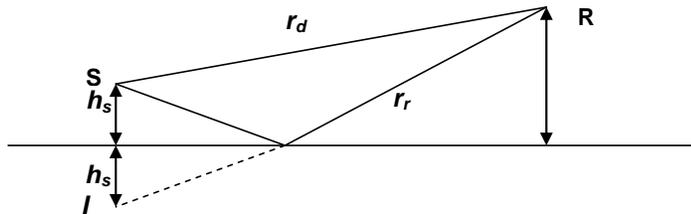
Coeficiente de atenuacion del aire, dB/km, para presion de 101,3 kPa		Frecuencia, Hz					
Temperatura	Humedad Relativa, %	125	250	500	1000	2000	4000
30 °C	10	0,96	1,8	3,4	8,7	29	96
	20	0,73	1,9	3,4	6	15	47
	30	0,54	1,7	3,7	6,2	12	33
	50	0,35	1,3	3,6	7	12	25
	70	0,26	0,96	3,1	7,4	13	23
	90	0,2	0,78	2,7	7,3	14	24
20 °C	10	0,78	1,6	4,3	14	45	109
	20	0,71	1,4	2,6	6,5	22	74
	30	0,62	1,4	2,5	5	14	49
	50	0,45	1,3	2,7	4,7	9,9	29
	70	0,34	1,1	2,8	5	9	23
	90	0,27	0,97	2,7	5,3	9,1	20
10 °C	10	0,79	2,3	7,5	22	42	57
	20	0,58	1,2	3,3	11	36	92
	30	0,55	1,1	2,3	6,8	24	77
	50	0,49	1,1	1,9	4,3	13	47
	70	0,41	1	1,9	3,7	9,7	33
	90	0,35	1	2	3,5	8,1	26
0 °C	10	1,3	4	9,3	14	17	19
	20	0,61	1,9	6,2	18	35	47
	30	0,47	1,2	3,7	13	36	69
	50	0,41	0,82	2,1	6,8	24	71
	70	0,39	0,76	1,6	4,6	16	56
	90	0,38	0,76	1,5	3,7	12	43

#### 4.2.4 Atenuación debida al suelo ( $A_{\text{suelo}}$ )

Por encima de un plano reflectante, el sonido llega a un receptor **R** desde una fuente **S** (Fig. 4.3), a través de dos vías: directamente  $r_d$  y mediante la reflexión desde el suelo  $r_r$ , esta interferencia entre el sonido directo y el reflejado dan como resultado la atenuación debida al suelo.

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

Fig. 4.3<sup>1</sup>



#### 4.2.4.1 Clasificación de las superficies del suelo:

Para ángulos de rozamiento menores de  $20^\circ$ , de acuerdo con sus propiedades acústicas, los suelos se clasifican de la siguiente manera:

1. **Suelo duro:** Pavimento de asfalto u hormigón, agua y todas las demás superficies que posean poca porosidad.
2. **Suelo Blando:** Suelo cubierto por hierba, arboles u otra vegetación y todos los suelos porosos adecuados para el crecimiento de vegetación.
3. **Suelo muy blando:** Superficies muy porosas, como el suelo cubierto de nieve o material suelto.
4. **Suelo mixto:** Superficie que posee áreas duras y blandas.

#### 4.2.4.2 Cálculo de la atenuación del suelo para un caso especial:

Para las siguientes condiciones específicas:

- La propagación se produce sobre un suelo que es casi totalmente acústicamente blando.
- El espectro de ruido es particularmente amplio y gradual, como suele ocurrir en plantas industriales.
- El espectro de ruido no contiene componentes destacados de frecuencias discretas.
- Solo es de interés el nivel sonoro con ponderación A en la posición del receptor.

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

El cálculo de la atenuación debida al suelo viene dado por:<sup>1</sup>

$$A_{suelo} = 4.8 - (2 * h_m / r) * (17 + 300 / r) \quad \text{Ec. 4.2.4}$$

$r$  = distancia entre la fuente y el receptor en metros

$h_m$  = altura media del camino de propagación por encima del suelo en metros.

Comentario [Is1]:

Donde la altura media se obtiene de la siguiente forma:<sup>1</sup>

$$h_m = \frac{Z1 + Z2}{2} \quad \text{Ec. 4.2.4.1}$$

$Z1$  = altura de la fuente en metros.

$Z2$  = altura del receptor en metros.

Los valores negativos de  $A_{suelo}$  obtenidos a partir de esta ecuación no son significativos y deben ser reemplazados por ceros.

#### **4.2.5 Barreras**

##### **4.2.5.1 Pérdida por inserción de barreras**

Una barrera contra el sonido, es cualquier obstáculo sólido relativamente opaco al sonido, el cual bloquea al receptor la línea de visión de la fuente sonora. Las barreras suelen instalarse para reducir el ruido.

La pérdida por inserción de una barrera para una banda de octava, en un punto determinado, es la diferencia entre los niveles de presión sonora de la banda antes y después de la construcción de la barrera.

##### **4.2.5.2 Efectos del viento y la temperatura**

Los rayos curvados ascendentes no reducen el rendimiento acústico de una barrera, sin embargo, los rayos curvados descendentes, reducen la pérdida por inserción de la barrera.

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

## Marco Teórico

Para una distancia  $r$  entre la fuente y el receptor inferior a 100 metros, la reducción suele ser insignificante, en este caso el cálculo puede realizarse igualando  $k = 1$ .

Para distancias  $r$  mayores a 300 metros, la influencia de las condiciones meteorológicas producen valores muy bajos de pérdidas por inserción.

A distancias intermedias (100 metros  $< r < 300$  metros), la reducción aumenta gradualmente al aumentar  $r$ , dentro de este rango, se calcula la pérdida por inserción de barrera delgada, para condiciones atmosféricas favorables a la propagación, obteniendo el valor del factor  $k$  de corrección atmosférica mediante:

$$K = \exp \left[ -0.0005 \sqrt{\left( \frac{d_1 * d_2 * d}{N * \lambda} \right)} \right] \quad \text{Ec. 4.2.5}$$

$d_1, d_2, d$  = descritas en la figura (4.4)

$N$  = número de Fresnel descrito a continuación

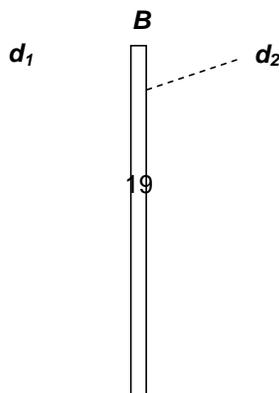
$\lambda$  = Longitud de onda en metros.

### 4.2.5.3 Barreras delgadas

Una barrera delgada es aquella que atenúa el sonido mediante difracción única como se muestra en la figura (4.4), para el cálculo de la pérdida por inserción para un sonido con longitud de onda  $\lambda$ , se determina primero el número de Fresnel  $N$  de la siguiente forma:

$$N = \left( \frac{2}{\lambda} \right) * (d_1 + d_2 - d) \quad \text{Ec. 4.2.6.1}$$

$d_1, d_2$  y  $d$  = son las distancias mostradas en la figura 4.4



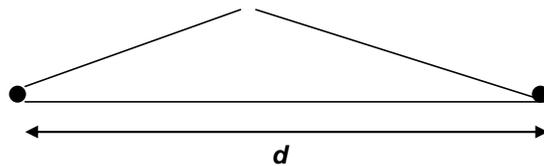


Fig 4.4<sup>1</sup>

Entonces se calcula la pérdida por inserción  $IL_{barrera}$  para este valor de  $N$ , de la siguiente forma:<sup>2</sup>

$$IL_{barrera} = 10 * \text{Log}_{10}[3 + (10 * N * K)] - A_{suelo} \quad \text{Ec. 4.2.6.2}$$

$A_{suelo}$  = atenuación aportada por el suelo antes de introducir la barrera

Los valores negativos de la ecuación se igualan a cero.

#### 4.2.5.4 Barreras gruesas

Una barrera gruesa es aquella que atenúa el sonido mediante difracción doble, como se muestra en la figura (4.5), Si la dimensión  $t$  es mayor a 3 metros, se considera que la barrera es gruesa. Si  $t$  es inferior a 3 metros, la barrera se considera gruesa para los componentes cuya longitud de onda sea inferior a  $t/5$ , si no se cumplen estas condiciones, la barrera se considera como delgada.

Para una barrera gruesa el número de Fresnel se calcula mediante la siguiente ecuación<sup>1</sup>

$$N = \left(\frac{2}{\lambda}\right) * (d_1 + t + d_2 - d) \quad \text{Ec. 4.2.7.1}$$

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

<sup>2</sup> Fuente Cyril, Harris.

$d_1$ ,  $d_2$ ,  $d$  y  $t$  = son las distancias mostradas en la figura 4.4.

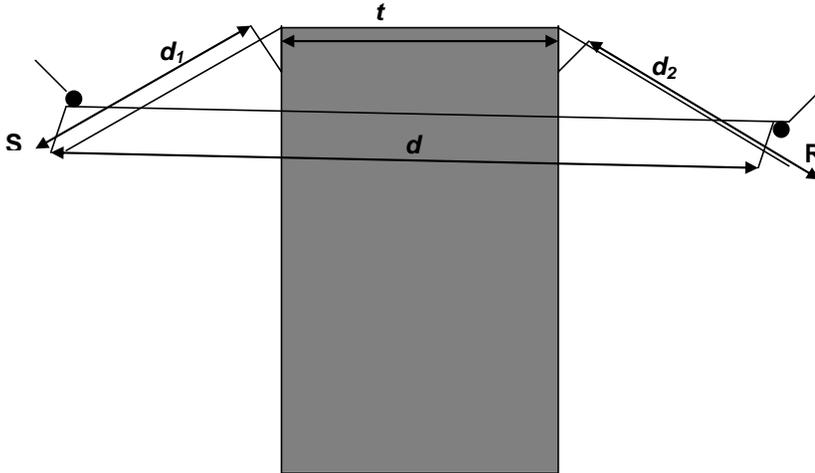


Fig 4.5<sup>1</sup>

Entonces se calcula la pérdida por inserción  $IL_{barrera}$  para este valor de  $N$ , de la siguiente forma:

$$IL_{barrera} = 10 * \text{Log}_{10} [3 + (30 * N * K)] - A_{suelo} \quad \text{Ec. 4.2.7.2}$$

$A_{suelo}$  = atenuación aportada por el suelo antes de introducir la barrera

Para el cálculo de K en barreras gruesas, el grosor  $t$  se añade a la menor de las dos distancias  $d_1$  o  $d_2$

Los valores negativos de la ecuación se igualan a cero.

#### 4.2.5.5 Barreras de Longitud finita

Para una barrera finita hay que considerar tres vías de propagación entre la fuente y el receptor, una vía a sobre la parte alta de la barrera y las vías alrededor de cada extremo, para obtener el nivel en el receptor es necesario, realizar los cálculos para cada vía por separado y luego combinar los niveles en el receptor.

El cálculo sobre la barrera, se realiza según lo descrito anteriormente, utilizando el procedimiento para cada una de las vías, aplicando las

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

## Marco Teórico

---

ecuaciones anteriores, según el tipo de barrera, sin tomar en cuenta la atenuación del suelo e igualando a 1 el factor de corrección atmosférica **K**.

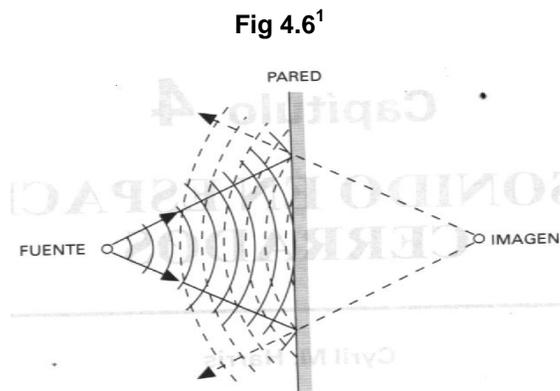
Esta difracción lateral disminuye la eficacia de la barrera, pero puede ignorarse si la altura efectiva de la misma, en los bordes mas alejados es al menos 4 veces mayor que la del borde próximo.

### 4.3 PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN ESPACIOS CERRADOS

El comportamiento del sonido en un lugar cerrado es distinto a su comportamiento al aire libre, lejos de cualquier superficie reflectante, esto es debido a que en los límites del cerramiento, parte del sonido se refleja, parte es absorbida y parte es transmitida a través de las superficies del mismo.

#### 4.3.1 Reflexión de las ondas sonoras

Las ondas sonoras, viajan hacia fuera en todas direcciones, a partir, de una fuente, cuando dichas ondas chocan con un obstáculo, su dirección de propagación cambia, es decir, se reflejan. En la figura 4.6, se ilustra la reflexión de las ondas originadas en una fuente sonora, al chocar con un muro plano.



Las líneas continuas curvas representan ondas expandiéndose hacia fuera a partir de la fuente, las líneas curvas a trazos, representan las ondas después de reflejarse en la pared. Las líneas rectas con flechas indican la dirección de propagación de las ondas sonoras.

La ley de reflexión se cumple solo cuando el sonido es reflejado sobre una superficie, que es grande en comparación con la longitud de onda, la cual dice que el ángulo del sonido reflejado es igual al ángulo del sonido incidente. Las ondas sonoras reflejadas se transmiten como si se hubieran

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

originado a partir de una fuente imaginaria de sonido localizada a la misma distancia detrás de la superficie que la fuente real, denominada imagen.

Una superficie reflectante perfecta, es aquella en la cual no existe pérdida por reflexión, donde las ondas reflejadas, producirían un mismo nivel de presión sonora en un punto determinado que el producido por la fuente imagen si el muro se retirara, y tuviera la misma potencia sonora que la fuente real, sin embargo, no existe dicha superficie, ya que parte de la energía acústica siempre es absorbida por la superficie.

#### **4.3.2 Reverberación**

Es la prolongación del sonido después de que la fuente de sonido ha cesado, esto se debe a que en un local cerrado, las ondas reflejadas, producen que el receptor oye el sonido original, prolongado después de que la fuente ha cesado.

##### **4.3.2.1 Tiempo de Reverberación**

El tiempo de reverberación para una frecuencia determinada, es el tiempo en segundos, que tarda en descender 60 dB el nivel medio de presión sonora en un local cerrado después de haber cesado la fuente de sonido. En un local donde predominan las condiciones difusas, el tiempo de reverberación ( $T_{60}$ ) es aproximadamente:<sup>1</sup>

$$T_{60} = 0,161 \frac{V}{A} \quad \text{Ec. 4.3.1}$$

$V$  = el volumen del local en metros cúbicos ( $m^3$ )

$A$  = absorción total del local en sabinos métricos.

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

La tasa de descenso es la tasa media a que el nivel sonoro reverberante (reflejado), desciende después de que la fuente ha parado viene dada por:<sup>1</sup>

$$Tasa_{descenso} = \frac{60}{T_{60}} \text{ dB/segundo} \quad \text{Ec. 4.3.2}$$

#### **4.3.3 Reflexiones múltiples del sonido en un local cerrado**

Si se considera una habitación rectangular, que contenga una fuente de sonido, los límites del cerramiento suelen reflejar parte de la energía sonora incidente sobre ellos. Este efecto acarrea las siguientes consecuencias:

1. Aumentar el nivel de presión sonora dentro de la habitación.
2. Producir que el sonido persista en la habitación aún después de que la fuente ha dejado de irradiar sonido.

#### **4.3.4 Absorción del sonido por los materiales, el mobiliario y el aire.**

**Coefficiente de absorción sonora:** es la relación entre la potencia sonora incidente aleatoriamente que es absorbida por un material. El coeficiente de absorción de un material depende de la naturaleza del material, de la frecuencia del sonido que choca con la superficie de dicho material y del ángulo de incidencia de la onda sonora sobre el material, en la tabla 4.3, se presentan los coeficientes de absorción del sonido para varios materiales de construcción.

**Coefficiente de reducción de ruido (NCR):** es un número único que es el valor medio de los coeficientes de absorción del material a las frecuencias de 250, 500, 1000 y 2000 Hz, esta medida se expresa como el múltiplo más próximo de 0,05.

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

#### 4.3.5 Absorción sonora total en un local cerrado

La absorción total del sonido  $A$  en un local depende de las siguientes causas:

1. Absorción debida a las distintas superficies que lo limitan ( $A_{sup}$ ).
2. Absorción debida al aire ( $A_{aire}$ ).
3. Absorción debida al mobiliario en el local ( $A_{mob}$ ).

La absorción total viene dada por la siguiente expresión: <sup>1</sup>

$$A = A_{sup} + A_{aire} + A_{mob} \quad \text{Ec. 4.3.3}$$

La unidad de absorción es el sabino, en unidades SI, 1 sabino métrico es equivalente a 1 metro cuadrado ( $m^2$ ) de superficie perfectamente absorbente, en unidades inglesas, 1 sabino es equivalente a 1 pie cuadrado ( $ft^2$ ) de superficie perfectamente absorbente.

##### 4.3.5.1 Absorción por superficie ( $A_{sup}$ )

Se obtiene multiplicando el área de cada superficie del local,  $S$ , por su coeficiente respectivo de absorción sonora  $\alpha$  (Tabla 4.3) y hallando el total para todas las superficies.

Se calcula de la siguiente forma: <sup>1</sup>

$$A_{sup} = (\alpha_1 * S_1) + (\alpha_2 * S_2) + (\alpha_3 * S_3) + \dots \quad \text{Ec. 4.3.3.1}$$

$S$  = área de cada superficie en ( $m^2$ )

$A_{sup}$  = Absorción por superficie en (sabinos métricos).

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

## Marco Teórico

**Tabla 4.3<sup>1</sup>**

Coeficientes de absorción del sonido de materiales de construcción							
Material	Frecuencia central de banda de octava (Hz)						
Paredes	125	250	500	1000	2000	4000	NCR promedio
Ladrillo	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,05
Concreto pintado	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08	0,05
Vidrio de ventana	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,15
Mármol	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
Friso de concreto	0,12	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	0,05
Madera contrachapada	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	0,15
Bloque de concreto	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25	0,35
Cortina Pesada	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65	0,60
Tratamiento de fibra de vidrio 2,5 cm	0,08	0,32	0,99	0,76	0,34	0,12	0,60
Tratamiento de fibra de vidrio 17,8 cm	0,86	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,95
Panel de madera sobre fibra de vidrio	0,40	0,90	0,80	0,50	0,40	0,30	0,65
Piso							
Madera sobre concreto	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,05
Linóleo	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,05
Alfombra sobre Concreto	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65	0,30
Alfombra sobre Concreto panel de caucho	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73	0,55
Techo							
Friso de yeso	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,05
Losa acústica de 1,6 cm suspendida a 40,6 cm del techo	0,25	0,28	0,46	0,71	0,86	0,93	0,60
Losa acústica de 1,2 cm suspendida a 40,6 cm del techo	0,52	0,37	0,50	0,69	0,79	0,78	0,60
Igual al anterior pero colocada directamente en el techo	0,10	0,22	0,61	0,66	0,74	0,72	0,55
Panel de alta absorción de 2,5 cm suspendido a 40,6 cm	0,58	0,88	0,75	0,99	1,00	0,96	0,90
Otros							
Asiento tapizado	0,19	0,37	0,56	0,67	0,61	0,59	0,55
Persona en asiento tapizado	0,39	0,57	0,80	0,94	0,92	0,87	0,80
Gramma	0,11	0,26	0,60	0,69	0,92	0,99	0,61
Tierra	0,15	0,25	0,40	0,55	0,60	0,60	0,45
Superficie del agua	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00

### 4.3.5.2 Absorción del aire ( $A_{aire}$ )

La absorción debida al aire en sabinos métricos viene dada según la siguiente expresión: <sup>1</sup>

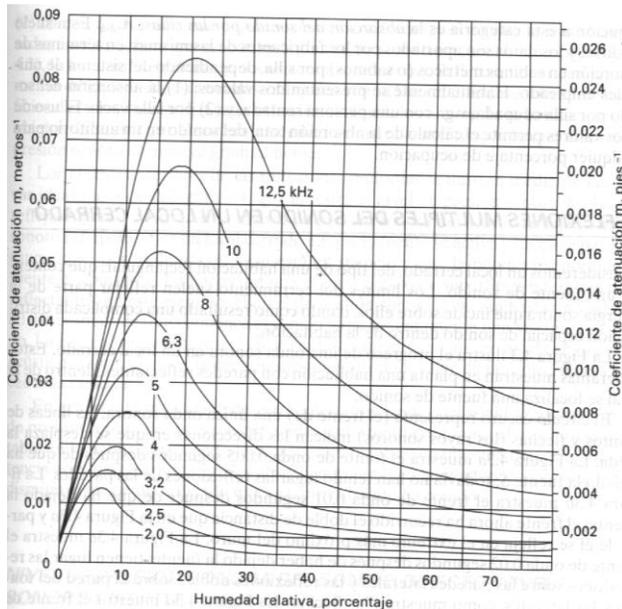
$$A_{aire} = 4 * m * V \quad \text{Ec. 4.3.3.2}$$

$m$  = coeficiente de atenuación del aire por metro (o pie) fig. 4.7

$V$  = es el volumen de la habitación en ( $m^3$ )

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

Fig. 4.7<sup>1</sup>



#### 4.3.5.3 Absorción debida al mobiliario ( $A_{mob}$ )

Esta absorción suele ser consecuencia del mobiliario ubicado dentro del local, y los datos son aportados por el fabricante de los mismos en términos de sabinos métricos, por unidad de mobiliario.

#### 4.3.6 Nivel de presión sonora del sonido reflejado ( $L_r$ )

El nivel del sonido reflejado depende de las características acústicas de la habitación, y es bastante uniforme en toda la habitación, para una fuente de sonido estable si el sonido es difuso, es decir las ondas sonoras reflejadas viajan en todas direcciones con igual probabilidad.

<sup>1</sup> Fuente, Cyril, Harris.

Si la fuente de sonido ha estado en funcionamiento el tiempo suficiente para que se haya alcanzado un nivel sonoro estable, el nivel sonoro reflejado en dB, viene dado por la siguiente ecuación: <sup>1</sup>

$$L_r = L_w + 10 * \text{Log}_{10} \frac{4}{R} \quad \text{Ec. 4.3.4}$$

$L_w$  = Nivel de potencia sonora en dB

$R$  = Constante de habitación en (m<sup>2</sup>), viene dada por: <sup>1</sup>

$$R = \frac{A}{1 - \alpha_{avg}} \quad \text{Ec. 4.3.4.1}$$

$\alpha_{avg}$  = la absorción promedio del local y se obtiene de la siguiente forma: <sup>1</sup>

$$\alpha_{avg} = \frac{A}{S} \quad \text{Ec. 4.3.4.1.1}$$

$A$  = absorción total en sabinos métricos

$S$  = área total de superficie (m<sup>2</sup>)

#### 4.3.7 Nivel de presión sonora directo ( $L_d$ )

El sonido directo es aquel que es transmitido directamente desde la fuente al punto de observación, no existe reflexión del sonido y el nivel de presión sonora directo en dB, viene dado por: <sup>1</sup>

$$L_d = L_w + 10 * \text{Log}_{10} \frac{DF}{4 * \pi * r^2} \quad \text{Ec. 4.3.5}$$

$DF$  = Factor directividad

$L_w$  = nivel de potencia sonora en dB

$r$  = distancia desde la fuente en metros.

---

<sup>1</sup> Fuente Talty, John.

#### 4.3.8 Nivel de presión sonora combinada

El nivel de potencia sonora total es el resultado del nivel de potencia sonora directo y el nivel de potencia sonora reflejado y se obtiene a través de la siguiente ecuación: <sup>1</sup>

$$L_p = L_w + 10 * \text{Log}_{10} \left( \frac{DF}{4 * \pi * r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad \text{Ec. 4.3.6}$$

*DF* = Factor directividad

*r* = Distancia desde la fuente (m)

*R* = Constante de habitación

#### 4.3.9 Factor directividad

En lugares cerrados, la relación entre el nivel de presión sonora y el nivel de potencia sonora, puede estar modificados por la directividad de la fuente, ya que ésta en algunos casos la fuente irradia sonido en una sola dirección, el factor directividad, se define como la medida del grado al cual el sonido es concentrado en una cierta dirección diferente a la irradiada por una fuente esférica. Los casos en que es posible que se irradie el sonido son los siguientes:

- Fuente no direccional (aire libre), en este caso *DF* es igual a 1.
- Fuente semiesférica, la radiación de sonido se produce cuando la fuente se encuentra ubicada sobre el piso, el factor directividad es igual a 2.
- Fuente ubicada entre el piso y una pared, para este caso, el factor directividad es igual a 4.
- Fuente ubicada entre dos paredes y el piso, en este caso el factor directividad es igual a 8.

#### 4.3.10 Transmisión del sonido a través del aire

Cuando las ondas sonoras chocan con una partición, las presiones sonoras, producen la vibración de la misma, parte de ésta energía vibratoria

---

<sup>1</sup> Fuente Talty, John.

es transmitida a la partición, produciendo que ésta vibre, haciendo vibrar a su vez el aire al otro lado, produciendo sonido.

La pérdida por transmisión (TL) es la relación entre la energía sonora incidente sobre la pared y la energía sonora transmitida, se expresa en dB, está relacionado con el coeficiente de transmisión, mediante la siguiente expresión:<sup>1</sup>

$$TL = 10 * \text{Log}_{10} \left( \frac{1}{\tau} \right) \quad \text{Ec. 4.3.7}$$

$\tau$  = coeficiente de transmisión

Para el caso de tener una partición que conste de varios elementos, se prosigue según la siguiente ecuación:<sup>1</sup>

$$A_{total} * \tau_{total} = \sum_{i=1}^n A_i * \tau_i \quad \text{Ec. 4.3.8}$$

$A_i$  = área del elemento i

$A_{total}$  = Area total de la partición (m<sup>2</sup>)

$\tau_i$  = Coeficiente de transmisión del elemento i

Con el valor de coeficiente total se calcula la nueva pérdida por transmisión de la partición a través de la ecuación 4.3.7.

En la tabla 4.5 se presenta la pérdida por transmisión de materiales de construcción.

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

## Marco Teórico

**Tabla 4.5<sup>1</sup>**

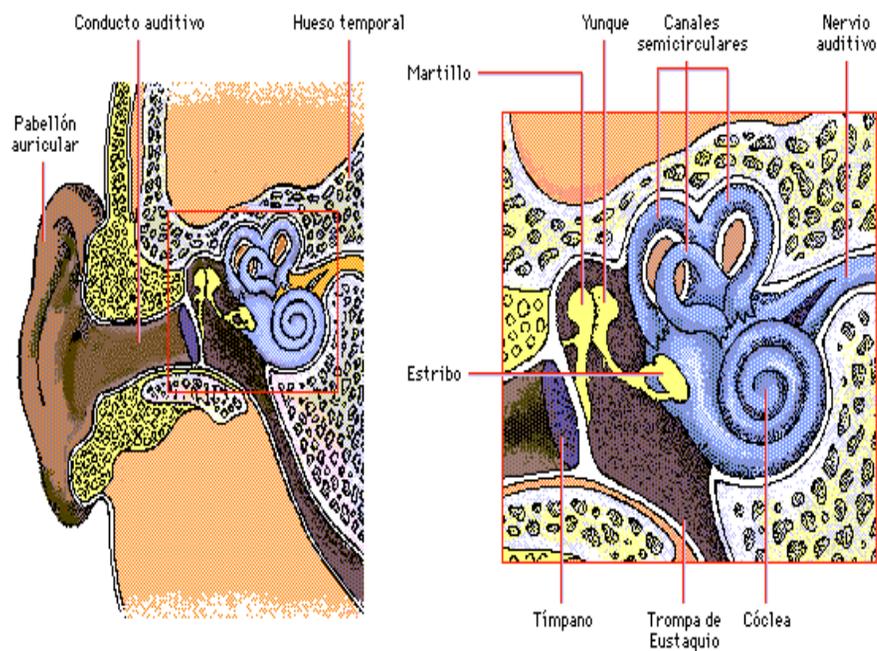
N°	Material	espesor (cm)	frecuencia (Hz)					
			125	250	500	1000	2000	4000
<b>Paredes</b>								
1	Concreto sólido	8	35	40	44	52	59	64
2	Concreto con friso	18	39	42	50	58	64	66
3	Pared de concreto con madera enchapada	25	31	40	52	58	60	60
4	Bloques de concreto sólido frisado	41	50	54	59	65	71	68
5	Ladrillo con friso	14	34	34	41	50	56	58
6	Ladrillo con friso	25	41	43	49	55	57	59
7	Ladrillo desnudo	31	45	44	52	58	60	61
8	Piedra frisada	64	50	53	52	58	61	68
9	Pared de bloque de concreto ahuecada	34	47	43	45	52	54	56
10	Pared de bloque de concreto ahuecada	15	32	33	40	48	51	48
11	Bloque de carbonilla frisado	13	36	37	44	51	55	62
12	Bloque de cemento pintado en ambos lados	10	40	40	40	48	55	56
13	Bloque de yeso ahuecado frisado	10	39	34	38	43	48	46
14	Bloque de yeso ahuecado con recubrimiento de material elástico	13	38	37	44	51	56	59
15	Bloque de yeso ahuecado recubierto con yeso y madera con una capa de material elástico	15	25	37	46	53	56	63
16	Concreto hueco con recubrimiento de lámina de fibra	27	41	42	47	51	52	39
17	Doble ladrillo con cavidad de aire y friso	31	37	41	48	60	60	61
18	Doble ladrillo con cavidad de aire y friso	46	48	54	58	64	69	75
19	Pared de madera con laminas de yeso	13	22	30	35	40	41	40
20	Pared de madera con recubrimiento de yeso frisado	15	32	36	42	48	48	62
21	Acero armado con pernos, lata de metal	13	30	28	35	40	43	53
22	Acero armado con pernos con doble recubrimiento de yeso	12	35	38	44	50	50	51
23	Canal de metal armado con pernos con recubrimiento de yeso	7	20	30	38	47	48	45
24	Pared sólida de arena y yeso	5	36	28	35	39	48	52
25	Pared sólida de arena y yeso con canales metálicos	5	35	25	32	38	47	54
26	Partición de yeso sólido	6	34	34	37	38	39	45
<b>Suelo y Techo</b>								
1	Placa de concreto reforzado	10	48	42	45	55	57	66
2	Concreto reforzado con alfombra encima	11	48	42	45	55	57	66
3	Concreto reforzado con capa de cemento	19	42	39	44	49	54	60
4	Concreto con piso de madera	18	35	37	42	49	58	62
5	Concreto con techo suspendido	25	38	41	45	52	57	59
6	Concreto con madera relleno con fibra de vidrio	24	38	44	52	55	60	65
7	Concreto con bloques huecos recubierto de madera	21	40	42	46	52	58	60
8	Concreto con suelo flotante y techo suspendido	38	40	46	54	59	62	68
9	Placa de concreto hueco con sobrepiso de cemento	19	39	38	43	49	54	57
10	Vigas de madera	24	19	24	31	35	45	42
<b>Ventanas</b>								
1	Ventana corrediza enmarcada en aluminio	0,2	10	14	17	18	18	20
2	Toldo enmarcado en aluminio	0,2	16	22	25	28	32	28
3	Doble ventana con espacio de aire	1	18	21	19	24	27	18
4	Doble ventana con vidrio antishock	6	16	24	27	33	37	29
<b>Puertas</b>								
1	Puerta hueca enchapada	4	11	16	16	16	21	23
2	Puerta de madera sólida	4	20	25	23	25	25	28

<sup>1</sup> Fuente Lipscomb David y Taylor Arthur.

## 4.4 EL OÍDO

Es el órgano responsable de la audición y el equilibrio. Se divide en tres zonas: externa, media e interna. La mayor parte del oído interno está rodeada por el hueso temporal, como lo muestra la figura 4.8.

Fig. 4.8



### 4.4.1 El oído externo

El cual es el encargado de recoger el sonido y convertirlo en un movimiento vibratorio en el tímpano. Está compuesto por las siguientes tres estructuras:

**El pabellón auditivo:** el cual es la parte visible, que es una estructura cartilaginosa situada a ambos lados de la cabeza, cuya forma ayuda a la recepción del sonido.

**El canal auditivo:** es una estructura en forma de tubo, que conecta al pabellón auditivo con el tímpano, el cual se encarga de conducir las ondas sonoras hacia el tímpano, posee una frecuencia de resonancia natural de aproximadamente 3000 Hz, lo cual aumenta la sensibilidad de la audición a esta frecuencia.

**El tímpano:** es una membrana situada al final del canal auditivo, separando al oído externo del oído medio, encargándose de convertir las ondas sonoras en un movimiento vibratorio.

#### **4.4.2 El oído medio**

Es una cavidad llena de aire que contiene el mecanismo que transmite el movimiento vibratorio del tímpano hacia el oído interno. Este mecanismo se encuentra formado por tres pequeños huesos, denominados el martillo que se encuentra conectado al tímpano, el yunque sirve de interconexión y el estribo, el cual se encuentra conectado a la ventana oval que sirve de entrada a la cóclea del oído interno. Además, El oído medio está en comunicación directa con la nariz y la garganta a través de la trompa de Eustaquio, que permite la entrada y la salida de aire del oído medio para equilibrar las diferencias de presión entre éste y el exterior.

#### **4.4.3 El oído interno:**

Se encuentra en el interior del hueso temporal que contiene los órganos auditivos y del equilibrio, que están inervados por los filamentos del nervio auditivo. Está separado del oído medio por la ventana oval. El oído interno consiste en una serie de canales membranosos alojados en una parte densa del hueso temporal, y está dividido en: cóclea, vestíbulo y tres canales semicirculares. Estos tres canales se comunican entre sí y contienen un fluido gelatinoso denominado endolinfa.

#### **4.4.4 Efectos del ruido en el hombre**

Los efectos del ruido en el hombre son muy diversos y aún en la actualidad no se encuentran bien definidos, los podemos dividir en efectos relacionados con la pérdida de la audición y efectos no relacionados con la pérdida de la audición.

Los efectos fisiológicos del ruido sobre la audición se pueden dividir en dos casos:

##### **4.4.4.1 Tipos de pérdida de audición por exposición al ruido**

Estos efectos se pueden dividir en tres categorías:

- **Trauma acústico:** Es el daño orgánico inmediato del oído por excesiva energía sonora, este caso se restringe a los efectos de una exposición única o pocas exposiciones a niveles muy altos de presión sonora. El ruido extremadamente intenso puede sobrepasar los límites fisiológicos de las estructuras del oído, produciendo una rotura completa y alteración del órgano de Corti.
- **Desplazamiento temporal del umbral inducido por el ruido (NITTS):** Esta categoría tiene como resultado una elevación de los niveles auditivos, es decir, una pérdida de la sensibilidad auditiva después de la exposición al ruido. En éste tipo de desplazamiento la pérdida de la audición es reversible.
- **Desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido (NIPTS):** En esta categoría la pérdida de la audición no es reversible, permanece durante toda la vida de la persona afectada. Este tipo de desplazamiento puede ser el resultado de un trauma acústico o por el efecto acumulativo de las exposiciones repetidas al ruido durante períodos de tiempo de muchos años.

La excesiva exposición a ruidos, produce efectos nocivos independientes de los problemas de pérdida de la audición, entre los cuales, podemos nombrar los siguientes:

- **Efectos Cardiovasculares:** La Organización Mundial de la Salud, ha reconocido que el ruido puede ser uno de los diversos factores que influyen en la hipertensión arterial, ya que diversos estudios realizados en esta área, asocian la exposición excesiva al ruido con cambios crónicos en la presión sanguínea.
- **Efectos en la reproducción.** El nivel de ruido puede influir en la reproducción de especies animales, que utilizan el sonido como medio para atraer a la pareja, por lo cual, un alto nivel de ruido puede causar efectos perjudiciales en la reproducción de dichos animales.
- **Disturbios en el sueño.** La exposición continua a niveles de ruido altos durante el día, tiene efectos posteriores sobre el sueño de la noche siguiente alterándolo, por ésta razón se ve interferido el descanso del cuerpo produciéndose situaciones de fatiga y estrés
- **Efectos psicológicos.** La exposición a altos niveles de ruido continuamente puede producir efectos psicológicos como el estrés, el cual es una enfermedad.

## 4.5 RUIDO

El ruido es un sonido no deseado. El ruido ambiental, es el ruido asociado con un ambiente determinado y suele estar compuesto de sonidos de muchas fuentes, próximas y lejanas.

### 4.5.1 INSTRUMENTOS DE MEDIDA ACÚSTICA

El sonómetro es un instrumento utilizado para la medición de niveles sonoros, con ponderación de frecuencia y ponderación exponencial de tiempo promedio estandarizados. Este instrumento se encuentra compuesto de los siguientes componentes:

**Micrófono:** convierte las variaciones de presión de las ondas en señales eléctricas las cuales varían en función del tiempo. Para la selección de un micrófono, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

**Amplificadores:** Es un componente del sonómetro, el cual debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Amplificar la señal del micrófono lo suficiente, para permitir la medida de niveles bajos de presión sonora.
- Amplificar los sonidos sobre un rango amplio de frecuencias, generalmente entre 1 y 10 Hz para el límite inferior y por encima de 20.000 Hz en el límite superior.
- Generar un nivel de ruido eléctrico dentro del instrumento, inferior al nivel más bajo de presión sonora de la señal.
- Mantener una amplificación constante.

**Ponderación de frecuencia:** Altera las características de la respuesta de frecuencia de acuerdo con las especificaciones de la norma.

**Control de rango de nivel:** Ajusta el rango de los niveles sonoros que pueden medirse para una determinada disposición de los controles.

**Ponderación temporal:** Los sonómetros integradores, pueden integrar el cuadrado de la señal de presión sonora con ponderación de frecuencia, en el tiempo.

**Aparatos indicadores:** Los niveles de presión sonora se indican en decibelios respecto al cuadrado de la referencia estandarizada de presión sonora igual a 20 micropascales. El aparato indicador, puede dar una indicación analógica, cuasi analógica o digital.

#### **4.5.1.1 Clases de precisión de los sonómetros:**

Según la Norma ANSI S1.4-1983, se designan tres clases de precisión para los sonómetros, lo cual clasifica los sonómetros según la tolerancia permitida, las menores tolerancias se encuentran en el Clase 0 (Tipo 0), y las mayores tolerancias en el Clase 2 (Tipo 2), y se utilizan en las siguientes aplicaciones:

Clase 0 (Tipo 0): Precisión de Laboratorio.

Clase 1 (Tipo 1): Precisión, se suele utilizar para estudios de niveles de ruido, cuando es necesario determinar niveles de exposición sonora.

Clase 2 (Tipo 2): Uso general, Se utiliza para realizar medidas, para determinar si existe o no un problema de ruido.

#### **4.5.1.2 Aparatos para comprobar la sensibilidad de los instrumentos de medición**

El aparato utilizado para determinar la sensibilidad de instrumentos y sistemas de medición sonora es un calibrador acústico, el cual puede producir un nivel sonoro conocido, estable en el diafragma de un micrófono, estos aparatos pueden ser del tipo pistófono o del tipo altavoz.

- **Pistófono:** Produce un nivel de presión sonora mediante pistones que se mueven dentro de una pequeña cavidad cerrada, produciendo una variación de presión casi sinusoidal en la cavidad, a una frecuencia entre 200 y 1000 Hz.
- **Altavoz:** Produce un nivel un nivel de presión sonora nominal en una cavidad pequeña mediante un pequeño altavoz, que es excitado por una señal de un oscilador electrónico.

#### **4.5.1.3 Analizadores de banda de octava y de banda de tercio de octava**

Una medida importante del ruido es la distribución de la presión sonora cuadrática media con respecto con la frecuencia. El proceso utilizado para realizar ésta distribución, se denomina análisis de espectro, y los instrumentos utilizados son los analizadores de espectro, el análisis de espectro, se realiza a través del paso de la señal a través de varios filtros con distintas frecuencias centrales y medida de la potencia transmitida a cada frecuencia mediante un detector apropiado.

El rango de frecuencia para el cual un filtro aporta poca atenuación se denomina ancho de banda. Los analizadores, más utilizados para análisis de espectro, poseen un ancho de banda nominal proporcional a la frecuencia central de la banda del filtro y son los siguientes:

1. **Analizador de bandas de octava:** Posee una anchura nominal de una octava.
2. **Analizador de bandas de un tercio de octava:** Posee una anchura nominal de una banda de un tercio de octava.

Otros analizadores utilizan anchos de banda proporcionales menores, bandas de ancho de frecuencia constante.

#### **4.5.2 Exposición sonora**

Es una cantidad, la cual es proporcional a la energía acústica que se encuentra presente en un durante un cierto período de tiempo.

#### **4.5.3 Control del ruido**

El control del ruido, es la tecnología para obtener un ruido ambiental aceptable, de acuerdo con consideraciones económicas y operativas.

El ruido se puede transmitir a través de muchas vías, las cuales pueden ser numerosas, por ejemplo el aire, a través de una superficie sólida como una pared, etc.

El control del ruido, se puede llevar a cabo en tres categorías, como son las siguientes:

- **Control del ruido en la fuente**

Un método importante para controlar el ruido en la fuente es reducir la amplitud de las fuerzas que dan como resultado la generación del ruido, otro método, es la reducción del movimiento de los componentes que vibran.

- **Control del ruido en la vía de transmisión:**

Esta técnica consiste en reducir el ruido controlando la vía de transmisión para reducir la energía transmitida al receptor, esto puede lograrse a través de varias maneras:

- **Emplazamiento:** Al aire libre la atenuación del ruido se consigue aumentando la distancia entre la fuente y el receptor.
- **Disposición de la edificación:** Planificando la ubicación de las fuentes de ruido, lejos del lugar donde se requiera silencio.
- **Barreras:** Son eficaces cuando son de mayor tamaño que la longitud de onda del sonido, su eficacia es mayor a pequeñas distancias de la fuente.
- **Cerramientos:** Al encerrar la fuente de ruido, se consigue una atenuación considerable como consecuencia de las propiedades acústicas del material a utilizar en el cerramiento.
- **Absorción:** Actúa sobre el nivel de ruido reflejado en lugares cerrados, disminuyendo su intensidad.
- **Desajuste:** Consiste en reflejar las ondas sonoras hacia la fuente a través de discontinuidades.

## Marco Teórico

- **Control de ruido en el receptor:**

Cuando el ruido es excesivo, pueden emplearse las siguientes técnicas de control:

- **Dispositivos de protección auditiva:** Se utilizan tapones, auriculares o cascos, los cuales son una forma económica de controlar el ruido al que se encuentran expuestos trabajadores industriales.

Las características de atenuación de estos equipos se encuentran especificados en la siguiente tabla

**Tabla 4.6<sup>1</sup>**

Tipo de protección	Frecuencias centrales de bandas de tercio de octava, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
 Tapones (premoldeados, moldeados por el usuario)	10-30	10-30	15-35	20-35	20-40	30-45	25-45
 Tapones de espuma (la atenuación depende de la profundidad de la inserción)	20-35	20-35	25-40	25-40	30-40	40-45	35-45
 Tapones (moldeado a medida del usuario)	5-20	5-20	10-25	10-25	20-30	25-40	25-40
 Tapones semiinsertados (también denominados aparatos semiaurales o casco del canal)	10-25	10-25	10-30	10-30	20-35	25-40	25-40
 Auriculares (con o sin componentes de comunicación)	5-20	10-25	15-30	25-40	30-40	30-40	25-45
 Tapones y auriculares (en combinación)	20-40	25-45	25-50	30-50	35-45	40-50	40-50
 Conjuntos de reducción activa del ruido	15-25	15-30	20-45	Idénticos a los auriculares anteriores 1000 Hz			
 Cascos militares	0-15	5-15	15-25	15-30	25-40	30-40	20-50
 Cascos de moto	0-5	0-5	0-10	0-15	5-20	10-30	15-35

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

- **Cabinas:** En casos donde no es económico ni práctico disminuir el nivel de ruido al que se encuentra expuesto una persona, una solución es proveerle de un cerramiento parcial o cabina.
- **Programas de conservación de la audición:** Consiste en diseñar un plan sistemático para proteger la audición de los empleados del daño causado a la exposición a altos niveles de ruido.
- **Control de la exposición:** Disminuyendo el tiempo de exposición a alto niveles de ruido, se puede lograr con la rotación del personal.

Para la determinación de los niveles de ruido adecuados para el medio ambiente, nos referiremos a los datos obtenidos de la Norma COVENIN 1565:1995, del reglamento de seguridad industrial en el trabajo, y de las “Normas sobre el control de la contaminación generada por ruido”.

## **5 PROCEDIMIENTO PARA LA PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO**

Para determinar el nivel de ruido en una planta de gas y petróleo, se requieren tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

### **5.1.1 Determinación de las fuentes de ruido continuo.**

Las fuentes de ruido incluidos en una planta se pueden clasificar en:

- Equipos rotativos (Bombas, motores eléctricos, aereoenfriadores y compresores).
- Flujo en tuberías y válvulas (válvulas de control de líquido y gas).

### **5.1.2 Ubicación dentro de la planta de las fuentes de ruido.**

La ubicación de los diferentes equipos dentro de la planta es importante para poder conocer la distancia a la fuente que se encuentra cada punto en estudio, en este sentido se debe contar con un plano actualizado de la planta con la ubicación de los equipos.

### **5.1.3 Conocer los datos de funcionamiento requeridos para la estimación del nivel de potencia sonora de cada tipo de fuente.**

Los datos requeridos para la estimación del nivel de potencia sonora dependen del tipo de fuente y son obtenidos de las hojas de datos de los respectivos equipos.

#### **Compresores:**

- Potencia en Hp.
- Diámetro impulsor en pies.
- Velocidad de giro en RPM.

#### **Bombas:**

- Potencia Hidráulica en Hp.
- Eficiencia en %

**Aereoenfriadores:**

- Caudal de aire en m<sup>3</sup>/seg
- Presión estática en Kpa.
- Numero de álabes.
- Velocidad de giro en RPM

**Motores eléctricos:**

- Potencia nominal en Hp.
- Velocidad de giro en RPM.
- Tipo de motor.

**Válvulas de Control.**

**Válvulas de líquido**

- Diferencia de presión a través de la válvula.
- Coeficiente de flujo.
- Clasificación de la tubería adyacente.
- Coeficiente de recuperación.
- Radio de aplicación.

**Válvulas de Gas**

- Diferencia de presión a través de la válvula.
- Coeficiente de flujo.
- Radio entre la diferencia de presión y la presión de entrada.
- Presión aguas debajo de la válvula.
- Atenuación por la pared de la tubería adyacente.
- Tipo de gas.

**5.1.4 Estimación los niveles de potencia sonora producto de dichas fuentes.**

Para determinar los niveles producidos por las diferentes fuentes de ruido, se utilizará un método para cada tipo de fuente como dice a continuación.

**Bombas Centrífugas**

**Estimación de nivel de potencia sonora producido por bomba**

Para la estimación del nivel de potencia sonora emitido por bombas, se pueden utilizar las siguientes relaciones:<sup>1</sup>

$$Lw = K_0 + 63 + 10 * \text{Log}_{10}(W) \quad \text{Ec. 5.1.1}$$

$Lw$  = Nivel de potencia sonora (dB).

$W$  = Potencia promedio del motor accionador (Hp).

$K_0$  = Función del tipo de bomba y de la frecuencia central de banda de octava, viene dada por la tabla 5.1

**Tabla 5.1<sup>1</sup>**

K0 (dB)									
	Frecuencia centrada de banda de octava (Hz)								
Tipo de Bomba	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Centrifuga</b>	25	25	26	26	27	29	26	23	18
<b>Tornillo</b>	30	30	31	31	32	34	31	28	23
<b>Reciprocante</b>	35	35	36	36	37	39	36	33	28

Donde:<sup>2</sup>

$$Lw = 97 + 10 * \text{Log}_{10} \left( W * \left( 1 - \left( \frac{\eta}{2} \right) \right) \right) \quad \text{Ec. 5.1.2}$$

$W$  = potencia hidráulica (Hp).

$\eta$  = eficiencia.

**Compresores:**

**Estimación el nivel de potencia sonora de un compresor centrífugo o reciprocante:**

El nivel de potencia sonora producido por un compresor centrífugo o reciprocante con una potencia promedio entre 1 y 100 Hp, puede ser aproximado a través de la siguiente ecuación.

$$Lw = K_1 + 70 + 10 * \text{Log}(W) \quad \text{Ec. 5.1.3}$$

<sup>1</sup> Fuente Magrab, Edward.

<sup>2</sup> Fuente Thumann, A y Miller, R.

$W$  = es la potencia promedio del motor impulsor en Hp.

$K_1$  = es función de la frecuencia central de banda de octava en dB,

Tabla 5.2

Tabla 5.2<sup>1</sup>

Frecuencia central de la banda de octava (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
k1 (dB)	18	14	12	8	7	11	12	9	4

**Estimación del nivel de potencia sonora de un compresor centrífugo**

El nivel de potencia sonora de un compresor centrífugo se puede estimar a través de la siguiente expresión:<sup>2</sup>

$$Lw = 20 * \text{Log}_{10}(W) + 81 + 50 * \text{Log}\left(\frac{U}{800}\right) \quad \text{Ec. 5.1.4}$$

Donde:

$W$  = potencia del compresor en Hp.

$U$  = Velocidad de la punta del álabe en pies/seg.

La mayor potencia sonora emitida por el compresor se va a encontrar a una frecuencia  $f$  (Hz), dada por la siguiente ecuación:<sup>2</sup>

$$F = 1.25 * U \quad \text{Ec. 5.1.4.1}$$

$U$  = Velocidad de la punta del álabe en pies/sec.

**Estimación del nivel de potencia sonora causado por un compresor axial**

El nivel total de potencia sonora producido por un compresor axial se puede estimar a través de la siguiente ecuación:<sup>2</sup>

$$Lw = 76 + \text{Log}_{10}(W) \quad \text{Ec. 5.1.5}$$

$Lw$  = Nivel de potencia sonora dB.

<sup>1</sup> Fuente Magrab, Edward.

<sup>2</sup> Fuente Thumann, A y Miller, R.

**W** = potencia del compresor en Hp.

El máximo ruido se produce a una frecuencia **F**, cuyo valor se obtiene a través de la siguiente ecuación:<sup>1</sup>

$$F = \left( \frac{2 * N * RPM}{60} \right) \quad \text{Ec. 5.1.5.1}$$

**N** = número de álabes del rotor.

**n** = velocidad de rotación en RPM.

**Motores eléctricos:**

**Estimación del nivel de potencia sonora producido por motores eléctricos:**

Para la estimación de los niveles de potencia sonora producido por motores eléctricos, se puede emplear en un rango de 1 a 300 Hp, la siguiente ecuación: <sup>2</sup>

$$Lw = K_2 + 20 * \text{Log}(W) + 15 * \text{Log}(N) - 7 \quad \text{Ec. 5.1.6}$$

**Lw** = Nivel de potencia sonora dB.

**K<sub>2</sub>** = Es función de la frecuencia central de la banda de octava, viene dada por la tabla 5.3.

**W** = La potencia de la unidad en condiciones normales de operación en Hp.

**N** = La velocidad promedio en RPM.

**Tabla 5.3<sup>2</sup>**

	Frecuencia central de banda de octava (Hz)								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>K<sub>2</sub> (dB)</b>	7	9	13	15	16	16	14	7	0

<sup>1</sup> Fuente Thumann, A y Miller, R.

<sup>2</sup> Fuente Magrab, Edward.

## Diseño del Procedimiento

Otro método para estimar el nivel de potencia sonora generado por motores eléctricos es utilizar la tabla 5.4.

**Tabla 5.4<sup>1</sup>**

Nivel de potencia sonora en (dBA)												
W (Hp)	Nema				IETC				Datos de lider en fabricación			
	3600 RPM		1800 RPM		3600 RPM		1800 RPM		3600 RPM		1800 RPM	
	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC
1			70	74		86		80			60	63
1,5	76	88	70	74		91		83	65	78	60	63
3	76	91	72	79	97	100	88	87	65	78	60	63
5	80	91	72	79	97	100	88	91	65	83	64	68
7,5	80	94	76	84	97	100	88	91	68	83	64	68
10	84	94	76	84	100	103	92	91	68	86	68	73
15	84	98	80	89	100	103	92	96	72	86	68	73
20	87	98	80	89	100	103	92	96	72	94	74	77
25	87	100	83	92	102	105	94	97	77	93	74	82
30	90	100	83	92	102	105	94	97	83	93	74	82
40	90	103	86	97	104	107	97	99	83	94	74	86
50	94	103	86	97	104	107	97	99	84	94	74	89
60	94	105	89	100	106	109	100	103	84	94	82	89
75	98	105	89	100	106	109	100	103	91	94	82	90
100	98	106	92	102	106	109	100	103	91	95	82	101
125	102	107	92	102	108	112	103	106	96	100	82	101
150	102	107	94	104	108	112	103	106	96	100	85	
200	105		94	104	108	112	103	106	97		85	
250	105				110	114	106	109	97			

Para convertir los datos de la tabla anterior en espectro de bandas de octava, se debe utilizar la siguiente corrección:

$$\text{Nivel de potencia sonora en octava de banda} = \text{dBA} - \text{CF}$$

Donde CF viene dado en la siguiente tabla.

**Tabla 5.5<sup>1</sup>**

	Frecuencia central de banda de octava (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
CF	16	12	8	4	4	8	12	16

### Aereoenfriadores

<sup>1</sup> Fuente Thumann, A y Miller, R.

Los aereoenfriadores, son equipos intercambiadores de calor cuyos componentes generadores de ruido son los ventiladores unidos a un motor accionador.

**Estimación del nivel de potencia sonora producido por ventiladores:**

Para estimar el nivel de potencia sonora producido por ventiladores, se utilizarán los datos suministrados por los fabricantes de los mismos, y en caso de no poseerlos, se puede estimar a través del siguiente procedimiento:<sup>1</sup>

1. Se obtiene de la tabla 5.6, los niveles específicos de potencia sonora en bandas de octava para el tipo de ventilador seleccionado.
2. Se ajustan los niveles de banda de octava obtenidos anteriormente, a las condiciones de funcionamiento real añadiendo al mencionado nivel el valor determinado por la siguiente ecuación:

$$Lw = 10 * \text{Log}_{10} Q + 20 * \text{Log}_{10} P_t \quad \text{Ec. 5.1.7}$$

$Q$  = caudal de aire (m3/seg).

$P_t$  = Presión total (kPa).

3. Se calcula la frecuencia de álabe mediante la siguiente ecuación:

$$F_B = \frac{n * N}{60} \quad \text{Ec. 5.1.7.1}$$

$F_B$  = frecuencia de álabe en Hz.

$n$  = velocidad del impulsor en RPM.

$N$  = número de álabes del impulsor.

4. Se calcula el incremento de frecuencia del álabe (BFI), a través de la tabla 5.6 y se le añade éste valor al nivel de potencia sonora de banda de octava de la banda que incluye la frecuencia del álabe.

---

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

## Diseño del Procedimiento

Para obtener el nivel de potencia sonora desde la boca de entrada y a la salida, se restan 3 dB, en cada banda de octava.

**Tabla 5.6<sup>1</sup>**

Tipo de Ventilador	Tamaño de la hélice	Frecuencias centrales de banda de octava, Hz									
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	BFI	
<b>Ventiladores Centrífugos</b>											
Aerodinámico, curvados en sentido contrario a la marcha	Mayor a 0,75 metros	85	85	84	79	75	68	64	62	3	
	Menor a 0,75 metros	90	90	88	84	79	73	69	64	3	
<b>Ventiladores radiales:</b>											
Baja presión (presión estática de 4 a 10 Kpa)	Mayor a 1 metro	101	92	88	84	82	77	74	71	7	
	Menor a 1 metro	112	104	98	88	87	84	79	76	7	
Media presión (presión estática de 10 a 20 Kpa)	Mayor a 1 metro	103	99	90	87	83	78	74	71	8	
	Menor a 1 metro	113	108	96	93	91	86	82	79	8	
Alta Presión (presión estática de 20 a 60 Kpa)	Mayor a 1 metro	106	103	98	93	91	89	86	83	8	
	Menor a 1 metro	116	112	104	99	99	97	94	91	8	
Curados en sentido de la marcha	Todos	98	98	88	81	81	76	71	66	2	
<b>Ventiladores Axiales:</b>											
Axiales con aletas guía											
HUB-ratio 0,3-0,4	Todos	94	88	88	93	92	90	83	79	6	
HUB-ratio 0,4-0,6	Todos	94	88	91	88	86	81	75	73	6	
HUB-ratio 0,6-0,8	Todos	98	97	96	96	94	92	88	85	6	
Tubo axiales	Mayor a 1 metro	96	91	92	94	92	91	84	82	7	
	Menor a 1 metro	93	92	94	98	97	96	88	85	7	
Helicoidales	Todos	93	96	103	101	100	97	91	87	5	

### Válvulas de Control:

#### **Estimación el nivel de presión sonora generado por válvulas de líquido:**

Para estimar el nivel de presión sonora generado, se consideran los siguientes parámetros importantes en la generación del ruido.

1. Diferencia de presión a través de la válvula.
2. Coeficiente de flujo.
3. Clasificación de la tubería adyacente.
4. Coeficiente de recuperación.
5. Radio de aplicación.

En el caso de estimar el nivel de presión sonora generado por una válvula de líquido, para su estudio lo dividiremos en dos casos, en el caso que no exista cavitación y en el que exista cavitación.

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

Cuando no exista cavitación en la válvula el nivel de presión sonora se estima de la siguiente forma:<sup>1</sup>

$$SPL = SPL_{\Delta P} + \Delta SPL_{Cv} + \Delta SPL_K + \Delta SPL_{km} + \Delta SPL_G \quad \text{Ec. 5.1.8}$$

**SPL** = Nivel de presión sonora total en dBA a una distancia de 1 metro aguas abajo de la salida de la válvula y a 1 metro de la superficie de la tubería.

**SPL<sub>ΔP</sub>** = Nivel sonoro en dBA determinado en función de la caída de presión a través de la válvula en psi, se extrae de la siguiente ecuación:

$$SPL_{\Delta P} = 20 * \text{Log}_{10}(\Delta P) + 35 \quad \text{Ec. 5.1.8.1}$$

**ΔSPL<sub>Cv</sub>** = corrección en dBA, por coeficiente de flujo de la válvula se obtiene según la siguiente ecuación:

$$\Delta SPL_{Cv} = 10 * \text{Log}_{10}(Cv) \quad \text{Ec. 5.1.8.2}$$

**ΔSPL<sub>K</sub>** = Corrección en dBA por tratamiento acústico Tabla 5.7.

**ΔSPL<sub>km</sub>** = Corrección en dBA debido al coeficiente de recuperación de la válvula, se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\Delta SPL_{Km} = -5 * \text{Log}_{10}(Km) \quad \text{Ec. 5.1.8.3}$$

**ΔSPL<sub>G</sub>** = Corrección en dBA debido a la gravedad específica del fluido, se obtiene según la siguiente ecuación:

$$\Delta SPL_G = -5 * \text{Log}_{10}(G) \quad \text{Ec. 5.1.8.4}$$

Cuando exista cavitación en la válvula el nivel de presión sonora se estima de la siguiente forma:<sup>1</sup>

$$SPL = SPL_{\Delta P} + \Delta SPL_{Cv} + \Delta SPL_K + \Delta SPL_{AR} \quad \text{Ec. 5.1.9}$$

---

<sup>1</sup> Fuente Hutchinson, J.

## Diseño del Procedimiento

$SPL_{\Delta P}$  = Nivel sonoro en dBA determinado en función de la caída de presión a través de la válvula en psi, se extrae de la siguiente ecuación:

$$SPL_{\Delta P} = 15 * \text{Log}_{10}(\Delta P) + 75 \quad \text{Ec. 5.1.9.1}$$

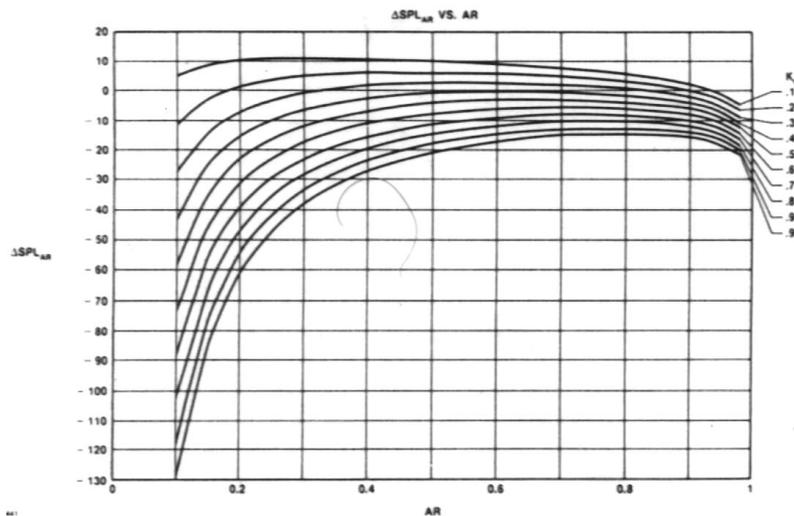
$\Delta SPL_{Cv}$  = corrección en dBA, por coeficiente de flujo de la válvula se obtiene según la siguiente ecuación:

$$\Delta SPL_{Cv} = 10 * \text{Log}_{10}(Cv) \quad \text{Ec. 5.1.9.2}$$

$\Delta SPL_K$  = Corrección en dBA por tratamiento acústico, tabla 5.7.

$\Delta SPL_{AR}$  = Corrección por el radio de aplicación viene por la figura 5.1.

Fig 5.1<sup>1</sup>



$$AR = \left( \frac{\Delta P}{P_1 - P_v} \right) \quad \text{Ec. 5.1.9.3}$$

<sup>1</sup> Fuente Hutchinson, J.

## Diseño del Procedimiento

Donde:

$\Delta P$  = caída de presión a través de la válvula en psi.

$P_1$  = presión de entrada del fluido en psia.

$P_v$  = presión de vapor del fluido en psia.

**Tabla 5.7<sup>1</sup>**

Diámetro nominal pulgadas	Cédula de la tubería (pipe Schedule)													
	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	STD	XS	XXS	
1				48,8		52,1					56,1	48,8	52,1	61,1
1-1/2				42,8		46,1						42,8	46,1	54,3
2				38,7		42,8						39,3	42,6	50,6
3				35,9		39,2						35,9	39,2	46,7
4				32,9		36,3		38,9				32,9	36,3	43,5
6				29,5		33,5		36,1				29,5	33,5	40,4
8		25,7	26,6	27,9	30,1	32,0	33,6	35,4	36,6	37,7	27,9	32,0	37,3	
10		23,5	25,4	26,9	29,8	31,4	33,1	35,4	36,3	37,4	26,9	29,8		
12		22,0	24,5	26,3	29,3	31,1	33,0	34,7	35,7	37,2	25,6	28,2		
14	21,2	23,1	24,8	26,2	28,9	31,1	33,1	34,6	35,9	37,0	24,8	27,4		
16	20,0	22,0	23,6	26,2	28,6	30,9	32,8	34,6	35,9	36,9	23,6	26,2		
18	19,0	21,0	24,0	26,2	28,8	30,9	32,8	34,4	35,6	36,9	22,6	25,2		
20	18,2	21,8	24,3	25,8	28,7	30,8	32,8	34,3	35,8	36,9	21,8	14,3		
24	16,7	20,3	23,9	25,8	28,7	30,8	32,9	34,5	35,7	37,0	20,3	22,8		
30	16,9	21,1	23,1								18,6	21,1		
36											17,2	19,7		
42											16,1	18,6		
44											15,7	18,3		
48											15,1	17,6		
52											14,6	17,1		
56											14,1	16,6		
60											13,6	16,1		

### Estimación el nivel de presión sonora en válvulas de gas o vapor

Para estimar el nivel de presión sonora generado, se consideran los siguientes parámetros importantes en la generación del ruido.

1. Diferencia de presión a través de la válvula.
2. Coeficiente de flujo.
3. Radio entre la diferencia de presión y la presión de entrada.
4. Presión aguas debajo de la válvula.
5. Atenuación por la pared de la tubería adyacente.
6. Tipo de gas.

<sup>1</sup> Fuente Hutchinson, J.

## Diseño del Procedimiento

El procedimiento para estimar el nivel de presión sonora producto del paso de un fluido a través de una válvula de gas, es el siguiente: <sup>1</sup>

$$SPL = SPL_{\Delta P} + \Delta SPL_{Cg} + \Delta SPL_X + \Delta SPL_{P2} - \Delta SPL_t + \Delta SPL_g \quad \text{Ec. 5.1.10}$$

**SPL** = Nivel de presión sonora total en dBA a una distancia de 1 metro aguas debajo de la salida de la válvula y a 1 metro de la superficie de la tubería.

**SPL<sub>ΔP</sub>** = Nivel sonoro determinado en función de la caída de presión a través de la válvula en dBA.

Viene dado por la siguiente expresión:

$$SPL_{\Delta P} = 20 * \text{Log}_{10}(\Delta P) \quad \text{Ec. 5.1.10.1}$$

**Δp** = Caída de presión a través de la válvula en psi.

**ΔSPL<sub>Cg</sub>** = Corrección en dBA, por coeficiente de flujo de la válvula.

Viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta SPL_{Cg} = 20 * \text{Log}(F_p * C_g * \sqrt{X_{TP}}) + 32 \quad \text{Ec. 5.1.10.2}$$

Donde:

**C<sub>g</sub>** = Coeficiente de flujo de la válvula

**F<sub>p</sub>** = Factor geométrico de la tubería (adimensional).

**X<sub>TP</sub>** = Valor terminal de X para conseguir flujo supersónico dentro de la válvula (adimensional) se encuentra en el catálogo de la válvula.

**ΔSPL<sub>X</sub>** = Corrección en dBA por el radio de caída de presión.

$$\Delta SPL_X = 20 * X^{.45} \quad \text{Ec. 5.1.10.3}$$

Donde:

$$X = \left( \frac{\Delta P}{P_1} \right) \quad \text{Ec. 5.1.10.3.1}$$

**ΔP** = Caída de presión a través de la válvula psi (Bar).

<sup>1</sup> Fuente Kirik, M y Driskell L.

## Diseño del Procedimiento

$p_1$  = Presión a la entrada de la válvula, psia (Bar abs).

$\Delta SPL_{p_2}$  = Corrección en dBA por la presión aguas abajo.

Viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta SPL_{p_2} = 10 * \text{Log}_{10} \left( \frac{265 * \left( \frac{p_2}{p_1} \right) + 14.7}{p_2 + 14.7} \right) \quad \text{Ec. 5.1.10.4}$$

Donde:

$p_2$  = Presión a la salida de la válvula psig.

$p_1$  = Presión a la entrada de la válvula psig.

$\Delta SPL_t$  = Corrección en dBA por tratamiento acústico Tabla 5.8.

$\Delta SPL_g$  = Corrección en dBA por tipo de gas, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta SPL_g = 7,8 * \text{Log}_{10} \left( \frac{Mw}{28.96} \right) \quad \text{Ec. 5.1.10.5}$$

$Mw$  = Peso molecular del gas.

**Tabla 5.8**

Tamaño tubería		Tubería de acero													Acero inoxidable			
NPS	DN	Cédula de la tubería (pipe Schedule)																
		10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	STD	XS	XXS	5S	10S	40S	80S
1	25				19,0		21,6				24,5	19,0	21,6	27,6	12,8	17,3	19	21,6
	40				19,8		22,6				25,6	19,8	22,6	28,6	12,8	17,3	19,8	22,6
2	50				20,4		23,4				27,3	20,4	23,4	29,4	12,8	17,4	23,1	23,4
	80				23,4		26,2				29,5	23,4	26,2	32,3	15,1	18,3	23,1	26,2
4	100				24,2		27,2		29,5		31,2	24,2	27,2	33,2	15,0	18,2	24,2	27,2
	150				25,8		29,5		31,8		33,9	25,8	29,5	35,5	17,6	19,4	25,8	29,5
8	200		24,9	25,8	27,1	29,1	30,9	32,4	34,1	35,1	36,1	27,1	30,9	35,8	17,7	20,3	27,1	30,9
	250		24,9	26,7	28,2	31,0	32,4	34,1	35,5	37,0	38,0	28,2	31,0		19,5	21,3	28,2	31
12	300		25,1	27,5	29,3	32,1	33,8	35,6	37,1	38,1	39,5	28,6	31,1		21,0	22,2	28,6	31,1
	350	23,6	27,1	28,7	30,0	32,6	34,7	36,6	38,0	39,1	40,1	28,7	31,2					
16	400	25,2	27,2	28,8	31,3	33,6	35,8	37,6	39,0	40,4	41,3	28,8	31,3					
	450	25,3	27,2	30,1	32,3	34,8	36,7	38,6	40,1	41,2	42,3	28,8	31,3					
20	500	25,4	28,9	31,4	32,9	35,6	37,7	39,1	40,9	42,3	43,3	28,9	31,4					
	600	25,6	29,1	32,6	34,4	37,4	39,4	41,3	42,8	43,9	45,0	29,1	31,6					
30	750	27,7	31,8	33,7								29,3	31,8					
	900	28,0	32,1	34,1	35,6							29,6	32,1					
42	1100											29,8	32,3					
												29,9	32,4					
48	1200											30,0	32,5					
												30,2	32,7					
52	1300											30,3	32,8					
												30,4	32,9					
56																		
60	1500																	

Otra manera de estimar el nivel de potencia sonora de cada una de las fuentes es a través la hoja de datos de ruido (noise data sheet), elaborada

por el fabricante, la cual contiene el nivel de presión sonora en dBL, por cada banda de octava y el nivel de presión sonora equivalente en dBA, para una distancia de un metro de la superficie del equipo.

Con éstos datos se pueden estimar el nivel de potencia sonora de la fuente, considerándola una fuente puntual a través de la siguiente ecuación:

$$L_w = L_p + 10 * \text{Log}_{10} \left( \frac{A1}{A0} \right) \quad \text{Ec. 5.1.11}$$

Donde:

**L<sub>w</sub>** = Nivel de potencia sonora dB.

**L<sub>p</sub>** = Nivel de presión sonora dB.

**A1** = Area a partir del centro acústico del equipo, donde se tomó la medición m<sup>2</sup>.

**A0** = Area de referencia 1 m<sup>2</sup>.

#### 5.1.5 Condiciones atmosféricas del lugar.

Para realizar la predicción es necesario conocer las condiciones atmosféricas del lugar, ya que existen datos a obtener de tablas, que dependen de los siguientes factores:

- Temperatura de Bulbo seco.
- Humedad relativa.

#### 5.1.6 Estimación del nivel de presión sonora directo.

Para estimar del nivel de presión sonora directo se utilizara la siguiente ecuación:

$$L = L_w + 10 * \text{Log}_{10} \frac{DF}{4 * \pi * r^2} - A_{\text{aire}} - A_{\text{suelo}} \quad \text{Ec. 5.1.12}$$

**DF** = Factor directividad

**L<sub>w</sub>** = nivel de potencia sonora en dB

**r** = distancia desde la fuente en metros.

**A<sub>aire</sub>** = viene dada por la siguiente expresión:

Diseño del Procedimiento

$$A_{\text{aire}} = \frac{\alpha * d}{1000} \quad \text{Ec. 5.1.12.1}$$

$\alpha$  = coeficiente de atenuación (Tabla 5.9) del aire en decibelios por kilometro.

$d$  = distancia en metros.

**Tabla 5.9<sup>1</sup>**

Coeficiente de atenuación del aire, dB/km, para presión de 101,3 kPa							
		Frecuencia, Hz					
Temperatura	Humedad Relativa, %	125	250	500	1000	2000	4000
30 °C	10	0,96	1,8	3,4	8,7	29	96
	20	0,73	1,9	3,4	6	15	47
	30	0,54	1,7	3,7	6,2	12	33
	50	0,35	1,3	3,6	7	12	25
	70	0,26	0,96	3,1	7,4	13	23
	90	0,2	0,78	2,7	7,3	14	24
20 °C	10	0,78	1,6	4,3	14	45	109
	20	0,71	1,4	2,6	6,5	22	74
	30	0,62	1,4	2,5	5	14	49
	50	0,45	1,3	2,7	4,7	9,9	29
	70	0,34	1,1	2,8	5	9	23
	90	0,27	0,97	2,7	5,3	9,1	20
10 °C	10	0,79	2,3	7,5	22	42	57
	20	0,58	1,2	3,3	11	36	92
	30	0,55	1,1	2,3	6,8	24	77
	50	0,49	1,1	1,9	4,3	13	47
	70	0,41	1	1,9	3,7	9,7	33
	90	0,35	1	2	3,5	8,1	26
0 °C	10	1,3	4	9,3	14	17	19
	20	0,61	1,9	6,2	18	35	47
	30	0,47	1,2	3,7	13	36	69
	50	0,41	0,82	2,1	6,8	24	71
	70	0,39	0,76	1,6	4,6	16	56
	90	0,38	0,76	1,5	3,7	12	43

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

$A_{suelo}$  = viene dado por la siguiente expresión:

$$A_{suelo} = 4.8 - (2 * h_m / r) * (17 + 300 / r) \quad \text{Ec. 5.1.12.2}$$

$r$  = distancia entre la fuente y el receptor en metros

$h_m$  = altura media del camino de propagación por encima del suelo en metros.

Comentario [Is2]:

Donde la altura media se obtiene de la siguiente forma:

$$hm = \left( \frac{Z1 + Z2}{2} \right) \quad \text{Ec. 5.1.12.2.1}$$

$Z1$  = altura de la fuente en metros.

$Z2$  = altura del receptor en metros.

Los valores negativos de  $A_{suelo}$  obtenidos a partir de esta ecuación no son significativos y deben ser reemplazados por ceros.

### 5.1.7 Estimación el nivel de presión sonora reflejado (en caso de espacio cerrado).

Para estimar el nivel de presión reflejado se debe utilizar la siguientes ecuación:

$$L_r = L_w + 10 * \text{Log}_{10} \frac{4}{R} \quad \text{Ec. 5.1.13}$$

$L_w$  = Nivel de potencia sonora en dB

$R$  = Constante de habitación en ( $m^2$ ), viene dada por:

$$R = \frac{A}{1 - \alpha_{avg}} \quad \text{Ec. 5.1.13.1}$$

$\alpha_{avg}$  = la absorción promedio del local y se obtiene de la siguiente forma:

## Diseño del Procedimiento

$$\alpha_{avg} = \frac{A}{S} \quad \text{Ec. 5.1.13.1.1}$$

**A** = absorción total en sabinos métricos

**S** = área total de superficie (m<sup>2</sup>)

Conociendo el material de construcción, para poder determinar el coeficiente de absorción sonora, a través de la tabla 5.10.

**Tabla 5.10<sup>1</sup>**

Coeficientes de absorción del sonido de materiales de construcción							
Material	Frecuencia central de banda de octava (Hz)						NCR promedio
	125	250	500	1000	2000	4000	
<b>Paredes</b>							
Ladrillo	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,05
Concreto pintado	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08	0,05
Vidrio de ventana	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,15
Mármol	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
Friso de concreto	0,12	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	0,05
Madera contrachapada	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11	0,15
Bloque de concreto	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25	0,35
Cortina Pesada	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65	0,60
Tratamiento de fibra de vidrio 2,5 cm	0,08	0,32	0,99	0,76	0,34	0,12	0,60
Tratamiento de fibra de vidrio 17,8 cm	0,86	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,95
Panel de madera sobre fibra de vidrio	0,40	0,90	0,80	0,50	0,40	0,30	0,65
<b>Piso</b>							
Madera sobre concreto	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,05
Linóleo	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,05
Alfombra sobre Concreto	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65	0,30
Alfombra sobre Concreto panel de caucho	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73	0,55
Techo							
Friso de yeso	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,05
Losa acústica de 1,6 cm suspendida a 40,6 cm del techo	0,25	0,28	0,46	0,71	0,86	0,93	0,60
Losa acústica de 1,2 cm suspendida a 40,6 cm del techo	0,52	0,37	0,50	0,69	0,79	0,78	0,60
Igual al anterior pero colocada directamente en el techo	0,10	0,22	0,61	0,66	0,74	0,72	0,55
Panel de alta absorción de 2,5 cm suspendido a 40,6 cm	0,58	0,88	0,75	0,99	1,00	0,96	0,90
<b>Otros</b>							
Asiento tapizado	0,19	0,37	0,56	0,67	0,61	0,59	0,55
Persona en asiento tapizado	0,39	0,57	0,80	0,94	0,92	0,87	0,80
Gramma	0,11	0,26	0,60	0,69	0,92	0,99	0,61
Tierra	0,15	0,25	0,40	0,55	0,60	0,60	0,45
Superficie del agua	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00

<sup>1</sup> Fuente Cyril, Harris.

**5.1.8 Estimar las pérdidas por transmisión del sonido a través de las divisiones.**

Para esto se debe conocer las propiedades acústicas del material de construcción, con respecto a su pérdida por transmisión (TL) , estos datos se consiguen en la tabla 5.11.

Para el caso de tener una partición que conste de varios elementos, se prosigue según la siguiente ecuación:

$$A_{total} * \tau_{total} = \sum_{i=1}^n A_i * \tau_i \quad \text{Ec. 5.1.14}$$

$A_i$  = área del elemento i

$A_{total}$  = Area total de la partición (m<sup>2</sup>)

$\tau_i$  = Coeficiente de transmisión del elemento i

Con el valor de coeficiente total se calcula la nueva pérdida por transmisión de la partición a través de la ecuación.

$$TL = 10 * \text{Log}_{10} \left( \frac{1}{\tau} \right) \quad \text{Ec. 5.1.15}$$

$\tau$  = coeficiente de transmisión.

## Diseño del Procedimiento

**Tabla 5.11<sup>1</sup>**

N°	Material	espesor (cm)	frecuencia (Hz)					
			125	250	500	1000	2000	4000
<b>Paredes</b>								
1	Concreto sólido	8	35	40	44	52	59	64
2	Concreto con friso	18	39	42	50	58	64	66
3	Pared de concreto con madera enchapada	25	31	40	52	58	60	60
4	Bloques de concreto sólido frisado	41	50	54	59	65	71	68
5	Ladrillo con friso	14	34	34	41	50	56	58
6	Ladrillo con friso	25	41	43	49	55	57	59
7	Ladrillo desnudo	31	45	44	52	58	60	61
8	Piedra frisada	64	50	53	52	58	61	68
9	Pared de bloque de concreto ahuecada	34	47	43	45	52	54	56
10	Pared de bloque de concreto ahuecada	15	32	33	40	48	51	48
11	Bloque de carbonilla frisado	13	36	37	44	51	55	62
12	Bloque de cemento pintado en ambos lados	10	40	40	40	48	55	56
13	Bloque de yeso ahuecado frisado	10	39	34	38	43	48	46
14	Bloque de yeso ahuecado con recubrimiento de material elástico	13	38	37	44	51	56	59
15	Bloque de yeso ahuecado recubierto con yeso y madera con una capa de material elástico	15	25	37	46	53	56	63
16	Concreto hueco con recubrimiento de lámina de fibra	27	41	42	47	51	52	39
17	Doble ladrillo con cavidad de aire y friso	31	37	41	48	60	60	61
18	Doble ladrillo con cavidad de aire y friso	46	48	54	58	64	69	75
19	Pared de madera con laminas de yeso	13	22	30	35	40	41	40
20	Pared de madera con recubrimiento de yeso frisado	15	32	36	42	48	48	62
21	Acero armado con pernos, lata de metal	13	30	28	35	40	43	53
22	Acero armado con pernos con doble recubrimiento de yeso	12	35	38	44	50	50	51
23	Canal de metal armado con pernos con recubrimiento de yeso	7	20	30	38	47	48	45
24	Pared sólida de arena y yeso	5	36	28	35	39	48	52
25	Pared sólida de arena y yeso con canales metálicos	5	35	25	32	38	47	54
26	Partición de yeso sólido	6	34	34	37	38	39	45
<b>Suelo y Techo</b>								
1	Placa de concreto reforzado	10	48	42	45	55	57	66
2	Concreto reforzado con alfombra encima	11	48	42	45	55	57	66
3	Concreto reforzado con capa de cemento	19	42	39	44	49	54	60
4	Concreto con piso de madera	18	35	37	42	49	58	62
5	Concreto con techo suspendido	25	38	41	45	52	57	59
6	Concreto con madera relleno con fibra de vidrio	24	38	44	52	55	60	65
7	Concreto con bloques huecos recubierto de madera	21	40	42	46	52	58	60
8	Concreto con suelo flotante y techo suspendido	38	40	46	54	59	62	68
9	Placa de concreto hueco con sobrepiso de cemento	19	39	38	43	49	54	57
10	Vigas de madera	24	19	24	31	35	45	42
<b>Ventanas</b>								
1	Ventana corrediza enmarcada en aluminio	0,2	10	14	17	18	18	20
2	Toldo enmarcado en aluminio	0,2	16	22	25	28	32	28
3	Doble ventana con espacio de aire	1	18	21	19	24	27	18
4	Doble ventana con vidrio antishock	6	16	24	27	33	37	29
<b>Puertas</b>								
1	Puerta hueca enchapada	4	11	16	16	21	23	23
2	Puerta de madera sólida	4	20	25	23	25	25	28

<sup>1</sup> Fuente Lipscomb David y Taylor Arthur.

## 5.2 CONTROL DEL RUIDO

Para efectuar un control eficiente de los niveles de ruido en la industria se deben estimar medidas de control en cada una de las tres categorías, (fuente, medio y receptor), para ello se debe conocer las ventajas y desventajas de cada uno de los procedimientos de control del ruido.

### 5.2.1 Control del ruido en la fuente

El control de ruido en la fuente se produce al disminuir la intensidad de las fuerzas que interactúan en la fuente, para ello se dan la siguiente información sobre el control de ruido en cada una de las fuentes.

#### **Bombas**

Las fuentes de ruido en bombas se pueden clasificar en dos tipos:

##### **Ruido Transportado por el líquido:**

Se puede producir en los sistemas de bombeo por pulsaciones periódicas generadas a múltiplos enteros de la velocidad de la bomba, por turbulencia generada a altas velocidades de circulación dentro de la bomba o por cavitación. Estas pulsaciones periódicas generadas por el líquido, contienen energía acústica que se acoplan directamente a la estructura (la tubería), volviendo a radiar a las áreas de trabajo adyacente.

##### **Ruido transportado por la estructura:**

Puede ser generado por vibración mecánica dentro de la bomba o por vibraciones inducidas por las pulsaciones del líquido en la carcasa de la bomba o en la tubería. Estas vibraciones forzadas o resonancias mecánicas en la tubería o estructura de soporte, dan como resultado la propagación del ruido al ambiente adyacente.

Algunas de las modificaciones en la fuente que se pueden aplicar son las siguientes:

- Aumentar o disminuir la velocidad de giro de la bomba para así evitar la resonancia del sistema.

- Aumentar la presión (NPSH), para evitar la cavitación o la vaporización, o disminuyendo la altura de succión.
- Balancear los componentes rotativos.
- Cambiar el sistema impulsor, para tratar de eliminar componentes ruidosos.
- Modificar la carcasa de la bomba para que el juego entre el diámetro del impulsor y la carcasa o de las venas del difusor aumente.
- Reemplazar la bomba con un modelo diferente u otro tipo que permita la operación con una velocidad reducida.
- Inyectar una pequeña cantidad de aire en la succión en bombas centrífugas para reducir la cavitación.

### **Compresores:**

Las medidas para controlar el ruido en compresores, después de su escogencia son muy limitadas. Ya que un cambio en la configuración del equipo, puede conllevar a un cambio en su operación. Sin embargo se pueden tomar las siguientes medidas.

Aislar el ruido que se propaga a través de la estructura, mediante la buena escogencia de un amortiguador de vibraciones, que minimice la contribución de la vibración el ruido total.

Utilizar silenciadores en la descarga del compresor, ésta medida disminuiría el nivel de ruido causado por el flujo de aire a la salida del compresor, pero no actuaría en el ruido generado por el cuerpo de éste, como sería el ruido generado por cojinetes, el rotor, y otras fuerzas que actúen en él. Además al instalar un silenciador a la descarga del compresor, se tiene que tomar en cuenta, los efectos que éste tendría en la operación del equipo.

### **Motores eléctricos:**

Las fuentes de ruido en motores eléctricos se pueden dividir en:

#### **1. Causas mecánicas:**

- Asimetrías en el rotor y en el estator.

- Desequilibrios en el rotor.
- Ruido de cojinetes.
- Ruido de escobillas.

### **2. Causas aerodinámicas:**

- Fuentes de ventilación.

### **3. Causas magnéticas:**

- Espacios de aire ubicados entre el estator y el rotor.

Para el control del ruido en motores eléctricos se pueden emplear los métodos especificados en la tabla 2.12.

#### **Ventiladores:**

La emisión de ruido de un ventilador, y sus características operativas, vienen determinadas por el diseño del propulsor giratorio. En la selección de un ventilador, no se toman en cuenta primordialmente las características acústicas del mismo, sino la función que debe cumplir éste para poner en movimiento cierta cantidad de aire a una presión adecuada, con el menor coste inicial, por ende después de la especificación de los requisitos anteriores, se establecen las características de tipo, tamaño y velocidad del ventilador, para luego tomar en cuenta sus características acústicas. Por ésta razón, los niveles de potencia sonora, generados por un ventilador seleccionado correctamente deben ser aceptados, ya que es casi imposible, seleccionar un ventilador que cumpla con las especificaciones de ruido y las especificaciones de trabajo.

Tabla 5.12<sup>1</sup>

Fuente de ruido	Causa	Elemento causante de ruido	Instrucciones para el control del ruido
Mecánica	Impacto	Cojinete liso	Ajustar el anillo de aceite y reducir la holgura longitudinal del eje
		Cojinete de bolas	Reducir la holgura radial, ajustar el separador, reducir las tolerancias del eje y del bastidor. La frecuencia propia de la pantalla final no debería igualar a la frecuencia característica del cojinete de bolas
		Portaescobillas y escobillas	Ajustar el portaescobillas, cambiar la frecuencia propia, desviar las escobillas y limpiar el colector
	Rozamiento	Laminaciones sueltas	Mejorar la sujeción de las laminaciones
		Cojinete de bolas	Holgura demasiado estrecha, lubricante demasiado solidificado o inexistente; rectificar
		Rotor	Equilibrar mecánicamente
Inestabilidad	Cojinetes	Cambiar las ranuras de lubricación en los cojinetes	
	Modulación	Varillas del rotor interruptoras de movimiento	Añadir filtros acústicos o conductos revestidos acústicamente
Vibraciones del rotor que alteran el espacio de aire y en consecuencia el movimiento		Equilibrar el rotor o eliminar las fuerzas magnéticas; cambiar su frecuencia en caso de que sea igual a la frecuencia natural del rotor	
Turbulencia		Ventilador	Diseñar de nuevo el ventilador y las volutas o añadir filtros acústicos y/o conductos revestidos acústicamente
Magnética	Excentricidad	Espacio de aire	Corregir las excentricidades del rotor o del estátor mecánicamente o por medio de ajustes
	Campo variable en dirección circunferencial	Máquinas sincronizadas con polarizaciones extremas	Emplear sujeciones resilientes al instalar la máquina o los núcleos magnéticos
		Variaciones entre las muescas y los engranajes respecto a las perforaciones del rotor y del estátor	Evitar la resonancia de cualquier elemento del motor en esta frecuencia; cortar en chafán las muescas del rotor
Armónicos asimétricos debidos a los armónicos más elevados de la corriente estática	Reducir la asimetría mejorando el diseño del circuito magnético; evitar la resonancia del bastidor del rotor, especialmente en bajas vibraciones, que emiten sonidos de mayor intensidad		

**Válvulas de Control:**

El paso de un fluido a través de una válvula, genera ruido el cual depende de diversas causas entre las cuales se encuentran las siguientes:

- **Ruido debido a las vibraciones mecánicas en la válvula:** Es el resultado de las variaciones de presiones dentro del cuerpo de la válvula y/o de las interacciones del fluido con las partes móviles o flexibles de la

misma, este ruido producto de la vibración posee una frecuencia menor a los 1500 Hz. Otra causa del ruido por vibraciones mecánicas, es la resonancia de los componentes de la válvula, éste fenómeno produce un ruido, cuya frecuencia oscila entre 3000 y 7000 Hz.

- **Ruido hidrodinámico:** La mayor fuente de ruido hidrodinámico es producto de la cavitación.
- **Ruido Aerodinámico:** es la mayor fuente de ruido en válvulas, se debe al flujo turbulento de un gas o vapor, este ruido se puede clasificar como no periódico en frecuencias que oscilan entre 1000 y 8000 Hz.

### **Control del ruido en válvulas**

El control del ruido en una válvula se puede llevar a cabo en la fuente o en el medio de transmisión, para diferenciar las medidas de control de ruido se especificará según el tipo de fluido.

### **Control de ruido en válvulas de líquido**

El tratamiento en la fuente asociado con problemas de generación de ruido en válvulas de control, es primordialmente eliminar o minimizar la cavitación. La cavitación y su ruido asociado, frecuentemente puede ser evitado en la etapa de diseño del proyecto. Sin embargo, cuando las operaciones de servicio son fijas y la válvula tiene que operar a condiciones de presión a las cuales se produzca la cavitación, el control del ruido en la fuente se puede realizar mediante uno de los siguientes métodos:

1. Colocar múltiples válvulas en serie.
2. Utilizar válvulas especiales.
3. Utilizar una configuración especial de la válvula.

El control de ruido a través del medio de transmisión, no es generalmente recomendado, ya que los daños tanto en la válvula como en la tubería causados por la cavitación, es muchas veces más importante que el ruido producido por la misma.

En el caso de que los daños debido a la cavitación sean eliminados, se puede practicar el tratamiento del medio, para reducir el nivel de ruido local

causado por el líquido cavitando, se pueden utilizar un tubo de mayor espesor a la salida de la válvula o un aislamiento acústico o térmico.

### **Control de ruido en válvulas de gas o vapor**

En sistemas cerrados (no ventilados a la atmósfera), el ruido se transmite al aire a través de la válvula o a través de la tubería adyacente, las técnicas de control se dividen en dos categorías básicas en la fuente y en el medio de transmisión.

El tratamiento en la fuente, se realiza a través del cambio de la jaula estándar de la válvula por un diseño denominado "Whisper Trim I", éste tipo de arreglo usa varias aberturas estrechas dispuestas paralelamente, diseñado para disminuir la turbulencia y provee una distribución de velocidad favorable en el área de expansión de la válvula.

La jaula denominada "Whisper Trim I", es muy eficiente cuando el radio de caída de presión es menor a 0.65. Además es muy efectiva para ser usado cuando la máxima velocidad aguas abajo del fluido es menor o igual a la mitad de la velocidad del sonido en el fluido. Este tipo de arreglo puede proveer una atenuación aproximada de 15 dBA en relación con la jaula estándar, con un pequeño sacrificio de capacidad de flujo.

Cuando el radio de caída de presión es mayor a 0.65, este tipo de jaula, pierde eficiencia, por esta razón se recomienda utilizar un difusor, para que la caída de presión total se realice en dos etapas. El difusor provee una restricción constante la cual aumenta la presión después de la válvula, reduciendo la velocidad. El uso de un difusor aguas abajo de la válvula, puede reducir el ruido producido por la válvula en 20 dBA.

Cuando la caída de presión es alta, el radio de caída de presión es mayor a 0.65, se debe usar una jaula denominado Whisper Trim III, en este tipo de jaula el flujo del fluido, pasa desde adentro hacia fuera a través de varios orificios, esto está diseñado, para reducir la turbulencia del flujo. Para diversas aplicaciones donde existan altas radios de caída de presión, se instala un deflector a la salida de la jaula, éste actúa reduciendo la

turbulencia. Este tipo de válvula, puede ofrecer una atenuación de 30 dBA, con respecto a la jaula estándar y posee mayor efectividad cuando la velocidad aguas debajo de la válvula es igual o menor que 0,3 veces la velocidad del sonido del fluido.

Para aplicaciones donde el ratio de caída de presión es mayor a 0,8, la caída de presión se puede dividir en la caída de presión a través de la válvula y a través de una restricción constante, la cual puede ser un difusor, colocado aguas abajo de la válvula. Para aumentar la efectividad del difusor, debe ser diseñado para una instalación única, tal que el nivel de ruido generado por el difusor y la válvula sean iguales.

La otra situación que frecuentemente genera problemas de ruido es el respiradero. Los sistemas de válvulas de alivio, que ventilan hacia la atmósfera, son generalmente muy ruidosos, debido a las grandes presiones y velocidades envueltas. En estos casos se puede usar un silenciador, para dividir la caída de presión entre el respiradero y la válvula colocada aguas arriba. Una buena escogencia del silenciador puede reducir el nivel de ruido en más de 60 dBA.

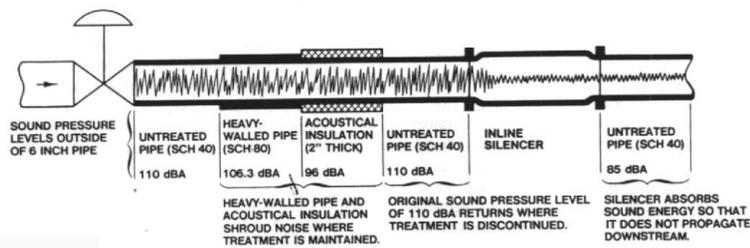
El tratamiento en el medio de transmisión se puede aplicar, donde el tratamiento en la fuente es muy costoso, o en combinación con éste, cuando el tratamiento en la fuente solo es inadecuado. El tratamiento en el medio consiste en aumentar la pérdida de transmisión, para reducir la energía irradiada al medio. Los tratamientos en el medio utilizados son los siguientes:

1. Utilizando una pared de tubería mas gruesa, por ejemplo, al cambiar de una tubería Schedule 40 a una Schedule 80 se puede reducir el nivel de ruido en 4dBA.
2. Utilizando aislantes acústicos o térmicos: Un aislante térmico, puede proporcionar de 3 a 5 dBA de atenuación por pulgada de espesor del aislamiento con un máximo de 12 a 15 dBA. Un aislante acústico, puede

proporcionar una reducción de ruido de 8 a 10 dBA por pulgada de espesor con un máximo de 24 a 27 dBA.

Estos tratamientos, son una técnica económica y efectiva, para disminuir el nivel de ruido local, ya que actúan solamente en el lugar donde se encuentran localizados como lo muestra la figura 5.2.

Fig. 5.2<sup>1</sup>



- Utilizando silenciadores, se logra absorber parte de la energía acústica, éste método reduce la intensidad del ruido en la válvula y en la tubería. En líneas de transmisión de gas, los silenciadores en la línea son un efectivo disipador de ruido. Cuando el flujo másico es alto y/o el radio de caída de presión a través de la válvula es alto, un silenciador en la línea, es frecuentemente la solución mas real y económica en el control del ruido. Generalmente el límite de atenuación del ruido es aproximadamente 35dBA.

### 5.2.2 Control del ruido en el medio

En el medio de transmisión del ruido se pueden emplear los siguientes métodos, los cuales tienen sus ventajas y desventajas, algunas de las cuales se citan a continuación:

#### 5.2.2.1 Emplazamiento:

Se realiza al aire libre, y consiste en aumentar la distancia entre la fuente de ruido y el receptor.

#### Ventajas:

<sup>1</sup> Fuente Hutchinson, J.

- No requiere de mayor inversión en modificaciones de tipo constructivo.
- Es una manera eficiente de controlar el nivel de ruido en un punto.

**Desventajas:**

- No siempre es posible aumentar la distancia entre la fuente y el receptor.
- Se utiliza solamente en lugares abiertos.
- No actúa sobre el nivel de ruido irradiado.

**5.2.2.2 Disposición de la edificación:**

Consiste en planificar la localización dentro de la planta de las fuentes de ruido, para que se encuentren lo más alejadas posible de los lugares donde se desean condiciones de silencio.

**Ventajas:**

- No requiere de construcciones adicionales

**Desventajas:**

- No actúa sobre el nivel de ruido irradiado.
- Las zonas de alto ruido no se verán beneficiadas.

**5.2.2.3 Barreras:**

Las barreras al aire libre o dentro de la planta pueden presentar un medio de atenuación eficiente para distancias menores a 100 metros, para distancias mayores de 300 metros, la eficiencia de la barrera es muy baja

**5.2.2.4 Cerramientos:**

Consiste en encerrar las fuentes de ruido para producir una atenuación del nivel de ruido, a través de la pérdida por transmisión a través del cerramiento.

**Ventajas:**

- Produce un nivel de atenuación considerable.

**Desventajas:**

- Necesita construcciones adicionales, las cuales pueden entorpecer las labores de mantenimiento.

- Como resultado del encerramiento se disminuye la ventilación y puede llegar a aumentar la temperatura dentro del cerramiento afectando el funcionamiento de los diferentes equipos.

#### **5.2.2.5 Absorción:**

Una medida para la atenuación del ruido es a través de la absorción.

##### **Ventajas:**

- No interfiere con las actividades desempeñadas.
- Consiste en recubrir las zonas con material absorbente para disminuir la cantidad de sonido que se refleja.

##### **Desventajas**

- Se aplica solamente a locales cerrados.
- Actúa atenuando el sonido reflejado, pero no actúa sobre el sonido directo.

#### **5.2.2.6 Desajuste:**

Consiste en reflejar el ruido hacia la fuente a través de discontinuidades, impidiendo el flujo de energía acústica desde la fuente hacia el receptor.

##### **Ventajas**

- Posee las mismas ventajas del cerramiento, pero actúa en una sola dirección.
- No interfiere con los procesos de mantenimiento ni ventilación.

##### **Desventajas:**

- El nivel de ruido reflejado afecta la zona ubicada del lado de la fuente, aumentando el nivel de ruido en esta zona.
- Actúa atenuando el ruido en la dirección donde se encuentra la discontinuidad, pero no afecta el nivel de ruido emitido en otras direcciones.

### **5.3 PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DEL RUIDO**

En caso de que los niveles de ruido estimados, sean mayores a los objetivos del diseño, se necesita realizar un control de ruido, para el cual se recomienda, seguir los siguientes pasos:

**1. Determinación de las posibles causas de ruido en la fuente.**

Estas causas, por cada tipo de fuente, se encuentran especificadas anteriormente.

**2. Determinación de las vías de propagación del ruido entre la fuente y el receptor.**

Las vías de propagación entre la fuente y el receptor pueden ser las siguientes:

- Vía de transmisión aérea directa.
- Vía de transmisión aérea reflejada.
- Vía de transmisión a través de la estructura.

**3. Determinar la contribución del nivel de ruido que se propaga a través de cada vía.**

En caso de ubicarse la planta en un local cerrado, la contribución viene dada por el nivel de presión sonora directo y el nivel de presión sonora reflejado, ya que se considera que el nivel de presión sonora transmitido a través de la estructura no afecta el nivel de presión sonora total en un cierto punto.

Para determinar la contribución del nivel sonoro directo y el nivel sonoro reflejado, se debe evaluar el radio crítico, si el valor de la distancia a la fuente, es mayor al radio crítico, predomina el nivel sonoro reflejado, si la distancia a la fuente es menor al radio crítico, predomina el nivel sonoro directo.

**4. Elegir un objetivo de diseño:**

Es el espectro de presión sonora en bandas de octava que se desea conseguir, el cual es lograr un espectro de ruido que cumpla con la Norma

COVENIN 1565-1995, la cual establece los límites de exposición a niveles de ruido, para prevenir la pérdida de la audición de la mediana de la población, en frecuencias de 500 a 4000 Hz.

El límite de exposición a niveles de ruido se establece según la siguiente ecuación:<sup>1</sup>

$$T = \frac{8}{2^{\left(\frac{L-85}{3}\right)}} \quad \text{Ec. 5.3.1}$$

Donde:

$T$  = tiempo máximo de exposición en horas.

$L$  = nivel de presión sonora en dB(A).

Aparte la Norma establece que no se permitirá exposición a ruido continuo cuyo nivel sea mayor o igual a 85 dB en ponderación A, sin la debida protección auditiva. Los protectores auditivos utilizados deben cumplir con la norma COVENIN 871.

Además la Norma COVENIN 1565-1995, establece que cuando la exposición diaria se componga de dos o más períodos de exposición a ruido de diferentes niveles, debe considerarse un efecto combinado mediante la aplicación de la siguiente ecuación:<sup>1</sup>

$$\sum_{k=1}^n \frac{C_k}{T_k} \leq 1 \quad \text{Ec. 5.3.2}$$

Donde:

$C_k$  = Indica la duración total de la exposición en horas.

$T_k$  = Indica la duración de la exposición permitida en horas, obtenida de la ecuación 2.3.1.

En el caso de ruidos de impacto o impulsivos, no se permiten las exposiciones por encima de niveles de presión sonora pico de 140 dB, ponderados en escala C, sin el uso de protección auditiva.

<sup>1</sup> Fuente COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES

**5. Determinar la reducción de ruido precisa en cada banda de octava con el fin de lograr el objetivo de diseño.**

La reducción de ruido se determina mediante la diferencia entre el espectro en bandas de octava correspondiente al ruido total en el receptor y el espectro en bandas de octava del objetivo del diseño.

**6. Evaluar las distintas opciones disponibles para lograr la reducción del ruido requerida.**

Al evaluar las distintas opciones, se deben considerar los siguientes parámetros:

- Cumplir con el objetivo de diseño.
- Evaluar las ventajas y desventajas del método de control de ruido a ser empleado.
- Tomar en cuenta el aspecto económico de la decisión a tomar.

## 6 RESULTADOS

Para verificar la aplicación del procedimiento para la predicción de ruido, se tomó como ejemplo la planta de Acogas ubicada en Jusepín Estado Monagas, donde con las hojas de datos (Data shett), facilitadas por la empresa Inelectra S.A. se procedió a la aplicación del procedimiento de la siguiente forma:

### **Determinación de las fuentes de ruido continuo**

Las fuentes de ruido encontradas en la zona estudiada son las siguientes:<sup>1</sup>

#### **Compresores:**

Turboexpansor C-0325.  
Compresor C-0130A/B.  
Compresor C-0680.

#### **Bombas centrífugas:**

Bombas P-0350 A/B.  
Bombas P-0550 A/B/C.  
Bombas P-0375 A/B.  
Bombas P-1480 A/B/C.  
Bombas P-0690 A/B/C.  
Bombas P-3340 A/B.

Las bombas citadas a continuación funcionaban de forma alterna, una de dos o dos de tres. Cada una era accionada por un motor eléctrico.

#### **Aereoenfriadores**

Aereoenfriador E-0660.  
Aereoenfriador E-0170.  
Aereoenfriador E-0140.  
Aereoenfriador E-0355.  
Aereoenfriador E-0335.

---

<sup>1</sup> Fuentes Hoja de Datos Planta Acogas.

## Resultados

---

Aereoenfriador E-0570.

Aereoenfriador E-0630.

Aereoenfriador E-0530.

Aereoenfriador E-3325.

### **Motores Eléctricos**

Motor Bomba P-0350 A/B

Motor Bomba P-0550 A/B/C.

Motor Bomba P-0375 A/B.

Motor Bomba P-1480 A/B/C.

Motor Bomba P-0690 A/B/C.

Motor Bomba P-3340 A/B.

Motor aereoenfriador E-0660.

Motor aereoenfriador E-0170.

Motor aereoenfriador E-0140.

Motor aereoenfriador E-0355.

Motor aereoenfriador E-0335.

Motor aereoenfriador E-0570.

Motor aereoenfriador E-0630.

Motor aereoenfriador E-0530.

Motor aereoenfriador E-3325.

### **Válvulas de control**

Las válvulas de control consideradas como fuente de ruido se tomaron en cuenta todas aquellas válvulas cuyo nivel de presión sonora a 1 metro aguas debajo de la válvula y 1 metro de la superficie de la misma fuera mayor a 85 dB(A).

Las válvulas tomadas en consideración son las siguientes:

Válvula PV 0711.

Válvula PV 0370.

Válvula PV 0540.

Válvula XV 0240

## Resultados

---

Válvula XV 0250.

Válvula XV 0260

Válvula XV 0651

Válvula XV 0322

Válvula XV 0381

Válvula XV 0620

Válvula PV 3122

### **Ubicación dentro de la planta de las fuentes de ruido.**

Para conocer la ubicación de las fuentes de ruido dentro de la planta, se fue facilitado los planos de la planta.

### **Conocer los datos de funcionamiento requeridos para la estimación del nivel de potencia sonora de cada tipo de fuente.**

Los datos de funcionamiento necesario fueron extraídos de las hojas de datos de cada uno de los equipos en propiedad de la empresa Inelectra S.A, de las cuales se extrajo lo siguiente.

#### **Bombas<sup>1</sup>**

Tag	Potencia hidraulica	Eficiencia (%)
P-0350 A/B.	172,4	66,5
P-0550 A/B/C.	69,3	58
P-0375 A/B.	30	68
P-1480 A/B/C.	87	65
P-0690 A/B/C.	184	75,9
P-3340 A/B.	12,4	68

#### **Compresores<sup>1</sup>**

Tag	Potencia (Hp)	RPM	Diametro impulsor (pies)
C-0325	6783	15830	2
C-0130 A/B	7860	13237	1,17
C-0680 A/B	189	17031	0,67

#### **Aereoenfriadores<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Fuentes Hoja de Datos Planta Acogas.

## Resultados

### Ventiladores

Tag	álabes	(m)		(Kpa)	(m3/seg)
E-0140A/B	5	3,048	340	0,14706	40,3076153
E-0220	4	2,1336	438	0,12516652	24,2967983
E-0355	5	3,048	350	0,14283416	47,925319
E-0570	5	3,048	350	0,13088984	54,2720683
E-0630	8	3,9624	225	0,149304	99,4865212
E-0660	7	3,3528	255	0,149304	62,8633995
E-3325	6	3,6576	238	0,149304	69,2818848
E-0530	7	3,6576	238	0,149304	86,3531677
E-0170	7	3,9624	250	0,15253892	69,1403005

### Motores eléctricos<sup>1</sup>

Tag	Tipo	Potencia (Hp)	RPM
P-0350 A/B	TEFC	200	3600
P-0550 A/B/C	TEFC	100	1800
P-0375 A/B	TEFC	40	3600
P-1480 A/B/C	TEFC	100	3600
P-0690 A/B/C	TEFC	250	3550
P-3340 A/B	TEFC	20	3560
E-0170A/B	TEFC	40	1750
E-0140A/B	TEFC	15	1750
E-0220	TEFC	10	1750
E-0355	TEFC	20	1750
E-0570	TEFC	20	1750
E-0630	TEFC	40	1160
E-0270	TEFC	25	1750
E-3325	TEFC	25	1750
E-0530	TEFC	25	1750

### Válvulas de Control<sup>1</sup>

Tag	Peso Molecular	Cg	P1 (psia)	Caida de presión (Dp)	P2 (psia)	Dp/P1	Diametro entrada (pulg)	Diametro salida (pulg)	Diametro válvula (pulg)	Xtp
PV 0711	46,600	4470	265	240	25	0,905660377	6	6	3	0,19
PV 0370.	24,334	2930	350	300	50	0,857142857	6	6	3	0,19
PV 0540.	46,202	6050	230	208,9	21,1	0,90826087	8	8	8	0,19
XV 0240	23,910	1050	1261	1236	25	0,980174465	4	8	2	0,19
XV 0250.	23,910	51,9	1257	1232	25	0,980111376	2	3	2	0,19
XV 0260	23,910	50,3	1242	1217	25	0,979871176	2	2	2	0,19
XV 0651	19,730	2930	320	295	25	0,921875	6	8	3	0,19
XV 0322	21,820	1690	1690	1195	495	0,707100592	4	12	4	0,19
XV 0381	24,200	3800	340	320	20	0,941176471	6	10	3	0,19
XV 0620	19,730	2930	320	295	25	0,921875	6	8	3	0,19
PV 3122	59,400	339	1262,2	907,5	354,7	0,718982729	4	4	2	0,19

**Estimación los niveles de potencia sonora producto de dichas fuentes.**

<sup>1</sup> Fuentes Hoja de Datos Planta Acogas.

## Resultados

### Bombas Centrífugas:

Para estimar el nivel de potencia sonora generado por bombas centrífugas se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Lw = K_0 + 63 + 10 * \text{Log}_{10}(W) \quad \text{Ec. 6.1}$$

$Lw$  = Nivel de potencia sonora (dB).

$W$  = Potencia promedio del motor accionador (Hp).

$K_0$  = Función del tipo de bomba y de la frecuencia central de banda de octava, viene dada por la tabla 6.1

**Tabla 6.1**

K0 (dB)									
	Frecuencia centrada de banda de octava (Hz)								
Tipo de Bomba	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Centrifuga</b>	25	25	26	26	27	29	26	23	18
<b>Tornillo</b>	30	30	31	31	32	34	31	28	23
<b>Reciprocante</b>	35	35	36	36	37	39	36	33	28

Dando como resultado el siguiente:

**Tabla 6.2**

Tag	W (Hp)	Frecuencia Central de Banda de octava (Hz)										
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lw (dB)	Lw
P-0350A/B	200	25	25	26	26	27	29	26	23	18	121,3	118,9
		111,01	111,01	112,01	112,01	113,01	115,01	112,01	109,01	104,01		
		71,61	84,81	95,91	103,41	109,81	115,01	113,21	110,01	102,91		
P-0375A/B	40	25	25	26	26	27	29	26	23	18	114,3	111,9
		104,02	104,02	105,02	105,02	106,02	108,02	105,02	102,02	97,02		
		64,62	77,82	88,92	96,42	102,82	108,02	106,22	103,02	95,92		
P-3340A/B	20	25	25	26	26	27	29	26	23	18	111,3	108,9
		101,01	101,01	102,01	102,01	103,01	105,01	102,01	99,01	94,01		
		61,61	74,81	85,91	93,41	99,81	105,01	103,21	100,01	92,91		
P-1480A/B/C	120	25	25	26	26	27	29	26	23	18	119,1	116,6
		108,79	108,79	109,79	109,79	110,79	112,79	109,79	106,79	101,79		
		69,39	82,59	93,69	101,19	107,59	112,79	110,99	107,79	100,69		
P-0690A/B/C	300	25	25	26	26	27	29	26	23	18	123,1	120,6
		112,77	112,77	113,77	113,77	114,77	116,77	113,77	110,77	105,77		
		73,37	86,57	97,67	105,17	111,57	116,77	114,97	111,77	104,67		
P-0550A/B/C	100	25	25	26	26	27	29	26	23	18	118,3	
		108,00	108,00	109,00	109,00	110,00	112,00	109,00	106,00	101,00		

Aplicando la siguiente ecuación:

$$Lw = 97 + 10 * \text{Log}_{10} \left( W * \left( 1 - \left( \frac{\eta}{2} \right) \right) \right) \quad \text{Ec. 6.2}$$

## Resultados

Donde

$W$  = potencia hidráulica.

$\eta$  = eficiencia.

El resultado obtenido fue el siguiente:

**Tabla 6.3**

Tag	Potencia Hid	Eficiencia (%)	Lw (dB)
P-0350A	172,4	0,665	117,6
P-0375A	30	0,68	110,0
P-3340	12,4	0,68	106,1
P-1480	87	0,6	114,8
P-0690	184	0,759	117,6
P-0550	69,3	0,58	113,9

La ecuación utilizada para estimar el nivel de potencia sonora generado por bombas centrífugas, fue la ecuación 6.1, y los resultados se encuentran expresados en la tabla 6.3, ya que en ella se considera el espectro del nivel de ruido generado.

### Compresores:

Para estimar el nivel de potencia sonora generado por un compresor centrífugo se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Lw = K_1 + 70 + 10 * \text{Log}(W) \quad \text{Ec. 6.3}$$

$W$  = es la potencia promedio del motor impulsor en Hp.

$K_1$  = es función de la frecuencia central de banda de octava en dB,

Tabla 6.4

**Tabla 6.4**

	Frecuencia central de la banda de octava (Hz)								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
k2 (dB)	18	14	12	8	7	11	12	9	4

Dando como resultado expresado en la Tabla 6.5

**Tabla 6.5**

Item	W (Hp)	Frecuencia central de banda de octava (Hz)									Lw (dB)	Lw
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
C-0680 A/B	189	18	14	12	8	7	11	12	9	4		
		110,76	106,76	104,76	100,76	99,765	103,76	104,76	101,76	96,765	114,58	
		71,365	80,565	88,665	92,165	96,565	103,76	105,96	102,76	95,665		109,68
C-0130A/B	7860	18	14	12	8	7	11	12	9	4		
		126,95	122,95	120,95	116,95	115,95	119,95	120,95	117,95	112,95	130,77	
		87,554	96,754	104,85	108,35	112,75	119,95	122,15	118,95	111,85		125,87
C-0325	6783	18	14	12	8	7	11	12	9	4		
		126,31	122,31	120,31	116,31	115,31	119,31	120,31	117,31	112,31	130,13	
		86,914	96,114	104,21	107,71	112,11	119,31	121,51	118,31	111,21		125,23

## Resultados

La otra ecuación utilizada fue la siguiente:

$$Lw = 20 * \text{Log}_{10}(W) + 81 + 50 * \text{Log}_{10}\left(\frac{U}{800}\right) \quad \text{Ec. 6.4}$$

Donde:

$W$  = potencia del compresor en Hp.

$U$  = Velocidad de la punta del álabe en pies/seg.

La mayor potencia sonora emitida por el compresor se va a encontrar a una frecuencia  $f$  (Hz), dada por la siguiente ecuación:

$$F = 1.25 * U \quad \text{Ec. 6.4.1}$$

$U$  = Velocidad de la punta del álabe en pies/sec.

Dando el siguiente resultado:

**Tabla 6.6**

Tag	W (Hp)	RPM	Diam (ft)	Velocidad (ft/seg)	f (Hz)	Lw
C-0680 A/B	189	17031	0,67	597,4665201	746,83	120,2
C-0325	6783	15830	2	1657,713724	2072,1	173,4
C-0130A/B	7860	13237	1,17	810,9126081	1013,6	159,2

En el caso de los compresores, se decidió utilizar la ecuación 6.3, ya que el nivel de potencia sonora resultado de la ecuación 6.4, era muy elevado y no se correspondía con la realidad. Los resultados se encuentran expresados en la tabla 6.5.

### Motores eléctricos

Para estimar el nivel de potencia sonora generado por un motor eléctrico se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Lw = K_2 + 20 * \text{Log}(W) + 15 * \text{Log}(N) - 7 \quad \text{Ec. 6.5}$$

$Lw$  = Nivel de potencia sonora dB.

## Resultados

---

$K_2$  = Es función de la frecuencia central de la banda de octava, viene dada por la tabla 6.7.

$W$  = La potencia de la unidad en condiciones normales de operación en Hp.

$N$  = La velocidad promedio en RPM.

**Tabla 6.7**

	Frecuencia central de banda de octava (Hz)								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
K2 (dB)	7	9	13	15	16	16	14	7	0

## Resultados

Cuyo resultado se encuentra expresado en la tabla 6.8.

**Tabla 6.8**

Item	Tipo	W (Hp)	RPM	Frecuencia central banda de octava (Hz)										Lw (dB)	Lw (dB)
				31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
E-0170A/B	TEFC	40	1750	7	9	13	15	16	16	14	7	0	96,1	93,0	
				80,687	82,687	86,687	88,687	89,687	89,687	87,687	80,687	73,687			
E-0140A/B	TEFC	15	1750	41,287	69,263	70,587	80,087	73,777	89,687	88,887	81,687	72,587	87,6	85,3	
				7	9	13	15	16	16	14	7	0			
E-0220	TEFC	10	1750	72,167	74,167	78,167	80,167	81,167	81,167	79,167	72,167	65,167	84,1	81,8	
				32,767	47,967	62,067	71,567	77,967	81,167	80,367	73,167	64,067			
E-0355	TEFC	20	1750	68,646	70,646	74,646	76,646	77,646	77,646	75,646	68,646	61,646	90,1	87,8	
				29,246	44,446	58,546	68,046	74,446	77,646	76,846	69,646	60,546			
E-0570	TEFC	20	1750	7	9	13	15	16	16	14	7	0	90,1	87,8	
				74,666	76,666	80,666	82,666	83,666	83,666	81,666	74,666	67,666			
E-0630	TEFC	40	1160	35,266	50,466	64,566	74,066	80,466	83,666	82,866	75,666	66,566	93,4	91,2	
				7	9	13	15	16	16	14	7	0			
E-0270	TEFC	25	1750	78,008	80,008	84,008	86,008	87,008	87,008	85,008	78,008	71,008	92,0	89,8	
				38,608	53,808	67,908	77,408	83,808	87,008	86,208	79,008	69,908			
E-3325	TEFC	25	1750	7	9	13	15	16	16	14	7	0	92,0	89,8	
				76,604	78,604	82,604	84,604	85,604	85,604	83,604	76,604	69,604			
E-0530	TEFC	25	1750	37,204	52,404	66,504	76,004	82,404	85,604	84,804	77,604	68,504	92,0	89,8	
				7	9	13	15	16	16	14	7	0			
P-0350A/B	TEFC	200	3600	76,604	78,604	82,604	84,604	85,604	85,604	83,604	76,604	69,604	114,8	112,5	
				37,204	52,404	66,504	76,004	82,404	85,604	84,804	77,604	68,504			
P-0375A/B	TEFC	40	3600	99,365	101,37	105,37	107,37	108,37	108,37	106,37	99,365	92,365	100,8	98,6	
				59,965	75,165	89,265	98,765	105,17	108,37	107,57	100,37	91,265			
P-3340A/B	TEFC	20	3560	7	9	13	15	16	16	14	7	0	94,7	92,5	
				85,386	87,386	91,386	93,386	94,386	94,386	92,386	85,386	78,386			
P-1480A/B/C	TEFC	100	3600	45,986	61,186	75,286	84,786	91,186	94,386	93,586	86,386	77,286	108,8	106,5	
				7	9	13	15	16	16	14	7	0			
P-0690A/B/C	TEFC	250	3550	79,292	81,292	85,292	87,292	88,292	88,292	86,292	79,292	72,292	116,6	114,4	
				39,892	55,092	69,192	78,692	85,092	88,292	87,492	80,292	71,192			
P-0550A/B/C	TEFC	100	1800	7	9	13	15	16	16	14	7	0	104,3	102,0	
				93,345	95,345	99,345	101,34	102,34	102,34	100,34	93,345	86,345			
P-0550A/B/C	TEFC	100	1800	53,945	69,145	83,245	92,745	99,145	102,34	101,54	94,345	85,245	104,3	102,0	
				7	9	13	15	16	16	14	7	0			
P-0550A/B/C	TEFC	100	1800	101,21	103,21	107,21	109,21	110,21	110,21	108,21	101,21	94,212	104,3	102,0	
				61,812	77,012	91,112	100,61	107,01	110,21	109,41	102,21	93,112			
P-0550A/B/C	TEFC	100	1800	7	9	13	15	16	16	14	7	0	104,3	102,0	
				88,829	90,829	94,829	96,829	97,829	97,829	95,829	88,829	81,829			
P-0550A/B/C	TEFC	100	1800	49,429	64,629	78,729	88,229	94,629	97,829	97,029	89,829	80,729	104,3	102,0	
				7	9	13	15	16	16	14	7	0			

## Resultados

Al utilizar el segundo método mediante la tabla 6.9.

**Tabla 6.9**

Nivel de potencia sonora en (dBA)												
W (Hp)	Nema				IETC				Datos de lider en fabricación			
	3600 RPM		1800 RPM		3600 RPM		1800 RPM		3600 RPM		1800 RPM	
	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC	DPPR	TEFC
1			70	74		86		80			60	63
1,5	76	88	70	74		91		83	65	78	60	63
3	76	91	72	79	97	100	88	87	65	78	60	63
5	80	91	72	79	97	100	88	91	65	83	64	68
7,5	80	94	76	84	97	100	88	91	68	83	64	68
10	84	94	76	84	100	103	92	91	68	86	68	73
15	84	98	80	89	100	103	92	96	72	86	68	73
20	87	98	80	89	100	103	92	96	72	94	74	77
25	87	100	83	92	102	105	94	97	77	93	74	82
30	90	100	83	92	102	105	94	97	83	93	74	82
40	90	103	86	97	104	107	97	99	83	94	74	86
50	94	103	86	97	104	107	97	99	84	94	74	89
60	94	105	89	100	106	109	100	103	84	94	82	89
75	98	105	89	100	106	109	100	103	91	94	82	90
100	98	106	92	102	106	109	100	103	91	95	82	101
125	102	107	92	102	108	112	103	106	96	100	82	101
150	102	107	94	104	108	112	103	106	96	100	85	
200	105		94	104	108	112	103	106	97		85	
250	105				110	114	106	109	97			

Para convertir los datos de la tabla anterior en espectro de bandas de octava, se debe utilizar la siguiente corrección:

$$\text{Nivel de potencia sonora en octava de banda} = \text{dBA} - \text{CF}$$

Donde CF viene dado en la tabla 6.10.

**Tabla 6.10**

	Frecuencia central de banda de octava (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
CF	16	12	8	4	4	8	12	16

Al utilizar éste método, tomando los datos de la NEMA, IETC y lider en fabricación de motores, el resultado se encuentra representado en la Tabla 6.11.

## Resultados

**Tabla 6.11**

TAG		W (Hp)	RPM	Lw (dB)		
				NEMA	IETC	Fabricante
E-0170A/B	TEFC	40	1750	97	99	86
E-0140A/B	TEFC	15	1750	89	96	73
E-0220	TEFC	10	1750	84	91	73
E-0355	TEFC	20	1750	89	96	77
E-0570	TEFC	20	1750	89	96	77
E-0630	TEFC	40	1160	97	99	86
E-0270	TEFC	25	1750	92	97	82
E-3325	TEFC	25	1750	92	97	82
E-0530	TEFC	25	1750	92	97	82
P-0350A/B	TEFC	200	3600		112	
P-0375A/B	TEFC	40	3600	103	107	94
P-3340A/B	TEFC	20	3560	98	103	94
P-1480A/B/C	TEFC	100	3600	106	109	95
P-0690A/B/C	TEFC	300	3550		114	
P-0550A/B/C	TEFC	100	1800	102	103	90

La ecuación utilizada para estimar el nivel de potencia sonora de motores eléctricos fue la 6.5, ya que se aplica para el rango de potencia de los motores estudiados, los resultados se encuentran expresados en la tabla 6.8.

### Aereoenfriadores

#### Ventiladores:

Al utilizar el siguiente método:

1. Se obtiene de la tabla 6.12, los niveles específicos de potencia sonora en bandas de octava para el tipo de ventilador seleccionado.
2. Se ajustan los niveles de banda de octava obtenidos anteriormente, a las condiciones de funcionamiento real añadiendo al mencionado nivel el valor determinado por la siguiente ecuación:

$$Lw = 10 * \text{Log}_{10} Q + 20 * \text{Log}_{10} P_t \quad \text{Ec. 6.6}$$

$Q$  = caudal de aire (m3/seg).

$P_t$  = Presión total (kPa).

## Resultados

3. Se calcula la frecuencia de álabe mediante la siguiente ecuación:

$$F_B = \frac{n * N}{60} \quad \text{Ec. 6.6.1}$$

$F_B$  = frecuencia de álabe en Hz.

$n$  = velocidad del impulsor en RPM.

$N$  = número de álabes del impulsor.

4. Se calcula el incremento de frecuencia del álabe (BFI), a través de la tabla 6.12 y se le añade éste valor al nivel de potencia sonora de banda de octava de la banda que incluye la frecuencia del álabe.

Para obtener el nivel de potencia sonora desde la boca de entrada y a la salida, se restan 3 dB, en cada banda de octava.

**Tabla 6.12**

Tipo de Ventilador	Tamaño de la hélice	Frecuencias centrales de banda de octava, Hz								
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	BFI
Ventiladores Centrifugos										
Aerodinámico, curvados en sentido contrario a la marcha	Mayor a 0,75 metros	85	85	84	79	75	68	64	62	3
	Menor a 0,75 metros	90	90	88	84	79	73	69	64	3
Ventiladores radiales:										
Baja presión (presión estática de 4 a 10 Kpa)	Mayor a 1 metro	101	92	88	84	82	77	74	71	7
	Menor a 1 metro	112	104	98	88	87	84	79	76	7
Media presión (presión estática de 10 a 20 Kpa)	Mayor a 1 metro	103	99	90	87	83	78	74	71	8
	Menor a 1 metro	113	108	96	93	91	86	82	79	8
Alta Presión (presión estática de 20 a 60 Kpa)	Mayor a 1 metro	106	103	98	93	91	89	86	83	8
	Menor a 1 metro	116	112	104	99	99	97	94	91	8
Curados en sentido de la marcha	Todos	98	98	88	81	81	76	71	66	2
Ventiladores Axiales:										
Axiales con aletas guía	Todos	94	88	88	93	92	90	83	79	6
HUB-ratio 0,3-0,4	Todos	94	88	91	88	86	81	75	73	6
HUB-ratio 0,4-0,6	Todos	98	97	96	96	94	92	88	85	6
HUB-ratio 0,6-0,8	Todos	96	91	92	94	92	91	84	82	7
Tubo axiales	Mayor a 1 metro	93	92	94	98	97	96	88	85	7
	Menor a 1 metro	93	92	94	98	97	96	88	85	7
Helicoidales	Todos	93	96	103	101	100	97	91	87	5

El resultado al aplicar este método está representado en la tabla 6.13

## Resultados

**Tabla 6.13**

Item	Tipo vent	Número álabes	Diam (m)	RPM	Pest (Kpa)	Caudal (m3/seg)	FB (Hz)	Frecuencia (Hz)								Lw dB	Lw (A) dB
								63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
E-0140A/B	Axial HUE	5	3,048	340	0,147	40,308	28,3	98	97	96	96	94	92	88	85	105,8	97,3
								5,404	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6		
								103,4	96,4	95,4	95,4	93,4	91,4	87,4	84,4		
								77,2	80,3	86,8	92,2	93,4	92,6	88,4	83,3		
E-0220	Axial HUE	4	2,134	438	0,125	24,297	29,2	98	97	96	96	94	92	88	85	102,4	93,7
								1,805	-4,19	-4,19	-4,19	-4,19	-4,19	-4,19	-4,19		
								99,81	92,81	91,81	91,81	89,81	87,81	83,81	80,81		
								73,61	76,71	83,21	88,61	89,81	89,01	84,81	79,71		
E-0355	Axial hub	5	3,048	350	0,143	47,925	29,2	98	97	96	96	94	92	88	85	106,3	97,8
								5,902	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1		
								103,9	96,9	95,9	95,9	93,9	91,9	87,9	84,9		
								77,7	80,8	87,3	92,7	93,9	93,1	88,9	83,8		
E-0570	Axial HUE	5	3,048	350	0,131	54,272	29,2	98	97	96	96	94	92	88	85	106,0	97,6
								5,684	-0,32	-0,32	-0,32	-0,32	-0,32	-0,32	-0,32		
								103,7	96,68	95,68	95,68	93,68	91,68	87,68	84,68		
								77,48	80,58	87,08	92,48	93,68	92,88	88,68	83,58		
E-0630	Axial HUE	8	3,962	225	0,149	99,487	30	98	97	96	96	94	92	88	85	109,7	101,4
								9,459	3,459	3,459	3,459	3,459	3,459	3,459	3,459		
								107,5	100,5	99,46	99,46	97,46	95,46	91,46	88,46		
								81,26	84,36	90,86	96,26	97,46	96,66	92,46	87,36		
E-0660	Axial HUE	7	3,353	255	0,149	62,863	29,8	98	97	96	96	94	92	88	85	107,8	99,4
								7,465	1,465	1,465	1,465	1,465	1,465	1,465	1,465		
								105,5	98,47	97,47	97,47	95,47	93,47	89,47	86,47		
								79,27	82,37	88,87	94,27	95,47	94,67	90,47	85,37		
E-3325	Axial HUE	6	3,658	238	0,149	69,282	23,8	98	97	96	96	94	92	88	85	108,2	99,8
								7,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888	1,888		
								105,9	98,89	97,89	97,89	95,89	93,89	89,89	86,89		
								79,69	82,79	89,29	94,69	95,89	95,09	90,89	85,79		
E-0530	Axial HUE	7	3,658	238	0,149	69,14	27,8	98	97	96	96	94	92	88	85	108,3	99,8
								7,879	1,879	1,879	1,879	1,879	1,879	1,879	1,879		
								105,9	98,88	97,88	97,88	95,88	93,88	89,88	86,88		
								79,68	82,78	89,28	94,68	95,88	95,08	90,88	85,78		
E-0170A/B	Axial HUE	7	3,962	250	0,153	69,14	29,2	98	97	96	96	94	92	88	85	108,5	100,0
								8,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065	2,065		
								106,1	99,06	98,06	98,06	96,06	94,06	90,06	87,06		
								79,86	82,96	89,46	94,86	96,06	95,26	91,06	85,96		

### Válvulas de Control

Al aplicar el método descrito para estimar el nivel de presión sonora en válvulas de control, el resultado viene expresado en la tabla 6.14.

**Tabla 6.14**

Tag	Peso mol	Cg	P1 (psia)	Dp	P2 (psia)	Lp (dBA)	Lw (dB)
PV0370	24,334	2930	350	300	50	90,0	96,5
PV0540	46,202	6050	230	208,9	21,1	93,9	100,4
PV0711	44,600	4470	265	240	25	91,6	98,0
XV0240	23,910	1050	1261	1236	25	88,7	95,2
XV0250	23,910	51,9	1257	1232	25	86,5	93,0
XV0260	23,910	50,3	1242	1217	25	89,1	95,6
XV0322	21,820	1690	1195	1170	25	97,5	104,0
XV0381	24,200	3800	340	320	20	89,3	95,8
XV0620A	19,730	2930	320	295	25	88,9	95,3
PV3122	59,400	339	1262,2	907,5	354,7	87,2	93,7
XV0651	19,730	2930	320	295	25	87,8	94,2

## Resultados

Las válvulas de líquido, no se tomaron en cuenta, ya que el nivel de ruido producto de estas era irrelevante en comparación con los niveles de ruido producto de otras fuentes.

### Condiciones atmosféricas

Temperatura de bulbo seco promedio: 32.3 °C.

Humedad relativa promedio: 50.8 %.

### Estimación del nivel de presión directa

Para estimar el nivel de presión directa, se utilizó el siguiente método

1. Con los datos de nivel de potencia sonora obtenido anteriormente se utilizó la siguiente ecuación:

$$L_p = L_w + 10 * \text{Log}_{10} \frac{DF}{4 * \pi * r^2} - A_{\text{aire}} - A_{\text{suelo}} \quad \text{Ec. 6.7}$$

$L_p$  = nivel de presión sonora dBA.

$DF$  = Factor directividad.

$L_w$  = nivel de potencia sonora en dBA.

$r$  = distancia desde la fuente en metros.

$A_{\text{aire}}$  = viene dada por la siguiente expresión:

$$A_{\text{aire}} = \frac{\alpha * d}{1000} \quad \text{Ec. 6.8}$$

$\alpha$  = coeficiente de atenuación (Tabla 6.13) del aire en decibelios por kilómetro.

$d$  = distancia en metros.

$A_{\text{suelo}}$  = viene dado por la siguiente expresión:

$$A_{\text{suelo}} = 4.8 - (2 * h_m / r) * (17 + 300 / r) \quad \text{Ec. 6.9}$$

$r$  = distancia entre la fuente y el receptor en metros

$h_m$  = altura media del camino de propagación por encima del suelo en metros.

Donde la altura media se obtiene de la siguiente forma:

$$h_m = \left( \frac{Z1 + Z2}{2} \right) \quad \text{Ec. 6.10}$$

## Resultados

**Z1** = altura de la fuente en metros.

**Z2** = altura del receptor en metros.

Los valores negativos de  $A_{suelo}$  obtenidos a partir de esta ecuación no son significativos y deben ser reemplazados por ceros.

**Tabla 6.15**

Coeficiente de atenuación del aire, dB/km, para presión de 101,3 kPa		Frecuencia, Hz					
Temperatura	Humedad Relativa, %	125	250	500	1000	2000	4000
30 °C	10	0,96	1,8	3,4	8,7	29	96
	20	0,73	1,9	3,4	6	15	47
	30	0,54	1,7	3,7	6,2	12	33
	50	0,35	1,3	3,6	7	12	25
	70	0,26	0,96	3,1	7,4	13	23
	90	0,2	0,78	2,7	7,3	14	24
20 °C	10	0,78	1,6	4,3	14	45	109
	20	0,71	1,4	2,6	6,5	22	74
	30	0,62	1,4	2,5	5	14	49
	50	0,45	1,3	2,7	4,7	9,9	29
	70	0,34	1,1	2,8	5	9	23
	90	0,27	0,97	2,7	5,3	9,1	20
10 °C	10	0,79	2,3	7,5	22	42	57
	20	0,58	1,2	3,3	11	36	92
	30	0,55	1,1	2,3	6,8	24	77
	50	0,49	1,1	1,9	4,3	13	47
	70	0,41	1	1,9	3,7	9,7	33
	90	0,35	1	2	3,5	8,1	26
0 °C	10	1,3	4	9,3	14	17	19
	20	0,61	1,9	6,2	18	35	47
	30	0,47	1,2	3,7	13	36	69
	50	0,41	0,82	2,1	6,8	24	71
	70	0,39	0,76	1,6	4,6	16	56
	90	0,38	0,76	1,5	3,7	12	43

2. Se sumó el nivel de presión sonora en cada punto, por medio de la siguiente ecuación de combinación de niveles

$$L_{comb} = 10 * \text{Log}_{10} \sum_{j=1}^n 10^{0,1 * L_j} \quad \text{Ec. 6.11}$$

$L_j$  = nivel sonoro en la iteración  $j$ .

## Resultados

---

$L_{COMB}$  = nivel sonoro combinado.

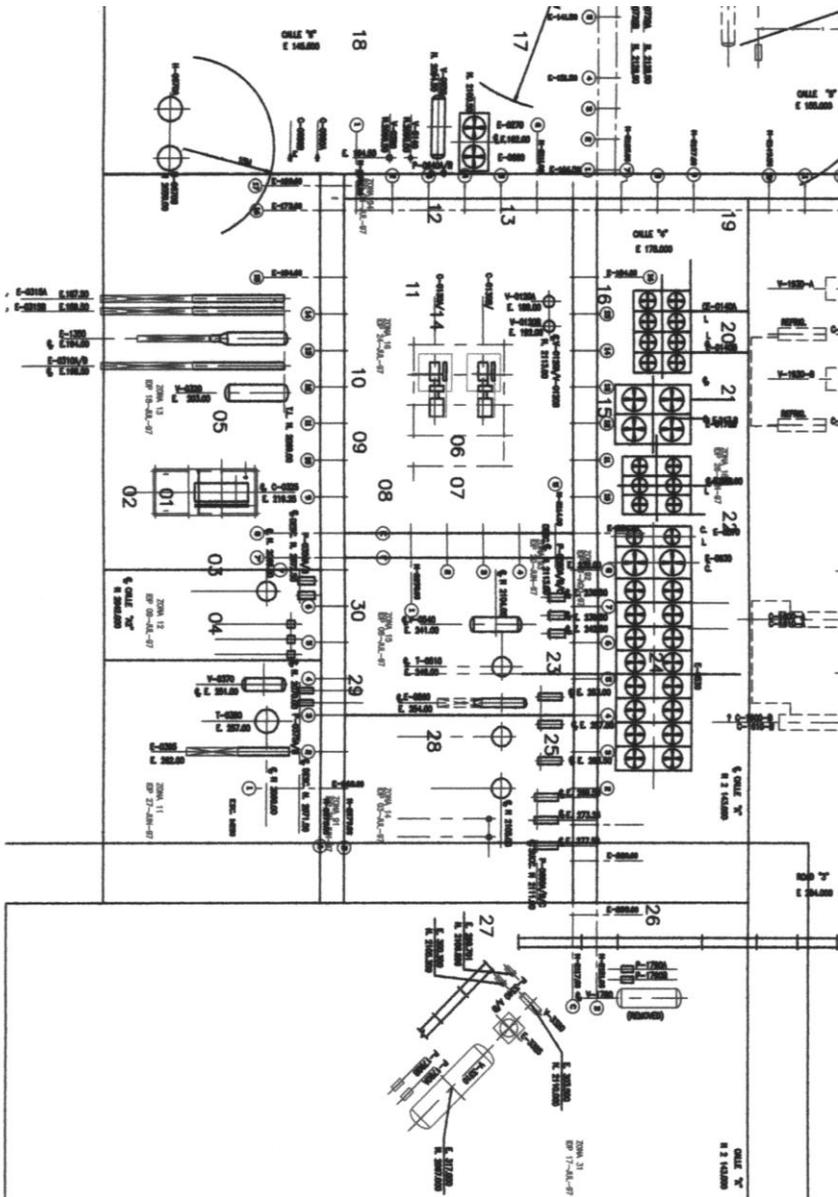
Luego se aplicó éste procedimiento a varios puntos ubicados dentro de la planta obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 6.16**

punto	Lp (dBA)	punto	Lp (dBA)	punto	Lp (dBA)
1	94,3	11	96,4	21	85,4
2	88,6	12	87,4	22	84,1
3	93,5	13	90,0	23	96,4
4	88,9	14	99,9	24	87,8
5	92,9	15	95,1	25	97,5
6	100,1	16	93,1	26	82,4
7	96,9	17	83,9	27	87,9
8	94,4	18	84,7	28	90,6
9	94,4	19	83,5	29	90,4
10	95,6	20	85,0	30	92,0

Estos puntos se encuentran representados en el siguiente plano:

Resultados



## **7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados obtenidos a través del procedimiento anterior, fueron comparados con medidas de niveles de ruido tomadas en la planta de Acogas, ubicada en Jusepín, estado Monagas, para lo cual se utilizaron los siguientes equipos:

- Sonómetro integrador Tipo I, marca QUEST, Modelo OB-300 cuyo serial es HV0050022, con analizador de frecuencias.
- Calibrador marca QUEST, modelo QC-20, serial Q09090022.
- Velómetro, marca TSI, modelo 8386-M-GB.
- Cinta métrica marca STANLEY de 50 metros.
- Trípode.

### **7.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

- Se procedió a calibrar el sonómetro antes de realizar las medidas, con el calibrador marca QUEST, referido en los equipos utilizados.
- Se colocó en el sonómetro un dispositivo de protección contra viento, para evitar el efecto de éste en las medidas a tomar.
- Se colocó el sonómetro en el trípode.
- Luego se ajustó el sonómetro sobre el trípode a una altura de 1,70 metros, procediendo a tomar las medidas en diferentes puntos, durante un tiempo de cinco minutos en cada punto. Dichas medidas fueron tomadas con el sonómetro en un rango de 60-120 dB, en ponderación A, en respuesta lenta (SLOW), con una tasa de intercambio de 3dB.

El resultado de las mediciones se expresa en la Tabla 7.1:

## Comparación de Resultados

---

**Tabla 7.1**

Punto	Leq dBA	Lmax dBA	Lmin dBA	Tiempo
1	91,1	96,0	89,1	05:00
2	88,6	95,4	84,3	05:00
3	86,7	91,6	83,3	05:00
4	82,4	86,7	79,0	05:00
5	88,1	93,1	82,2	05:00
6	92,2	93,2	91,5	05:00
7	86,7	87,5	86,1	05:00
8	85,8	86,9	84,9	05:00
9	86,1	87,3	85,4	05:00
10	85,1	87,7	84,1	05:00
11	84,4	85,1	83,8	05:00
12	82,5	86,5	82,0	05:00
13	83,1	83,8	82,6	05:00
14	89,0	96,2	88,2	05:00
15	91,7	95,8	89,8	05:00
16	90,6	92,0	89,9	05:00
17	76,6	79,3	75,9	05:00
18	74,8	76,2	73,9	05:00
19	81,0	82,4	80,1	05:00
20	82,9	84,3	82,2	05:00
21	83,8	86,1	82,9	05:00
22	85,5	86,0	85,0	05:00
23	84,6	85,3	84,1	05:00
24	85,8	86,3	85,3	05:00
25	84,7	86,0	84,0	05:00
26	80,9	81,7	79,9	05:00
27	78,1	79,1	77,4	05:00
28	80,2	81,1	79,5	05:00
29	81,4	87,6	80,5	05:00
30	86,3	87,7	85,3	05:00

Se realizaron dos análisis de frecuencia de banda de octava en los puntos identificados como 2 y 6 (ver plano anexo), ubicados cerca de los compresores identificados como C-0325 y C-0130 A/B, (considerados como los equipos de mayor generación de ruido), cuyos resultados fueron los siguientes, expresados en decibeles L:

**Tabla 7.2**

punto	frecuencia central de banda de octava (Hz)										
	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
2	76,6	81,5	81,8	78,6	79,1	81,1	83,3	91,2	80,3	70,6	60,4
6	81,2	86,7	89,2	86,5	86,4	86,2	89	86,4	84,8	79,3	61,5

## 7.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Se procedió a comparar los resultados reales con los resultados obtenidos a través de la aplicación del procedimiento de predicción en cada uno de los puntos.

El resultado se presenta a continuación en la Tabla 7.3.

**Tabla 7.3**

Punto	Leq dBA	Lp dBA	diferencia	Punto	Leq dBA	Lp dBA	diferencia
1	91,1	97,3	6,2	16	90,6	93,1	2,5
2	88,6	91,7	3,1	17	76,6	83,0	6,4
3	86,7	96,5	9,8	18	74,8	83,5	8,7
4	82,4	91,2	8,8	19	81,0	83,5	2,5
5	88,1	95,5	7,4	20	82,9	85,0	2,1
6	92,2	100,1	7,9	21	83,8	85,3	1,5
7	86,7	96,9	10,2	22	85,5	84,0	-1,5
8	85,8	95,0	9,2	23	84,6	97,9	13,3
9	86,1	94,6	8,5	24	85,8	89,8	4,0
10	85,1	95,8	10,7	25	84,7	101,4	16,7
11	84,4	96,3	11,9	26	80,9	86,6	5,7
12	82,5	90,3	7,8	27	78,1	91,6	13,5
13	83,1	89,9	6,8	28	80,2	92,8	12,6
14	89,0	99,9	10,9	29	81,4	90,8	9,4
15	91,7	95,1	3,4	30	86,3	93,8	7,5

Al realizar el análisis de resultados, se puede destacar lo siguiente:

- Las ecuaciones empíricas utilizadas para estimar el nivel de potencia sonora de cada una de las fuentes no son 100% reales, en especial las utilizadas para las bombas, ya que en el punto 23 y 25, donde el nivel de ruido era generado principalmente por las bombas, se puede observar una gran diferencia entre el nivel medido y el nivel estimado, por ésta razón se optimizó la fórmula tomando el nivel de potencia sonora generado por varias bombas con una potencia hidráulica entre 2 y 60 Hp dado por una base de datos facilitada por Inelectra S.A. (Tabla 7.4), empleando la ecuación 5.1.1, utilizando la potencia hidráulica promedio de la bomba se corrigió el factor  $K_0$ , mediante la siguiente ecuación:

$$Lw = K_0 + 63 + 10 * \text{Log}_{10}(W) \quad \text{Ec. 7.1}$$

## Comparación de Resultados

---

$L_w$  = Nivel de potencia sonora (dB).

$W$  = Potencia hidráulica promedio (Hp).

$K_o$  = Función del tipo de bomba y de la frecuencia central de banda de octava, viene dada por la tabla 7.5

**Tabla 7.4**

Potencia Hidraulica (Hp)	Nivel de Potencia Sonora (dB)							
	Frecuencia Central de Banda de Octava (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
3,5	82	84	85	84	83	82	70	76
53,8	89	91	92	91	90	89	86	83
53,8	89	91	92	91	90	89	86	83
7,0	84	86	87	86	85	84	81	78
7,0	84	86	87	86	85	84	81	78
5,0	83	85	86	85	84	83	80	77
7,6	84	86	87	86	85	84	81	78
10,9	85	87	88	87	86	85	82	79
10,9	85	87	88	87	86	85	82	79
10,9	85	87	88	87	86	85	82	79
2,0	80	82	83	82	81	80	77	74
3,5	85	89	88	81	80	80	72	65
2,0	80	82	83	82	81	80	77	74

**Tabla 7.5**

Tipo de Bomba	Frecuencia centrada de banda de octava (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Centrifuga</b>	13	15	16	14	13	12	8	5

Aplicando ésta ecuación para estimar el nivel de potencia sonora generado por las bombas centrífugas, se obtiene el siguiente resultado:

## Comparación de Resultados

---

**Tabla 7.6**

Punto	Leq dBA	Lp dBA	diferencia	Punto	Leq dBA	Lp dBA	diferencia
1	91,1	97,3	6,2	16	90,6	93,1	2,5
2	88,6	91,7	3,1	17	76,6	83,0	6,4
3	86,7	95,3	8,6	18	74,8	83,5	8,7
4	82,4	89,4	7	19	81,0	83,5	2,5
5	88,1	95,5	7,4	20	82,9	85,0	2,1
6	92,2	100,1	7,9	21	83,8	85,3	1,5
7	86,7	96,9	10,2	22	85,5	84,0	-1,5
8	85,8	94,7	8,9	23	84,6	89,6	5,0
9	86,1	94,4	8,3	24	85,8	84,5	-1,3
10	85,1	95,8	10,7	25	84,7	92,9	8,2
11	84,4	96,3	11,9	26	80,0	82,0	2,0
12	82,5	90,3	7,8	27	78,1	85,1	7,0
13	83,1	89,9	6,8	28	80,2	87,1	6,9
14	89,0	99,9	10,9	29	81,4	87,4	6,0
15	91,7	95,1	3,4	30	86,3	90,7	4,4

- No se tomo en cuenta el movimiento del viento para la estimación del nivel presión sonora en cada punto, ya que al realizar las mediciones existía la mayor parte del tiempo, una fuerte brisa que soplaba en sentido noreste sureste, el cual no fue tomado en cuenta para la predicción.
- En el caso del punto 2 y 7, la diferencia se puede deber a que una pequeña parte del sonido fue absorbido por el recinto donde se encontraban, puesto se encontraban en un recinto semicerrado con techo como se puede observar en las siguientes fotografías.

## Comparación de Resultados

---



Foto 01: Fotografía tomada desde el punto 01



Foto 02: Fotografía tomada desde el punto 06

## Comparación de Resultados

---

- En general, no se tomó en cuenta la posible sombra creada por diferentes elementos ubicados dentro de la planta como por ejemplo tuberías intercambiadores de calor, torres de venteo de gas y otros, así como su posible absorción de parte del sonido (ver siguiente fotografía).



Foto 03: Fotografía tomada desde el punto20

- En los puntos 19,20,21 y 22 (ver plano anexo), no se tomó en cuenta el nivel de ruido emitido por varios compresores denominados como C-1600 A/B, y C-1900 A/B, los cuales se pueden observar en el plano general de la planta, como se puede observar en la fotografía 04.

## Comparación de Resultados

---



Foto 04: Tomada desde el punto 22

- En los puntos 3,4 y 5 la diferencia se puede deber a que no se tomó en cuenta la pérdida por transmisión del cerramiento parcial que envolvía al turboexpansor C-0325, como se puede observar en la foto 05 y 06.



Foto 05: Tomada desde el punto 04



Foto 06: Fotografía tomada desde el punto 05

- En los puntos alrededor del compresor C-0130 7,8,9,10,11 y 14, la diferencia se puede deber a la atenuación generada por la absorción del sonido y la pérdida por transmisión debida al cerramiento parcial. Como se puede observar en las fotos 1 y 2.
- En general los resultados obtenidos de forma empírica se encuentra por encima de los resultados de la medición, ya que los cálculos fueron realizados para las condiciones de diseño, y según información de los operadores de la planta, los equipos se encontraban trabajando bajo condiciones inferiores a la de diseño.

### **Control del Ruido**

El control del ruido en la planta de Acogas se realiza utilizando dos categorías en el control del ruido las cuales son las siguientes:

#### **Control de ruido en el medio de transmisión:**

- **Emplazamiento:** El lugar donde se encuentra ubicado el personal que labora en la planta la mayor parte del tiempo es en la Sala de Control, la

## Comparación de Resultados

---

cual se encuentra ubicada alejada de las fuentes de ruido ubicadas dentro de la planta.

- **Disposición de la edificación:** Los lugares donde se encuentran presentes altos niveles de ruido se encuentran en el lado contrario del lugar donde se encuentra el personal la mayor parte del tiempo, además existen señalizaciones de uso de casco, guantes y tapa oídos, cuando se va acercando a la zona con alto nivel de ruido.

### **Control de ruido en el receptor:**

- **Aparatos de protección auditiva:** Cada uno del personal que se va a acercar a la zona de alto nivel de ruido, consta con un casco con audífonos. Además existen letreros, los cuales informan al personal que debe utilizar su equipo de protección personal al entrar a cierta área.
- **Control de exposición:** Según la norma COVENIN 1565-1995, el tiempo máximo de exposición a los niveles de ruido en el área de compresores, donde se generan niveles de presión sonora de aproximadamente 100 dBA, es de 15 minutos sin utilizar equipos de protección personal. El personal que labora en la planta, no permanece en este lugar éste período de tiempo, ya que todo es manejado desde la sala de control (alejada de la zona ruidosa), y el operador realiza rondas varias veces al día durante un corto período de tiempo, utilizando en las zonas ruidosas su equipo de protección personal.

En cuanto al personal de mantenimiento, no trabajan constantemente en los lugares donde existe alto nivel de ruido y en el momento de trabajar bajo condiciones de alto ruido deben utilizar obligatoriamente su equipo de protección personal.

## 8 CONCLUSIONES

Después de haber concluido el siguiente trabajo se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El procedimiento diseñado para predecir los niveles de ruido en plantas de gas y petróleo, genera resultados acordes con la realidad.
- Los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones empíricas utilizadas para determinar el nivel de potencia para cada tipo de fuente, fueron aceptables, excepto la ecuación utilizada para estimar el nivel de potencia sonora en bombas centrífugas, la cual fue modificada.
- Los niveles de ruido fueron estimados para condiciones óptimas de funcionamiento, por lo cual ha de esperarse que el nivel de presión sonora real en un lugar de la planta, estará por debajo del nivel de presión sonora estimado, ya que los equipos no trabajan a 100% de su capacidad.
- Los equipos que generan mayor nivel de ruido son los compresores, por lo cual para realizar un control efectivo de ruido, se debe comenzar por considerar estos equipos.
- Los niveles de presión sonora en la zona ubicada alrededor de los compresores eran elevados, por lo tanto el personal que allí labora se encuentra protegido utilizando equipos de protección personal (audífonos).
- El tiempo de exposición a altos niveles de ruido en la zona ruidosa es corto, ya que el personal realiza rondas periódicas alrededor de los equipos, cuando son ordenadas por la sala de control. Dichas rondas son de corta duración.
- La zona donde se encuentra ubicada la planta es una zona netamente industrial, en la cual no existen alrededor centros poblados, por lo que el ruido generado en las plantas, no afecta a personas ajenas a ella.

## **9 RECOMENDACIONES**

Después de llevar a cabo el siguiente trabajo se deben considerar las siguientes recomendaciones:

- Crear una base de datos que tome en cuenta nivel de potencia sonora generado por equipos de características consideradas estándar, como son las bombas centrífugas horizontales, verticales, compresores centrífugos y motores eléctricos.
- Vigilar que los trabajadores utilicen los equipos de protección personal, en el momento que se acerquen a las zonas de alto nivel de ruido.
- Controlar el tiempo de exposición de los trabajadores a los altos niveles de ruido.
- Realizar un mantenimiento constante a las máquinas.
- Mantener una estrecha vigilancia sobre los sistemas de control (PLC), a fin de conocer las condiciones de funcionamiento de los equipos.
- Crear un programa de cálculo, el cual, se base en el procedimiento realizado en éste trabajo.

## 10 BIBLIOGRAFIA

1. AVALONE, Eugene, Y BAUMEISTER III, Theodore. "Manual del Ingeniero Mecánico". Mc. Graw Hill. México, 1999, Tomo 2.
2. BERANECK, Leo. "Noise and vibration control". Mc. Graw Hill. New York, EE.UU. 1971.
3. COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. "COVENIN 1565-1995". Tercera revisión, Publicaciones Fondonorma. Caracas, Venezuela, 1995.
4. CROCKER M. and PRICE A. "Noise and Noise Control", Edit. C.R.C, United States of América, 1975.
5. CYRIL, Harris. "Manual de medidas acusticas y control del ruido", Mcgraw-Hill, Madrid, España, 1995, Tomo 1 y 2.
6. HUTCHINSON, J. "ISA Handbook of Control Valves", Instrument Society of América", U.S.A, 1976.
7. KARASSIK, Igor y otros. "Pump Handbook", Mcgraw-Hill, New York, 1986, p.p. 8.102-8.115.
8. KIRIK, M y DRISKELL L. "Flow Manual for Quarter turn valves", Rockwell International Corpporation, U.S.A, 1986, p.p.2.2
9. LIPSCOMB, David y TAYLOR Arthur. "Noise Control: Handbook of Principles And Practices", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1978, p.p. 137-139.
10. MAGRAB, Edward. "Environmental Noise Control", John Wiley and Sons Inc. United States of América, 1975, p.p.120-129, 143-144.

## Bibliografía

---

11. ROSENSTOCK, L. Y CULLEN M. "Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine", W. B. Saunders Company, United States of América, 1994.
12. TALTY , John. "Industrial Hygiene Engineering", Noyes Data Corporation, United States of América, segunda edición, 1988.
13. THUMANN, A. y MILLER, R. "Secrets of Noise Control". United States of América, 1974, p.p. 84-91.

**11 ANEXOS**

### Cálculo de Niveles de ruido en válvulas de gas (dBA)

Tag	Peso mol	Condicion	Cg	P1 (psia)	Dp	P2 (psia)	Dp/p1	D Ent	D Sal	D Valv	K1	K2	Kb1	Kb2	Kt	Fp	Xt	Xtp	Tipo tub.	SPL dp	Spl c	Spl x	Spl P2	Spl t	Spl Sg	Spl T (dBA)	Lw (dBA)
FV0310A	23,281	pobre	82685	1250	22,8	1227,2	0,0182	12	12	12	0	0	0	0	0	1	0,19	0,36	SCH 80	27,159	93,917	3,3	-6,55	33,80	-0,739	83,3	89,8
	23,914	normal	82685	1249,4	16,8	1232,6	0,0134	12	12	12	0	0	0	0	0	1	0,19	0,36		24,506	93,917	2,877	-6,548	33,80	-0,649	80,3	86,8
	24,556	rico	82685	1243	22,7	1220,3	0,0183	12	12	12	0	0	0	0	0	1	0,19	0,36		27,121	93,917	3,302	-6,526	33,80	-0,559	83,5	89,9
FV0244	23,255	pobre	29400	1255	7	1248	0,0056	10	10	8	0,065	0,13	0,59	0,59	0,194	0,146	0,19	0,25	SCH 80	16,902	66,746	1,936	-6,569	32,40	-0,743	45,9	52,3
	23,892	normal	29400	1255	7	1248	0,0056	10	10	8	0,065	0,13	0,59	0,59	0,194	0,146	0,19	0,25		16,902	66,746	1,936	-6,569	32,40	-0,652	46,0	52,4
FV0325	24,529	rico	29400	1255	7	1248	0,0056	10	10	8	0,065	0,13	0,59	0,59	0,194	0,146	0,19	0,25		16,902	66,746	1,936	-6,569	32,40	-0,563	46,1	52,5
	19,379	pobre	24600	405,7	132,86	272,84	0,3275	16	16	8	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,084	0,19	0,25	SCH XS	42,468	60,568	12,1	-1,733	31,30	-1,361	80,7	87,2
FV0310B	19,736	normal	24600	393,7	121,08	272,62	0,3075	16	16	8	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,084	0,19	0,25		41,661	60,568	11,76	-1,613	31,30	-1,299	79,8	86,3
	19,653	rico	24600	376,7	112,38	264,32	0,2983	16	16	8	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,084	0,19	0,25		41,014	60,568	11,6	-1,432	31,30	-1,313	79,1	85,6
	23,281	pobre	74837	1256	8,8	1247,2	0,007	16	16	16	0	0	0	0	0	1	0,19	0,16	SCH 80	18,89	89,533	2,145	-6,572	35,80	-0,739	67,5	73,9
FV0190	23,914	normal	74837	1256	13,3	1242,7	0,0106	16	16	16	0	0	0	0	0	1	0,19	0,16		22,477	89,533	2,584	-6,572	35,80	-0,649	71,6	78,0
	24,556	rico	74837	1248,6	2,5	1246,1	0,002	16	16	16	0	0	0	0	0	1	0,19	0,16		7,9588	89,533	1,221	-6,548	35,80	-0,559	55,8	62,3
	23,275	pobre	128062	1298	2	1296	0,0015	20	20	20	0	0	0	0	0	1	0,19	0,14	Sch 80	6,0206	93,615	1,085	-6,714	37,70	-0,74	55,6	62,0
FCV1003	23,908	normal	128062	1298	2	1296	0,0015	20	20	20	0	0	0	0	0	1	0,19	0,14		6,0206	93,615	1,085	-6,714	37,70	-0,649	55,7	62,1
	24,549	rico	128062	1298	9	1289	0,0069	20	20	20	0	0	0	0	0	1	0,19	0,14		19,085	93,615	2,135	-6,713	37,70	-0,56	69,9	76,3
	23,275	pobre	82684	1305	5	1300	0,0038	16	16	16	0	0	0	0	0	1	0,19	0,19	SCH 80	13,979	91,144	1,635	-6,737	35,80	-0,74	63,5	70,0
PV0370B	23,908	normal	82684	1305	5	1300	0,0038	16	16	16	0	0	0	0	0	1	0,19	0,19		13,979	91,144	1,635	-6,737	35,80	-0,649	63,6	70,0
	24,549	rico	82684	1305	5	1300	0,0038	16	16	16	0	0	0	0	0	1	0,19	0,19		13,979	91,144	1,635	-6,737	35,80	-0,56	63,7	70,1
	24,334	pobre	2930	350	300	50	0,8571	6	6	3	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,099	0,19	0,755	SCH STD	49,542	49,088	18,66	-0,903	25,8	-0,59	90,0	96,5
PV0540A	24,328	normal	2930	350	300	50	0,8571	6	6	3	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,099	0,19	0,755		49,542	49,088	18,66	-0,903	25,8	-0,59	90,0	96,5
	23,654	rico	2930	350	300	50	0,8571	6	6	3	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,099	0,19	0,755		49,542	49,088	18,66	-0,903	25,8	-0,686	89,9	96,4
	18,000	pobre	29400	230	10,5	219,5	0,0457	8	8	8	0	0	0	0	0	1	0,19	0,19	SCH STD	20,424	82,176	4,986	0,579	27,1	-1,611	79,5	85,9
PV0540B	18,000	normal	29400	225	5,1	219,9	0,0227	8	8	8	0	0	0	0	0	1	0,19	0,19		14,151	82,176	3,639	0,6694	27,1	-1,611	71,9	78,4
	18,000	rico	29400	225	4,7	220,3	0,0209	8	8	8	0	0	0	0	0	1	0,19	0,19		13,442	82,176	3,507	0,6694	27,1	-1,611	71,1	77,6
	46,202	pobre	6050	230	208,9	21,1	0,9083	6	10	4	0,154	0,706	0,802	0,974	0,688	0,095	0,19	0,785	SCH 40	46,399	54,641	19,15	0,373	28,2	1,5823	93,9	100,4
PV0710	46,251	normal	6050	225	203,7	21,3	0,9053	6	10	4	0,154	0,706	0,802	0,974	0,688	0,095	0,19	0,785		46,18	54,641	19,12	0,4344	28,2	1,5859	93,8	100,2
	46,238	rico	6050	225	203	22	0,9022	6	10	4	0,154	0,706	0,802	0,974	0,688	0,095	0,19	0,785		46,15	54,641	19,1	0,4398	28,2	1,585	93,7	100,2
	44,700	normal	1980	210	10	200	0,0476	3	3	2	0,154	0,309	0,802	0,802	0,463	0,088	0,19	0,536	SCH STD	20	44,076	5,082	0,9481	23,4	1,4704	48,2	54,7
PV0711	44,600	normal	4470	265	240	25	0,9057	6	6	3	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,065	0,19	0,768	SCH STD	47,604	49,175	19,13	0	25,8	1,4628	91,6	98,0
PV5140	23,300	normal	174	15	10	5	0,6667	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,598	0,19	0,369	SCH STD	20	39,577	16,66	7,1851	24,2	-0,737	58,5	65,0
TV0321	19,352	pobre	22700	254	10	244	0,0394	10	10	8	0,065	0,13	0,59	0,59	0,194	0,187	0,19	0,325	SCH STD	20	67,805	4,665	0,1739	28,2	-1,366	63,1	69,6
	19,729	normal	22700	256	10	246	0,0391	10	10	8	0,065	0,13	0,59	0,59	0,194	0,187	0,19	0,325		20	67,805	4,649	0,1417	28,2	-1,3	63,1	69,6
	19,653	rico	22700	254	10	244	0,0394	10	10	8	0,065	0,13	0,59	0,59	0,194	0,187	0,19	0,325		20	67,805	4,665	0,1739	28,2	-1,313	63,1	69,6

Tag	Peso mol	Condicion	Cg	P1 (psia)	Dp	P2 (psia)	Dp/p1	D Ent	D Sal	D Valv	K1	K2	Kb1	Kb2	Kt	Fp	Xt	Xtp	Tipo tub.	SPL dp	Spl c	Spl x	Spl P2	Spl t	Spl Sg	Spl T (dBA)	Lw (dBA)
XV0140A	19,740	normal	176	657	475	182	0,723	2	2	1	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,181	0,19	0,706	SCH XS	53,534	35,393	17,28	-3,488	23,4	-1,298	78,0	84,5
XV0140B	19,740	normal	176	657	475	182	0,723	2	2	1	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,181	0,19	0,706	SCH XS	53,534	35,393	17,28	-3,488	23,4	-1,298	78,0	84,5
XV0165a	19,740	normal	176	1272	925	347	0,7272	2	2	1	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,181	0,19	0,706	SCH XS	59,323	35,393	17,33	-6,189	23,4	-1,298	81,2	87,6
XV0165B	19,740	normal	176	1272	925	347	0,7272	2	2	1	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,181	0,19	0,706	SCH XS	59,323	35,393	17,33	-6,189	23,4	-1,298	81,2	87,6
XV0240	23,910	normal	1050	1261	1236	25	0,9802	4	8	2	0,281	0,879	0,938	0,996	1,102	0,108	0,19	0,967	SCH 100	61,84	43,116	19,82	-2,988	32,4	-0,649	88,7	95,2
XV0250A	23,910	normal	51,9	1257	1232	25	0,9801	2	3	2	0	0,309	0	0,802	-0,494	1,05	0,19	0,172	SCH XS	61,812	34,747	19,82	-2,984	26,2	-0,649	86,5	93,0
XV0250B	23,910	normal	51,9	1257	1232	25	0,9801	2	3	2	0	0,309	0	0,802	-0,494	1,05	0,19	0,172	SCH XS	61,812	34,747	19,82	-2,984	26,2	-0,649	86,5	93,0
XV0250C	23,910	normal	51,9	1257	1232	25	0,9801	2	3	2	0	0,309	0	0,802	-0,494	1,05	0,19	0,172	SCH XS	61,812	34,747	19,82	-2,984	26,2	-0,649	86,5	93,0
XV0260	23,910	normal	50,3	1242	1217	25	0,9799	2	2	2	0	0	0	0	0	1	0,19	0,19	SCH XS	61,706	34,636	19,82	-2,97	23,4	-0,649	89,1	95,6
XV0280	19,730	normal	48,9	316	296	20	0,9367	2	2	2	0	0	0	0	0	1	0,19	0,19	SCH XS	49,426	34,537	19,42	-0,424	23,4	-1,3	78,3	84,7
XV0322	21,820	normal	1690	1195	1170	25	0,9791	4	12	3,8	0,005	0,81	0,185	0,99	0,01	0,932	0,19	0,146	SCH XXS	61,364	56,048	19,81	-2,925	35,8	-0,959	97,5	104,0
XV0355	19,730	normal	176	376	355	21	0,9441	2	2	1	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,181	0,19	0,706	SCH STD	51,005	35,393	19,49	-0,828	20,4	-1,3	83,4	89,8
XV0381	24,200	normal	3800	340	320	20	0,9412	6	10	3	0,281	0,828	0,938	0,992	1,055	0,069	0,19	0,954	SCH STD	50,103	49,15	19,46	-0,591	28,2	-0,608	89,3	95,8
XV0620A	19,730	normal	2930	320	295	25	0,9219	6	8	3	0,281	0,739	0,938	0,98	0,977	0,092	0,19	0,873	SCH STD	49,396	49,088	19,28	-0,497	27,1	-1,3	88,9	95,3
PV3132A	44,241	pobre	364	353	138,3	214,7	0,3918	3	3	1,5	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,197	0,19	0,695	SCH 40	42,816	39,249	13,12	-1,154	23,4	1,4354	72,1	78,5
	44,241	normal	364	353	138,3	214,7	0,3918	3	3	1,5	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,197	0,19	0,695		42,816	39,249	13,12	-1,154	23,4	1,4354	72,1	78,5
	44,241	rico	364	353	138,3	214,7	0,3918	3	3	1,5	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,197	0,19	0,695		42,816	39,249	13,12	-1,154	23,4	1,4354	72,1	78,5
PV3132B	44,241	pobre	364	353	138,3	214,7	0,3918	3	3	1,5	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,197	0,19	0,695	SCH 40	42,816	39,249	13,12	-1,154	23,4	1,4354	72,1	78,5
	44,241	normal	364	353	138,3	214,7	0,3918	3	3	1,5	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,197	0,19	0,695		42,816	39,249	13,12	-1,154	23,4	1,4354	72,1	78,5
	44,241	rico	364	353	138,3	214,7	0,3918	3	3	1,5	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,197	0,19	0,695		42,816	39,249	13,12	-1,154	23,4	1,4354	72,1	78,5
PV3121A	42,250	pobre	1980	391,7	37	354,7	0,0945	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,065	0,19	0,768	SCH 40	31,364	43,262	6,917	-1,615	27,2	1,2794	54,0	60,5
	42,250	normal	1980	391,7	37	354,7	0,0945	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,065	0,19	0,768		31,364	43,262	6,917	-1,615	27,2	1,2794	54,0	60,5
	42,250	rico	1980	391,7	37	354,7	0,0945	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,065	0,19	0,768		31,364	43,262	6,917	-1,615	27,2	1,2794	54,0	60,5
PV3122	59,400	pobre	339	1262,2	907,5	354,7	0,719	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,358	0,19	0,557	SCH 40	59,157	41,766	17,24	-6,173	27,2	2,4335	87,2	93,7
	59,400	normal	339	1262,2	907,5	354,7	0,719	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,358	0,19	0,557		59,157	41,766	17,24	-6,173	27,2	2,4335	87,2	93,7
	59,400	rico	339	1262,2	907,5	354,7	0,719	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,358	0,19	0,557		59,157	41,766	17,24	-6,173	27,2	2,4335	87,2	93,7
PV3130A	42,600	pobre	605	354,7	290	64,7	0,8176	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,21	0,19	0,685	SCH 40	49,248	42,74	18,27	-1,002	27,2	1,3074	83,4	89,8
	42,600	normal	605	354,7	290	64,7	0,8176	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,21	0,19	0,685		49,248	42,74	18,27	-1,002	27,2	1,3074	83,4	89,8
	42,600	rico	605	354,7	290	64,7	0,8176	4	4	2	0,281	0,563	0,938	0,938	0,844	0,21	0,19	0,685		49,248	42,74	18,27	-1,002	27,2	1,3074	83,4	89,8
XV0651	19,730	normal	2930	320	295	25	0,9219	6	8	3	0,281	0,739	0,938	0,98	0,977	0,092	0,19	0,873	SCH STD	49,396	49,088	19,28	-0,497	28,2	-1,3	87,8	94,2

### Cálculo de ruido en válvulas de líquido (dBA)

Tag	Cv	P1	Dp	P2	pv	G	km	AR	condicion	Diam tub	tipo	SPLdp	Splcv	SPLk	SPL km	SPLg	SPL ar	SPI dBA	Lw dBA
FV0330	394	432	68,3	363,7	260	0,533	0,73	0,3971	Minima	8	SCH 40S	71,688	25,955	-27,9	0,68339	1,3664	0	71,8	78,3
	394	412,4	33,5	378,9	260	0,533	0,73	0,2198	Normal	8		65,501	25,955	-27,9	0,68339	1,3664	0	65,6	72,1
	394	409,2	17,8	391,4	260	0,533	0,73	0,1193	Maxima	8		60,008	25,955	-27,9	0,68339	1,3664	0	60,1	66,6
FV0191	53,8	76,6	56,1	20,5	1	0,535	0,72	0,7421	Minima	3	SCH STD	69,979	17,308	-35,9	0,71334	1,3582	0	53,5	59,9
	53,8	56,2	35,3	20,9	1	0,535	0,72	0,6395	Normal	3		65,955	17,308	-35,9	0,71334	1,3582	0	49,4	55,9
	53,8	53,1	32	21,1	1	0,535	0,72	0,6142	Maxima	3		65,103	17,308	-35,9	0,71334	1,3582	0	48,6	55,1
FV-0375	58,7	399,3	47	352,3	350	0,479	0,72	0,9533	Maxima	3	SCHSTD	68,442	17,686	-35,9	0,71334	1,5983	0	52,5	59,0
FV-0370	224	406,4	41,1	365,3	350	0,479	0,68	0,7287	Minima	6	SCH 40	67,277	23,502	-27,9	0,83746	1,5983	0	65,3	71,8
	224	384,8	15,7	369,1	350	0,479	0,68	0,4511	Normal	6		58,918	23,502	-27,9	0,83746	1,5983	0	57,0	63,4
	224	380,5	10	370,5	350	0,479	0,68	0,3279	Maxima	6		55	23,502	-27,9	0,83746	1,5983	0	53,0	59,5
FV-0712	86,7	839	595,6	243,4	219,7	0,465	0,96	0,9617	Minima	8	SCH XS	90,499	19,38	-32	0,08864	1,6627	0	79,6	86,1
	86,7	818,9	564,6	254,3	219,7	0,465	0,96	0,9423	Normal	8		90,035	19,38	-32	0,08864	1,6627	0	79,2	85,6
	86,7	815,5	556,6	258,9	219,7	0,465	0,96	0,9342	Maxima	8		89,911	19,38	-32	0,08864	1,6627	0	79,0	85,5
PV-0712	86,7	1238,9	995,3	243,6	219,7	0,465	0,96	0,9766	Minima	8	SCH XS	94,959	19,38	-32	0,08864	1,6627	0	84,1	90,6
	86,7	1218,8	964,3	254,5	219,7	0,465	0,96	0,9652	Normal	8		94,684	19,38	-32	0,08864	1,6627	0	83,8	90,3
	86,7	1215,3	956,5	258,8	219,7	0,465	0,96	0,9607	Maxima	8		94,614	19,38	-32	0,08864	1,6627	0	83,7	90,2
TV-0211	9,61	1320	10	1310	0,9	1,074	0,91	0,0076	Maxima	2	SCH XS	55	9,8272	-42,8	0,20479	-0,155	0	22,1	28,6
TV-0382	8,84	415,8	44,5	371,3	260	0,542	0,95	0,2856	Maxima	2	SCH 10S	67,967	9,4645	0	0,11138	1,33	0	78,9	85,3

Anexos

**Cálculo estimación del nivel de ruido en dB(A), Tabla 7.3**

punto	Lw (dBA)	DF	Fuentes	distancia (metros)			alturA			At (dB)	AT suelo	At div	Lpi	Lpt
				x	y	Z1	Z2	r	dB	dB	dB	dBA	dBA	
1	125,2	2	C-0325	0	9,8	2	1,7	9,805	27,810	0,000	0,118	97,27	97,3	
2	125,2	2	C-0325	0	18,5	2	1,7	18,502	33,326	0,000	0,222	91,65	91,7	
3	125,2	2	C-0325	12,3	2,4	2	1,7	12,536	29,945	0,000	0,150	95,10		
	120,9	2	P-0350	2,2	13	1	1,7	13,203	30,396	0,000	0,092	90,41		
	112,5	2	PM-0350	2,2	15	1	1,7	15,177	31,605	0,000	0,106	80,79	96,5	
4	118,9	2	P-0350	23,5	2,4	1	1,7	23,633	35,452	1,407	0,165	81,88		
	112,5	2	PM-0350	23,5	2,4	1	1,7	23,633	35,452	1,407	0,165	75,48		
	115,8	2	P-0550	9	13	1	1,7	15,827	31,970	0,000	0,111	83,72		
	102,0	2	PM-0550	9	15	1	1,7	17,507	32,846	0,000	0,123	69,03		
	111,9	2	P-0375	9	13	0	1,7	15,903	32,011	0,966	0,111	78,81		
	98,6	2	PM-0375	9	15	0	1,7	17,575	32,880	1,505	0,123	64,09		
125,2	2	C-0325	23,5	2,4	1,8	1,7	23,622	35,448	0,400	0,283	89,07	91,2		
5	125,2	2	C-0325	12,3	2,4	2	1,7	12,536	29,945	0,000	0,150	95,10		
	125,9	2	C-0130	6,5	39	1,8	1,7	39,538	39,922	2,623	0,277	83,08		
	104,0	1	XV-0322	5	10	2,3	1,7	11,196	31,974	0,000	0,078	71,95		
	95,2	1	XV-0240	5	15	2,3	1,7	15,823	34,978	0,000	0,111	60,11		
	125,9	2	C-0130	6,5	47	1,8	1,7	47,447	41,506	3,080	0,332	80,98	95,5	
6	125,9	2	C-0130	10	4,5	1,8	1,7	10,966	28,783	0,000	0,077	97,04		
	125,9	2	C-0130	10	4,5	1,8	1,7	10,966	28,783	0,000	0,077	97,04	100,1	
7	125,9	2	C-0130	15	4,5	1,8	1,7	15,661	31,878	0,000	0,110	93,91		
	125,9	2	C-0130	15	4,5	1,8	1,7	15,661	31,878	0,000	0,110	93,91	96,9	
8	125,9	2	C-0130	17,6	10,2	2	1,7	20,344	34,151	0,000	0,142	91,61		
	125,9	2	C-0130	17,6	19,2	2	1,7	26,048	36,297	0,749	0,182	88,67		
	118,9	2	P-0350	16	16,5	1	1,7	22,994	35,214	1,272	0,161	82,25		
	112,5	2	PM-0350	16	15,5	1	1,7	22,288	34,943	1,110	0,156	76,29		
	115,8	2	P-0550	18,5	24,5	1	1,7	30,708	37,727	2,446	0,215	75,41		
	102,0	2	PM-0550	18,5	25,5	1	1,7	31,512	37,951	2,528	0,221	61,30		
125,2	2	C-0325	0	24,5	2	1,7	24,502	35,766	0,384	0,294	88,76	95,0		
9	125,2	2	C-0325	9	41	2	1,7	41,977	40,442	2,672	0,504	81,58		
	125,9	2	C-0130	10	15	1,8	1,7	18,028	33,101	0,000	0,126	92,67		
	125,9	2	C-0130	10	24	1,8	1,7	26,000	36,281	0,958	0,182	88,48		
	118,9	2	P-0350	24	11	1	1,7	26,410	36,417	1,901	0,185	80,40		
	112,5	2	PM-0350	24	10	1	1,7	26,009	36,284	1,838	0,182	74,20		
	115,8	2	P-0550	27	30	1	1,7	40,367	40,102	3,166	0,283	72,25		
102,0	2	PM-0550	27	31	1	1,7	41,116	40,262	3,204	0,288	58,25	94,6		
10	125,9	2	C-0130	0	15,5	1,8	1,7	15,500	31,789	0,000	0,109	94,00		
	125,9	2	C-0130	0	24,5	1,8	1,7	24,500	35,765	0,622	0,172	89,34		
	125,2	2	C-0325	20	22	2	1,7	29,734	37,447	1,429	0,357	85,97	95,8	
11	125,9	2	C-0130	14	5	2	1,7	14,869	31,427	0,000	0,104	94,37		
	125,9	2	C-0130	14	14	2	1,7	19,801	33,916	0,000	0,139	91,85		
	109,7	2	C-0680	21	4	1	1,7	21,389	34,586	0,884	0,150	74,08		
	99,8	1	E-0660	22	7	2	1,7	23,089	38,260	0,000	0,162	61,38	96,3	
12	125,9	2	C-0130	28	3	1,8	1,7	28,160	36,975	1,363	0,197	87,37		
	125,9	2	C-0130	28	12	1,8	1,7	30,463	37,657	1,715	0,213	86,31		
	99,8	1	E-0660	11	6	2	1,7	12,534	32,954	0,000	0,088	66,76		
109,7	2	C-0680	8	10	1	1,7	12,825	30,143	0,000	0,090	79,47	90,3		
13	125,9	2	C-0130	28	13	1,8	1,7	30,871	37,773	1,771	0,216	86,14		
	125,9	2	C-0130	28	4	1,8	1,7	28,284	37,013	1,384	0,198	87,31		
	99,8	1	E-0660	8	10	2	1,7	12,810	33,143	0,000	0,090	66,57		
	109,7	2	C-0680	8	22	1	1,7	23,420	35,373	1,363	0,164	72,80	89,9	
14	125,9	2	C-0130	10	0	1,8	1,7	10,000	27,982	0,000	0,070	97,85		
	125,9	2	C-0130	10	8	1,8	1,7	12,807	30,131	0,000	0,090	95,68	99,9	

## Anexos

punto	Lw (dBA)	DF	Fuentes	distancia (metros)			altura		r	At (dB)	AT suelo	At div	Lpi	Lpt
				x	y	Z1	Z2	dB		dB	dB	dBA	dBA	
15	125,9	2	C-0130	6	15	1,8	1,7	16,156	32,148	0,000	0,113	93,64		
	125,9	2	C-0130	6	24	1,8	1,7	24,739	35,849	0,679	0,173	89,20		
	101,7	1	E-0170	2	5	2	1,7	5,394	25,630	0,000	0,038	76,03		
	101,7	1	E-0170	3	5	2	1,7	5,839	26,318	0,000	0,041	75,34		
	97,6	1	E-0140	11	7,5	2	1,7	13,317	33,480	0,000	0,093	64,03		
	97,6	1	E-0140	7,5	7,5	2	1,7	10,611	31,507	0,000	0,074	66,02		
	97,6	1	E-0140	11	12	2	1,7	16,282	35,226	0,000	0,114	62,26		
	97,6	1	E-0140	7,5	12	2	1,7	14,154	34,010	0,000	0,099	63,49		
	98,2	1	E-0355	9	5	2	1,7	10,300	31,249	0,000	0,072	66,88		
98,2	1	E-0355	12	5	2	1,7	13,003	33,273	0,000	0,091	64,84	95,1		
16	125,9	2	C-0130	14	15	1,8	1,7	20,519	34,225	0,000	0,144	91,53		
	125,9	2	C-0130	14	24	1,8	1,7	27,785	36,858	1,298	0,194	87,55		
	101,7	1	E-0170	17	5	2	1,7	17,723	35,963	0,000	0,124	65,61		
	101,7	1	E-0170	22	5	2	1,7	22,563	38,060	0,000	0,158	63,48		
	97,6	1	E-0140	0	7	2	1,7	7,006	27,902	0,000	0,049	69,65		
	97,6	1	E-0140	3,5	7	2	1,7	7,832	28,870	0,000	0,055	68,68		
	97,6	1	E-0140	7	7	2	1,7	9,904	30,908	0,000	0,069	66,62		
	97,6	1	E-0140	10,5	7	2	1,7	12,623	33,015	0,000	0,088	64,50		93,1
17	99,8	1	E-0660	12,5	5,3	2,5	1,7	13,601	33,663	0,000	0,095	66,04		
	99,8	1	E-0660	16,5	5,3	2,5	1,7	17,349	35,777	0,000	0,121	63,90		
	109,7	2	C-0680	17	33,3	1	1,7	37,395	39,438	2,993	0,262	67,01		
	125,9	2	C-0130	55	6	1,8	1,7	55,326	42,840	3,382	0,387	79,29		
	125,9	2	C-0130	55	14	1,8	1,7	56,754	43,062	3,426	0,397	79,02		
	125,2	2	C-0325	75	42	2	1,7	85,960	46,668	3,918	1,032	73,58		83,0
18	99,8	1	E-0660	12,5	20	2,5	1,7	23,599	38,450	0,000	0,165	61,19		
	99,8	1	E-0660	16,5	20	2,5	1,7	25,940	39,272	0,000	0,182	60,35		
	109,7	2	C-0680	17	8	1	1,7	18,801	33,466	0,000	0,132	76,10		
	125,9	2	C-0130	55	23	1,8	1,7	59,616	43,489	3,506	0,417	78,49		
	125,9	2	C-0130	55	15	1,8	1,7	57,009	43,101	3,433	0,399	78,97		
	125,2	2	C-0325	75	22	2	1,7	78,161	45,842	3,814	0,938	74,61		83,5
19	125,9	2	C-0130	25	40	1,8	1,7	47,170	41,455	3,067	0,330	81,05		
	125,9	2	C-0130	25	48	1,8	1,7	54,120	42,649	3,342	0,379	79,53		
	97,6	1	E-0140	13	10,5	2	1,7	16,713	35,453	0,000	0,117	62,03		
	97,6	1	E-0140	16,5	10,5	2	1,7	19,560	36,819	0,000	0,137	60,64		
	97,6	1	E-0140	13	14,5	2	1,7	19,477	36,782	0,000	0,136	60,68		
	97,6	1	E-0140	16,5	14,5	2	1,7	21,968	37,828	0,000	0,154	59,62		83,5
20	125,9	2	C-0130	8	41	1,8	1,7	41,773	40,400	2,774	0,292	82,43		
	125,9	2	C-0130	8	49	1,8	1,7	49,649	41,900	3,176	0,348	80,48		
	97,6	1	E-0140	5	10,5	2	1,7	11,634	32,306	0,000	0,081	65,21		
	97,6	1	E-0140	5	10,5	2	1,7	11,634	32,306	0,000	0,081	65,21		
	97,6	1	E-0140	1,5	10,5	2	1,7	10,611	31,507	0,000	0,074	66,02		
	97,6	1	E-0140	1,5	10,5	2	1,7	10,611	31,507	0,000	0,074	66,02		
	101,7	1	E-0170	11	9	2	1,7	14,216	34,048	0,000	0,100	67,55		
	101,7	1	E-0170	16	9	2	1,7	18,360	36,270	0,000	0,129	65,30		
	101,7	1	E-0170	11	16	2	1,7	19,419	36,757	0,000	0,136	64,81		
	101,7	1	E-0170	16	16	2	1,7	22,629	38,086	0,000	0,158	63,46		85,0
21	125,9	2	C-0130	2	41	1,8	1,7	41,049	40,248	2,727	0,287	82,64		
	125,9	2	C-0130	2	49	1,8	1,7	49,041	41,793	3,150	0,343	80,61		
	97,6	1	E-0140	15	10,5	2	1,7	18,312	36,247	0,000	0,128	61,22		
	97,6	1	E-0140	5	10,5	2	1,7	11,634	32,306	0,000	0,081	65,21		
	97,6	1	E-0140	11,5	10,5	2	1,7	15,575	34,841	0,000	0,109	62,65		
	97,6	1	E-0140	8,5	10,5	2	1,7	13,513	33,607	0,000	0,095	63,90		
	101,7	1	E-0170	1	9	2	1,7	9,060	30,135	0,000	0,063	71,50		
	101,7	1	E-0170	6	9	2	1,7	10,821	31,677	0,000	0,076	69,95		
	101,7	1	E-0170	1	16	2	1,7	16,034	35,093	0,000	0,112	66,49		
	101,7	1	E-0170	6	16	2	1,7	17,091	35,647	0,000	0,120	65,93		85,3
22	125,9	2	C-0130	23	41	1,8	1,7	47,011	41,426	3,059	0,329	81,09		
	125,9	2	C-0130	23	49	1,8	1,7	54,130	42,650	3,342	0,379	79,53		
	98,2	1	E-0335	9	0	2	1,7	9,005	30,082	0,000	0,063	68,06		
	98,2	1	E-0335	9	2,5	2	1,7	9,346	30,404	0,000	0,065	67,73		
	98,2	1	E-0335	9	5	2	1,7	10,300	31,249	0,000	0,072	66,88		
	98,2	1	E-0335	14	0	2	1,7	14,003	33,917	0,000	0,098	64,19		
	98,2	1	E-0335	14	2,5	2	1,7	14,225	34,053	0,000	0,100	64,05		
	98,2	1	E-0335	14	5	2	1,7	14,869	34,438	0,000	0,104	63,66		
	98,0	1	E-0570	10	10	12	1,7	17,495	35,851	0,000	0,122	62,03		
	98,0	1	E-0570	10	16	12	1,7	21,496	37,639	0,000	0,150	60,21		
	101,8	1	E-0630	6,5	10	12	1,7	15,759	34,943	0,000	0,110	66,75		
	101,8	1	E-0630	6,5	16	12	1,7	20,108	37,060	0,000	0,141	64,60		84,0

Anexos

punto	Lw (dBA)	DF	Fuentes	distancia (metros)			altura		r	At (dB)	AT suelo	At div	Lpi	Lpt
				x	y	Z1	Z2	dB						
23	115,8	2	P-0550	5	1	1	1,7	5,196	22,295	0,000	0,036	93,47	97,9	
	102,0	2	PM-0550	5	2	1	1,7	5,477	22,753	0,000	0,038	79,21		
	115,8	2	P-0550	7,5	1	1	1,7	7,632	25,635	0,000	0,053	90,11		
	102,0	2	PM-0550	7,5	2	1	1,7	7,826	25,853	0,000	0,055	76,09		
	115,8	2	P-1480	6	0	1	1,7	6,083	23,664	0,000	0,043	92,14		
	106,5	2	PM-1480	6	1	1	1,7	6,164	23,780	0,000	0,043	82,68		
	115,8	2	P-1480	10	0	1	1,7	10,050	28,025	0,000	0,070	87,75		
	106,5	2	PM-1480	10	1	1	1,7	10,100	28,068	0,000	0,071	78,36		
	119,8	2	P-0690	22	2	1	1,7	22,113	34,875	1,068	0,155	83,73		
	100,4	1	PV-0540	5	11	2,3	1,7	12,300	32,790	0,000	0,086	67,52		
	95,3	1	XV-0620	3	11	2,3	1,7	11,631	32,305	0,000	0,081	62,91		
116,0	2	PM-0690	22	1	1	1,7	22,045	34,848	1,051	0,154	79,95			
24	125,2	1	C-0325	28	70	2	1,7	75,419	48,542	3,771	0,905	71,98	89,8	
	125,9	2	C-0130	47	28	1,8	1,7	54,738	42,748	3,363	0,383	79,41		
	125,9	2	C-0130	47	36	1,8	1,7	59,230	43,433	3,496	0,415	78,56		
	100,2	1	E-0530	0	0	12	1,7	12,000	32,576	0,000	0,084	67,54		
	100,2	1	E-0530	0	7	12	1,7	13,892	33,848	0,000	0,097	66,26		
	100,2	1	E-0530	4	6	12	1,7	14,000	33,915	0,000	0,098	66,19		
	100,2	1	E-0530	4	0	12	1,7	12,649	33,033	0,000	0,089	67,08		
	100,2	1	E-0530	8	0	12	1,7	14,422	34,173	0,000	0,101	65,93		
	100,2	1	E-0530	8	6	12	1,7	15,620	34,866	0,000	0,109	65,22		
	100,8	1	E-0630	5	0	12	1,7	13,000	33,271	0,000	0,091	67,44		
	100,8	1	E-0630	5	6,5	12	1,7	14,534	34,240	0,000	0,102	66,46		
	118,3	2	P-0550	2	19	1	1,7	19,131	33,617	0,188	0,134	84,36		
	102,0	2	PM-0550	2	18	1	1,7	18,138	33,154	0,000	0,127	68,72		
	118,3	2	P-0550	5	19	1	1,7	19,672	33,859	0,374	0,138	83,93		
	102,0	2	PM-0550	5	18	1	1,7	18,708	33,422	0,000	0,131	68,45		
	115,8	2	P-1480	7	20	1	1,7	21,213	34,514	0,836	0,148	80,34		
	106,5	2	PM-1480	7	19	1	1,7	20,273	34,120	0,565	0,142	71,67		
	115,8	2	P-1480	11,5	20	1	1,7	23,092	35,251	1,293	0,162	79,14		
106,5	2	PM-1480	11,5	19	1	1,7	22,232	34,921	1,097	0,156	70,33			
25	125,9	2	C-0130	60	11	1,8	1,7	61,027	43,692	3,543	0,427	78,24	101,4	
	125,9	2	C-0130	60	19	1,8	1,7	62,962	43,963	3,590	0,441	77,91		
	125,2	2	C-0325	42	65	2	1,7	77,414	45,758	3,802	0,542	75,10		
	115,8	2	P-1480	3	0	1	1,7	3,162	17,982	0,000	0,022	97,84		
	106,5	2	PM-1480	3	0	1	1,7	3,162	17,982	0,000	0,022	88,50		
	115,8	2	P-1480	3	0	1	1,7	3,162	17,982	0,000	0,022	97,84		
	106,5	2	PM-1480	3	0	1	1,7	3,162	17,982	0,000	0,022	88,50		
100,2	1	E-0530	0	13,5	12	1,7	18,062	36,128	0,000	0,126	63,95			
26	125,9	2	C-0130	90	30	1,8	1,7	94,885	47,526	4,056	0,664	73,65	86,6	
	125,9	2	C-0130	90	38	1,8	1,7	97,710	47,781	4,081	0,684	73,35		
	125,2	2	C-0325	78	70	2	1,7	104,824	48,391	4,099	0,734	71,98		
	100,2	1	E-3325	24	18	2	1,7	30,067	40,554	1,480	0,210	57,96		
	108,9	2	P-3340	24	9	1	1,7	25,652	36,164	1,780	0,180	70,73		
	92,5	2	PM-3340	24	9	1	1,7	25,652	36,164	1,780	0,180	54,38		
	100,2	1	E-0530	11	2	12	1,7	16,401	35,290	0,000	0,115	64,80		
	100,2	1	E-0530	11	2	12	1,7	16,401	35,290	0,000	0,115	64,80		
	119,8	2	P-0690	10	19	1	1,7	21,494	34,628	0,911	0,150	84,13		
	116,0	2	PM-0690	10	18	1	1,7	20,616	34,266	0,668	0,144	80,92		

## Anexos

punto	Lw (dBA)	DF	Fuentes	distancia (metros)			tura (m)			At (dB)	AT suelo	At div	Lpi	Lpt
				x	y	Z1	Z2	r	dB	dB	dB	dBA	dBA	
28	125,9	2	C-0130	59	8	1,8	1,7	59,567	43,482	3,505	0,417	78,50	87,3	
	125,9	2	C-0130	59	0	1,8	1,7	59,027	43,403	3,491	0,413	78,59		
	125,2	2	C-0325	41	33	2	1,7	52,669	42,413	3,206	0,632	78,95		
	104,9	2	P-0690	9,5	15,5	1	1,7	18,207	33,187	0,000	0,127	71,59		
	114,4	2	PM-0690	9,5	16,5	1	1,7	19,066	33,587	0,000	0,133	80,68		
	104,9	2	P-0690	13	15,5	1	1,7	20,255	34,112	0,559	0,142	70,09		
	114,4	2	PM-0690	13	16,5	1	1,7	21,030	34,438	0,786	0,147	79,03		
	101,6	2	P-1480	3	17	1	1,7	17,292	32,739	0,000	0,121	68,74		
	106,5	2	PM-1480	3	18	1	1,7	18,276	33,219	0,000	0,128	73,15		
	101,6	2	P-1480	3	17	1	1,7	17,292	32,739	0,000	0,121	68,74		
	106,5	2	PM-1480	3	18	1	1,7	18,276	33,219	0,000	0,128	73,15		
	100,6	2	P-0550	18	17	1	1,7	24,779	35,863	1,628	0,173	62,93		
	102,0	2	PM-0550	18	18	1	1,7	25,475	36,104	1,750	0,178	63,97		
	100,6	2	P-0550	21	17	1	1,7	27,037	36,621	1,994	0,189	61,80		
	102,0	2	PM-0550	21	18	1	1,7	27,677	36,824	2,084	0,194	62,90		
	104,6	2	P-0350	24	23,5	1	1,7	33,604	38,510	2,717	0,235	63,14		
	112,5	2	PM-0350	24	22,5	1	1,7	32,913	38,329	2,658	0,230	71,28		
110,0	2	P-0375	7	23,5	1	1,7	24,541	35,780	1,585	0,172	72,43			
98,6	2	PM-0375	7	22,5	1	1,7	23,585	35,434	1,398	0,165	61,60			
29	125,9	2	C-0130	50	26	1,8	1,7	56,385	43,005	3,414	0,395	79,09	87,4	
	125,9	2	C-0130	50	14	1,8	1,7	51,954	42,294	3,266	0,364	79,98		
	125,2	2	C-0325	32	19	2	1,7	37,269	39,409	2,313	0,447	83,03		
	104,6	2	P-0350	12,5	9	1	1,7	15,435	31,752	0,000	0,108	72,74		
	112,5	2	PM-0350	12,5	8	1	1,7	14,874	31,431	0,000	0,104	80,97		
	92,3	1	XV-0381	0	15	5	1,7	15,811	34,971	0,000	0,111	57,22		
	93,0	1	XV-0370	6	15	5	1,7	16,912	35,556	0,000	0,118	57,33		
	97,0	2	P-0375	3	9	1	1,7	9,539	27,572	0,000	0,067	69,36		
98,6	2	PM-0375	3	8	1	1,7	8,602	26,674	0,000	0,060	71,87			
30	125,9	2	C-0130	38	26	1,8	1,7	46,079	41,252	3,014	0,323	81,31	90,7	
	125,9	2	C-0130	38	14	1,8	1,7	40,537	40,139	2,693	0,284	82,78		
	125,2	2	C-0325	20	20	2	1,7	28,355	37,034	1,201	0,340	86,62		
	104,6	2	P-0350	0	10	1	1,7	10,050	28,025	0,000	0,070	76,50		
	112,5	2	PM-0350	0	9	1	1,7	9,055	27,120	0,000	0,063	85,32		
	95,8	1	XV-0381	0	15	5	1,7	15,811	34,971	0,000	0,111	60,72		
	96,5	1	XV-0370	6	15	5	1,7	16,912	35,556	0,000	0,118	60,83		
	97,0	2	P-0375	16	10	1	1,7	18,894	33,508	0,000	0,132	63,36		
98,6	2	PM-0375	16	9	1	1,7	18,385	33,271	0,000	0,129	65,20			

Anexos

**Cálculo estimación nivel de ruido en dB(A) tabla 7.6**

punto	Lw (dBA)	DF	Fuentes	distancia (metros)			altura		r	At (dB)	AT suelo	At div	Lpi	Lpt
				x	y	Z1	Z2	dB		dB	dB	dBA	dBA	
1	125,2	2	C-0325	0	9,8	2	1,7	9,805	27,810	0,000	0,118	97,27	97,3	
2	125,2	2	C-0325	0	18,5	2	1,7	18,502	33,326	0,000	0,222	91,65	91,7	
3	125,2	2	C-0325	12,3	2,4	2	1,7	12,536	29,945	0,000	0,150	95,10	95,3	
	104,6	2	P-0350	2,2	13	1	1,7	13,203	30,396	0,000	0,092	74,11		
	112,5	2	PM-0350	2,2	15	1	1,7	15,177	31,605	0,000	0,106	80,79		
4	104,6	2	P-0350	23,5	2,4	1	1,7	23,633	35,452	1,407	0,165	67,58	89,4	
	112,5	2	PM-0350	23,5	2,4	1	1,7	23,633	35,452	1,407	0,165	75,48		
	100,6	2	P-0550	9	13	1	1,7	15,827	31,970	0,000	0,111	68,52		
	102,0	2	P-0550	9	15	1	1,7	17,507	32,846	0,000	0,123	69,03		
	97,0	2	P-0375	9	13	0	1,7	15,903	32,011	0,966	0,111	63,91		
	98,6	2	P-0375	9	15	0	1,7	17,575	32,880	1,505	0,123	64,09		
	125,2	2	C-0325	23,5	2,4	1,8	1,7	23,622	35,448	0,400	0,283	89,07		
5	125,2	2	C-0325	12,3	2,4	2	1,7	12,536	29,945	0,000	0,150	95,10	95,5	
	104,0	1	XV-0322	5	10	2,3	1,7	11,196	31,974	0,000	0,134	71,89		
	95,2	1	XV-0240	5	15	2,3	1,7	15,823	34,978	0,000	0,190	60,03		
	125,9	2	C-0130	6,5	39	1,8	1,7	39,538	39,922	2,623	0,277	83,08		
	125,9	2	C-0130	6,5	47	1,8	1,7	47,447	41,506	3,080	0,332	80,98		
6	125,9	2	C-0130	10	4,5	1,8	1,7	10,966	28,783	0,000	0,077	97,04	100,1	
	125,9	2	C-0130	10	4,5	1,8	1,7	10,966	28,783	0,000	0,077	97,04		
7	125,9	2	C-0130	15	4,5	1,8	1,7	15,661	31,878	0,000	0,110	93,91	96,9	
	125,9	2	C-0130	15	4,5	1,8	1,7	15,661	31,878	0,000	0,110	93,91		
8	125,9	2	C-0130	17,6	10,2	2	1,7	20,344	34,151	0,000	0,142	91,61	94,8	
	125,9	2	C-0130	17,6	19,2	2	1,7	26,048	36,297	0,749	0,182	88,67		
	104,6	2	P-0350	16	16,5	1	1,7	22,994	35,214	1,272	0,161	67,95		
	112,5	2	PM-0350	16	15,5	1	1,7	22,288	34,943	1,110	0,156	76,29		
	100,6	2	P-0550	18,5	24,5	1	1,7	30,708	37,727	2,446	0,215	60,21		
	102,0	2	PM-0550	18,5	25,5	1	1,7	31,512	37,951	2,528	0,221	61,30		
	125,2	2	C-0325	0	24,5	2	1,7	24,502	35,766	0,384	0,294	88,76		
9	125,2	2	C-0325	9	41	2	1,7	41,977	40,442	2,672	0,504	81,58	94,4	
	125,9	2	C-0130	10	15	1,8	1,7	18,028	33,101	0,000	0,126	92,67		
	125,9	2	C-0130	10	24	1,8	1,7	26,000	36,281	0,958	0,182	88,48		
	104,6	2	P-0350	24	11	1	1,7	26,410	36,417	1,901	0,185	66,10		
	112,5	2	PM-0350	24	10	1	1,7	26,009	36,284	1,838	0,182	74,20		
	100,6	2	P-0550	27	30	1	1,7	40,367	40,102	3,166	0,283	57,05		
	102,0	2	PM-0550	27	31	1	1,7	41,116	40,262	3,204	0,288	58,25		
10	125,9	2	C-0130	0	15,5	1,8	1,7	15,500	31,789	0,000	0,109	94,00	95,8	
	125,9	2	C-0130	0	24,5	1,8	1,7	24,500	35,765	0,622	0,172	89,34		
	125,2	2	C-0325	20	22	2	1,7	29,734	37,447	1,429	0,357	85,97		
11	125,9	2	C-0130	14	5	2	1,7	14,869	31,427	0,000	0,104	94,37	96,3	
	125,9	2	C-0130	14	14	2	1,7	19,801	33,916	0,000	0,139	91,85		
	109,7	2	C-0680	21	4	1	1,7	21,389	34,586	0,884	0,150	74,08		
	99,8	1	E-0660	22	7	2	1,7	23,089	38,260	0,000	0,162	61,38		
12	125,9	2	C-0130	28	3	1,8	1,7	28,160	36,975	1,363	0,197	87,37	90,3	
	125,9	2	C-0130	28	12	1,8	1,7	30,463	37,657	1,715	0,213	86,31		
	99,8	1	E-0660	11	6	2	1,7	12,534	32,954	0,000	0,088	66,76		
	109,7	2	C-0680	8	10	1	1,7	12,825	30,143	0,000	0,090	79,47		
13	125,9	2	C-0130	28	13	1,8	1,7	30,871	37,773	1,771	0,216	86,14	89,9	
	125,9	2	C-0130	28	4	1,8	1,7	28,284	37,013	1,384	0,198	87,31		
	99,8	1	E-0660	8	10	2	1,7	12,810	33,143	0,000	0,090	66,57		
	109,7	2	C-0680	8	22	1	1,7	23,420	35,373	1,363	0,164	72,80		
14	125,9	2	C-0130	10	0	1,8	1,7	10,000	27,982	0,000	0,070	97,85	99,9	
	125,9	2	C-0130	10	8	1,8	1,7	12,807	30,131	0,000	0,090	95,68		

## Anexos

punto	Lw (dBA)	DF	Fuentes	distancia (metros)			altura (m)		r	At (dB)	AT suelo	At div	Lpi	Lpt
				x	y	Z1	Z2	dB		dB	dB	dBA	dBA	
15	125,9	2	C-0130	6	15	1,8	1,7	16,156	32,148	0,000	0,113	93,64	95,1	
	125,9	2	C-0130	6	24	1,8	1,7	24,739	35,849	0,679	0,173	89,20		
	101,7	1	E-0170	2	5	2	1,7	5,394	25,630	0,000	0,038	76,03		
	101,7	1	E-0170	3	5	2	1,7	5,839	26,318	0,000	0,041	75,34		
	97,6	1	E-0140	11	7,5	2	1,7	13,317	33,480	0,000	0,093	64,03		
	97,6	1	E-0140	7,5	7,5	2	1,7	10,611	31,507	0,000	0,074	66,02		
	97,6	1	E-0140	11	12	2	1,7	16,282	35,226	0,000	0,114	62,26		
	97,6	1	E-0140	7,5	12	2	1,7	14,154	34,010	0,000	0,099	63,49		
	98,2	1	E-0355	9	5	2	1,7	10,300	31,249	0,000	0,072	66,88		
	98,2	1	E-0355	12	5	2	1,7	13,003	33,273	0,000	0,091	64,84		
16	125,9	2	C-0130	14	15	1,8	1,7	20,519	34,225	0,000	0,144	91,53	93,1	
	125,9	2	C-0130	14	24	1,8	1,7	27,785	36,858	1,298	0,194	87,55		
	101,7	1	E-0170	17	5	2	1,7	17,723	35,963	0,000	0,124	65,61		
	101,7	1	E-0170	22	5	2	1,7	22,563	38,060	0,000	0,158	63,48		
	97,6	1	E-0140	0	7	2	1,7	7,006	27,902	0,000	0,049	69,65		
	97,6	1	E-0140	3,5	7	2	1,7	7,832	28,870	0,000	0,055	68,68		
	97,6	1	E-0140	7	7	2	1,7	9,904	30,908	0,000	0,069	66,62		
	97,6	1	E-0140	10,5	7	2	1,7	12,623	33,015	0,000	0,088	64,50		
	97,6	1	E-0140	10,5	7	2	1,7	12,623	33,015	0,000	0,088	64,50		
17	99,8	1	E-0660	12,5	5,3	2,5	1,7	13,601	33,663	0,000	0,095	66,04	83,0	
	99,8	1	E-0660	16,5	5,3	2,5	1,7	17,349	35,777	0,000	0,121	63,90		
	109,7	2	C-0680	17	33,3	1	1,7	37,395	39,438	2,993	0,262	67,01		
	125,9	2	C-0130	55	6	1,8	1,7	55,326	42,840	3,382	0,387	79,29		
	125,9	2	C-0130	55	14	1,8	1,7	56,754	43,062	3,426	0,397	79,02		
	125,2	2	C-0325	75	42	2	1,7	85,960	46,668	3,918	1,032	73,58		
18	99,8	1	E-0660	12,5	20	2,5	1,7	23,599	38,450	0,000	0,165	61,19	83,5	
	99,8	1	E-0660	16,5	20	2,5	1,7	25,940	39,272	0,000	0,182	60,35		
	109,7	2	C-0680	17	8	1	1,7	18,801	33,466	0,000	0,132	76,10		
	125,9	2	C-0130	55	23	1,8	1,7	59,616	43,489	3,506	0,417	78,49		
	125,9	2	C-0130	55	15	1,8	1,7	57,009	43,101	3,433	0,399	78,97		
	125,2	2	C-0325	75	22	2	1,7	78,161	45,842	3,814	0,938	74,61		
19	125,9	2	C-0130	25	40	1,8	1,7	47,170	41,455	3,067	0,330	81,05	83,5	
	125,9	2	C-0130	25	48	1,8	1,7	54,120	42,649	3,342	0,379	79,53		
	97,6	1	E-0140	13	10,5	2	1,7	16,713	35,453	0,000	0,117	62,03		
	97,6	1	E-0140	16,5	10,5	2	1,7	19,560	36,819	0,000	0,137	60,64		
	97,6	1	E-0140	13	14,5	2	1,7	19,477	36,782	0,000	0,136	60,68		
	97,6	1	E-0140	16,5	14,5	2	1,7	21,968	37,828	0,000	0,154	59,62		
20	125,9	2	C-0130	8	41	1,8	1,7	41,773	40,400	2,774	0,292	82,43	85,0	
	125,9	2	C-0130	8	49	1,8	1,7	49,649	41,900	3,176	0,348	80,48		
	97,6	1	E-0140	5	10,5	2	1,7	11,634	32,306	0,000	0,081	65,21		
	97,6	1	E-0140	5	10,5	2	1,7	11,634	32,306	0,000	0,081	65,21		
	97,6	1	E-0140	1,5	10,5	2	1,7	10,611	31,507	0,000	0,074	66,02		
	97,6	1	E-0140	1,5	10,5	2	1,7	10,611	31,507	0,000	0,074	66,02		
	101,7	1	E-0170	11	9	2	1,7	14,216	34,048	0,000	0,100	67,55		
	101,7	1	E-0170	16	9	2	1,7	18,360	36,270	0,000	0,129	65,30		
	101,7	1	E-0170	11	16	2	1,7	19,419	36,757	0,000	0,136	64,81		
	101,7	1	E-0170	16	16	2	1,7	22,629	38,086	0,000	0,158	63,46		
21	125,9	2	C-0130	2	41	1,8	1,7	41,049	40,248	2,727	0,287	82,64	85,3	
	125,9	2	C-0130	2	49	1,8	1,7	49,041	41,793	3,150	0,343	80,61		
	97,6	1	E-0140	15	10,5	2	1,7	18,312	36,247	0,000	0,128	61,22		
	97,6	1	E-0140	5	10,5	2	1,7	11,634	32,306	0,000	0,081	65,21		
	97,6	1	E-0140	11,5	10,5	2	1,7	15,575	34,841	0,000	0,109	62,65		
	97,6	1	E-0140	8,5	10,5	2	1,7	13,513	33,607	0,000	0,095	63,90		
	101,7	1	E-0170	1	9	2	1,7	9,060	30,135	0,000	0,063	71,50		
	101,7	1	E-0170	6	9	2	1,7	10,821	31,677	0,000	0,076	69,95		
	101,7	1	E-0170	1	16	2	1,7	16,034	35,093	0,000	0,112	66,49		
	101,7	1	E-0170	6	16	2	1,7	17,091	35,647	0,000	0,120	65,93		
22	125,9	2	C-0130	23	41	1,8	1,7	47,011	41,426	3,059	0,329	81,09	84,0	
	125,9	2	C-0130	23	49	1,8	1,7	54,130	42,650	3,342	0,379	79,53		
	98,2	1	E-0335	9	0	2	1,7	9,005	30,082	0,000	0,063	68,06		
	98,2	1	E-0335	9	2,5	2	1,7	9,346	30,404	0,000	0,065	67,73		
	98,2	1	E-0335	9	5	2	1,7	10,300	31,249	0,000	0,072	66,88		
	98,2	1	E-0335	14	0	2	1,7	14,003	33,917	0,000	0,098	64,19		
	98,2	1	E-0335	14	2,5	2	1,7	14,225	34,053	0,000	0,100	64,05		
	98,2	1	E-0335	14	5	2	1,7	14,869	34,438	0,000	0,104	63,66		
	98,0	1	E-0570	10	10	12	1,7	17,495	35,851	0,000	0,122	62,03		
	98,0	1	E-0570	10	16	12	1,7	21,496	37,639	0,000	0,150	60,21		
	101,8	1	E-0630	6,5	10	12	1,7	15,759	34,943	0,000	0,110	66,75		
	101,8	1	E-0630	6,5	16	12	1,7	20,108	37,060	0,000	0,141	64,60		

Anexos

punto	Lw (dBA)	DF	Fuentes	distancia (metros)			altura		r	At (dB)	AT suelo	At div	Lpi	Lpt
				x	y	Z1	Z2	dB		dB	dB	dBA	dBA	
23	125,9	2	C-0130	47	11	1,8	1,7	48,270	41,655	3,117	0,338	80,79	89,7	
	125,9	2	C-0130	47	19	1,8	1,7	50,695	42,081	3,218	0,355	80,25		
	125,2	2	C-0325	27	65	2	1,7	70,385	44,931	3,682	0,493	76,09		
	100,6	2	P-0550	5	1	1	1,7	5,196	22,295	0,000	0,036	78,27		
	102,0	2	PM-0550	5	2	1	1,7	5,477	22,753	0,000	0,038	79,21		
	100,6	2	P-0550	7,5	1	1	1,7	7,632	25,635	0,000	0,053	74,91		
	102,0	2	PM-0550	7,5	2	1	1,7	7,826	25,853	0,000	0,055	76,09		
	101,6	2	P-1480	6	0	1	1,7	6,083	23,664	0,000	0,043	77,89		
	106,5	2	PM-1480	6	1	1	1,7	6,164	23,780	0,000	0,043	82,68		
	101,6	2	P-1480	10	0	1	1,7	10,050	28,025	0,000	0,070	73,50		
	106,5	2	PM-1480	10	1	1	1,7	10,100	28,068	0,000	0,071	78,36		
	100,4	1	PV-0540	5	11	2,3	1,7	12,300	32,790	0,000	0,086	67,52		
	95,3	1	XV-0620	3	11	2,3	1,7	11,631	32,305	0,000	0,081	62,91		
104,9	2	P-0690	22	2	1	1,7	22,113	34,875	1,068	0,155	68,80			
116,0	2	PM-0690	22	1	1	1,7	22,045	34,848	1,051	0,154	79,95			
24	125,2	2	C-0325	28	70	2	1,7	75,419	45,531	3,771	0,905	74,99	84,5	
	125,9	2	C-0130	47	28	1,8	1,7	54,738	42,748	3,363	0,383	79,41		
	125,9	2	C-0130	47	36	1,8	1,7	59,230	43,433	3,496	0,415	78,56		
	100,2	1	E-0530	0	0	12	1,7	12,000	32,576	0,000	0,084	67,54		
	100,2	1	E-0530	0	7	12	1,7	13,892	33,848	0,000	0,097	66,26		
	100,2	1	E-0530	4	6	12	1,7	14,000	33,915	0,000	0,098	66,19		
	100,2	1	E-0530	4	0	12	1,7	12,649	33,033	0,000	0,089	67,08		
	100,2	1	E-0530	8	0	12	1,7	14,422	34,173	0,000	0,101	65,93		
	100,2	1	E-0530	8	6	12	1,7	15,620	34,866	0,000	0,109	65,22		
	100,8	1	E-0630	5	0	12	1,7	13,000	33,271	0,000	0,091	67,44		
	100,8	1	E-0630	5	6,5	12	1,7	14,534	34,240	0,000	0,102	66,46		
	100,6	2	P-0550	2	19	1	1,7	19,131	33,617	0,188	0,134	66,66		
	102,0	2	PM-0550	2	18	1	1,7	18,138	33,154	0,000	0,127	68,72		
	100,6	2	P-0550	5	19	1	1,7	19,672	33,859	0,374	0,138	66,23		
	102,0	2	PM-0550	5	18	1	1,7	18,708	33,422	0,000	0,131	68,45		
	101,6	2	P-1480	7	20	1	1,7	21,213	34,514	0,836	0,148	66,10		
106,5	2	PM-1480	7	19	1	1,7	20,273	34,120	0,565	0,142	71,67			
101,6	2	P-1480	11,5	20	1	1,7	23,092	35,251	1,293	0,162	64,89			
106,5	2	PM-1480	11,5	19	1	1,7	22,232	34,921	1,097	0,156	70,33			
25	125,9	2	C-0130	60	11	1,8	1,7	61,027	43,692	3,543	0,427	78,24	92,9	
	125,9	2	C-0130	60	19	1,8	1,7	62,962	43,963	3,590	0,441	77,91		
	125,2	2	C-0325	42	65	2	1,7	77,414	45,758	3,802	0,542	75,10		
	100,6	2	P-1480	3	0	1	1,7	3,162	17,982	0,000	0,022	82,60		
	106,5	2	PM-1480	3	0	1	1,7	3,162	17,982	0,000	0,022	88,50		
	100,6	2	P-1480	3	0	1	1,7	3,162	17,982	0,000	0,022	82,60		
	106,5	2	PM-1480	3	0	1	1,7	3,162	17,982	0,000	0,022	88,50		
100,2	1	E-0530	0	13,5	12	1,7	18,062	36,128	0,000	0,126	63,95			
26	125,9	2	C-0130	90	30	1,8	1,7	94,885	47,526	4,056	0,664	73,65	81,9	
	125,9	2	C-0130	90	38	1,8	1,7	97,710	47,781	4,081	0,684	73,35		
	125,2	2	C-0325	78	70	2	1,7	104,824	48,391	4,099	0,734	71,98		
	100,2	1	E-3325	24	18	2	1,7	30,067	40,554	1,480	0,210	57,96		
	93,2	2	P-3340	24	9	1	1,7	25,652	36,164	1,780	0,180	55,08		
	92,5	2	PM-3340	24	9	1	1,7	25,652	36,164	1,780	0,180	54,38		
	100,2	1	E-0530	11	2	12	1,7	16,401	35,290	0,000	0,115	64,80		
	100,2	1	E-0530	11	2	12	1,7	16,401	35,290	0,000	0,115	64,80		
	100,4	2	P-0690	10	19	1	1,7	21,494	34,628	0,911	0,150	64,71		
	114,4	2	PM-0690	10	18	1	1,7	20,616	34,266	0,668	0,144	79,32		

## Anexos

punto	Lw (dBA)	DF	Fuentes	distancia (metros)			altura		r	At (dB)	AT suelo	At div	Lpi	Lpt
				x	y	Z1	Z2	dB		dB	dB	dBA	dBA	
27	125,9	2	C-0130	90	0	1,8	1,7	90,018	47,068	4,009	0,630	74,19		
	125,9	2	C-0130	90	8	1,8	1,7	90,373	47,103	4,013	0,633	74,15		
	125,2	2	C-0325	78	40	2	1,7	87,681	46,840	3,938	0,614	73,81		
	106,1	2	P-3340	8	2	1	1,7	8,307	26,370	0,000	0,058	79,70		
	92,5	2	PM-3340	8	2	1	1,7	8,307	26,370	0,000	0,058	66,07		
	104,9	2	P-0690	15	8	1	1,7	17,029	32,606	0,000	0,119	72,18		
	114,4	2	PM-0690	15	10	1	1,7	18,055	33,114	0,000	0,126	81,16		
	104,9	2	P-0690	18	8	1	1,7	19,723	33,881	0,391	0,138	70,49		
	114,4	2	PM-0690	18	10	1	1,7	20,616	34,266	0,668	0,144	79,32		
	100,2	1	E-3325	16	1	2	1,7	16,155	35,159	0,000	0,113	64,93	86,2	
28	125,9	2	C-0130	59	8	1,8	1,7	59,567	43,482	3,505	0,417	78,50		
	125,9	2	C-0130	59	0	1,8	1,7	59,027	43,403	3,491	0,413	78,59		
	125,2	2	C-0325	41	33	2	1,7	52,669	42,413	3,206	0,632	78,95		
	104,9	2	P-0690	9,5	15,5	1	1,7	18,207	33,187	0,000	0,127	71,59		
	114,4	2	PM-0690	9,5	16,5	1	1,7	19,066	33,587	0,000	0,133	80,68		
	104,9	2	P-0690	13	15,5	1	1,7	20,255	34,112	0,559	0,142	70,09		
	114,4	2	PM-0690	13	16,5	1	1,7	21,030	34,438	0,786	0,147	79,03		
	101,6	2	P-1480	3	17	1	1,7	17,292	32,739	0,000	0,121	68,74		
	106,5	2	PM-1480	3	18	1	1,7	18,276	33,219	0,000	0,128	73,15		
	101,6	2	P-1480	3	17	1	1,7	17,292	32,739	0,000	0,121	68,74		
	106,5	2	PM-1480	3	18	1	1,7	18,276	33,219	0,000	0,128	73,15		
	100,6	2	P-0550	18	17	1	1,7	24,779	35,863	1,628	0,173	62,93		
	102,0	2	PM-0550	18	18	1	1,7	25,475	36,104	1,750	0,178	63,97		
	100,6	2	P-0550	21	17	1	1,7	27,037	36,621	1,994	0,189	61,80		
	102,0	2	PM-0550	21	18	1	1,7	27,677	36,824	2,084	0,194	62,90		
	104,6	2	P-0350	24	23,5	1	1,7	33,604	38,510	2,717	0,235	63,14		
	112,5	2	PM-0350	24	22,5	1	1,7	32,913	38,329	2,658	0,230	71,28		
	110,0	2	P-0375	7	23,5	1	1,7	24,541	35,780	1,585	0,172	72,43		
98,6	2	PM-0375	7	22,5	1	1,7	23,585	35,434	1,398	0,165	61,60	87,3		
29	125,9	2	C-0130	50	26	1,8	1,7	56,385	43,005	3,414	0,395	79,09		
	125,9	2	C-0130	50	14	1,8	1,7	51,954	42,294	3,266	0,364	79,98		
	125,2	2	C-0325	32	19	2	1,7	37,269	39,409	2,313	0,447	83,03		
	104,6	2	P-0350	12,5	9	1	1,7	15,435	31,752	0,000	0,108	72,74		
	112,5	2	PM-0350	12,5	8	1	1,7	14,874	31,431	0,000	0,104	80,97		
	95,8	1	XV-0381	0	15	5	1,7	15,811	34,971	0,000	0,111	60,72		
	96,5	1	XV-0370	6	15	5	1,7	16,912	35,556	0,000	0,118	60,83		
	97,0	2	P-0375	3	9	1	1,7	9,539	27,572	0,000	0,067	69,36		
	98,6	2	PM-0375	3	8	1	1,7	8,602	26,674	0,000	0,060	71,87	87,4	
	30	125,9	2	C-0130	38	26	1,8	1,7	46,079	41,252	3,014	0,323	81,31	
125,9		2	C-0130	38	14	1,8	1,7	40,537	40,139	2,693	0,284	82,78		
125,2		2	C-0325	20	20	2	1,7	28,355	37,034	1,201	0,340	86,62		
104,6		2	P-0350	0	10	1	1,7	10,050	28,025	0,000	0,070	76,50		
112,5		2	PM-0350	0	9	1	1,7	9,055	27,120	0,000	0,063	85,32		
95,8		1	XV-0381	0	15	5	1,7	15,811	34,971	0,000	0,111	60,72		
96,5		1	XV-0370	6	15	5	1,7	16,912	35,556	0,000	0,118	60,83		
97,0		2	P-0375	16	10	1	1,7	18,894	33,508	0,000	0,132	63,36		
98,6		2	PM-0375	16	9	1	1,7	18,385	33,271	0,000	0,129	65,20	90,7	