

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROGRAMA DE ANÁLISIS DE DATOS DE RUIDO PARA PREDECIR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN UNA SALA DE MÁQUINA**

Presentado ante la Ilustre Universidad

Central de Venezuela por los Brs.:

Aguirre A., Leonardo

Hernández G., Pedro J.

Para optar al Título de

Ingeniero Mecánico.

**Caracas, 2008**

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **PROGRAMA DE ANÁLISIS DE DATOS DE RUIDO PARA PREDECIR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN UNA SALA DE MÁQUINA**

Tutor Académico: Prof. Félix Flores

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Aguirre A., Leonardo  
Hernández G., Pedro J.

Para optar al Título de  
Ingeniero Mecánico

**Caracas, 2008**

Caracas, Noviembre, 2008

ACTA

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el consejo de escuela de la Ingeniería Mecánica, para evaluar el trabajo especial de grado presentado por los bachilleres Leonardo Aguirre A. y Pedro J. Hernández G. titulado:

**“PROGRAMA DE ANÁLISIS DE DATOS DE RUIDO PARA PREDECIR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN UNA SALA DE MÁQUINA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título Ingeniería Mecánica, sin que ello signifique que se hacen solidarios con los ideas expuestas por los autores



Prof. Jorge Barillas

Jurado



Prof. Rodolfo Grullón

Jurado



Prof. Félix Flores

Tutor Académico

## DEDICATORIA

*Con la culminación de este trabajo, un sueño se convierte en realidad, por eso quiero dedicarlo: a Dios y a la Virgen, a mi madre Oly por guiarme día a día y nunca dejarme caer a lo largo de mi vida, a mi padre y mis abuelos que donde quiera que estén celebran mi logro, a mi abuela, a mi hermana Patricia, a Karina mi novia y mejor amiga, a mis tíos Alfredo, Jesús y Abraham por darme su apoyo incondicional, a mis hermanos del alma, a ustedes dedico este logro.*

*Gracias por acompañarme en este camino.*

*Pedro J. Hernández G.*

*A mis padres, por brindarme la ayuda, fortaleza y amor.*

*A mi familia, por su apoyo incondicional en todo momento.*

*A Yashi, por todo su esfuerzo, confianza y amor gracias por siempre estar a mi lado.*

*Leonardo Aguirre Aidorevich*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por darnos fuerza para seguir el camino correcto*

*A nuestros padres y amigos que nos motivaron y nos dieron todo su apoyo para culminar este trabajo.*

*A nuestro tutor el Ing. Félix Flores por su apoyo incondicional y por confiar en nosotros*

*Y a todas aquellas personas que de alguna u otra forma colaboraron en la finalización de nuestra carrera.*

## RESUMEN

### **PROGRAMA DE ANÁLISIS DE DATOS DE RUIDO PARA PREDECIR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN UNA SALA DE MÁQUINA**

**Aguirre A., Leonardo & Hernández G., Pedro J.**  
**Tutor Académico: Prof. Félix Flores**

**Escuela de Mecánica. Facultad de Ingeniería. UCV-Caracas 2.008, N° de  
páginas 145**

*Palabras Claves:* ruido, presión sonora, sala-máquinas.

El presente trabajo de grado tuvo por objetivo, la creación de un programa de computación que permita el análisis de datos para predecir los niveles de presión sonora y su distribución en salas de máquinas. Este programa se basó en el uso de aspectos teórico-práctico para una mejor adecuación de los resultados obtenidos con el uso del mismo, a los valores que en la realidad podemos encontrar. Permitiendo de este modo, prevenir que los trabajadores se expongan a altos niveles de ruido perjudiciales para su salud.

El uso de este programa permitió predecir los niveles de ruido en salas de máquinas de aire acondicionado en periodos de tiempo reducidos. Lo cual le será de gran utilidad a las empresas para detectar los niveles de ruido en un menor período de tiempo; así como también, reducción en los gastos al tener que realizar dichos análisis manualmente.

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

$A=$	Absorción Sonora Total de un Lugar Cerrado
$A_{\text{aire}}=$	Absorción debido al aire
$A_{\text{mobiliario}}=$	Absorción debido al mobiliario.
$A_{\text{superficie}}=$	Absorción debido a la superficie
$c=$	Velocidad del sonido en el aire.
$\text{dB}=$	Decibelio
$f=$	Frecuencia
$f_b=$	Frecuencia de paso de las palas
$I=$	Intensidad acústica o sonora
$I_0=$	Intensidad sonora de referencia
$I_{\text{ref}}=$	Intensidad que produciría una fuente omnidireccional o puntual de la misma potencia en el mismo punto.
$K_0=$	Viene dado en función del tipo de bomba y de la frecuencia central de banda de octava.
$K_1=$	Es obtiene por tabla en función de la frecuencia central de banda de octava en dB.
$K_2=$	Es función de la frecuencia central de la banda de octava.
$L_1=$	Nivel debido a la primera fuente de sonido.
$L_2=$	Nivel debido a la segunda fuente de sonido.

$L_d=$	Sonido Directo
$L_j=$	Nivel sonoro de la iteración j
$L_p=$	Nivel de presión sonora total
$L_{total}=$	Nivel sonoro total.
$L_r=$	Nivel Sonoro Reflejado
$L_w=$	Nivel de Potencia Sonora
$m=$	Es el coeficiente de atenuación del aire
$NRC=$	Coefficiente de reducción de ruido
$n=$	Número de paletas
$p=$	Potencia acústica en vatios
$p_0=$	Presión sonora de referencia
$q=$	Caudal
$Q=$	Factor de Directividad de la Fuente
$r=$	Distancia de la fuente
$PT=$	Perdida de Transmisión
$R=$	Constante de Adsorción del Local
$r_c=$	Distancia Crítica.
$SPL=$	Niveles de Presión Sonora
$t=$	Tiempo
$U=$	Velocidad periférica del rotor.
$V=$	Es el volumen de la habitación.

$V=$	Velocidad de giro del rodete
$W=$	Potencia de la fuente
$W_0=$	Potencia de referencia.
$x=$	Desplazamiento de la vibración
$T=$	Período
$\lambda=$	Longitud de Onda
$\rho=$	Densidad del aire
$\alpha=$	Coefficiente de Adsorción Sonora
$\bar{\alpha} =$	Coefficiente Medio de Adsorción.
$\Delta P=$	Incremento de presión
$\eta=$	Eficiencia de la bomba

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>3</b>
<b>FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.1. <b>MOTIVACIÓN</b> .....	3
1.2. <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.3. <b>ANTECEDENTES</b> .....	4
1.4. <b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	6
1.5. <b>OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES</b> .....	6
1.5.1.1. <b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	6
1.5.1.2. <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	7
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
2.1. <b>ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL OÍDO</b> .....	9
2.1.1. <b>OÍDO EXTERNO</b> .....	9
2.1.2. <b>OÍDO MEDIO</b> .....	10
2.1.3. <b>OÍDO INTERNO</b> .....	10
2.2. <b>SONIDO Y RUIDO</b> .....	11
2.2.1. <b>RUIDO</b> .....	11

2.2.1.1.	TIPOS DE RUIDO .....	12
2.2.2.	SONIDO .....	13
2.2.2.1.	PROPIEDADES DEL SONIDO .....	13
2.3.	MOVIMIENTO ONDULATORIO .....	14
2.4.	LEYES DE LAS ONDAS SONORAS.....	16
2.5.	NIVELES .....	18
2.5.1.	NIVEL DE PRESIÓN SONORA .....	18
2.5.2.	NIVEL DE INTENSIDAD DEL SONIDO: .....	19
2.5.3.	NIVELES SONOROS PONDERADOS .....	19
2.5.4.	NIVEL DE BANDA DE OCTAVA .....	19
2.5.5.	NIVEL DE BANDA DE TERCIO DE OCTAVA .....	20
2.5.6.	COMBINACIÓN DE NIVELES .....	21
2.6.	PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN RECINTO CERRADO.	23
2.6.1.	REFLEXIÓN DE LAS ONDAS SONORAS .....	23
2.6.2.	REFLEXIONES MÚLTIPLES DEL SONIDO EN UN LOCAL CERRADO .....	24
2.6.3.	ABSORCIÓN DEL SONIDO EN UN LOCAL CERRADO.....	25
2.6.4.	ABSORCIÓN SONORA TOTAL DE UN LOCAL CERRADO ..	25
2.6.5.	NIVEL DE PRESIÓN SONORA DENTRO DE UN RECINTO CERRADO .....	28
2.6.5.1.	SONIDO DIRECTO .....	28
2.6.5.2.	SONIDO REFLEJADO .....	28
2.6.5.3.	NIVEL DE PRESIÓN SONORA TOTAL.....	29
2.6.6.	FACTOR DE DIRECTIVIDAD Q .....	30
2.7.	MAPA DE RUIDO .....	31
2.8.	FUENTES DE RUIDO .....	31
2.8.1.	ESPECTRO DE RUIDO DE UN VENTILADOR.....	31
2.8.2.	ESPECTRO DE RUIDO DE UNA BOMBA .....	33
2.8.3.	NIVEL DE POTENCIA SONORA DE UN COMPRESOR.....	34
2.8.3.1.	RECIPROCANTE .....	34

2.8.3.2. CENTRÍFUGOS.....	35
2.8.3.3. AXIALES .....	36
2.8.4. NIVELES DE POTENCIA SONORA DE MOTORES ELÉCTRICOS .....	36
2.8.5. NIVEL DE POTENCIA SONORA DE UN ENFRIADOR DE AGUA (CHILLER). .....	39
2.9. INSTRUMENTO DE MEDIDA ACÚSTICA .....	39
2.9.1. SONÓMETRO.....	39
2.9.2. MICRÓFONO .....	40
2.9.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL MICRÓFONO .....	40
2.9.3. EFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES SOBRE LA SENSIBILIDAD DEL MICRÓFONO.....	43
2.9.4. TIPOS DE MICRÓFONOS DE MEDICIÓN .....	44
2.9.4.1. MICRÓFONO DE CONDENSADOR.....	44
2.9.4.2. MICRÓFONOS PREPOLARIZADOS O DE ELECTRET-CONDENSADOR .....	47
2.9.4.3. MICROFONOS PIEZOELECTRICOS (MICRO CERÁMICOS)..	48
2.9.5. Pantallas antiviento de los micrófonos.....	49
2.9.6. AMPLIFICADORES .....	49
2.9.7. PONDERACIÓN DE FRECUENCIA.....	49
2.9.8. PONDERACIÓN TEMPORAL EXPONENCIAL.....	50
2.10. EFECTOS FISIOLÓGICOS DEL RUIDO .....	50
2.10.1.1.EFECTOS A CORTO PLAZO.....	50
2.10.1.2.EFECTOS A LARGO PLAZO.....	50
2.11. TÉCNICAS DE CONTROL DE RUIDO.....	51
2.11.1.1.CONTROL DE RUIDO.....	51
2.11.1.2.CONTROL DEL FOCO .....	52
2.11.1.3.CONTROL DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN .....	52
2.11.1.4.UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN .....	53
2.11.1.5.BARRERAS Y PANTALLAS .....	53

2.11.1.6.ENCERRAMIENTOS .....	53
2.11.1.7.ABSORCIÓN .....	53
2.11.1.8.AISLAMIENTO .....	53
2.11.1.9.SILENCIADORES .....	54
2.11.1.10. CONTROL DEL RECEPTOR .....	54
2.12. MATERIALES ACÚSTICOS .....	55
2.12.1. MATERIALES ABSORBENTES.....	56
2.12.2. MATERIALES AISLANTES .....	57
2.12.3. MATERIALES DIFUSORES .....	58
2.12.4. SELECCIÓN DE MATERIALES ACÚSTICOS.....	58
2.12.5. MONTAJE DE MATERIALES ABSORBENTES ACÚSTICO....	59
2.13. NORMAS Y REGLAMENTOS NACIONALES SOBRE EL CONTROL DE RUIDO.....	61
2.13.1. LEY ORGÁNICA DE PREVENCIÓNES, CONDICIONES Y MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO. (LOPCYMAT).....	61
2.13.2. REGLAMENTO DE LAS CONDICIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO .....	65
2.13.3. NORMA COVENIN .....	65
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>67</b>
<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>67</b>
3.1. METODOLOGÍA .....	67
3.2. CALIBRACIÓN DEL SONÓMETRO .....	68
3.3. TIPOS DE FUENTES .....	69
3.4. LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO .....	69
3.5. INSTALACIÓN DEL SONÓMETRO .....	72
3.6. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES .....	73
3.7. RECOPIACIÓN DE DATOS .....	74
3.8. REALIZACIÓN DEL PROGRAMA. ....	74

<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>77</b>
<b>PROGRAMA DE ANÁLISIS DE DATO DE RUIDO PARA PREDECIR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN UNA SALA DE MÁQUINA .....</b>	<b>77</b>
4.1.    PROGRAMA PARA ANÁLISIS DE DATOS DE RUIDO .....	77
4.2.    DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA ANÁLISIS DE DATOS DE RUIDO .....	78
4.3.    LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN USADO .....	78
4.4.    ALGORITMO DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA .....	79
4.5.    EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN SALAS DE MÁQUINAS .....	80
4.6.    ESTIMACIÓN TEÓRICA .....	84
4.7.    ESTIMACIÓN EXPERIMENTAL .....	93
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>96</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>96</b>
5.1.    VALORES EXPERIMENTALES.....	96
5.2.    VALORES TEÓRICOS .....	100
5.3.    CARACTERIZACIÓN POR BANDAS DE FRECUENCIA .....	103
5.4.    EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DEL PROGRAMA .....	108
5.5.    ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	117
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>119</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>119</b>
6.1.    CONCLUSIONES .....	119
6.2.    RECOMENDACIÓN .....	121
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>125</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación entre bandas de octava y tercio de octava.....	21
Tabla 2. Combinación de Niveles. ....	22
Tabla 3. Factor de Directividad.....	30
Tabla 4. Espectro de ruido de un ventilador. ....	32
Tabla 5. Valores de K0.....	34
Tabla 6. Factor K1.....	35
Tabla 7 . Estimación de los niveles de presión sonora en dB (A 1M distancia)...	36
Tabla 8. Factor K2.....	37
Tabla 9. Nivel de potencia sonora Motores Eléctricos. ....	38
Tabla 10. Factor CF.....	38
Tabla 11. Tecnicas de Control de Ruido.....	55
Tabla 12. Transmisión de energía sonora a través de una superficie.....	57
Tabla 13 Montaje de Materiales Absorbentes Acústicos.....	59
Tabla 14. Hotel Paseo las Mercedes valores en dB(A) con separación de 1m <sup>2</sup> . .	98
Tabla 15. Aula Magna, valores en dB(A) con separación de 1m <sup>2</sup> .....	100
Tabla 16. Valores teóricos del “Hotel Paseo las Mercedes”, en dB(A), con separación de 1m <sup>2</sup> .....	101
Tabla 17. Valores teóricos del “Aula Magna”, en dB(A), con separación de 1m <sup>2</sup> . .....	102
Tabla 18. Caracterización por banda de frecuencia Bomba A1.....	105
Tabla 19. Caracterización por banda de frecuencia Bomba A2.....	105
Tabla 20. Caracterización por banda de frecuencia Bomba A3.....	105
Tabla 21. Caracterización por banda de frecuencia enfriador de Agua A4. ....	105
Tabla 22. Caracterización por banda de frecuencia Bomba A5.....	106
Tabla 23. Caracterización por banda de frecuencia Motor B1.....	106
Tabla 24. Caracterización por banda de frecuencia Bomba B2.....	106
Tabla 25. Caracterización por banda de frecuencia Bomba B3.....	107
Tabla 26. B4 Caracterización por banda de frecuencia Enfriadores de agua.....	107
Tabla 27. B5 Caracterización por banda de frecuencia enfriadores de agua. ....	107

Tabla 28. Evaluación de la precisión de DIPRESOON contra la data experimental de 152 obtenida en el Hotel Paseo las Mercedes .....	113
Tabla 29. Evaluación de la precisión de DIPRESOON contra la data experimental de 59 obtenida en el Aula Magna de la UCV.....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de Oído Humano.....	10
Figura 2 Propiedades del Sonido.....	13
Figura 3.Vibraciones.....	16
Figura 4.Relación de Presión Sonora y Presión Acústica.....	20
Figura 5. Reflexión de Ondas Sonoras.....	24
Figura 6. Reflexión Múltiple del Sonido.....	25
Figura 7. Abaco para la determinación de R.....	27
Figura 8. Diagrama de bloques mostrando los principales componentes de los sonómetros.....	39
Figura 9 Patrones de direccionalidad (sensibilidad relativa del nivel de respuesta en función del ángulo de incidencia del sonido), en campo libre, de micrófonos con condensadores de 13 mm (1/2 in) de diámetro utilizados para medición acústica.....	41
Figura 10. Dibujo de una sección que muestra algunos detalles de la construcción de un micrófono de condensador (Cortesía de Larson-Davis Inc.).....	45
Figura 11. Dibujo de una sección simplificada que muestra algunos detalles de la construcción de un micrófono ELECTRET.....	48
Figura 12. Montaje de Materiales Absorbentes Acústicos.....	60
Figura 13Tiempo de exposición.....	66
Figura 14.Plano del aula magna UCV, cuadrulado en los ejes y enumerado a conveniencia.....	71
Figura 15.Técnica para caracterizar las fuentes de ruido.....	73
Figura 16. Levantamiento planimétrico sala aula magna U.C.V.....	81
Figura 17. Levantamiento planimétrico (2) sala aula magna U.C.V.....	82
Figura 18. Ventana de inicio del programa de distribución de presión sonora.....	83
Figura 19. Ventana de ingreso del área del piso.....	84
Figura 20. Ventana de ingreso del tipo de material del piso.....	84
Figura 21. Ventana de ingreso del área del techo.....	85
Figura 22. Ventana de ingreso del tipo de material del techo.....	85
Figura 23.Ventana de ingreso del plano de sala.....	86
Figura 24. Ventana de ingreso de las paredes de la sala.....	87

Figura 25. Imagen del plano terminado de la U.C.V. ....	88
Figura 26. Ventana de selección del tipo del factor de directividad. ....	89
Figura 27. Ventana de ingreso de $L_w$ de la fuente. ....	90
Figura 28. Ventana de solo fuente sala de máquinas U.C.V. ....	91
Figura 29. Imagen que muestra la distribución de los niveles de presión calculado sala de máquinas U.C.V. ....	92
Figura 30. Alerta de error. ....	93
Figura 31. Ventana de ingreso del valor de presión sonora mínimo en la sala. ....	93
Figura 32. Ventana de ingreso del valor de presión sonora máximo en la sala. ...	94
Figura 33. Imagen que muestra ingreso de los valores de los niveles de presión sonora, evaluados en sala de máquinas U.C.V. ....	95
Figura 34. Plano del “Hotel Paseo las Mercedes”, con separación de 1m <sup>2</sup> y con coordenadas numéricas. ....	97
Figura 35. Plano del Aula Magna con coordenadas numéricas y separación de un m <sup>2</sup> . ....	99
Figura 36. Figura Distribución de las fuentes de ruido en la sala del Aula Magna .....	103
Figura 37. Distribución de las fuentes de ruido en la sala del Hotel Paseo las Mercedes .....	104
Figura 38. Valores Experimentales y Teóricos de la sala del Aula Magna. ....	116
Figura 39. Valores Experimentales y Teóricos de la sala del Hotel Paseo las Mercedes .....	116

## INTRODUCCIÓN

El auge tecnológico en el área ingenieril y arquitectónica han permitido la construcción de edificaciones cada vez más grandes, y adecuadas para un sin número de actividades de la vida moderna. Para que estos espacios puedan ser ocupados por los seres humanos, se requiere de un ambiente con una temperatura confortable. Estos lugares residenciales o de trabajo deben ser acondicionados a temperaturas específicas de acuerdo a las actividades a realizar y para lograr este objetivo debe disponerse de salas de aire acondicionado que contienen: bombas de alimentación, extractores de aire y un conjunto de elementos de acondicionamiento de aire (compresor, condensador, válvulas de expansión, evaporador, protecciones contra presión de refrigerante, protecciones contra flujos de agua ventilador), integrados en un paquete completo e instalado como una sola unidad conectada al sistema de distribución de aire. El funcionamiento de una sala de aire acondicionado trae consigo la generación de ruido que puede convertirse en un factor de riesgo y generar la pérdida auditiva de los operarios, si en la fase de diseño no se toman en cuenta los niveles de presión sonora que se puedan producir. Una consideración importante, es la referida a la localización de espacio suficiente en la estructura para la disposición de un equipo de ventilación energéticamente eficaz y la colocación adecuada de tuberías, controles y mecanismos terminales a fin de minimizar la propagación de ruido a través de techos, paredes y suelos donde todos estos componentes están rígidamente conectados debido a que pueden producir hipoacusia, a las personas que allí laboran

Por tal motivo, en el reglamento de las condiciones de higiene y seguridad en el trabajo establece, que en todo sitio de trabajo se eliminarán o se limitarán los ruidos y vibraciones que puedan ocasionar trastornos físicos o mentales a la salud de los trabajadores y que dicho ruido no debe exceder los 85 decibeles (dBA) para una jornada de trabajo de 8 horas diarias.

Hoy en día, cumplir con las normas de higiene y seguridad industrial es un requisito fundamental para las industrias, ya que las enfermedades ocupacionales afectan por completo a los trabajadores. Por ésta razón a nivel nacional e internacional, se han establecido leyes y normas para proteger a los trabajadores de dichas enfermedades, así como también accidentes debido a situaciones inseguras en los lugares de trabajo.

Al momento de instalar los equipos en una determinada área se hace necesario contar con una herramienta que permita predecir y cuantificar los niveles de ruido para que de esta manera, se puedan establecer las correcciones necesarias y crear un ambiente de confort.

El presente trabajo nos permitió predecir y analizar los niveles de presión sonora de las fuentes de ruido en salas de aire acondicionado así como también la creación de un mapa de ruido para poder recomendar la incorporación de barreras de protección y reducir los riesgos en la salud de los trabajadores

Para llevar a cabo la realización de dicho programa se recopiló información teórica, al igual que procedimiento de campo; permitiendo la adecuación de los resultados arrojados por el programa, y que estos sean lo más cercanos a los valores que se espera obtener en la realidad.

## **CAPITULO I**

### **FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. MOTIVACIÓN**

Con la aprobación en el año 2005 de la reforma de Ley Orgánica, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), actualmente en Venezuela se ha podido observar un auge en lo que se refiere a la higiene y seguridad industrial, a fin de disminuir los riesgos de los trabajadores en las áreas de trabajo.

Desde el punto de vista académico, la ejecución del presente trabajo de grado tiene una gran importancia para la formación profesional, ya que nos permite adquirir experiencia en el mercado laboral al aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación académica, en busca de solución de un proyecto de ingeniería palpable. Debido a que el programa resulta efectivo, puede ser modelado para cualquier sala de aire acondicionado al establecer el mapa de ruido pudiendo así aplicar las barreras necesarias, a fin de reducir el ruido y de esta forma evitarles, a los trabajadores, el riesgo de pérdida auditiva por exceso de ruido.

#### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En diferentes instalaciones de la industria moderna son colocadas salas de enfriadores de aire para crear un ambiente controlado que les brinde mayor confort a los trabajadores. En estas salas, no solo se encuentran enfriadores de aire, si no también otros equipos que producen ruidos molestos que pueden dañar la salud de los operarios. El daño depende de: la intensidad, tiempo de exposición, niveles de frecuencia, susceptibilidad individual y la atmósfera de trabajo.

A fin de analizar cómo se distribuirán los niveles de ruido en un área destinada para instalación de equipos de acondicionamiento de aire hay que tener en cuenta: las fuentes de ruido continuo que van a presentarse en dichas salas, el nivel de potencia sonora generado por cada fuente, las leyes de propagación del sonido en espacios cerrados, la ubicación de las fuentes de ruido, la distancia entre el punto donde se encuentran los operadores y las fuentes de ruido, las condiciones atmosféricas en la sala (temperatura de bulbo seco, humedad relativa), y las propiedades acústicas de los materiales de construcción. El análisis de ruido en espacios cerrados con equipos de acondicionamiento de aire, representa un problema por la gran cantidad de variables que hay que considerar y debido a su importancia en la salud ocupacional.

En Venezuela la Norma COVENIN 1565-1995 estipula los valores límites de exposición al ruido y la manera en que debe ser evaluados. También plantea que para el control de ruido se debe actuar de la forma siguiente: primero actuar sobre la fuente, segundo sobre el medio de dispersión, tercero sobre las medidas organizativas de la empresa (limitar la jornada de trabajo y rotación del personal), y por último dotar de equipos de protección personal a los trabajadores.

Es por ello que en este Trabajo Especial de grado se plantea la realización de un programa que determine los niveles de ruido que se pueden obtener en áreas destinadas a equipos de acondicionamiento de aire; todo esto mediante el uso de datos experimentales tomados de salas existentes.

### 1.3. ANTECEDENTES

Barillas Jorge y col.(1985). En su tesis “Análisis y control de ruido mediante microprocesadores” diseñaron una técnica teórico práctica que permite determinar el espectro del ruido en cualquier punto de una sala de aire acondicionado industrial, al igual que dar recomendaciones sobre su control y tiempo de exposición.

Rupérez C.(1994 ). A fin de mejorar las condiciones de trabajo, entendidas como el conjunto de variables que determinan la realización de una tarea y que pueden afectar a la salud de los que la ejecutan, se analizó el ruido en las instalaciones de ventilación en casi todos los puestos de trabajo de la industria del sector de servicios. Obtuvo como conclusión que para aceptar un nivel acústico como peligroso para la salud de los trabajadores debería considerarse el tipo de tarea que se lleva a cabo en dicho recinto. Por lo que el nivel acústico en el área ventilada debería estar por debajo del considerado molesto o irritante

Pedroza y col (1.999). Evaluaron y diseñaron un sistema de atenuación de ruido para el área de planchado del Hospital Universitario de Caracas. Realizaron estudios en el área de la lavandería del Hospital Universitario de Caracas sobre los niveles de ruido y elaboraron mapas sónicos para observar las variaciones en dB, así como también caracterizaron las bandas de frecuencias para las fuentes predominantes. Por lo que diseñaron un programa en Excel con el cual se puede obtener las dimensiones para una barrera acústica tomando en cuenta parámetros como: la técnica de control del ruido, economía y el nivel de reducción de ruido. Recomendaron colocar un material absorbente en la pared que se encuentra detrás de la fuente de ruido, controlar la exposición laboral por horas, realizar un mantenimiento a los equipos generadores de ruidos y educar al personal del los daño que el ruido ocasiona.

Thet M y col (2000). Diseño de un procedimiento para la predicción de niveles de ruido en una industria petrolera de gas y petróleo. Creó un procedimiento para lograr predecir los niveles de ruido que se pueden presentar en instalaciones de gas y petróleo. Estimó el nivel de potencia sonora generada por cada equipo, a través de ecuaciones empíricas. Realizó un cálculo de la atenuación debido a varios factores y estimó el nivel del ruido al que se encuentra sometido un determinado espacio físico dentro de la planta. También realizaron un estudio del ruido en parte de la planta de Acogas ubicada en Jusepín, estado Monagas y comparando los resultados obtenidos con los resultados teóricos, para luego modificar algunas de las ecuaciones empíricas utilizadas.

Rivas D (2003). Desarrolló un proyecto de análisis y control del ruido industrial, aplicando un sistema de control activo de ruido. El objetivo fundamental fue mostrar otra alternativa para controlar el ruido presente en el área industrial, poniendo a disposición todo el conocimiento básico requerido para determinar la viabilidad de un sistema de control activo de ruido ante un posible problema de ruido. El estudio de este método y su comparación con el método pasivo permitió conocer tanto sus ventajas como sus limitaciones, así como también una metodología estructurada para lograr una aplicación de este método activo y que sea lo más eficiente y económico posible.

Montiel, M. y col (2006). Determinaron la prevalencia y caracterización de la pérdida auditiva por exposición laboral al ruido y su relación con otros factores, en trabajadores de una planta eléctrica turbogenerada en un complejo petroquímico del Occidente de Venezuela. Obtuvieron que la mayoría de los trabajadores estaban expuestos a niveles de ruido superiores de 85 dB(A) y por periodos de tiempo superiores al recomendado en la norma. Se sugirió el diseño e implantación de un programa de conservación auditiva para proteger la salud y seguridad de los trabajadores y la realización de un estudio longitudinal en el área.

#### 1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la distribución de los niveles de presión sonora en una sala de máquinas?

#### 1.5. OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES

##### 1.5.1. OBJETIVO

##### 1.5.1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseño de un programa de análisis de datos de ruido que permita predecir la distribución de los niveles de presión sonora que van a ser encontrados en salas de aire acondicionado.

#### 1.5.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el tipo, naturaleza e intensidad del ruido producido por equipos utilizados en las salas de aire acondicionado.
2. Caracterizar el ruido en bandas de frecuencia.
3. Desarrollar un programa que permita la predicción de niveles de ruido en salas de aire acondicionado en la industria.
4. Predecir si las salas de aire acondicionado que van a ser fabricadas cumplirán con el marco legal exigido.

#### 1.5.2. ALCANCES

- Determinar los niveles de ruido en cualquier sala de aire acondicionado.
- Permitir mejoras de diseño para la atenuación de ruido en las salas de aire acondicionado.
- Determinar si las salas de aire acondicionado evaluadas para la realización del programa cumplen con normativas legales existentes.
- Adecuación de salas de aire acondicionado a las normativas legales existentes, en su fase de diseño.
- Mejorar la calidad de vida de los técnicos de salas de aire acondicionado.
- Controlar los niveles de ruido a los cuales van a estar expuestos los trabajadores en las salas de aire acondicionado

### 1.5.3. LIMITACIONES

- De tiempo, que fue determinante en la cantidad de salas de aire acondicionado.
- Disponibilidad de los técnicos de las salas de aire acondicionado para nuestro acceso a las mismas.
- Estado de la maquinaria de acondicionamiento de aire en las instalaciones a evaluar.
- No pudo realizarse la evaluación de niveles de presión sonora, ni la respectiva caracterización en banda frecuencia de cada maquinaria, manteniendo apagada las demás fuentes del recinto.
- No se pudo llevar a cabo las evaluaciones fuera de la jornada laboral.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

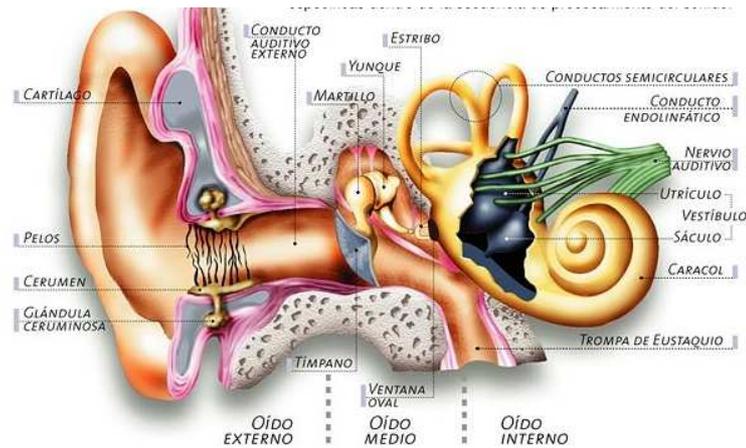
#### 2.1. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL OÍDO

El oído constituye el intermediario entre la señal física (objetiva), que es la presión acústica y el cerebro, el elaborador de la sensación (subjetiva). Su estudio, así como el conocimiento de su funcionamiento son necesarios para comprender los fenómenos relacionados con la audición, sus limitaciones y propiedades. El oído es uno de los órganos humanos más complejos, soporta 120 dB de variaciones de presión acústica dinámica entre  $10^{-5}$  y  $10 \text{ N/m}^2$  aproximadamente. El oído es sumamente sensible en el rango inferior ya que puede detectar presiones que ocasionan desplazamientos del tímpano del orden de la décima parte del diámetro de la molécula. Funciona como micrófono captador de señales y como analizador de las frecuencias que componen una señal; otra de las funciones del oído es contribuir al equilibrio del cuerpo humano. Algunas afecciones del oído pueden hacer que el individuo padezca vértigos

El oído se divide en tres partes: externo, medio e interno. (Fig.1)

##### 2.1.1. OÍDO EXTERNO

Comprende el pabellón y el conducto auditivo de unos 3 cm de longitud y 0,70 cm de diámetro, comienza en el pabellón de la oreja y finaliza en el tímpano. El conjunto del oído externo actúa como embudo acústico, incrementando la sensibilidad auditiva. La propagación sonora dentro del mismo es exclusivamente aérea.



**Figura 1 Partes de Oído Humano. Fuente: 3**

Las ondas sonoras que penetran en el oído externo, hacen vibrar al tímpano, que es el tabique, entre el oído externo y el oído medio, el cual consta de una pequeña cavidad de unos  $2 \text{ cm}^3$  de volumen, dentro de la que se encuentran tres huesecillos: el martillo, el yunque y el estribo que se encargan de la transmisión a la ventana oval de la señal que recibió del yunque.

### 2.1.2. OÍDO MEDIO

Está limitado por el tímpano en uno de sus extremos y por las ventanas: oval y redonda en el otro. Se comunica con la cavidad bucal mediante un conducto denominado Trompa de Eustaquio, cuya función es equilibrar las presiones estáticas del aire que puedan aparecer sobre el tímpano. La ventana oval constituye la separación entre los oídos medio e interno. En ambos la transmisión sonora se realiza por vía sólida. Si bien en el oído medio las vibraciones son transmitidas por la cadena de huesecillos, en el oído interno el medio de transmisión es un líquido.

### 2.1.3. OÍDO INTERNO

El oído interno consiste en un caracol o cóclea, excavado en el hueso temporal, de unos 35 mm de longitud y 4mm de diámetro, en uno de sus extremos se comunica con la ventana oval. En el otro su diámetro no alcanza el milímetro.

En su parte media la cóclea está dividida en una parte ósea y otra gelatinosa. Sobre esta última se encuentra la membrana basilar que contiene el órgano de Corti o terminación del nervio auditivo. La cóclea está llena de líquido. La parte superior de la partición está obturada por la ventana oval, mientras la inferior se cierra con la ventana redonda.

Las presiones sonoras que se comunican por el estribo a la ventana oval, ponen a vibrar el líquido contenido en la cóclea y el movimiento hace oscilar unos 25000 filetes nerviosos, que en forma de pelitos (células ciliares) recubren a la membrana basilar. Son ellos los que transforman la vibración, que es naturaleza mecánica, en señales nerviosas de naturaleza electroquímica. El número elevado de filetes nerviosos explica la función de analizadores de frecuencias que cumple el oído humano y que posteriormente se completa en el cerebro. Dentro del oído interno se encuentran también los canales semicirculares; que consisten en tres conductos semicirculares dispuestos de acuerdo con tres planos ortogonales entre sí. Su función es contribuir al equilibrio del cuerpo humano y por ello algunos traumas sonoros pueden llevar al sujeto a sufrir problemas de equilibrio.

## 2.2. SONIDO Y RUIDO

Dentro del campo de las vibraciones acústicas se encuentran las que pueden excitar la sensación auditiva. Son vibraciones comprendidas en determinados límites tanto de amplitud como de frecuencia. La audición humana depende de cada individuo, sobre todo en lo que se refiere a la percepción de sonidos muy débiles, muy graves o muy agudos. En general, el rango de audición depende de la edad, el sexo y también de los antecedentes auditivos del sujeto. Se acepta como zona de sonidos audibles la comprendida entre los 20 y 20.000 Hz.

### 2.2.1. RUIDO

El ruido o espectro continuo es un conjunto de sonidos aleatorios en los que existe una gran cantidad de frecuencias muy próximas entre sí.

### 2.2.1.1. TIPOS DE RUIDO

- Ruido ambiental:

Es el asociado con un ambiente determinado y suele estar compuesto de sonidos de muchas fuentes, próximas y lejanas. El ruido ambiental: cuasi continuo, intermitente, fluctuante de forma periódica, fluctuante no periódico, impulsivo repetitivo. (Cyril H, p. 1.9 )

- Ruido cuasi-continuo:

Se caracteriza por tener pequeñas fluctuaciones de los niveles de presión sonora (SPL) en el tiempo. Suele ser característico de motores eléctricos, bombas, engranajes, etc.

- Ruido intermitente:

Se caracteriza por tener distintos niveles de ruido durante periodos de tiempo variables. Es un ruido característico de compresores durante el período de carga, o bien de equipos automáticos con distintos ciclos evolutivos.

- Ruido fluctuante de forma periódica:

Son ruidos típicos de granallado de superficie, y casos similares donde con la misma cadencia se repite el ciclo.

- Ruido fluctuante no periódico:

Es el caso típico de los ruidos de talleres de una industria en general ruidosa, sala de mecanizado, mantenimiento, etc. El ruido de tráfico puede asimilarse a éste en muchos casos.

- Ruido impulsivo repetitivo:

Es el caso típico de los ruidos de prensa automáticos, ribeteadoras, remachadoras, etc., y se caracteriza por un nivel de ruido de fondo determinado y una serie de impulsos repetitivos a semejantes intervalos.

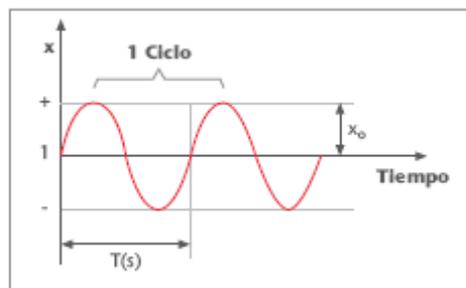
- Ruidos de impactos aleatorios:

Son los típicos ruidos de los talleres de calderería, donde aleatoriamente se producen impactos por martilleo. Se caracterizan por un ruido de fondo fluctuante y aleatoriamente unos impactos de un nivel muy superior a estos. (Flores P, p. 58)

### 2.2.2. SONIDO

El sonido es una alteración de la presión, esfuerzo, desplazamiento de partículas y velocidad de las partículas que se propaga en un material elástico (gas, líquido o sólido) producido por una fuente de vibración. El sonido también puede definirse como la sensación auditiva excitada por una perturbación física en un medio.

#### 2.2.2.1. PROPIEDADES DEL SONIDO



**Figura 2. Propiedades del Sonido. Fuente: 3**

**Período:** Es el tiempo que se tarda en realizar una onda sonora un ciclo completo. Se mide en Segundos. El período es designado con la letra T

**Frecuencia:** es el número de períodos (ciclos) que ocurren en la unidad de tiempo. La frecuencia puede ser expresada en ciclos por segundos (cps) o en hertz (Hz). Se designa con la letra f.

La frecuencia de una onda sonora es el inverso del período

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

Velocidad del Sonido: es la velocidad a la que se desplazan las ondas sonoras. La temperatura del medio de propagación tiene un efecto significativo en la velocidad del sonido, se designa con la letra  $c$ .

Longitud de Onda: es la distancia que recorre un frente de onda en un período completo de oscilación. Se mide en unidades de longitud, normalmente es expresada en pies se designa con la letra  $\lambda$ . La longitud de onda se puede relacionar con la frecuencia ( $f$ ), período ( $T$ ) y la velocidad del sonido ( $c$ ) mediante las siguientes expresiones:

$$\lambda = c * T = \frac{c}{f} \quad (2)$$

Movimiento armónico simple: es aquel movimiento que se repite con intervalos regulares.

Onda sinusoidal: es aquella onda con movimiento armónico simple que puede ser representada matemáticamente por la función seno

$$x = A * \text{Sen}(2 * \pi * f) * t \quad (3)$$

Donde:

$x$ = desplazamiento de la vibración (metros, pulgadas)

$A$ = amplitud o máximo desplazamiento de la vibración

$t$ = tiempo

Tono puro: es una onda sonora compuesta por una sola frecuencia, una onda sinusoidal.

### 2.3. MOVIMIENTO ONDULATORIO

El movimiento ondulatorio se puede definir como la propagación de movimiento o de energía a través de un medio, sin propagación asociada de materia.

La propagación de estas ondas se puede clasificar de la siguiente forma:

- Transversales: Cuando la dirección del movimiento de las partículas en el medio es perpendicular a la dirección de propagación.
- Longitudinales: Cuando la dirección del movimiento de las partículas en el medio tiene lugar en la misma dirección de la propagación. Este es el caso de las ondas de sonido.

Las ondas sonoras las podemos clasificar en:

De acuerdo a la dirección de propagación

Ondas planas: son aquellas que tienen la misma dirección de propagación en todos los puntos, porque los puntos de compresión máxima forman superficies planas perpendiculares a la dirección de propagación.

Ondas esféricas: se dan cuando la propagación de las ondas se da en todas las direcciones a partir de un foco puntual.

De acuerdo a su constitución

Ondas simples: son ondas formadas por un solo componente de frecuencia pudiendo ser caracterizadas por una onda senoidal.

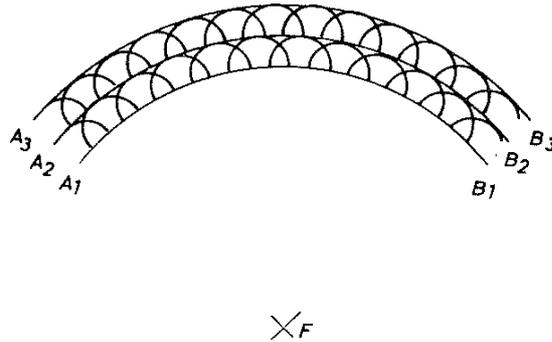
Ondas complejas: son aquellas que están formadas por la combinación y superposición de varias ondas simples por lo cual contienen más de un componente de frecuencia

Frente de onda: es el lugar geométrico de todos los puntos del medio que están en el mismo estado de vibración, los cuales se hallan formando un plano.

Rayos sonoros: son líneas imaginarias que emanan de una fuente y que indican la dirección la dirección de propagación de las ondas sonoras, estos rayos siempre tienen una dirección perpendicular a los frentes de onda.

## 2.4. LEYES DE LAS ONDAS SONORAS

Principio de Huygens: las ondas de sonido se propagan en frente ondas esféricas y concéntricas partiendo del punto emisor y estos frentes, a su vez están formados por infinitos frentes de ondas esféricas



**Figura 3. Vibraciones. Fuente: 6**

**Reflexión:** este fenómeno se presenta cuando una onda sonora choca con un objeto parte de la energía es reflejada. En este caso el objeto en el cual choca la onda actúa como una fuente sonora virtual produciendo ondas sonoras secundarias (onda elemental) y manteniendo el mismo ángulo de incidencia del rayo sonoro. La reflexión de la onda sonora dependerá tanto del material como la geometría del objeto.

**Difracción:** es el cambio de dirección de propagación de una onda sonora cuando esta choca con un obstáculo.

**Refracción:** es el cambio de de dirección que sufre una onda sonora al pasar de un medio a otro de diferente densidad.

**Eco:** se da cuando el oído humano percibe un sonido original y en un tiempo superior 0,066 segundo percibe el sonido reflejado.

**Resonancia:** este fenómeno ocurre cuando al chocar una onda contra un objeto, esta hace entrar en vibración a dicho objeto convirtiéndolo en una fuente emisora.

Presión sonora: es la fluctuación de la presión atmosférica por encima y por debajo del valor estático, producido cuando se propaga una onda sonora a través del mismo. La presión sonora habitualmente es expresada en micro pascales ( $\mu\text{Pa}$ ).

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

Potencia sonora: Es la cantidad de energía acústica generada por una fuente en la unidad de tiempo; su unidad es el vatio (W). (Flores P, p.27)

$$p = I * 4 * \pi * r^2 \quad (4)$$

Donde:

$p$ = Potencia acústica en vatios (W)

$I$ =Intensidad acústica ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$r$ = Distancia de la fuente (m)

Intensidad sonora: es el flujo de energía sonora en una dirección especificada a través de un área de unidad normal a esta dirección en un punto considerado. Tiene como símbolo la letra  $I$  y como unidades ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Relación entre la intensidad sonora y presión sonora

$$I = \frac{p^2}{\rho * c} \quad (5)$$

Donde:

$p$ = potencia sonora

$\rho$ = densidad del aire

$c$ = velocidad del sonido en el aire

Decibelio: es una unidad de referencia adimensional, que permite expresar una proporción o relación entre dos energías, que pueden ser acústicas eléctricas o mecánicas. El decibelio se designa con dB, y viene dado por una relación de 10 veces el logaritmo de base 10 de la razón de las dos cantidades.

$$dB = 10 \log \frac{E}{E_0} \quad (6)$$

## 2.5. NIVELES

Nivel es el logaritmo de la razón de una cantidad dada respecto de una cantidad de referencia del mismo tipo. Por lo general, el término nivel indica el uso de una escala logarítmica y que los resultados deben ser expresados en decibelios, a excepción del nivel de emisión de la potencia sonora el cual a menudo es expresado en belios.

Nivel de potencia sonora: es una medida de la potencia acústica irradiada por una fuente la cual viene expresada en decibeles.

$$L_w = 10 * \log\left(\frac{W}{W_0}\right)dB \quad (7)$$

Donde:

$L_w$ : nivel de potencia sonora

$W$ : potencia de la fuente en vatios

$W_0$ : potencia de referencia en vatios.

Por lo general la potencia de referencia sonora es de  $10^{-12}$  vatios.

### 2.5.1. NIVEL DE PRESIÓN SONORA

Puede definirse por SPL,  $L_p$  o NPS y viene dado por la expresión:

$$L_p = 20 \log\left(\frac{P}{P_0}\right) \text{dB} \quad (8)$$

Donde:

- p: presión sonora
- p<sub>0</sub>: presión sonora de referencia.

#### 2.5.2. NIVEL DE INTENSIDAD DEL SONIDO:

Se define normalmente por SIL o L<sub>I</sub> y la podemos definir mediante la siguiente expresión:

$$L_I = 10 * \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{dB} \quad (9)$$

Donde:

I: intensidad de un sonido (W/m<sup>2</sup>)

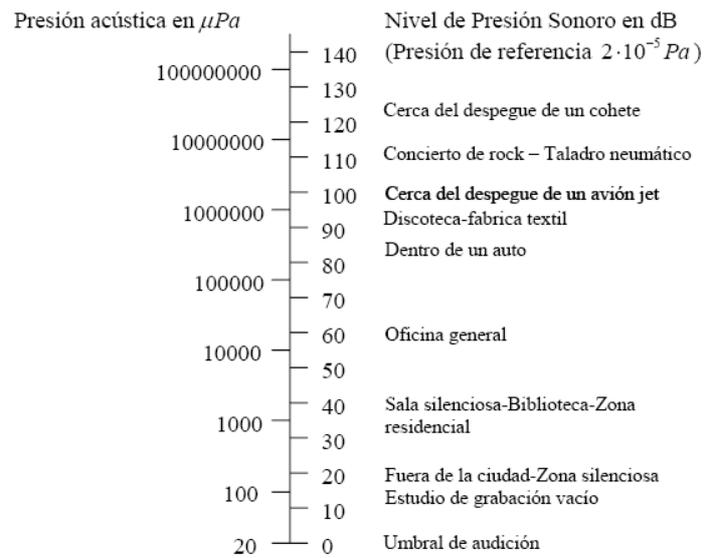
I<sub>0</sub>: intensidad sonora de referencia (10<sup>-2</sup> W/m<sup>2</sup>)

#### 2.5.3. NIVELES SONOROS PONDERADOS

Son niveles que se obtienen partiendo de lecturas registradas por un sonómetro.

#### 2.5.4. NIVEL DE BANDA DE OCTAVA

Se denota así a todo nivel de presión sonora de una banda que tenga por anchura una octava, entendiéndose por octava al intervalo de frecuencia entre dos sonidos cuya razón de frecuencia es de 2.



**Figura 4. Relación de Presión Sonora y Presión Acústica. Fuente: 3**

#### 2.5.5. NIVEL DE BANDA DE TERCIO DE OCTAVA

Esta corresponde a la tercera parte de una banda de octava, una banda de octava comprende tres bandas de tercio de octava. Estas bandas son utilizadas habitualmente en audio porque se asemejan a la forma de percepción del mecanismo auditivo humano.

**Tabla 1: Relación entre bandas de octava y tercio de octava. Fuente: 6**

Frecuencias (Hz)						
Octavas			Tercios de octava			
Frecuencia inferior	Frecuencia central	Frecuencia superior	Frecuencia inferior	Frecuencia central	Frecuencia superior	
11	16	22	14,1	16	17,8	
			17,8		20	22,4
			22,4		25	28,2
22	31,5	44	28,2	31,5	33,5	
			35,5		40	47,7
			44,7		50	56,2
			56,2		63	70,8
44	63	88	70,8	80	89,1	
			89,1		100	112
			112		125	141
			141		160	178
			178		200	224
177	250	355	224	250	282	
			282		315	355
			355		400	447
			447		500	562
355	500	740	562	630	708	
			708		800	891
			891		1.000	1.122
			1.122		1.250	1.413
			1.413		1.600	1.773
1.420	2.000	2.840	1.773	2.000	2.239	
			2.239		2.500	2.818
			2.818		3.150	3.548
			3.548		4.000	4.467
			4.467		5.000	5.623
2.840	4.000	5.680	5.623	6.300	7.079	
			7.079		8.000	8.913
			8.913		10.000	11.220
			11.220		12.500	14.180
11.360	16.000	22.720	17.780	20.000	22.890	

### 2.5.6. COMBINACIÓN DE NIVELES

Por lo general, en el ambiente de medición es necesario la combinación de diferentes niveles para la determinación de los niveles totales debido a que el sonido medido en decibelios no guarda una relación lineal, por tal motivo estos no pueden ser sumados directamente. Para determinar dichos valores totales se han creado métodos como los siguientes:

1.- El nivel sonoro total dado en decibeles puede ser calculado mediante el uso de la siguiente ecuación

$$L_{Total} = 10 * \text{Log} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \quad (10)$$

Donde:

$L_j$ : Nivel sonoro de la iteración j

$L_{total}$ : Nivel sonoro total.

2.- Una manera aproximada de calcular la relación de suma de niveles sin necesidad de usar logaritmos, es la siguiente:

**Tabla 2. Combinación de Niveles. Fuente: 3**

<u>DIFERENCIA DE NIVELES</u>	<u>VALOR NUMÉRICO</u>
$L_1 - L_2$	A
0 a 1 dB	+3 dB
2 a 3 dB	+2 dB
4 a 9 dB	+1 dB
10 ó más dB	+0 dB

Donde  $L_1$ : Nivel debido a la primera fuente de sonido.

$L_2$ : Nivel debido a la segunda fuente de sonido.

La operación será:

$$L_{total} = L_1 + A \text{ dB} \quad (11)$$

## 2.6. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN RECINTO CERRADO

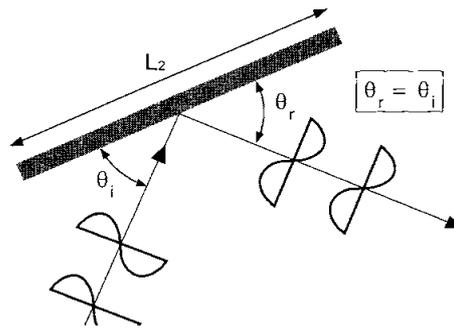
En un recinto cerrado, la energía radiada por una fuente sonora llega a un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo) y otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado).

En cualquier punto del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a la reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción acústica de las paredes y diferentes obstáculos con los cuales se encuentre la onda.

### 2.6.1. REFLEXIÓN DE LAS ONDAS SONORAS

La reflexión de las ondas sonoras es el cambio de dirección de las mismas, producto de su choque con obstáculos en su viaje desde la fuente emisora.

La ley reflexión establece que el ángulo del sonido reflejado es igual al ángulo del sonido incidente, este fenómeno solo se produce de forma completa si la superficie reflectora es lisa y tiene unas dimensiones grandes en comparación con la longitud de onda del sonido considerado. En caso contrario, el ángulo de incidencia será distinto al ángulo de refracción.



**Figura 5. Reflexión de Ondas Sonoras. Fuente: 6**

Ninguna superficie es un reflector perfecto, esta siempre absorberá parte de la energía acústica.

### 2.6.2. REFLEXIONES MÚLTIPLES DEL SONIDO EN UN LOCAL CERRADO

En un local cerrado luego que una fuente empieza a emitir sonido, el mismo comienza a llenarse con ondas sonoras producidas por la fuente directa y otras producto de la reflexión de las mismas, propagándose en muchas direcciones. Las ondas sonoras reflejadas aumentan el nivel de presión sonora dentro del recinto, puesto que el nivel de presión sonora combinado (sonido directo más reflexión) es mayor que el que proviene directamente de la fuente. Este fenómeno crea una persistencia del sonido después que la fuente emisora ha cesado. Esto se debe a que luego la fuente para su emisión, las ondas reflejadas continúan propagándose dentro del recinto, las cuales disminuyen progresivamente, por la absorción de los límites de la habitación y del mobiliario.

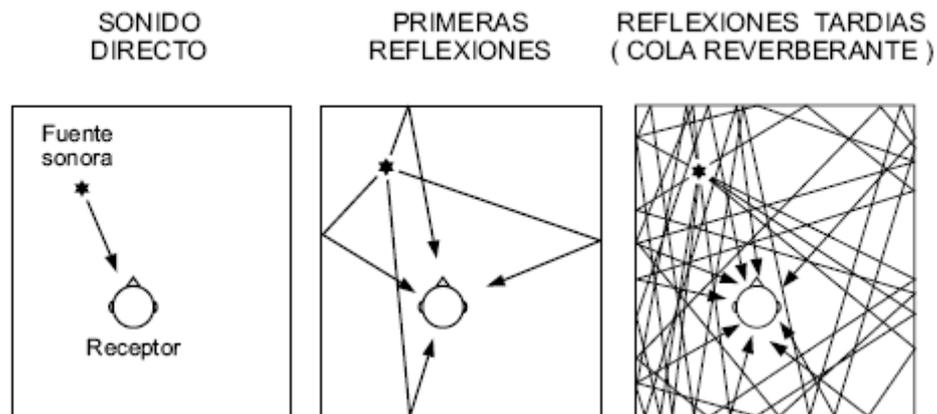


Figura 6. Reflexión Múltiple del Sonido. Fuente: 5

### 2.6.3. ABSORCIÓN DEL SONIDO EN UN LOCAL CERRADO

Coeficiente de absorción sonora: es la parte de la energía acústica absorbida cuando las ondas sonoras chocan con una superficie. Se representa mediante la letra  $\alpha$ . Se puede definir de otra, como la relación entre la energía absorbida por dicho material y la energía incidente sobre el mismo:

$$\alpha = \frac{\text{Energía Absorbida}}{\text{Energía Incidente}} \quad (12)$$

La unidad de absorción de sonido es el sabino. En unidades del sistema internacional, 1 sabino métrico equivale a  $1 \text{ m}^2$  y en el sistema inglés equivale a  $1 \text{ ft}^2$ .

Los valores de este coeficiente se encuentran comprendidos entre 0 (correspondiente a un material totalmente reflectante) y 1 (caso de absorción total). El valor de  $\alpha$  está directamente relacionado con las propiedades físicas del material y varía con la frecuencia.

### 2.6.4. ABSORCIÓN SONORA TOTAL DE UN LOCAL CERRADO

La absorción sonora total de un lugar cerrado se designa con la letra A, y viene dado por la suma de las diferentes absorciones dadas en el recinto (superficie, aire, mobiliario).

$$A = A_{\text{superficie}} + A_{\text{aire}} + A_{\text{mobiliario}} \quad (13)$$

Absorción debido a la superficie ( $A_{\text{superficie}}$ ): se obtiene al multiplicar cada superficie (S), por su coeficiente respectivo de absorción sonora  $\alpha$  y luego sumarlos para obtener un total.

$$A_{\text{superficie}} = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots \text{sabinos} \quad (14)$$

Absorción debido al aire ( $A_{\text{aire}}$ ): La absorción correspondiente al aire se obtiene mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$A_{\text{aire}} = 4mV \text{ Sabinos} \quad (15)$$

Donde:

- m: es el coeficiente de atenuación del aire por metro.
- V: es el volumen de la habitación en  $\text{m}^3$ .

Absorción debido al mobiliario ( $A_{\text{mobiliario}}$ ): esta corresponde, como su nombre lo indica al mobiliario que se encuentra en sala, los valores de absorción de cada objeto deben ser suministrados por el fabricante del mismo.

Para expresar con un solo valor la absorción de un recinto se emplea el coeficiente medio de absorción  $\bar{\alpha}$ , el cual viene determinado por la expresión para cada frecuencia

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{S_T} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{S_T} \quad (16)$$

En las determinaciones acústicas de un local cerrado un coeficiente representativo de la absorción definido por R o constante absorbente del local, definida por:

$$R = \frac{A}{1 - \bar{\alpha}} \quad (17)$$

Cuando se desconoce exactamente del valor de  $\alpha$ , es posible determinar R de forma aproximada mediante al uso del siguiente gráfico

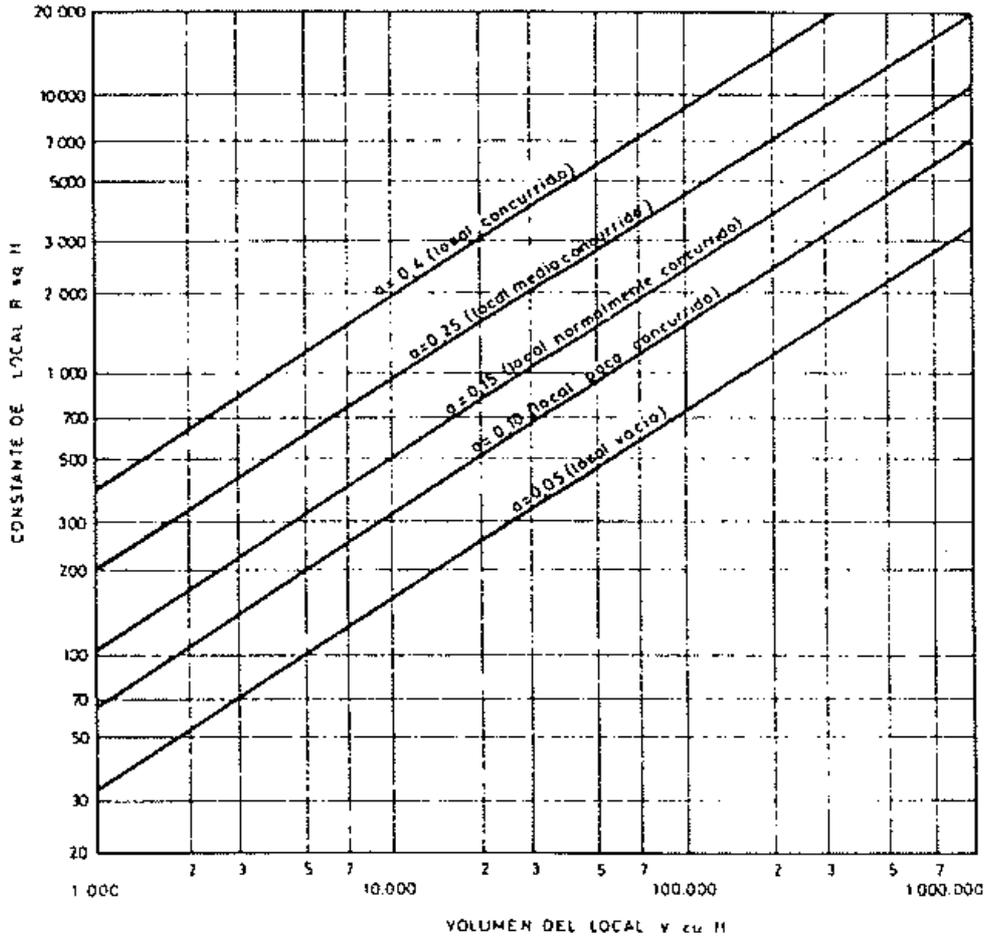


Figura 7. Abaco para la determinación de R. Fuente: 6

Casos:

- 1) Si  $\bar{\alpha}$  es grande el campo sonoro es preponderantemente directo, y cuya presión eficaz varía inversamente con la distancia a la fuente. Este es el caso de una cámara anecoica, recinto tratado acústicamente para lograr  $\bar{\alpha} \cong 1$ , que se utiliza para realizar experimentos de acústica que requieren un campo libre.
- 2) Si  $\bar{\alpha}$  es moderado, entonces en las proximidades de la fuente predomina el campo directo, y a una mayor distancia predomina el campo reverberante. Existe una distancia crítica,  $r_c$ , más allá de la cual predomina el campo distante (sonido reflejado), y por debajo de la cual predomina el campo próximo (sonido directo).

$$r_c = \sqrt{\frac{\bar{\alpha} S}{16\pi(1 - \bar{\alpha})}} \quad (18)$$

3) Si  $\bar{\alpha} \ll 1$ , entonces salvo muy cerca de la fuente, predomina el campo reverberante.

## 2.6.5. NIVEL DE PRESIÓN SONORA DENTRO DE UN RECINTO CERRADO

### 2.6.5.1. SONIDO DIRECTO

Es aquel transmitido directamente desde la fuente al punto de observación sin intervenir las características de la sala, entendiendo por esto la reflexión, absorción, etc. Debido a que las características de la sala no son tomadas en cuenta el nivel de presión sonora obtenido es igual al que se podría esperar si la fuente se encontrara al aire libre.

$$L_d = L_w - 20 \log r - 10,9 \quad (19)$$

En donde:

- $L_w$ : nivel de potencia sonora de la fuente en dB.
- $r$ : distancia desde la fuente en metros.

### 2.6.5.2. SONIDO REFLEJADO

Es aquel que solo incluye la contribución de las reflexiones sobre todo el cerramiento del local, sin incluir el sonido que se transmite directamente desde la fuente hasta el punto, de esta manera se puede decir que el sonido reflejado es relativamente independiente de la distancia de la fuente.

El sonido reflejado sólo depende de las características del recinto y en cierta medida de las características de la fuente.

El nivel de presión sonora reflejado se puede considerar bastante uniforme en un local cuando cumple con las siguientes condiciones:

- Cuando la dimensión mayor del suelo no es superior a 5 veces.
- El coeficiente medio de absorción media del local es menor a 0,3.
- Los cerramientos del local son irregulares.
- La fuente no contiene fuertes componentes discretos de frecuencia.

Si el nivel de presión sonora del local es bastante uniforme el local, se dice que el sonido es difuso en este recinto.

En un local cerrado el nivel sonoro reflejado ( $L_r$ ) viene dado por:

$$L_r = L_w - 10 \log R + 0.6 \text{ dB} \quad (20)$$

Donde:

- $L_r$ : Nivel sonoro Reflejado
- $R$ : Nivel de absorción sonora total del recinto en sabinos métricos.

### 2.6.5.3. NIVEL DE PRESIÓN SONORA TOTAL

El nivel de presión sonora total en recinto viene dado por la combinación de la presión sonora directa y la reflejada, mediante el uso de la siguiente expresión:

$$L_p = L_w + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \text{ dB} \quad (21)$$

Donde:

- $L_w$ : nivel de potencia sonora de la fuente en dB.
- $Q$ : Factor de directividad.
- $r$ : Distancia de la fuente al observador.
- $R$ : Nivel de absorción sonora total del recinto en sabinos métricos.

### 2.6.6. FACTOR DE DIRECTIVIDAD Q

El factor de directividad  $Q$  se define como la razón entre la intensidad evaluada en un eje a una cierta distancia de la fuente y la intensidad que produciría una fuente omnidireccional (fuente capaz de irradiar la misma energía en todas las direcciones) de la misma potencia a la misma distancia y sobre el mismo eje, es decir:

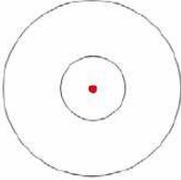
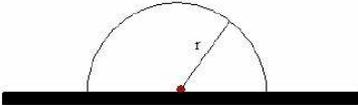
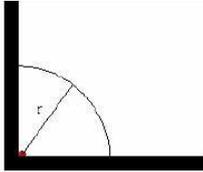
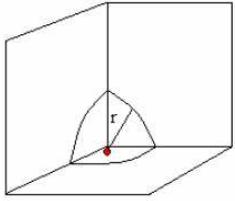
$$Q = \frac{I}{I_{\text{ref}}} \quad (22)$$

Donde:

- $Q$ : es el factor de directividad.
- $I$ : es la intensidad que produce una fuente en el punto.
- $I_{\text{ref}}$ : intensidad que produciría una fuente omnidireccional o puntual de la misma potencia en el mismo punto.

El factor de directividad definido de esta manera permite cuantificar, cuanto más o cuanto menos, radia en una dirección una fuente real, en comparación con una fuente puntual de la misma potencia acústica.

**Tabla 3. Factor de Directividad.Fuente:6**

Montaje sobre superficies	Intensidad $I$	Factor de directividad $Q$
	$I = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$	$Q = 1$
	$I = \frac{2 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$	$Q = 2$
	$I = \frac{4 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$	$Q = 4$
	$I = \frac{8 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$	$Q = 8$

## 2.7. MAPA DE RUIDO

Los mapas de ruido son una representación gráfica del perfil de ruido de un área geográfica determinada, en la cual los niveles sonoros se indican como curvas de nivel. Adicionalmente, estos mapas también pueden indicar cómo varía la distribución de los niveles de ruido a lo largo del tiempo.

El propósito de un mapa de ruido es:

- Permitir la evaluación de la exposición de la población al ruido vinculando datos de población a zonas de alto ruido en los mapas.
- Permitir la elaboración de planes de acción para reducir la exposición de la población al ruido.

## 2.8. FUENTES DE RUIDO

Para el cálculo de los niveles de presión sonora de diferentes equipos que se pueden encontrar en las salas de máquinas, en el caso de que el fabricante no haya suministrado los valores previos de las pruebas sonoras; es necesario el uso de métodos que arrojan resultados aproximados, que pueden ser utilizados para cálculos, para obtener resultados más exactos e indispensable para la realización de la caracterización de dichas fuentes.

### 2.8.1. ESPECTRO DE RUIDO DE UN VENTILADOR

Los ruidos generados por los ventiladores son de dos tipos, unos tienen origen mecánico y otros orígenes aerodinámicos.

Los ruidos de origen mecánico son producto de desalineación de los álabes del motor eléctrico, del rotor, o de la carcasa del ventilador y están estrechamente ligados con el montaje de los mismos. Los de origen aerodinámico, son originados por la turbulencia del aire al aumentar su velocidad y aceleración.

El producto de las turbulencias de sistema puede ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$L_w = L_B + 10 \log q + 20 \log \Delta P \quad (23)$$

Donde:  $L_w$  = Nivel de potencia sonora real (dB referidos  $10^{-12}$  watt).

$L_B$  = Nivel de potencia normalizado (dB referidos  $10^{-12}$  watt).

$q$  = Caudal ( $m^3 / h$ )

$\Delta P$  = Incremento de presión (cm H<sub>2</sub>O)

Existen tablas con los espectros de potencia normalizados, como esta:

**Tabla 4. Espectro de ruido de un ventilador. Fuente: 14.**

	Espectro de potencia sonora							
	Frecuencia central banda de octava (Hz)							
Tipo de ventilador	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Centrifugo con palas hacia atrás	16	12	8	4	4	8	12	16
Centrifugo con palas rectas	38	35	35	33	28	23	20	19
Centrifugo con palas rectas	38	35	35	33	28	23	20	19
Centrifugo con palas hacia adelante	30	28	28	24	18	14	11	5
Tubular	34	32	36	34	32	30	27	20
Helicoidal	41	38	39	37	35	35	33	21

El ruido debido a los de álabes del ventilador es función de la velocidad de giro y del número de álabes. Este componente se calcula añadiendo al nivel de la octava más cercana, el valor de la frecuencia de paso de los álabes. Esta frecuencia se determina, como:

$$f_b = \frac{V * N}{60} \quad (24)$$

Donde:  $f_b$  = Frecuencia del paso de las palas (Hz).

$V$  = Velocidad de giro del rodete (rpm).

$N$  = Número de palas.

El espectro así calculado responde al total de la potencia sonora radiada por el ventilador.

### 2.8.2. ESPECTRO DE RUIDO DE UNA BOMBA

El espectro de frecuencias es muy variable ya que dependerá de las estructuras que entren en vibración inducida por la bomba. Por si solo el nivel de potencia sonora producto de una bomba no es muy alto, pero al encontrarse varias de ellas en un mismo recinto, se pueden presentar problemas.

Cuando no se dispone de datos experimentales el nivel de potencias se puede estimar por la ecuación:

$$L_w = K_0 + 63 + 10 * \text{Log}(W) \quad (25)$$

Donde:  $L_w$  = Nivel de potencia sonora (dB)

$W$  = Potencia promedio del motor accionador (HP)

$K_0$  = Viene dado en función del tipo de bomba y de la frecuencia central de banda de octava.

**Tabla 5. Valores de K0. Fuente: 3**

TIPO DE BOMBA	Frecuencia central de banda de octava (Hz)								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Centrifuga	25	25	26	26	27	29	26	23	18
Screw	30	30	31	31	32	34	31	28	23
Reciprocante	35	35	36	36	37	39	36	33	28

Otra manera de obtener los niveles de presión sonora de una bomba es mediante el uso de su potencia hidráulica y su valor de eficiencia.

$$L_w = 97 + 10 * \text{Log} \left( W * \left( 1 - \left( \frac{\eta}{2} \right) \right) \right) \quad (26)$$

Donde:  $W$  = Potencia hidráulica de la bomba (HP)

$\eta$  = eficiencia de la bomba.

### 2.8.3. NIVEL DE POTENCIA SONORA DE UN COMPRESOR

#### 2.8.3.1. RECIPROCANTE

Para el cálculo del nivel de potencia sonora de un compresor reciprocante con una potencia promedio entre 1 y 100 HP, se puede aproximar mediante el uso de la siguiente expresión.

$$L_w = K_1 + 70 + 10 * \text{Log}(W) \quad (27)$$

Donde:  $K_1$  = es obtiene por tabla en función de la frecuencia central de banda de octava en dB.

$W$  = potencia promedio del motor (HP)

**Tabla 6. Factor K1. Fuente: 6**

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

2.8.3.2. CENTRÍFUGOS

El nivel de potencia sonora se puede determinar mediante la ecuación:

$$L_w = 20 * \log(W) + 50 * \log\left(\frac{U}{800}\right) + 81 \quad (28)$$

Donde: W = Potencia del compresor (HP).

U = Velocidad periférica del rotor (pies/s).

La frecuencia (Hz) a la cual el compresor emite su mayor potencia sonora se puede estimar mediante el uso de la siguiente expresión:

$$f_b = 1.25 * U \quad (29)$$

Otra forma para estimar el espectro de potencia sonora se obtiene aplicando la ecuación:

$$L_w = 20 * \log(W) + 71 + 50 * \log(4,10^{-3} U) \quad (30)$$

Donde: W= Potencia del compresor (HP).

U= Velocidad periférica del rotor (m/s).

La frecuencia fundamental se calcula mediante:

$$f_b = 4,10 * U \quad (31)$$

Existen en el mercado tablas que contienen los espectros de ruido por bandas de octavas referidos a su frecuencia central, las cuales son obtenidas en pruebas de laboratorios. Muestra de esta tabla es la tabla 7.

**Tabla 7 . Estimación de los niveles de presión sonora en dB (A 1M distancia). Fuente: 6**

Estimación de los niveles de presión sonora en dB (A 1M distancia)								
Potencia Nominal(HP)	Frecuencia Central en Bandas de Octava (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1 - 2	83	83	83	86	89	89	89	84
3 - 9	86	86	86	89	92	92	92	87
10 - 100	89	89	89	92	95	95	95	90

### 2.8.3.3. AXIALES

El nivel global de potencia sonora de un compresor axial se puede determinar mediante el uso de la siguiente expresión:

$$L_w = 76 + \log(W) \quad (32)$$

Donde: W = potencia del compresor (HP).

El máximo ruido se produce a una frecuencia (fb), cuyo valor se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$f_b = \left( \frac{2 * N * \text{rpm}}{60} \right) \quad (33)$$

Donde:

N = número de álabes del rotor.

n = velocidad de rotación (rpm).

### 2.8.4. NIVELES DE POTENCIA SONORA DE MOTORES ELÉCTRICOS

Por lo general, los motores eléctricos producen ruidos moderados, claro está que depende de su tamaño, operación y el estado en el cual se encuentre. El ruido

generado por los motores eléctricos, tienen orígenes diversos, los cuales los podemos clasificar de la siguiente manera:

- Mecánicos: debido a deformaciones, desalineaciones, ruido en los cojinetes y distorsiones en el rotor y estator.
- Aerodinámicas: debido a las turbulencias de la fuente de ventilación y del movimiento del aire producido por las vibraciones del rotor.
- Magnéticas: debido a fuerzas magnéticas que se producen en los espacios de aire ubicados entre e estator y el rotor.

Para estimar estos niveles de potencia sonora producidos por los motores eléctricos, en un rango de 1 a 300 HP, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$L_w = K_2 + 20 * \text{Log}(W) + 15 * \text{LOg}(n) - 7 \quad (34)$$

Donde:  $L_w$  = Nivel de potencia sonora (dB)

$K_2$ = Es función de la frecuencia central de la banda de octava

$n$ = Velocidad promedio en rpm.

**Tabla 8. Factor K2. Fuente: 6**

Frecuencia central de la 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

Otra manea de determinar el nivel de potencia sonora de los motores eléctricos es mediante tablas las cuales son presentadas a continuación.

**Tabla 9. Nivel de potencia sonora Motores Eléctricos. Fuente: 6**

Nivel de potencia sonora en (dBA)												
	Nema				IETC				Datos de lider en fabricación			
	3600 RPM		1800 RPM		3600 RPM		1800 RPM		3600 RPM		1800 RPM	
W(HP)	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	98	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	100	86	97	104	107	97	99	83	93	74	86
50	94	103	86	97	104	107	97	99	84	94	74	89
60	94	103	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 esta tabla, al espectro de banda de octava, se debe utilizar la siguiente corrección:

Nivel de potencia sonora en octava de banda= dBA-CF

Donde: CF= valor dado por tablas.

**Tabla 10. Factor CF. Fuente: 6**

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

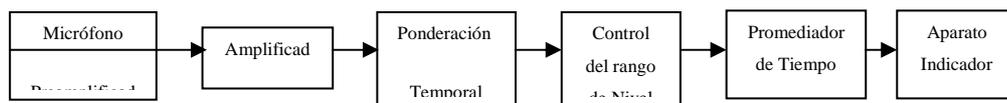
## 2.8.5. NIVEL DE POTENCIA SONORA DE UN ENFRIADOR DE AGUA (CHILLER).

Por ser un chiller es un sistema completo de refrigeración que incluye un compresor, un condensador, evaporador, válvula de expansión, además de bomba de impulsión de agua, entre otros componentes. Es difícil determinar el nivel de ruido que estos generan mediante ecuaciones; por tal motivo, la determinación de su nivel de potencia sonora se realiza, mediante el uso de sonómetros y de las normativas existentes para su colocación.

## 2.9. INSTRUMENTO DE MEDIDA ACÚSTICA

### 2.9.1. SONÓMETRO

Es un aparato que mide los niveles de presión sonora, ponderado en frecuencia y en tiempo. La mayoría de éstos son de pequeño tamaño, poco peso y funcionan con pilas. La fiabilidad de las evaluaciones acústicas depende sobre todo de cómo se utilizan los aparatos. Por ende, es esencial un estudio detallado de la bibliografía del fabricante para cada aparato.



**Figura 8. Diagrama de bloques mostrando los principales componentes de los sonómetros. Fuente: 3**

En la **Fig 8**, se muestra un diagrama de bloques que indica los principales componentes de un sonómetro. Estos incluyen: el micrófono, el preamplificador, el amplificador, la ponderación de frecuencia (la ponderación de frecuencia puede combinarse con el amplificador), el control del rango de nivel, y el promediador del tiempo e indicador. Todos estos componentes se describen en secuencia. Sin embargo, las funciones representadas por ellos no se producen necesariamente en

el mismo orden. Por ejemplo, la amplificación, ponderación de frecuencia y control del rango de nivel a menudo se distribuyen sobre varias partes del instrumento de medida completo. .

El proceso de promediar el tiempo se lleva a cabo de dos formas. Los sonómetros convencionales ofrecían resultados de un nivel sonoro de tiempo medio de funcionamiento con ponderación temporal exponencial. La llegada de la tecnología digital ha hecho posible un promedio temporal sin ponderación temporal exponencial; los que funcionan de esta manera se denominan sonómetros integradores (ofrecen resultado de ambos tipos de promedio o ponderación temporal) (Cyril H, p 5.2)

## 2.9.2. MICRÓFONO

Un micrófono convierte las variaciones de presión de las ondas sonoras en señales eléctricas que varían con el tiempo.

### 2.9.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL MICRÓFONO

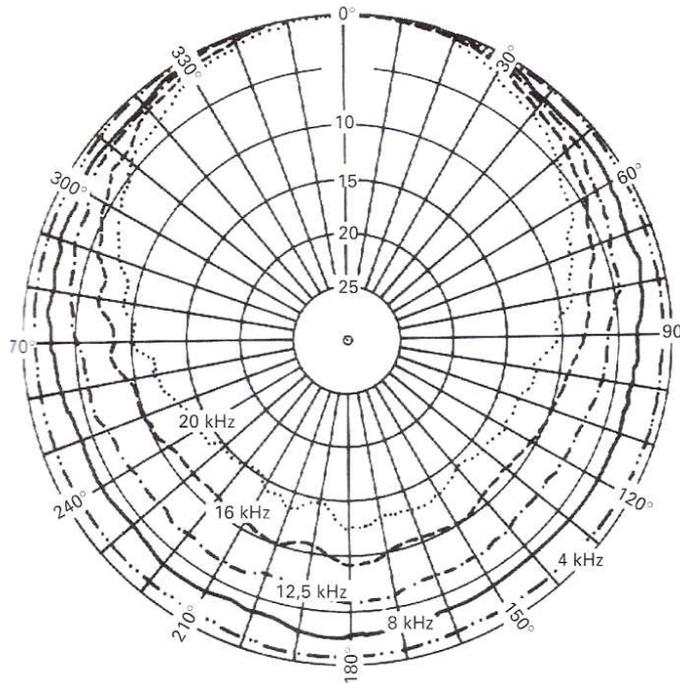
- Sensibilidad en función de la frecuencia (respuesta del micrófono):

La sensibilidad de un micrófono es la relación entre su salida eléctrica y el nivel de presión sonora en el diafragma del micrófono.

- Sensibilidad en función del ángulo de incidencia

La sensibilidad de un micrófono no varía dependiendo del ángulo con que la onda sonora incide sobre él. La mayoría de los micrófonos que tienen un diámetro de 13 mm (1/2 in) o menos son esencialmente omnidireccionales (o no direccionales); su sensibilidad es prácticamente la misma para todas las direcciones de incidencia del sonido, a frecuencias por debajo de unos 5000 Hz. La variación en sensibilidad de un micrófono con el ángulo de incidencia de las ondas sonoras, denominada su patrón de directividad, puede representarse gráficamente en un diagrama polar. Para la mayoría de los micrófonos de medición que tienen forma cilíndrica, el patrón de directividad es circularmente

simétrico alrededor del eje del cilindro, pero cambia con el ángulo de incidencia y la frecuencia, en un plano a través del eje del micrófono, que es perpendicularmente al diafragma del mismo (**Fig. 9**)



**Figura 9 Patrones de direccionalidad (sensibilidad relativa del nivel de respuesta en función del ángulo de incidencia del sonido), en campo libre, de micrófonos con condensadores de 13 mm (1/2 in) de diámetro utilizados para medición acústica. Fuente: 3**

- Respuesta de incidencia perpendicular y de incidencia horizontal

Cuando la dirección de propagación de las ondas sonoras que inciden sobre el diafragma es perpendicular a él (incidencia a  $0^\circ$ ); se dice que la respuesta del micrófono es de incidencia perpendicular o de incidencia frontal. Cuando la dirección de las ondas sonoras es paralela al plano del diafragma (incidencia a  $90^\circ$ ), se dice que es una respuesta de incidencia horizontal. Para la mayoría de los micrófonos de medición, el ángulo de incidencia de sonido en campo libre al que corresponde la mayor sensibilidad es perpendicular ( $0^\circ$ ). La incidencia perpendicular (también denominada incidencia frontal) se recomienda para

fuentes de sonido estacionarias. La incidencia horizontal se recomienda para fuentes de sonido en movimiento, de manera que el mismo ángulo de incidencia esté presente durante todo el período de medición. **(Fig.9)**

- Respuesta de incidencia aleatoria (random)

Es la respuesta media para todos los ángulos de incidencia, siendo todos ellos igualmente probables a partir de todas las direcciones en un momento determinado o a lo largo de un período de tiempo. La respuesta de incidencia aleatoria (random) es parecida a la de un ángulo de incidencia entre  $60^\circ$  y  $80^\circ$ , con una respuesta que es entre 3 y 5 dB mayor (para frecuencias entre 8.000 y 12.000 Hz). Por lo general, cuando se utiliza un único sonómetro para medir el nivel producido por fuentes estacionarias en campo libre y se conoce el ángulo principal de incidencia, o cuando se miden los niveles sonoros producidos por varias fuentes en el que se desconocen los ángulos de incidencia o éstos varían al azar, existen dos posibilidades:

1.- Utilizar dos micrófonos diferentes: (A) un micrófono que éste diseñado para tener la respuesta en frecuencia más plana frente al sonido que llega con un ángulo de incidencia especificado por el fabricante (a menudo  $0^\circ$ ) en campo libre y (B) otro micrófono que está diseñado para dar la respuesta de frecuencia más plana para el sonido que incide con ángulos aleatorios en el tiempo (random).

2.- Para medir los sonidos que llegan al diafragma del micrófono con ángulos de incidencia aleatorios (random), se utiliza una amplificación electrónica, que puede seleccionarse mediante un interruptor, que compensa la pérdida de sensibilidad para frecuencias altas. Cuando se utiliza un micrófono de determinado diámetro diseñado para la respuesta en frecuencia más plana para un ángulo de incidencia del sonido perpendicular (frontal). Esta última alternativa permite el uso de un solo micrófono diseñado tanto para medir

situaciones con una respuesta de frecuencia óptima, como para cumplir las normas International IEC (Electrotechnical Commission) y ANSI (American National Standards Institute) mediante la selección del establecimiento de los controles en el sonómetro.

### 2.9.3. EFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES SOBRE LA SENSIBILIDAD DEL MICRÓFONO.

La sensibilidad de un micrófono de medición varía con la temperatura, humedad y presión atmosférica. El fabricante del micrófono debe indicar el coeficiente de temperatura de la sensibilidad del nivel de respuesta. Los cambios habituales en la presión atmosférica no suelen afectar de forma significativa a la sensibilidad de un micrófono a nivel del mar. La información que aporta el fabricante debe utilizarse para explicar el efecto de los cambios de presión atmosférica sobre la sensibilidad cuando el micrófono (cuya sensibilidad ha sido determinada mediante calibración de la presión a nivel de mar). Se utiliza para medir un campo sonoro en que la presión atmosférica es significativamente mayor, o menor, que la del nivel de mar. Cuando la humedad relativa es baja o moderada tiene poco efecto sobre la sensibilidad o funcionamiento de un micrófono bien diseñado. Sin embargo, cuando la temperatura de los componentes del micrófono está cerca de, o por debajo de, la temperatura de condensación del ambiente, se pueden formar gotas de humedad en el espacio entre el diafragma y la placa del micrófono, o en el espacio detrás de la placa posterior, con acceso a través de la disposición para ventilar este espacio a la presión atmosférica. La presencia de gotas de agua sobre el diafragma de cualquier tipo de micrófono de medición puede tener serios efectos sobre su funcionamiento, debido a la masa añadida sobre él. Además, las gotas de agua en el interior de un micrófono de condensador pueden producir roturas locales en el campo eléctrico, dando resultado por tanto al surgimiento de voltaje extraños (semejantes a sonidos de pequeños estallidos) y, en último término, al fallo en el funcionamiento del micrófono cuando la carga estática es

reemplazada por una corriente eléctrica. Para minimizar los problemas para la contaminación atmosférica, algunos micrófonos se acompañan de un recubrimiento de material protector sobre el diafragma de metal; otros utilizan para el diafragma un material especial resistente a la corrosión.

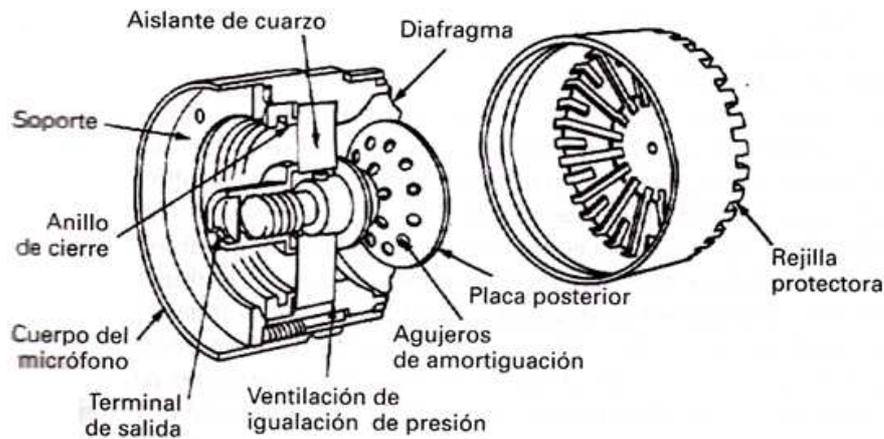
#### 2.9.4. TIPOS DE MICRÓFONOS DE MEDICIÓN

Los sonómetros que cumplen las normas de precisión nacionales e internacionales para instrumentos de Clase 0, 1 ó 2 deben estar equipados con un micrófono diseñado y construido para cumplir las especificaciones estandarizadas de ciertas características críticas de rendimiento electroacústico. A éstos se les denomina micrófonos de medición. La mayoría de los micrófonos de medición generan un voltaje que es proporcional al nivel de presión sonora en el micrófono y es análogo eléctrico de las ondas sonoras que inciden sobre el diafragma del micrófono. El mecanismo particular que convierte en señales eléctricas las variaciones de presión en la onda sonora de la señal sirve para distinguir los tres tipos principales de micrófono. El mecanismo particular que convierte en señales eléctricas las variaciones de presión en la onda sonora de la señal sirve para distinguir los tres tipos principales de micrófonos de medición: (1) micrófono de condensador de diseño convencional (o de condensador), (2) micrófono de condensador no prepolarizados y (3) micrófono piezoeléctricos (o cerámicos).

##### 2.9.4.1. MICRÓFONO DE CONDENSADOR

El principio de funcionamiento de un micrófono de condensador descansa sobre las variaciones en capacidad eléctrica para desarrollar las variaciones correspondientes en voltaje. En la **Fig. 9**, se muestra un micrófono de condensador de diseño convencional, el cual tiene una lámina delgada de acero inoxidable extendida y fuertemente sujeta sobre el cuerpo cilíndrico del micrófono. Esta lámina se conoce como diafragma porque se defleca a partir de su posición de equilibrio o descanso.

Se aplica un voltaje de corriente continua (dc) entre la placa posterior y el diafragma. El voltaje estable forma una carga estática constante entre las dos placas; se denomina voltaje polarizado al voltaje dc porque establece la polaridad eléctrica de la placa posterior respecto a la del diafragma. Los voltajes de polarización suelen ser del orden de 150 a 200 V, aunque algunos instrumentos de medida del sonido aportan voltajes de polarización entre 15V y 30V para aplicaciones especiales, como la medición de niveles altos de presión sonora, donde es aceptable la sensibilidad reducida asociada al voltaje de polarización reducido.



**Figura 10. Dibujo de una sección que muestra algunos detalles de la construcción de un micrófono de condensador (Cortesía de Larson-Davis Inc.). Fuente: 3**

A medida que el diafragma es delgado y de poco peso se mueve en respuesta a las variaciones de presión de la onda incidente, varía la distancia entre las dos placas y, en consecuencia, lo hace también la capacidad del condensador. Las variaciones alrededor de la capacidad estable formada por la carga estática fija dan lugar a las variaciones correspondientes del voltaje de polarización estable. Las variaciones de voltaje aparecen en los terminales eléctricos del micrófono para su transmisión a un instrumento de medición, como puede ser un sonómetro. La respuesta en frecuencia de un micrófono de medición del tipo condensador es

gradual y plana (independiente de la frecuencia) para un rango amplio de frecuencias.

La resonancia mecánica del diafragma está controlada por la amortiguación mecánica aportada por los agujeros perforados en la placa posterior (ver **fig. 10**). El fabricante selecciona el número y diámetro de los agujeros para ajustar la respuesta de alta frecuencia del micrófono a distintas aplicaciones.

Características de los micrófonos de medición de tipo condensador:

- Poseen una buena sensibilidad de voltaje debido a que el diafragma de metal puede soportar una alta tensión [las sensibilidades típicas para los micrófonos de condensador de alta calidad están entre los 25 y 50 milivoltios/pascal (mV/Pa) o entre -30 y -26 dB re 1 V/Pa]
- La sensibilidad a las frecuencias bajas y medias puede diseñarse para ser prácticamente independiente de los cambios en las condiciones ambientales para amplios rangos.
- Poseen una respuesta en frecuencia que puede ser casi independiente de la frecuencia en un rango amplio
- Una respuesta a los cambios en el nivel de presión sonora de la señal, que es lineal dentro de tolerancias estrechas para un rango amplio
- Una sensibilidad que puede modificarse cambiando el voltaje de polarización.

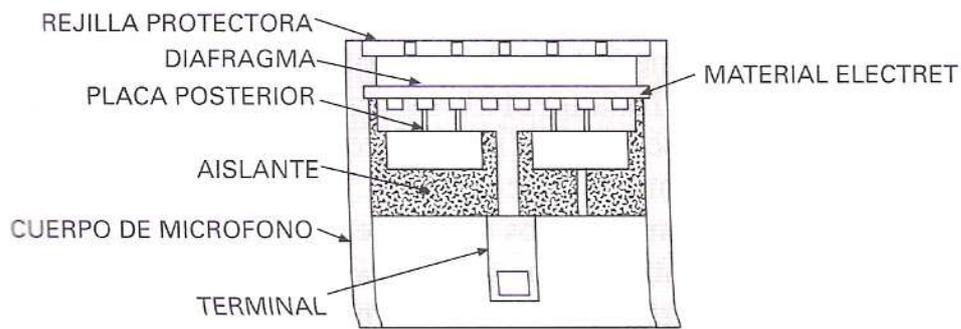
Los micrófonos de condensador de diseño convencional están disponibles con diámetros del orden de 6,5mm (1/4 in) o menos y con una respuesta en frecuencias ultrasónicas del orden de 50 KHz o superiores. Los micrófonos de diámetro pequeño también producen menos alteraciones del campo acústico que los grandes.

#### 2.9.4.2. MICRÓFONOS PREPOLARIZADOS O DE ELECTRET-CONDENSADOR

Los micrófonos prepolarizados funcionan de acuerdo con el mismo principio que los micrófonos de condensador de diseño convencional, en que se construye un condensador a partir de dos superficies paralelas con un campo electrostático entre ambas. Sin embargo, el campo eléctrico no se establece mediante un voltaje externo de polarización, sino mediante cargas que están atrapadas permanentemente en o adjuntas a un material polímero especial, de manera que la preponderancia de la carga positiva reside en un lado del material y las cargas negativas en el otro. Como en los micrófonos convencionales, el aire es el dieléctrico entre las dos superficies del condensador.

Existen dos diseños disponibles para micrófonos de medición prepolarizados. En uno de ellos, una capa fina de material ELECTRET se deposita en la placa posterior, siendo el resto de los detalles de la construcción de micrófono y sus características electroacústicas iguales a las descritas para los micrófonos de condensador convencional. En el otro diseño, el ELECTRET está contenido en una capa fina de un material polímero que se estira sobre apoyos salientes aislantes delante de la placa posterior (**Fig. 11**). Para completar el circuito eléctrico, se aplica un recubrimiento de metal a uno de los lados de la película polímera.

Como los micrófonos prepolarizados pueden tener esencialmente las mismas características electroacústicas que los micrófonos correspondientes convencionales de condensador, son adecuados para la medición de niveles sonoros cumpliendo los requisitos de precisión de Clase 1 o Clase 0 de las normas nacionales o internacionales. Los micrófonos ELECTRET son adecuados para los aparatos de medición del nivel sonoro de Clase 2, medidores de la exposición personal al sonido y medidores de dosis (o dosímetros), así como para otros instrumentos de propósito general de medición del sonido



**Figura 11. Dibujo de una sección simplificada que muestra algunos detalles de la construcción de un micrófono ELECTRET. Fuente: 3**

Una ventaja potencial de los micrófonos prepolarizados o ELECTRET es la mejora de la posibilidad de operar en ambientes húmedos, al no haber cargas eléctricas libres, hay mucha mayor libertad para las descargas de voltaje en hueco entre la placa posterior y el diafragma.

#### 2.9.4.3. MICROFONOS PIEZOELECTRICOS (MICRO CERÁMICOS)

Tienen un diafragma que está mecánicamente conectado a un elemento piezoeléctrico, habitualmente cuarzo. El movimiento del diafragma en respuesta a las ondas sonoras incidentes produce una tensión en el elemento que genera un voltaje a través de los terminales de salida del micrófono. El voltaje de salida es proporcional a la presión del sonido incidente con tolerancias moderadas para un rango relativamente amplio de niveles de presión sonora. La respuesta de frecuencia puede ser plana dentro de los límites de tolerancia adecuados a los instrumentos de Clase 2, para un rango de frecuencias audibles razonablemente amplio. Ventajas de un micrófono piezoeléctrico:

- Se pueden operar en ambientes de más humedad que los micrófonos convencionales de condensador.
- Son menos sensibles a tratamientos bruscos que los micrófonos de condensador de cualquier diseño

- No es necesario un voltaje externo de polarización para el funcionamiento del micrófono.

#### 2.9.5. PANTALLAS ANTIVIENTO DE LOS MICRÓFONOS

El flujo de aire que pasa junto al micrófono produce un ruido que puede afectar seriamente a las medidas de nivel sonoro. El ruido del viento puede reducirse mediante el uso de una pantalla antiviento.

#### 2.9.6. AMPLIFICADORES

El amplificador de un sonómetro ha de cumplir los siguientes requisitos:

1. Amplificar la señal del micrófono lo suficiente como para permitir la medida de los niveles bajos de presión sonora.
2. Amplificar los sonidos sobre un rango amplio de frecuencias, habitualmente entre 1 y 10 Hz para el límite inferior de una respuesta nominalmente plana y por encima de 20.000 Hz en el límite superior.
3. Generar un nivel de ruido eléctrico dentro del instrumento inferior al nivel más bajo de presión sonora de la señal que se va a medir, para cualquier frecuencia dentro del rango del micrófono.
4. Mantener la amplificación constante, a su valor designado, para cada rango de medida para todas las frecuencias dentro de la gama del instrumento.

#### 2.9.7. PONDERACIÓN DE FRECUENCIA

La ponderación en un sonómetro altera las características de la respuesta de frecuencia de acuerdo con las especificaciones de una norma nacional o internacional. Así, la indicación de un instrumento para medir el nivel sonoro, para un nivel determinado de presión sonora de entrada, depende de la frecuencia del sonido que llega al micrófono y de la ponderación de frecuencia seleccionada.

Las normas nacionales e internacionales requieren que todos los aparatos que midan el nivel sonoro incorporen la ponderación de frecuencia designada mediante la letra A. La característica de la ponderación A es que tiene en cuenta la sensibilidad reducida de la audición humana normal para frecuencias bajas, comparada con la respuesta frente a frecuencias altas.

#### 2.9.8. PONDERACIÓN TEMPORAL EXPONENCIAL

La ponderación temporal rápida (fast) y lenta (slow) puede lograrse mediante un término exponencial equivalente que multiplique el cuadrado de la señal de presión sonora con ponderación A en la determinación del nivel sonoro promediado. Para respuesta rápida (fast), la constante nominal de tiempo exponencial es 125 milisegundos; para respuesta lenta (slow), es 1000 milisegundos. La elección de la ponderación de tiempo exponencial, para usarla en una medida concreta, depende de la variabilidad de la señal del sonido y de los requisitos de la norma de medición aplicable o del código de ensayo.

### 2.10. EFECTOS FISIOLÓGICOS DEL RUIDO

#### 2.10.1.1. EFECTOS A CORTO PLAZO

La gama de efectos a corto plazo va desde aquellos que duran poco más que el estímulo por ejemplo un parpadeo producido por un sonido corto, explosivo, hasta aquellos que persisten durante minutos. Pueden producirse casos excepcionales en esta clasificación, por ejemplo, cuando efectos posteriores asociados tales como fatiga, dolor de cabeza u otros fenómenos residuales persisten, quizá durante horas. Por ello, un sistema de clasificación totalmente riguroso es imposible.

#### 2.10.1.2. EFECTOS A LARGO PLAZO

Los efectos a largo plazo se miden en unidades de horas, días o mayores, aunque existe cierto solapamiento con la definición de los efectos a corto plazo. En la categoría a largo plazo están respuesta tales como la alteración en la tasa de

secreción en la corriente sanguínea de sustancias (hormonas), de manera que modifiquen su concentración durante horas, días, o más prolongadamente, con varias consecuencias funcionales reales o postuladas. Algunos efectos a largo plazo han sido atribuidos a la estimulación repetida que produce respuestas a corto plazo, que se asume tienen efectos acumulativo

## 2.11. TÉCNICAS DE CONTROL DE RUIDO

### 2.11.1.1. CONTROL DE RUIDO

Al estudiar los problemas de ruidos se distinguen dos situaciones: una que se presenta en la fase de proyecto y la otra cuando las instalaciones están en funcionamiento. En la fase de proyecto la utilización de programas de acústicas permite la simulación de los niveles de presión sonora, este procedimiento permite controlar el ruido más eficazmente ya que proporciona soluciones sencillas y económicas. Cuando las instalaciones están en marcha hay que realizar mediciones y los procedimientos de control resultan más costosos y las soluciones más difíciles. El control del ruido, se puede abordar de tres maneras diferentes: reduciendo el ruido en el foco, disminuyendo la propagación del sonido y modificando el proceso de producción.

Para el control de ruido hay que tener presente las siguientes consideraciones:

- Reducir el nivel de ruido de los equipos o sustituirlo por otros más silenciosos.
- Reducir el tiempo de exposición del trabajador o trabajadores afectados.
- Aumentar la distancia entre el foco y el receptor.
- Modificar la distribución de las fuentes
- Automatizar el proceso

Cuando las soluciones anteriores se hayan adoptado y continúe existiendo el problema, se tomarán medidas en la organización y rotación del personal. Y por último, dotar a los trabajadores de equipos de protección auditiva.

#### 2.11.1.2. CONTROL DEL FOCO

El análisis de las distintas fuentes es necesario para determinar qué focos de ruido son más importantes. Hay que tener presente también las condiciones de operación y de montaje.

Normalmente, la solución más eficaz en los problemas de ruido consiste en reducir el ruido en la fuente. El control de ruido en la fuente es un buen procedimiento ya que resulta muy económico y evita futuros problemas de ruido. En términos generales hay que considerar los siguientes aspectos:

- Reducir las fuerzas de impacto y de fricción. Aislar las vibraciones en máquinas.
- Emplear materiales de amortiguamiento en las superficies de radiación de ruido.

#### 2.11.1.3. CONTROL DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN

Existe problema de ruido cuando un camino conecta la fuente con el receptor. La energía acústica se transmite simultáneamente a través del aire y de la estructura sólida, por ello, el ruido se transmite como aéreo y estructural.

Cuando la transmisión de energía llega al receptor a través del aire se considera un problema de ruido, pero si llega a través de la estructura sólida se considera como vibración, aunque los principios físicos implicados son los mismos. El ruido llega al receptor por varios caminos, aunque lo importante en el control de ruido consiste en determinar la importancia relativa de cada camino. El control de ruido en el medio de transmisión se realiza considerando los siguientes apartados:

- Ubicación y distribución
- Barreras y pantallas
- Encerramientos

-Absorción

-Aislamiento

-Silenciadores

#### 2.11.1.4. UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Las partes más ruidosas se deben localizar lo más lejos posible de zonas donde la tranquilidad es importante. Como las fuentes no radian ruido de forma uniforme en todas direcciones, hay que combinar la orientación de la fuente con la posición del receptor para obtener mejores resultados.

#### 2.11.1.5. BARRERAS Y PANTALLAS

La efectividad de las pantallas es máxima cuando el tamaño es grande en comparación con la longitud de ondas del ruido y cuando está próxima la barrera a la fuente o al receptor. Los parámetros más importantes de diseño son: las dimensiones de la pantalla y la separación al foco productor

#### 2.11.1.6. ENCERRAMIENTOS

Los encerramientos de las fuentes de ruido pueden proporcionar una atenuación considerable en el problema global del ruido. La efectividad del encerramiento depende de la parte más débil debido a que a altas frecuencias atraviesa fácilmente las pequeñas aperturas.

#### 2.11.1.7. ABSORCIÓN

Los materiales absorbentes se utilizan para acondicionar el nivel de ruido en recintos y mejorar el tiempo de reverberación. Se emplean también para disminuir el nivel de ruido a cierta distancia de la fuente.

#### 2.11.1.8. AISLAMIENTO

Para conseguir una efectividad importante en el aislamiento deben combinarse distintos materiales, con densidades superficiales diferentes y con

estructuras interna distinta que modifique la velocidad de transmisión y capacidad para disipar fácilmente la energía.

#### 2.11.1.9. SILENCIADORES

Los silenciadores son elementos que se instalan en las conducciones de aire o de gases para amortiguar el ruido producido por las turbulencias. Se instalan en la entrada, en medio de los conductos o en la salida de las conducciones.

#### 2.11.1.10. CONTROL DEL RECEPTOR

Dependiendo de la proporción y número de máquinas y personas afectadas pueden encontrarse distintas soluciones de control. Como por ejemplo, un área donde los operarios puedan permanecer en una cabina acondicionada acústicamente. En casos extremos cuando la presencia del operario es esporádica o no es continua pueden utilizarse tapones y cascos antiruido debidamente homologados y de acuerdo con la legislación laboral. A continuación se indica en forma de tabla las soluciones de control de ruidos.

**Tabla 11. Tecnicas de Control de Ruido. Fuente: 14**

<b>FUENTES DE RUIDO</b>	<b>SOLUCIÓN DE CONTROL</b>
Compresores	-Recubrimiento Acústico -Silenciadores en línea
Ventiladores	-Reducir velocidad giro -Aumentar número de palas -Utilizar correas
Torres de Enfriamiento	-Encerramiento total -Antivibratorios -Silenciadores
Máquinas y Motores	-Antivibratorios -Pantallas -Cerramiento parciales -Techos y suelos aislantes Revestimiento absorbente

## 2.12. MATERIALES ACÚSTICOS

A la hora de construir un recinto o adecuación del mismo para su uso, en muchos casos nos vemos enfrentados a lidiar con lo que al ruido se refiere. En el caso que los materiales de construcción no nos permitan un adecuado control del ruido, debemos recurrir a los materiales acústicos y a algunas estructuras, los cuales son especialmente formulados o acondicionados para tener propiedades acústicas deseadas, permitiéndonos el control de los niveles de ruido.

Los materiales acústicos podemos clasificarlos de la siguiente manera:

- Materiales absorbentes
- Materiales aislantes.
- Materiales difusores

### 2.12.1. MATERIALES ABSORBENTES

Son materiales con poros abiertos e interconectados. Estos materiales reducen las reflexiones al transformar la energía acústica en otras formas de energía, como lo son: en energía mecánica (a través de la elasticidad del material) y su posterior disipación por fricciones internas del propio material, y en energía calórica producto de la fricción viscosa entre el aire y el material en los intersticios comunicados de la estructura.

Las características más importantes de estos materiales son el coeficiente de absorción sonora,  $\alpha$ , y el coeficiente de reducción de ruido, NRC. Como bien se sabe el coeficiente de absorción es la relación entre la energía absorbida por el material y la energía incidente sobre el mismo. Como  $\alpha$  depende en gran medida de la frecuencia, se emplea el coeficiente de reducción de ruido NRC, el cual define como el promedio de los valores de  $\alpha$  a 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz:

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4} \quad (35)$$

Este coeficiente nos permite establecer comparaciones entre diversos materiales absorbentes por medio de un valor único, pero para esta comparación se debe especificar el tipo de montaje, pues materiales con características diferentes pueden tener el mismo NRC.

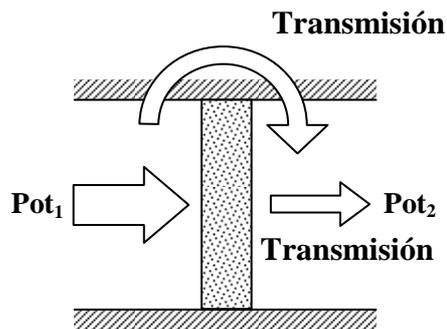
### 2.12.2. MATERIALES AISLANTES

Estos materiales son poco porosos y muy masivos. Son materiales con un coeficiente de absorción sonora pequeño, y por tal motivo es poca la energía que adsorben, reflejando gran parte.

Su característica principal es la pérdida de transmisión la cual se determina en laboratorios utilizando la siguiente expresión:

$$PT = 10 \log \frac{Pot_1}{Pot_2} \quad (36)$$

Para comprender mejor se puede ver la siguiente imagen:



**Tabla 12. Transmisión de energía sonora a través de una superficie. Fuente:14**

El objetivo fundamental de estos elementos es mantener el ruido externo alejado de los recintos.

### 2.12.3. MATERIALES DIFUSORES

El propósito de dichos materiales es lograr una mayor difusión del campo sonoro, pues redistribuyen la energía acústica homogéneamente dentro del recinto, enriquece al máximo el material sonoro, minimiza la distorsión acústica que pueden introducir los recintos sobre el sonido, etc.

Los materiales difusores, poseen estructuras superficiales complejas, a menudo dictadas por consideraciones teóricas que llevan a utilizar canaletas de dimensiones y separación bien definidas según el rango de frecuencias para el cual se quiere mejorar la difusión, o bien cavidades de diversas profundidades, o protuberancias prismáticas de varias alturas.

La aparición en el mercado de estos materiales está cambiando la creencia que los materiales adsorbentes son los mejores para distribuir homogéneamente el sonido dentro de un local.

### 2.12.4. SELECCIÓN DE MATERIALES ACÚSTICOS

A la hora de seleccionar materiales acústicos es necesario tomar en cuenta ciertas propiedades o consideraciones, para tal fin se ha creado la siguiente lista:

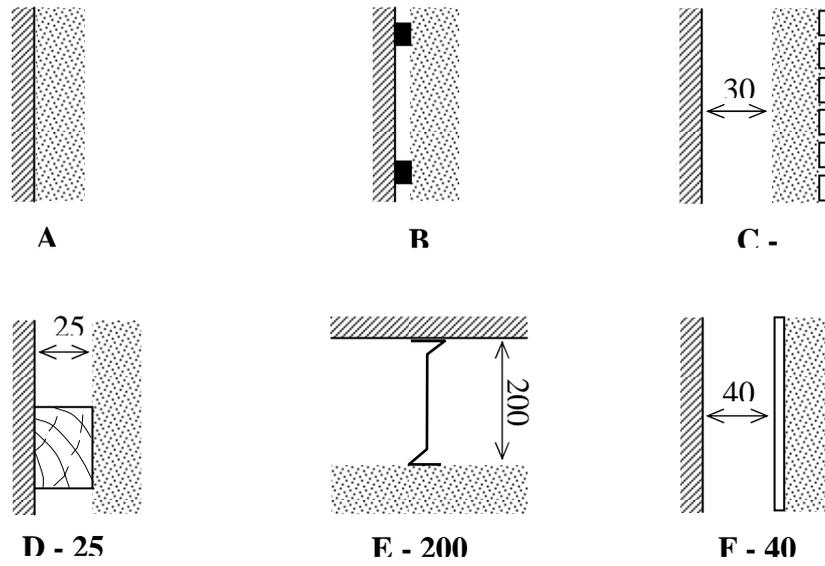
- Propagación y resistencia al fuego
- Resistencia mecánica y resistencia al uso
- Estabilidad dimensional
- Reflectancia de la luz
- Atenuación del sonido
- Mantenimiento, limpieza, posibilidad de ser pintado
- Apariencia
- Coste

- Facilidad de instalación, método de montaje
- Disponibilidad de espacio para instalación acústica
- Peso de la instalación acústica
- Compatibilidad con otros materiales y componentes

#### 2.12.5. MONTAJE DE MATERIALES ABSORBENTES ACÚSTICO

**Tabla 13 Montaje de Materiales Absorbentes Acústicos. Fuente: 13**

<b>Montaje</b>	<b>Descripción</b>
<b>Tipo A</b>	El material acústico se apoya directamente contra una superficie rígida.
<b>Tipo B</b>	El material acústico se cementa en puntos aislados a una placa de yeso dejando un mínimo espacio de aire (3 a 4 mm) entre ambos.
<b>Tipo C</b>	El material acústico se encuentra protegido por una placa perforada directamente yuxtapuesta al mismo, y el conjunto separado por una distancia en mm especificada después de la "C".
<b>Tipo D</b>	El material se encuentra separado por una distancia en mm (especificada luego de la "D") de la superficie a tratar, por medio de listones de madera.
<b>Tipo E</b>	El material se instala colgando de un cieloraso por medio de una suspensión metálica, dejando un espacio de aire cuyo espesor en mm se especifica a continuación de la "E".
<b>Tipo F</b>	El material se encuentra montado sobre una chapa metálica a una distancia en mm especificada luego de la "F".



**Figura 12. Montaje de Materiales Absorbentes Acústicos. Fuente: 13**

## 2.13. NORMAS Y REGLAMENTOS NACIONALES SOBRE EL CONTROL DE RUIDO

Hoy en día, en nuestro país se ha observado un auge en lo que respecta a la higiene y seguridad laboral, aumentando el conocimiento tanto del trabajador con el empleador en las diferentes leyes y reglamentos que rigen dicha área del ámbito laboral. Entre estas leyes y reglamentos tenemos:

### 2.13.1. LEY ORGÁNICA DE PREVENCIÓN, CONDICIONES Y MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO. (LOPCYMAT).

En la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo publicada en la Gaceta Oficial Numero 38.236/ 26 de Julio de 2005, en el TÍTULO V el cual se refiere a la higiene, la seguridad y la ergonomía. Podemos encontrar las siguientes normativas:

“Condiciones y ambiente en que debe desarrollarse el trabajo

Artículo 59. A los efectos de la protección de los trabajadores y trabajadoras, el trabajo deberá desarrollarse en un ambiente y condiciones adecuadas de manera que:

1. Asegure a los trabajadores y trabajadoras el más alto grado posible de salud física y mental, así como la protección adecuada a los niños, niñas y adolescentes y a las personas con discapacidad o con necesidades especiales.
2. Adapte los aspectos organizativos y funcionales, y los métodos, sistemas o procedimientos utilizados en la ejecución de las tareas, así como las maquinarias, equipos, herramientas y útiles de trabajo, a las características de los trabajadores y trabajadoras, y cumpla con los requisitos establecidos en las normas de salud, higiene, seguridad y ergonomía.

3. Preste protección a la salud y a la vida de los trabajadores y trabajadoras contra todas las condiciones peligrosas en el trabajo.
4. Facilite la disponibilidad de tiempo y las comodidades necesarias para la recreación, utilización del tiempo libre, descanso, turismo social, consumo de alimentos, actividades culturales, deportivas; así como para la capacitación técnica y profesional.
5. Impida cualquier tipo de discriminación.
6. Garantice el auxilio inmediato al trabajador lesionado o enfermo.
7. Garantice todos los elementos del saneamiento básico en los puestos de trabajo, en las empresas, establecimientos, explotaciones o faenas, y en las áreas adyacentes a los mismos.

Este artículo exige al empleador el garantizarle a sus trabajadores la protección de su salud física y mental, sin discriminación y estimulando las actividades de esparcimiento.

“Relación persona, sistema de trabajo y máquina”

Artículo 60. El empleador o empleadora deberá adecuar los métodos de trabajo así como las máquinas, herramientas y útiles utilizados en el proceso de trabajo a las características psicológicas, cognitivas, culturales y antropométricas de los trabajadores y trabajadoras. En tal sentido, deberá realizar los estudios pertinentes e implantar los cambios requeridos tanto en los puestos de trabajo existentes como al momento de introducir nuevas maquinarias, tecnologías o métodos de organización del trabajo a fin de lograr que la concepción del puesto de trabajo permita el desarrollo de una relación armoniosa entre el trabajador o la trabajadora y su entorno laboral.

“Política y programa de seguridad y salud en el trabajo de la empresa”

Artículo 61. Toda empresa, establecimiento, explotación o faena deberá diseñar una política y elaborar e implementar un Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo, específico y adecuado a sus procesos, el cual deberá ser presentado para su aprobación ante el Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad

Laborales, sin perjuicio de las responsabilidades del empleador o empleadora previstas en la ley.

El ministerio con competencia en materia de seguridad y salud en el trabajo aprobará la norma técnica que regule la elaboración, implementación, evaluación y aprobación de los Programas de Seguridad y Salud en el Trabajo.”

“De las políticas de reconocimiento, evaluación y control de las condiciones peligrosas de trabajo”

Artículo 62. El empleador o empleadora, en cumplimiento del deber general de prevención, debe establecer políticas y ejecutar acciones que permitan:

1. La identificación y documentación de las condiciones de trabajo existentes en el ambiente laboral que pudieran afectar la seguridad y salud en el trabajo.
2. La evaluación de los niveles de inseguridad de las condiciones de trabajo y el mantenimiento de un registro actualizado de los mismos, de acuerdo a lo establecido en las normas técnicas que regulan la materia.
3. El control de las condiciones inseguras de trabajo estableciendo como prioridad el control en la fuente u origen. En caso de no ser posible, se deberán utilizar las estrategias de control en el medio y controles administrativos, dejando como última instancia, cuando no sea posible la utilización de las anteriores estrategias, o como complemento de las mismas, la utilización de equipos de protección personal.

El empleador o empleadora, al momento del diseño del proyecto de empresa, establecimiento o explotación, deberá considerar los aspectos de seguridad y salud en el trabajo que permitan controlar las condiciones inseguras de trabajo y prevenir la ocurrencia de accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales.

“De la concepción de los proyectos, construcción, funcionamiento, mantenimiento y reparación de los medios, procedimientos y puestos de trabajo.”

Artículo 63. El proyecto, construcción, funcionamiento, mantenimiento y reparación de los medios, procedimientos y puestos de trabajo, debe ser concebido, diseñado y ejecutado con estricta sujeción a las normas y criterios técnicos y científicos universalmente aceptados en materia de salud, higiene, ergonomía y seguridad en el trabajo, a los fines de eliminar, o controlar al máximo técnicamente posible, las condiciones peligrosas de trabajo.

El Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales propondrá al ministerio con competencia en materia de seguridad y salud en el trabajo la norma técnica que regule esta materia.

Son de obligatoria observancia las normas técnicas relacionadas con seguridad y salud en el trabajo, aprobadas por el ministerio con competencia en materia de seguridad y salud en el trabajo.

“De la aprobación de los proyectos de nuevos medios y puestos de trabajo o de su remodelación.”

Artículo 64. Los empleadores y empleadoras deben llevar un registro de las características fundamentales de los proyectos de nuevos medios y puestos de trabajo o la remodelación de los mismos, y están en la obligación de someterlos a la consideración del Comité de Seguridad y Salud Laboral y del Servicio de Seguridad y Salud en el Trabajo, para su correspondiente aprobación.

Los proyectos de altos niveles de peligrosidad, considerados como tales por las normas técnicas de la presente Ley, deben ser registrados y sometidos a la aprobación del Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales.

La forma, condiciones y contenidos del registro y aprobación serán establecidos en las normas técnicas correspondientes.”

## 2.13.2. REGLAMENTO DE LAS CONDICIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

En el reglamento de las condiciones de higiene y seguridad en el trabajo publicado en el decreto numero 1.290 - 18 de diciembre de 1968 reza en su capítulo VII lo siguiente:

“De los Ruidos y Vibraciones”

Artículo 137. En todo sitio de trabajo se eliminarán o limitarán los ruidos y vibraciones que puedan ocasionar trastornos físicos o mentales a la salud de los trabajadores.

Artículo 138. En los sitios o locales donde existan niveles de ruido sostenidos, de frecuencia superior a 500 ciclos por segundo e intensidad mayor de 85 decibeles, y sea imposible eliminarlos o limitarlos el patrono deberá suministrar equipo protector adecuado para aquellos trabajadores que estén expuestos a esas condiciones durante su jornada de trabajo. Para frecuencias inferiores a 500 ciclos por segundo, el límite superior de intensidad podrá ser hasta de 95 decibeles. Para niveles mayores de 95 decibeles, independientemente del tiempo de exposición y la frecuencia, deberá suministrarse equipo protector adecuado.

Artículo 139. Cuando las medidas precedentes resultaren insuficientes para eliminar la fatiga nerviosa u otros trastornos orgánicos de los trabajadores, se les concederá pausas de reposo sistemático o de rotación en sus labores, de manera de evitar tales trastornos.

Artículo 140. En las oficinas y lugares de trabajo donde predomine la labor intelectual, los niveles sonoros (ruidos) no podrán ser mayores de 70 decibeles independientemente de la frecuencia y tiempo de exposición.”

Como se puede ver en este reglamento son más específicos que la en cuanto a los niveles de exposición

## 2.13.3. NORMA COVENIN

En la Norma COVENIN 1565:1995(3<sup>ra</sup> Revisión) podemos encontrar los valores de límites de umbral de exposición.

Duración de la Exposición	Nivel de Sonido dBA
<b>Horas</b>	
8	85
4	88
2	91
1	94
<b>Minutos</b>	
30	97
1,5	100
7,5	103
3,75	106
1,88	109
0,94	112
<b>Segundos</b>	
28,12	115
14,06	118
7,03	121
3,52	124
1,76	127
0,88	130
0,44	133
0,22	136
0,11	139

**Figura 13** Tiempo de exposición. Fuente:

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 3.1. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en el presente trabajo, se divide en tres partes. La primera consiste en la recolección de los datos experimentales, la segunda corresponde a la realización de un programa capaz de predecir la distribución de los niveles de presión sonora y la última se refiere a la evaluación del desempeño del programa basado en literaturas especializadas para predecir los niveles de presión sonora, comparándolos con los datos experimentales generados.

Previamente a la elaboración de este Trabajo de Grado se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el fin de conocer aspectos fundamentales sobre presión sonora, enfocándose en el tema concerniente al cálculo de presión sonora en recintos cerrados.

Una vez adquirido el conocimiento básico del tema, se procedió a la obtención de los datos. Para ello, fue necesaria la aprobación del acceso a la sala de enfriadores de agua, donde se realizó un levantamiento planimétrico, para así poder establecer un eje de coordenadas que facilitara la ubicación de los puntos en el campo. Aunado a esto, se procedió a hacer un chequeo a nuestro equipo de medición, que en este caso era un sonómetro, esto como requisito según las normas internacionales tales como American National Standards Institute (ANSI) Standard for sound level Meters S1.4-1983; International Electrotechnical Commission (IEC) 651-1979 for sound Level Meters; IEC 804-1985 for Integrating Sound Level Meters y se plasmaron los puntos en la superficie de las salas, para así tener referencia de la ubicación del sonómetro. Una vez realizado los puntos en la sala, se instaló el sonómetro de acuerdo a la norma COVENIN 1565:1995 ruido ocupacional programa de conservación auditiva, niveles permisibles criterios de evaluación y la norma ANSI/ASME PTC 36-1985

measurement of industrial sound, procediendo a tomar los datos en un tiempo de duración de un minuto para cada punto a evaluar, como para la caracterización de la fuente y igualmente para la caracterización por bandas de octava.

Una vez finalizadas las pruebas experimentales, se realizó el procesamiento de datos, para el cual se requirió el programa que previamente se diseñó y el cual era el objetivo de este Trabajo Especial de Grado, cuyo nombre es: DIPRESON (Distribución de Presión Sonora).

Ahora y con más detalle se explican los pasos que se llevaron a cabo para un mayor y más fácil entendimiento.

### 3.2. CALIBRACIÓN DEL SONÓMETRO

Al momento de comenzar cualquier recolección de data experimental, es primordial el funcionamiento del sonómetro a trabajar, chequear la última calibración del sonómetro avalado por normas internacionales como (ANSI) Standard for sound level Meters S1.4-1983; (IEC) 651-1979 for sound Level Meters; IEC 804-1985 for Integrating Sound Level Meters, esto debido a la precisión del equipo que puede verse alterado en el transcurso de un año; igualmente los implementos que faciliten su funcionamiento adecuado, tales como: El trípode, cuya función es mantener el sonómetro estable a una altura deseada y permite que el usuario no altere los niveles de presión sonora con su cercanía. El protector de viento, como ya antes mencionado, evita valores erróneos debido a efectos de viento y de igual forma el nivel de carga de las baterías del sonómetro, ya que cada inspección se puede prolongar en un período extenso de tiempo.

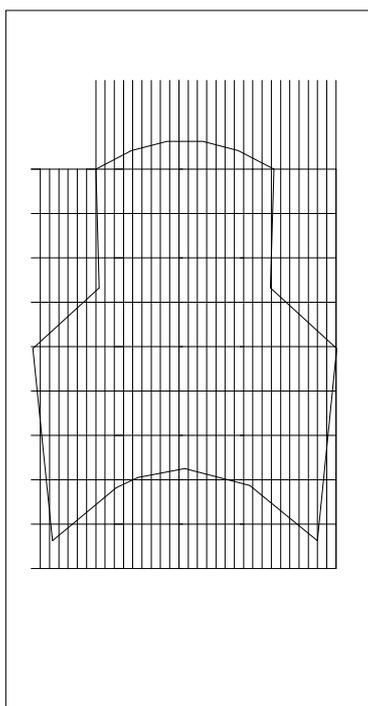
### 3.3. TIPOS DE FUENTES

Se realizó una evaluación previa de la sala, esto es un reconocimiento inicial del lugar para conocer la descripción de los materiales usados en las construcciones y las características de operación de las fuentes de ruido; así como también, la ubicación física, tipo de fuente, modelo, marca y su capacidad de trabajo durante toda la jornada de trabajo.

### 3.4. LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO

Primeramente, se procedió a realizar la medición de la sala a estudiar mediante el uso de un instrumento específico. Una vez realizado el levantamiento, se digitalizó los planos mediante un programa asistido por computadora (Foto 1). Seguidamente en la figura 13 se establece a conveniencia un sistema de referencia de dos ejes, un eje vertical y un eje horizontal identificados ambos ejes numéricamente. Posterior a ello, se cuadrículó el plano con rectas, con una separación de un metro a escala real completando cincuenta de largo por cincuenta ancho y de este modo se establecen coordenadas fáciles de ubicar. Una vez realizado los planos cuadrículados se accedió a las salas de enfriadores de aire acondicionado para plasmar todos los puntos a evaluar en la superficie de esta (Foto 2).





**Figura 14. Plano del aula magna UCV, cuadrículado en los ejes y enumerado a conveniencia.**

**Fuente: Los Autores**



**Foto 2. Puntos del plano en el campo mediante tiza reflejado en la figura en forma de cruz.**

**Fuente: Los Autores**

### 3.5. INSTALACIÓN DEL SONÓMETRO

Se colocó en el sonómetro un dispositivo de protección contra viento (Foto 3). Luego se ajustó el sonómetro sobre el trípode a una altura de 1,20 metros. Seguido a esto se procedió a tomar las medidas en diferentes puntos de la cuadrícula previamente diseñada, durante un minuto de tiempo en cada punto. Dichas medidas fueron tomadas con el sonómetro en un rango de 50-120 dB, se seleccionó la ponderación A y respuesta dinámica lenta (SLOW) recomendado por la norma COVENIN 1565:1995.

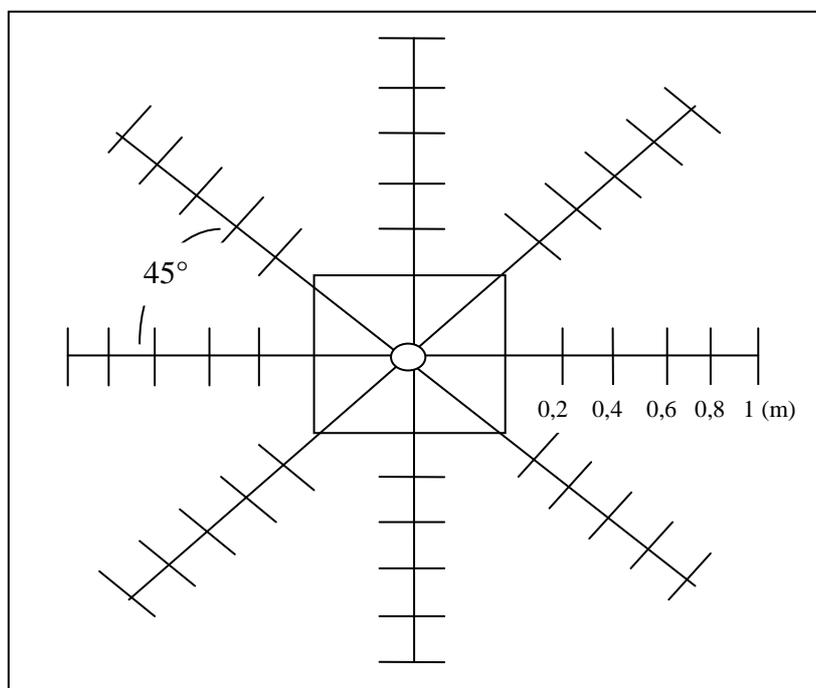


**Foto 3. Sonómetro marca Quest modelo 1900 con el protector contra viento. Fuente: Los**

**Autores**

### 3.6. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES

Para poder obtener los niveles de presión sonora de cada fuente se manejó la norma COVENIN 1565:1995 y la norma ANSI/ASME PTC 36-1985 donde se recomienda medir a una distancia de 0,2 m de la fuente y de la pared, mínimo a una distancia de 1m. Posteriormente, se buscó el centro de la fuente y se trazaron ocho rectas de cuarenta y cinco grados ( $45^\circ$ ) entre sí, a una distancia de 1 m de la fuente, proporcionando mayores valores que los que pide las normas y brindando así mayor exactitud. De este modo, se trazaron en cada recta cinco puntos a 20 cm de separación para poder tener un total por fuente, de cuarenta puntos de evaluación (Figura 15). Para fines de análisis por bandas de frecuencias, se realizó siguiendo el procedimiento descrito por la norma COVENIN 1565-1995 analizando de 16 hasta 16000 hertz en tercio de octavas.



**Figura 15. Técnica para caracterizar las fuentes de ruido. Fuente: Los Autores**

### 3.7. RECOPIACIÓN DE DATOS

Una vez obtenido los valores, se realizó manualmente una tabla donde se presentaron valores de nivel de presión sonora  $L_p$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$ ,  $L_5$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{90}$ , y posteriormente se realizaron gráficas ilustrativas para la caracterización de las fuentes.

### 3.8. REALIZACIÓN DEL PROGRAMA.

El programa fue realizado mediante el lenguaje de programación Microsoft Visual Estudio C#, se realizó una interfaz gráfica que permite la selección de dos procedimientos de predicción de niveles de presión sonora, uno estima teóricamente y el otro de manera experimental.

La estimación teórica se realizó de la siguiente manera:

Primero se determinó la constante de absorción de la sala mediante el ingreso de todas las áreas involucradas (suelo, piso, paredes) y su respectivo material. El material nos permitió la selección de la constante  $\alpha$ ; en nuestro caso, esta se reemplazó por el factor NRC. Luego, se determinó la absorción en sabinos de cada área mediante la siguiente expresión:

$$\text{Absorción de cada superficie} = S * \alpha \quad (37)$$

Posteriormente, fueron sumadas las absorciones de cada superficie para obtener un total y se sumaron todas las áreas para conocer la superficie total de la sala.

Después de la obtención de estos totales se procedió al cálculo del factor de absorción promedio del local mediante el uso de la siguiente expresión:

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{S_T} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{S_T} \quad (38)$$

Con el cálculo de la absorción promedio se determinó la constante absorbente del local (R) mediante el uso de la ecuación:

$$R = \frac{A}{1 - \bar{\alpha}} \quad (39)$$

Seguidamente se introdujo la ubicación de cada una de las fuentes y sus respectivos niveles de potencia sonora ( $L_w$ ), al igual que sus factores de directividad.

Con estos datos se determinó individualmente los niveles de presión sonora  $L_p$  en cada punto de la sala, estos fueron en la memoria ram del computador mediante la expresión:

$$L_p = L_w + 10 \text{Log} \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \text{dB} \quad (40)$$

Una vez calculados los niveles de presión sonora en cada punto de la sala, fueron sumados de forma logarítmica para obtener el nivel de presión sonora total puntual, para esta operación fue usada la siguiente ecuación:

$$L_{Total} = 10 * \text{Log} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \quad (41)$$

Y por último se procedió al análisis de los valores obtenidos, dándole al valor mínimo el color rojo y al máximo el color amarillo, al igual que se degradó los colores para ser asignados a valores intermedios, culminando de esta forma lo concerniente a la estimación teórica.

En lo que respecta a estimación experimental el programa se realizó de la siguiente manera:

Se introdujeron los máximos y mínimos valores obtenidos en la evaluación y se procedió a su análisis gráfico, al igual que en la estimación teórica. Después se elaboró el plano de la sala en la interfaz gráfica, en donde posteriormente se colocaron las fuentes de ruido.

Luego que se realizó el levantamiento del plano y el análisis de los niveles de presión sonora, se colocaron uno a uno los niveles de presión obtenidos en la

evaluación previa. Por último cuando se termino de introducir los valores se pudo ver gráficamente los resultados obtenidos mediante la evaluación.

Y por último se valido los resultados obtenidos por el programa mediante un estudio errores y dispersiones. Basándonos en las siguientes ecuaciones:

El error porcentual promedio ( $E_1$ ):

$$E_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i \quad (42)$$

Donde :

$$\varphi_i = \left( \frac{H_{L_{calc}} - H_{L_{exp}}}{H_{L_{exp}}} \right) \cdot 100 \quad (43)$$

$n$  = Número de datos experimentales

El error porcentual absoluto promedio  $E_2$ :

$$E_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\varphi_i| \quad (44)$$

La desviación estándar del error porcentual promedio  $E_3$ :

$$E_3 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varphi_i - E_1)^2} \quad (45)$$

## **CAPITULO IV**

### **PROGRAMA DE ANÁLISIS DE DATO DE RUIDO PARA PREDECIR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN UNA SALA DE MÁQUINA**

#### **4.1. PROGRAMA PARA ANÁLISIS DE DATOS DE RUIDO**

Luego de realizar la recopilación bibliográfica y normativa existente, se realizó una metodología para la caracterización de las fuentes de ruido y la evaluación de los niveles de presión sonora en salas de máquinas, en este proceso pudimos notar que el tiempo de evaluación y posterior análisis de resultados es muy amplio.

En los proyectos de ingeniería, el tiempo es un factor importante y determinante en el costo y recursos utilizados en dicho proyecto. La higiene y seguridad industrial no escapa a la influencia de este factor; por tal motivo, el hombre se ha visto en la necesidad de implementar la tecnología existente para minimizar la consecuencia de dicha variable.

Razón por la cual, uno de los objetivos de este proyecto es el poder plantear un procedimiento metodológico para la toma de datos experimentales de niveles de presión sonora y su análisis mediante el uso de un computador, al igual que el uso de este para predecir la distribución de estos niveles de ruido en salas de máquinas. Para tal fin, se diseñó un programa que facilita el análisis y calcula dicha distribución. Esto trae una disminución en los tiempos de estudio, una mejor precisión en los cálculos y ayuda en la toma de decisiones tecno-económicas.

#### 4.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA ANÁLISIS DE DATOS DE RUIDO

Un Diagrama de Flujo representa la esquematización gráfica de un algoritmo, el cual muestra gráficamente los pasos o procesos a seguir para alcanzar la solución de un problema . Su correcta construcción es sumamente importante porque, a partir del mismo se puede escribir el programa en lenguaje. Si este está completo y correcto, el paso de este a un lenguaje de programación es relativamente simple y directo. Es importante resaltar que el diagrama de flujo muestra el sistema como una red de procesos funcionales conectados entre sí, permitiendo describir el movimiento de los datos a través del sistema.

El desarrollo del diagrama de flujo para DIPRESON sigue un orden secuencial, facilitando el manejo de las diferentes variables que intervienen en el proceso de distribución del ruido en el interior de una sala de máquinas.

#### 4.3. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN USADO

El lenguaje de programación escogido para la realización de este Trabajo de Grado, fue el Microsoft Visual Estudio C#, el cual es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado y estandarizado como parte de su plataforma .NET.

Los programas creados en Visual Estudio funcionan en ambiente Windows. Este lenguaje está estructurado en bloques o módulos, y permite crear ventanas, botones, menús, etc. de forma sencilla con solo arrastrar y soltar los elementos. Luego se pueden definir las apariencias, posiciones y comportamientos tanto de forma visual como utilizando códigos de programación.

Visual Estudio C# cuenta con el sistema RAD (Rapid Application Development), permitiendo la creación de aplicaciones de forma rápida, dando una ventaja en la realización de prototipos.

#### 4.4. ALGORITMO DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA

Paso 1: Inicio Algoritmo

Estimación Teórica

Paso 2: Ingreso del área del suelo de la sala.

Paso 3: Ingreso del tipo material del suelo de la sala.

Paso 4: Ingreso del área del techo de la sala.

Paso 5: Ingresos del tipo material del techo de la sala.

Paso 6: Trazado de pared.

Paso 7: Ingreso del área de pared.

Paso 8: Ingreso de tipo de material de la pared.

Del paso 6 al paso 8 debe ser repetido tantas veces como paredes conformen la sala.

Paso 9: Ubicar la fuente de ruido

Paso 10: Ingresar su factor de directividad.

Paso 11: Ingresar  $L_w$  de la fuente.

Del paso 9 al paso 11 debe ser repetido tantas veces como fuentes sonoras posea la sala.

Paso 12: Estimación de los niveles de presión sonora en toda la sala

Paso 13: Presentar resultados.

Estimación Experimental

Paso 1: Ingreso del valor máximo (dB) de la sala

Paso 2: Ingreso del valor mínimo (dB) de la sala

Paso 3: Trazado de pared.

El paso uno debe ser realizado tantas veces como paredes conformen la sala.

Paso 4: Ingreso de los valor obtenidos por la evaluación de ruido.

Paso 5: Presentar resultados

Código fuente en Anexos

#### 4.5. EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE PREDICCIÓN DE NIVELES DE RUIDO EN SALAS DE MÁQUINAS.

Para presentar el funcionamiento de este programa, se tomará como ejemplo la evaluación realizada a la sala de máquinas de aire acondicionado del Aula Magna de la U.C.V., permitiendo mostrar la efectividad de su uso en la predicción de niveles de presión sonora.

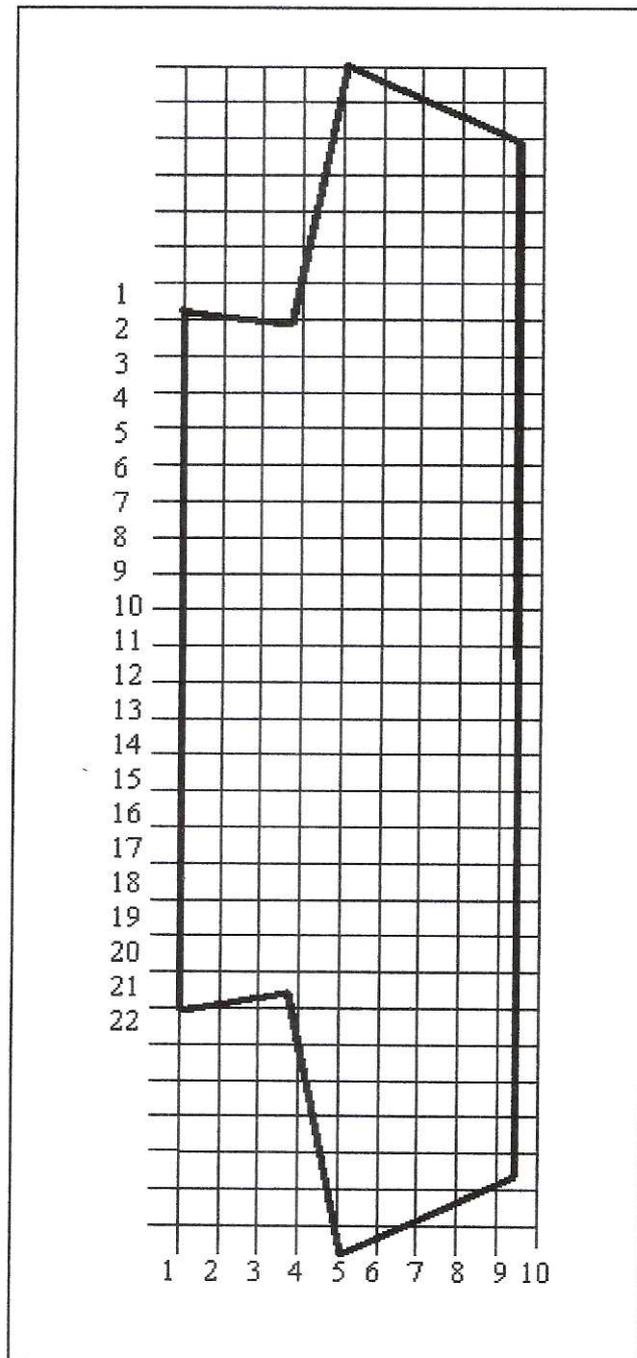
Luego de realizar la metodología para la evaluación de los niveles de presión sonora de esta sala de máquina, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tipos de Fuentes:

- Cuatro Bombas centrifuga, Marca Westinghouse, potencia de 25 Hp, 2925 RPM. Serial: 1-1353035
- Un enfriador de agua para aire acondicionado marca York modelo.

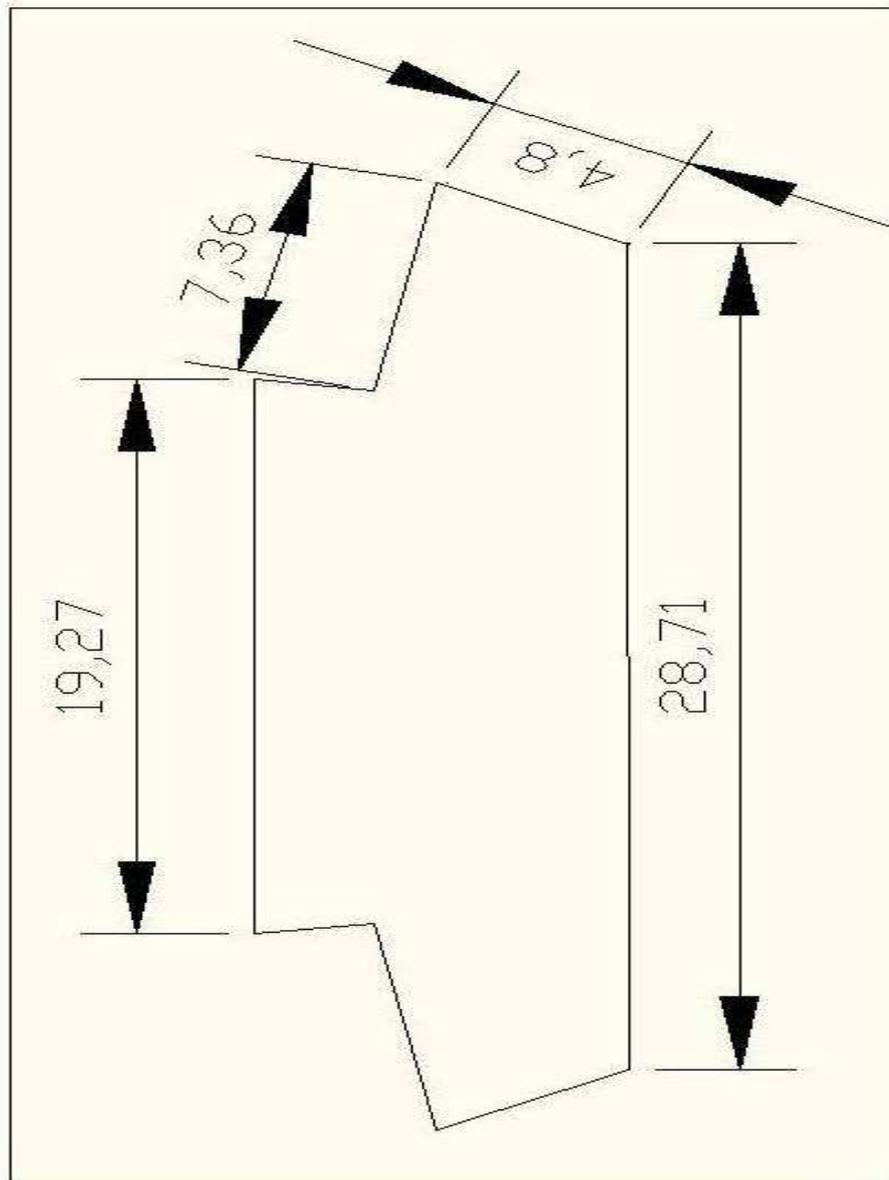
Levantamiento Planimétrico

- Área total del suelo 214,605 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Área total del techo 214,605 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Pared 1: longitud 4,8 m, área 25,92 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Pared 2: longitud 33,87 m, área 182,89 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Pared 3: longitud 4,8 m, área 25,92 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Pared 4: longitud 7,3 m, área 39,92 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Pared 5: longitud 2,7 m, área 14,58 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Pared 6: longitud 19,27 m, área 104,05 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Pared 5: longitud 2,7 m, área 14,58 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.
- Pared 4: longitud 7,3 m, área 39,92 m<sup>2</sup>, material hormigón sin pintar.



**Figura 16. Levantamiento planimétrico sala aula magna U.C.V.**

**Fuente: Los Autores**



**Figura 17. Levantamiento planimétrico (2) sala aula magna U.C.V.**

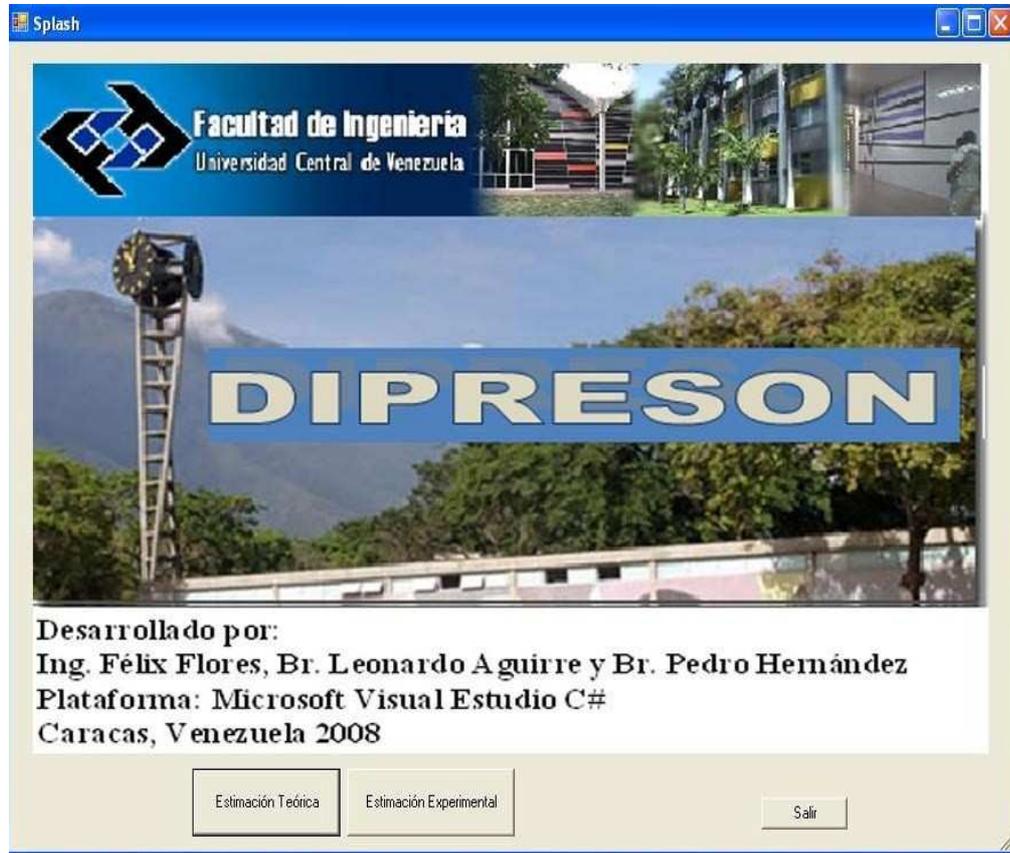
**Fuente: Los Autores**

Dimensiones de las fuentes:

- Las cuatro bombas con su respectivo motor, sus dimensiones poseen un valor estimado de 1 x 1,6 m
- El enfriador de agua tiene unas dimensiones de 3,5 x 5,3

Los datos experimentales se encuentran en el capítulo de análisis de resultados.

Al ejecutar el programa se desplegará la ventana de inicio del mismo, presentada a continuación:



**Figura 18. Ventana de inicio del programa de distribución de presión sonora.**

**Fuente: Los Autores**

Este programa permite el análisis de datos de dos formas diferentes una por medio de ecuaciones, llamada “Estimación Teórica” y otra producto de una evaluación de ruido previamente realizada, llamada “Estimación Experimental”, por tal motivo el programa en su ventana de inicio permite la selección de una de estas dos opciones y botón de salida, que como su nombre lo indica, cancela la ejecución del programa.

#### 4.6. ESTIMACIÓN TEÓRICA

El primer paso en la estimación teórica es el ingreso del valor de área del suelo de la sala al igual que la selección del tipo de material de este.



Figura 19. Ventana de ingreso del área del piso.

Fuente: Los Autores

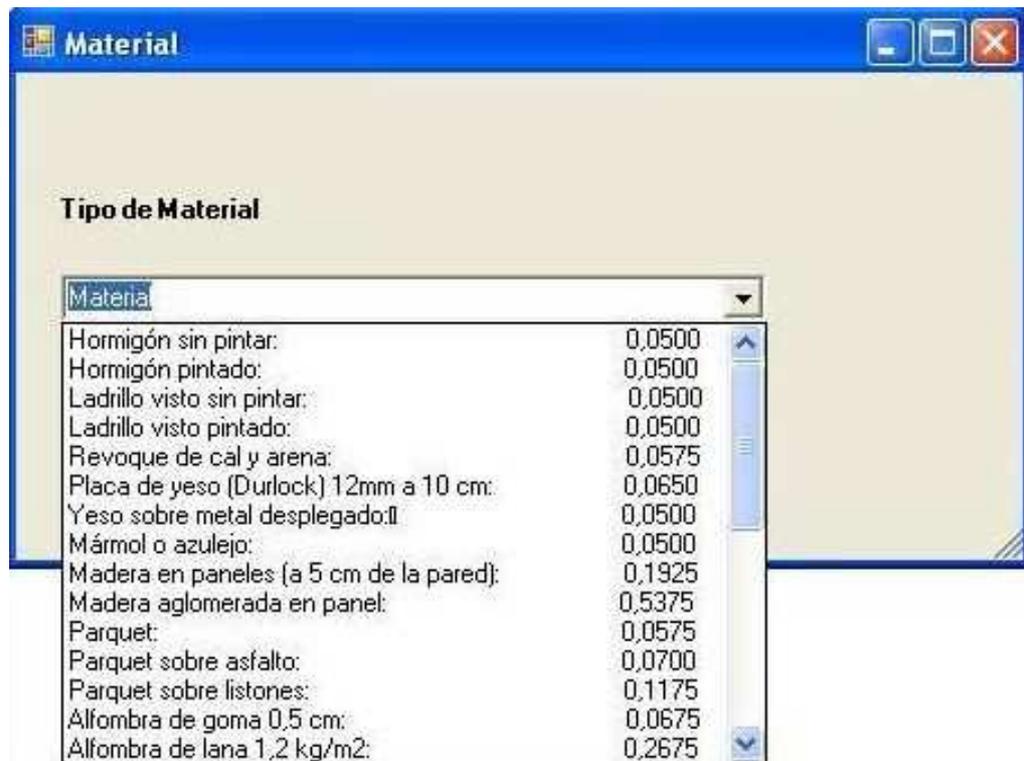


Figura 20. Ventana de ingreso del tipo de material del piso.

Fuente: Los Autores

Posteriormente se debe ingresar los datos del techo de la sala

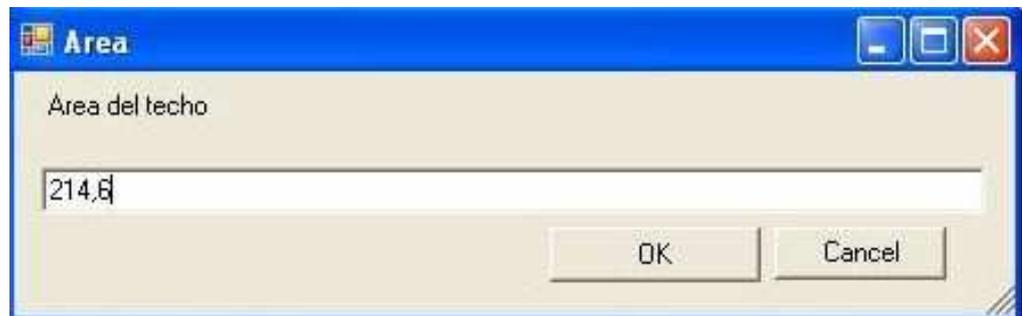


Figura 21. Ventana de ingreso del área del techo. Fuente: Los Autores

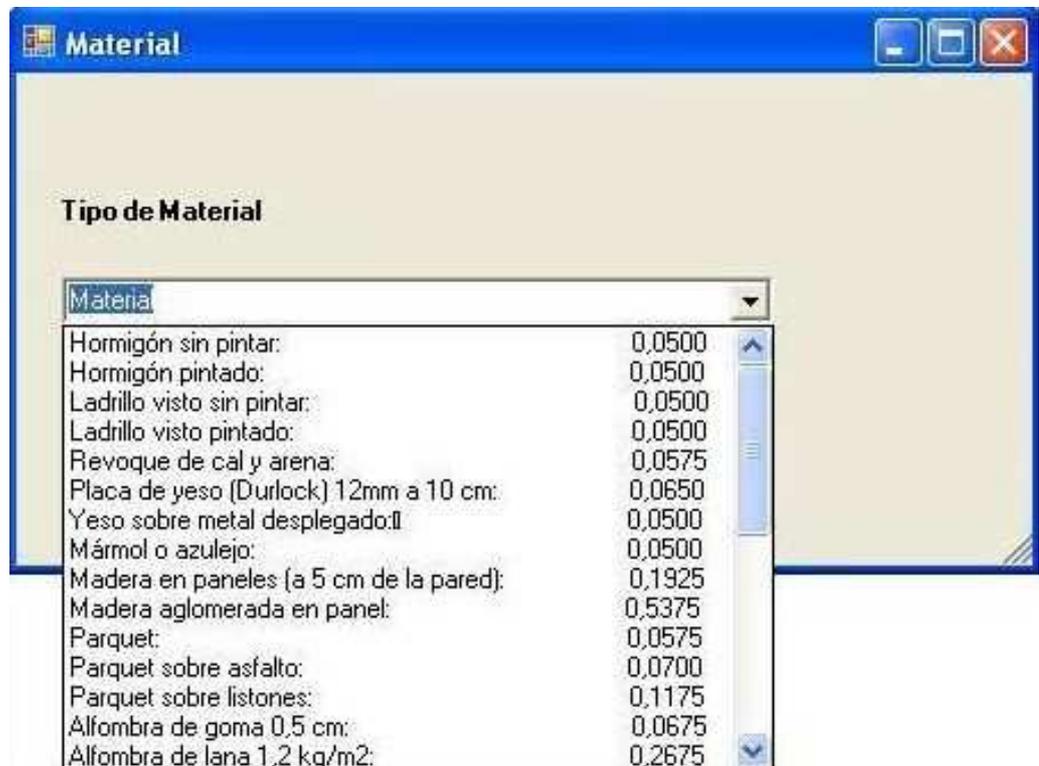
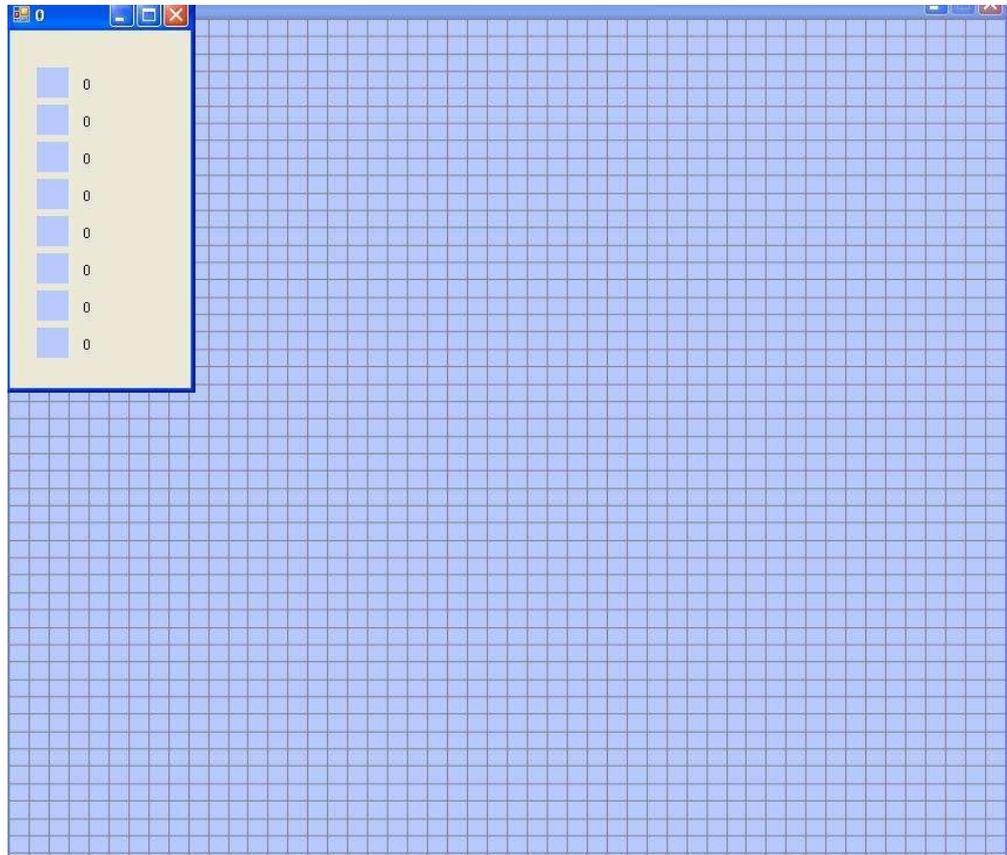


Figura 22. Ventana de ingreso del tipo de material del techo. Fuente: Los Autores

Luego se nos presentará una ventana cuadriculada donde se levantará el plano de la sala, al igual que una pequeña ventana que presentara la leyenda del mapa de ruido.



**Figura 23. Ventana de ingreso del plano de sala. Fuente: Los Autores**

En parte del programa se deben introducir todas las paredes de la sala con sus respectivos valores de adsorción. El procedimiento para realizar una recta es: dar clic con el botón izquierdo del ratón en el inicio de la pared y luego volvemos a dar clic al ratón en punto final de la pared. Para ejemplificar este procedimiento se realizará solo una de las paredes de la sala y posteriormente se presentará la sala en su totalidad.

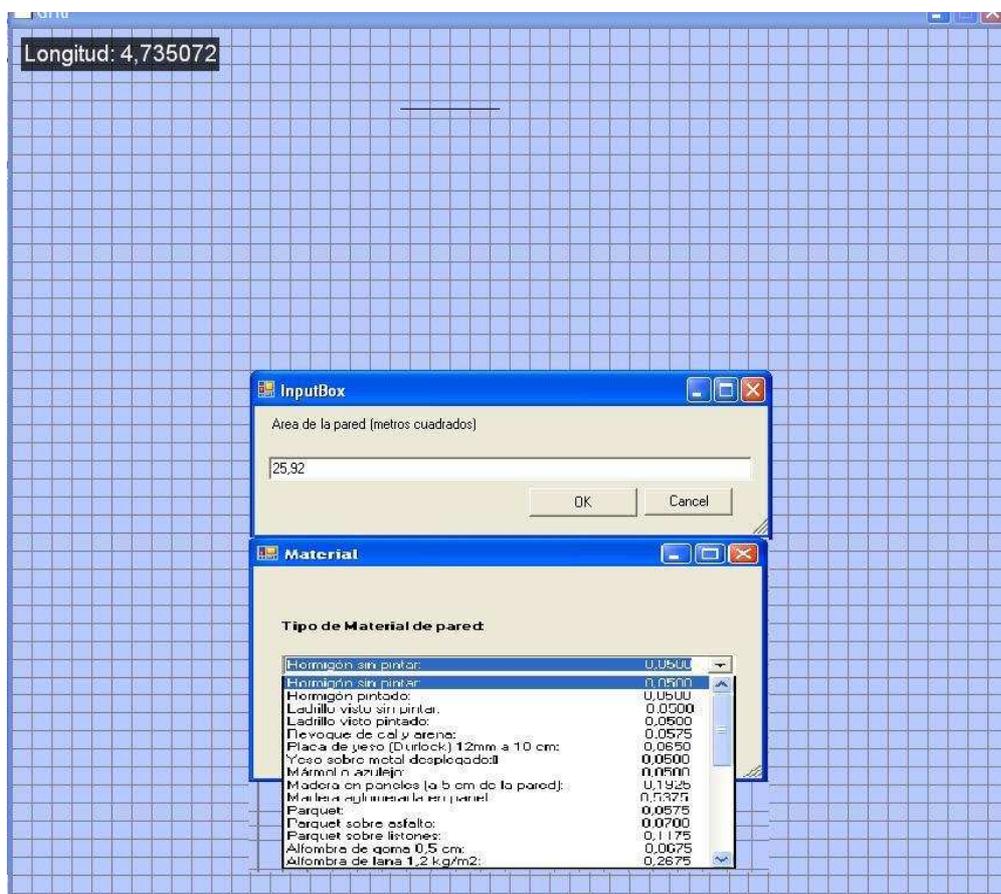
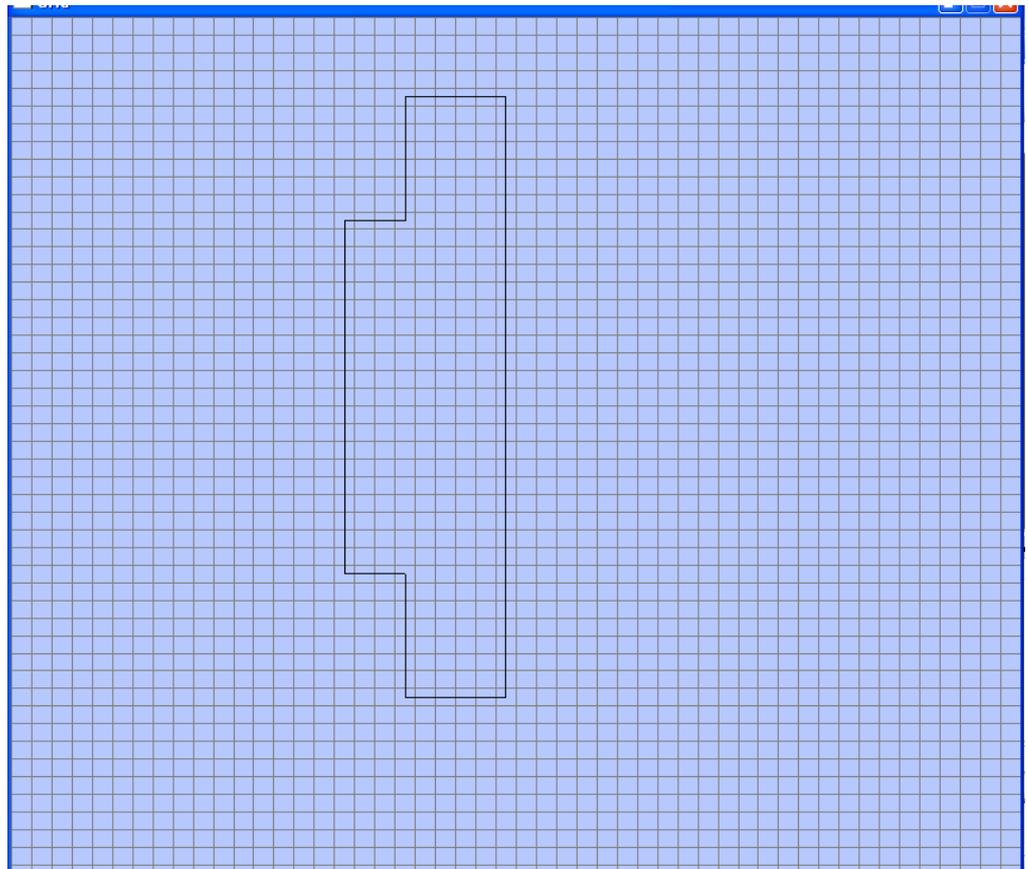


Figura 24. Ventana de ingreso de las paredes de la sala. Fuente: Los Autores

Plano culminado de la sala de la U.C.V.



**Figura 25. Imagen del plano terminado de la U.C.V. Fuente: Los Autores**

El siguiente paso corresponde a la ubicación de las fuentes de ruido en la sala y sus respectivas variables presentes en el proceso. Para ubicar las fuentes se debe hacer clic con el botón derecho del ratón en la cuadrícula donde se encuentre un extremo de la fuente y luego se hace clic con el botón derecho del ratón en el extremo opuesto a este vértice, delimitando de esta forma la dimensión completa de la fuente. Al igual que en el paso anterior a continuación se presenta el proceso para colocar solo una de las fuentes, posteriormente será presentado el plano con la totalidad de las mismas.

El primer caso es seleccionar las cuadrículas en las cuales se encuentra la fuente y posteriormente se nos presenta la selección del factor de directividad  $Q$ .

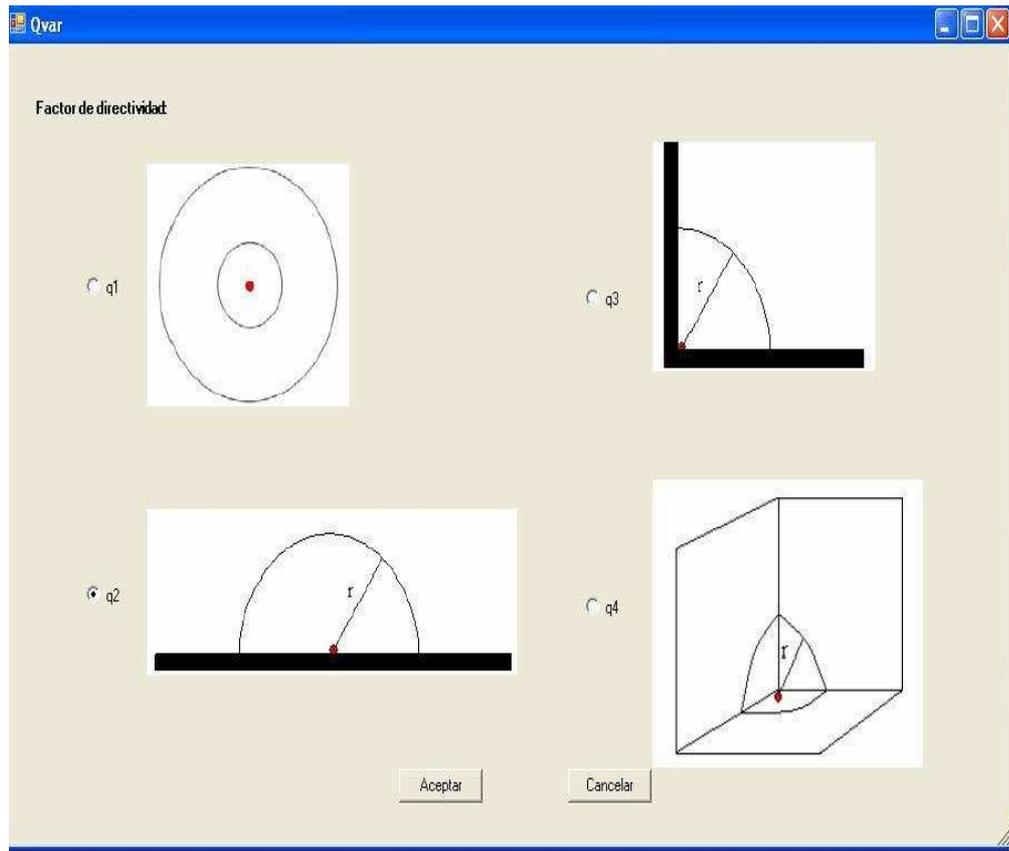
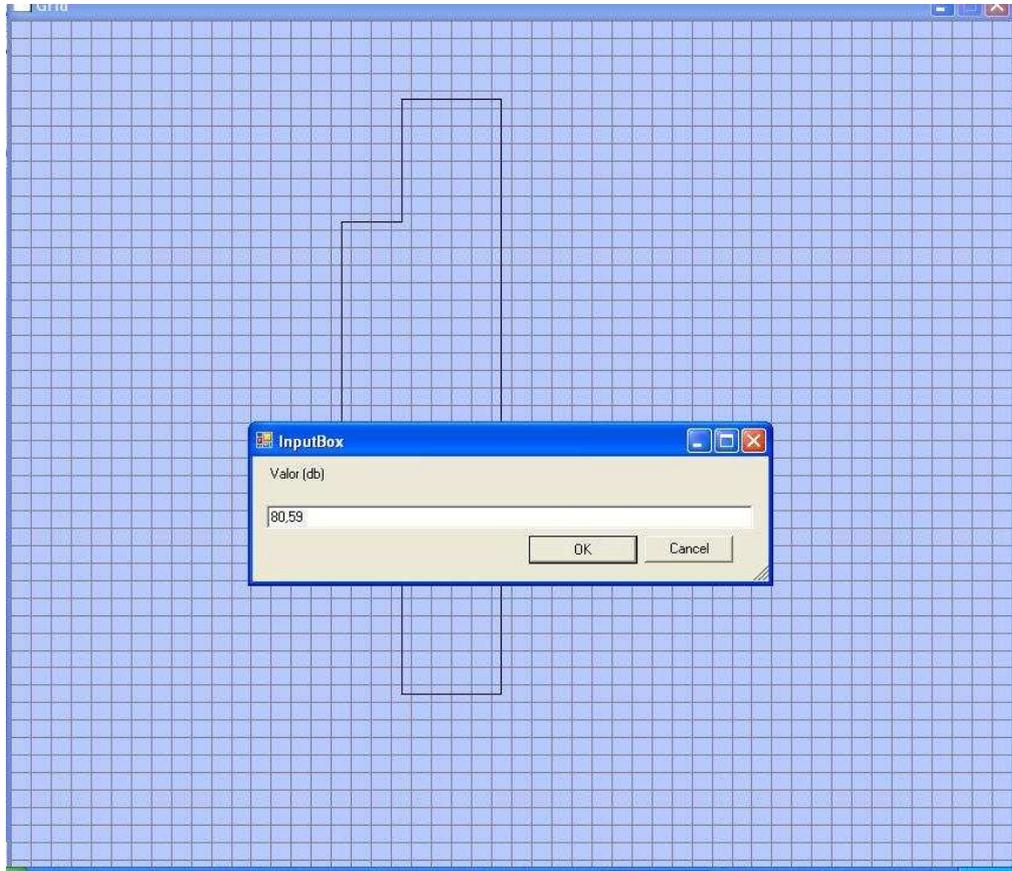


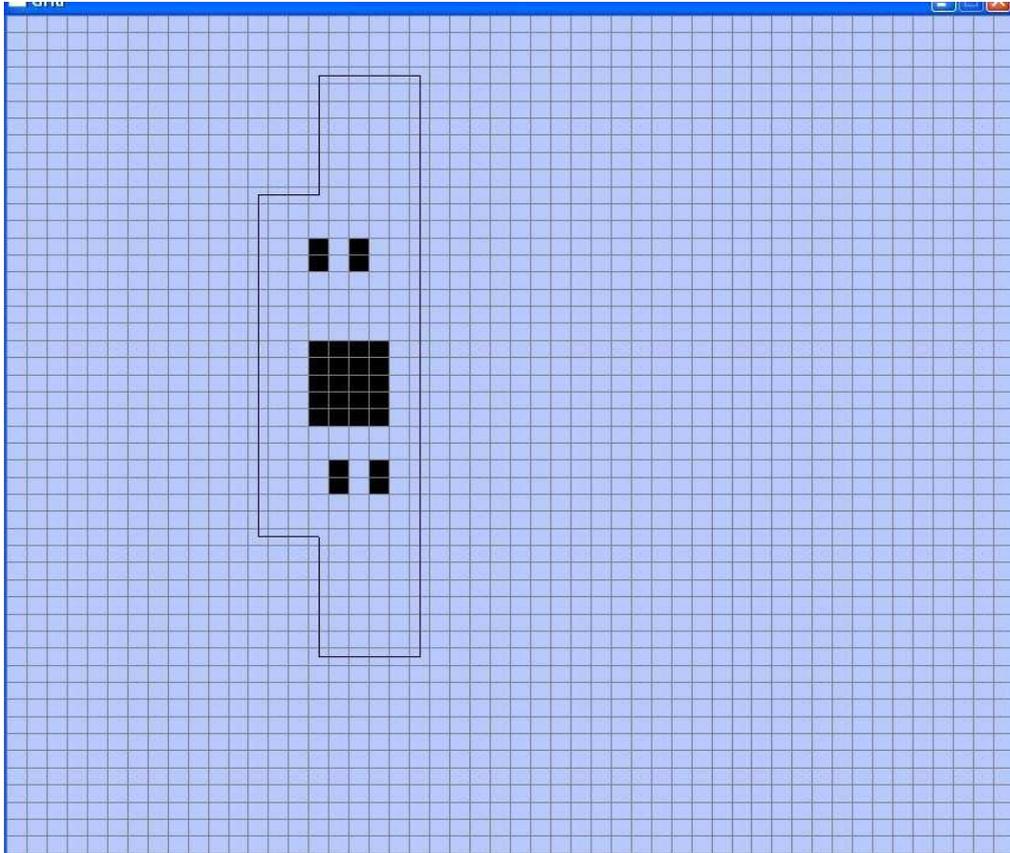
Figura 26. Ventana de selección del tipo del factor de directividad. Fuente: Los Autores

El siguiente valor a ingresar es el  $L_w$  de la fuente



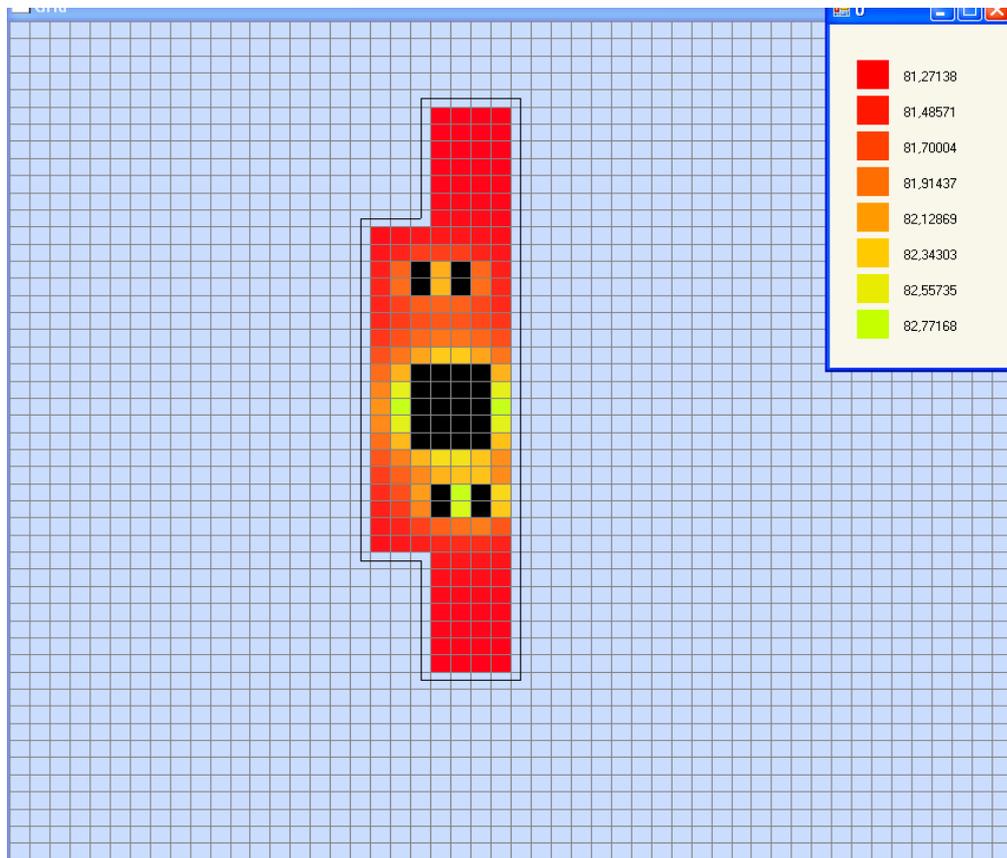
**Figura 27. Ventana de ingreso de  $L_w$  de la fuente. Fuente: Los Autores**

Después de introducir todas las fuentes que en el caso particular de la sala de máquinas del Aula Magna de la U.C.V. son 5, obtenemos.



**Figura 28. Ventana de solo fuente sala de máquinas U.C.V. Fuente: Los Autores**

Luego que las fuentes fueron colocadas en su lugar, el programa calculará la distribución de los niveles de presión; para esto es necesario el oprimir la tecla “Espaciadora” en el teclado . Dando como resultado en este caso, lo siguiente:



**Figura 29. Imagen que muestra la distribución de los niveles de presión calculado sala de máquinas U.C.V. Fuente: Los Autores**

De esta manera el programa calcula la distribución de niveles de presión sonora dentro de una sala de máquinas. Si se quiere conocer el valor exacto del nivel de presión sonora de cada una de las celdas, se obtiene oprimiendo la tecla “shift” y se desplaza el cursor del ratón sobre las celdas deseadas y una pequeña ventana en la parte superior izquierda nos mostrará el respectivo valor en dB(A) y su coordenada. Otro de resultados que arroja este programa es la recomendación el control de niveles de ruido o el uso de protección auditiva, en caso de que los valores no cumplan con lo establecido en la normativa COVENIN 1565:95.



Figura 30. Alerta de error. Fuente: Los Autores

#### 4.7. ESTIMACIÓN EXPERIMENTAL

En la estimación experimental este programa permite, poder visualizar los niveles previamente obtenidos de una manera gráfica, mediante el uso de colores y el levantamiento de un plano de en la ventana del programa, permitiendo una visualización y manejo de dichos valores de una manera más cómoda, herramienta muy útil cuando se poseen una gran cantidad de mediciones.

En esta sesión del programa primero debemos ingresar los valores máximos y mínimos obtenidos en las evaluaciones; en nuestro caso de ejemplo, los valores son  $\text{max}=86,1 \text{ dB(A)}$  y  $\text{min}= 92,8 \text{ dB(A)}$ , estos valores se introducen en las ventanas que se despliegan después de la selección de dicha opción.

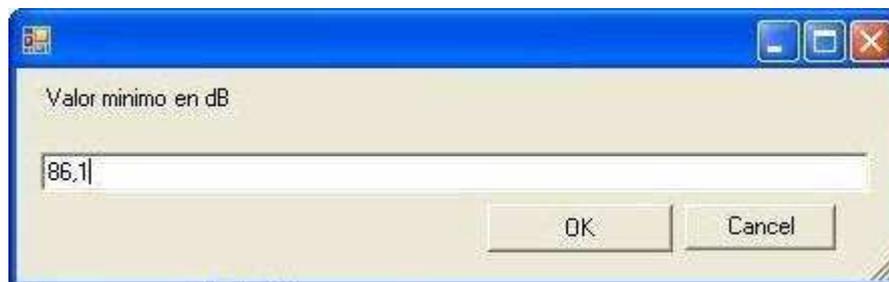
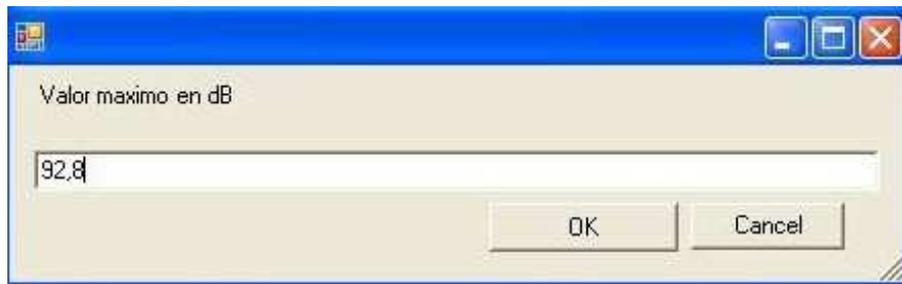


Figura 31. Ventana de ingreso del valor de presión sonora mínimo en la sala. Fuente: Los Autores



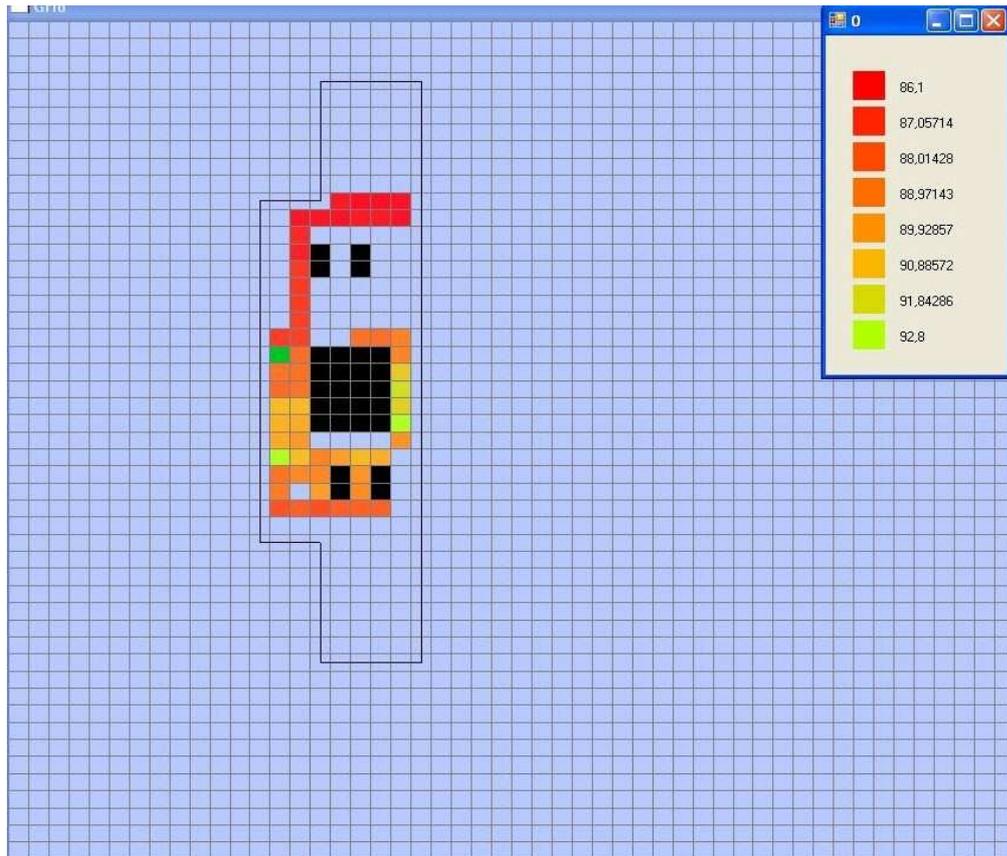
**Figura 32. Ventana de ingreso del valor de presión sonora máximo en la sala. Fuente: Los Autores**

Luego se desplegará una ventana igual a la ventana de ingreso del plano de la sala de la sección anterior (Fig. 23) con la variante, que se desplegará la leyenda de valores con los valores máximos y mínimos establecidos previamente.

El ingreso de los valores correspondientes a las paredes de la sala, se realiza de la misma manera que para la estimación teórica, solo que en este caso no se pedirá el tipo de material que conforma la pared. (Fig. 25).

Luego debemos ubicar las fuentes sobre el plano de la misma manera que el caso anterior.(Fig. 28)

Por último se introducirán uno a uno los valores obtenidos en la evaluación de la salas, dando doble click con el botón izquierdo del ratón hasta culminar todos los puntos evaluados.



**Figura 33. Imagen que muestra ingreso de los valores de los niveles de presión sonora, evaluados en sala de máquinas U.C.V. Fuente: Los Autores**

## **CAPÍTULO V**

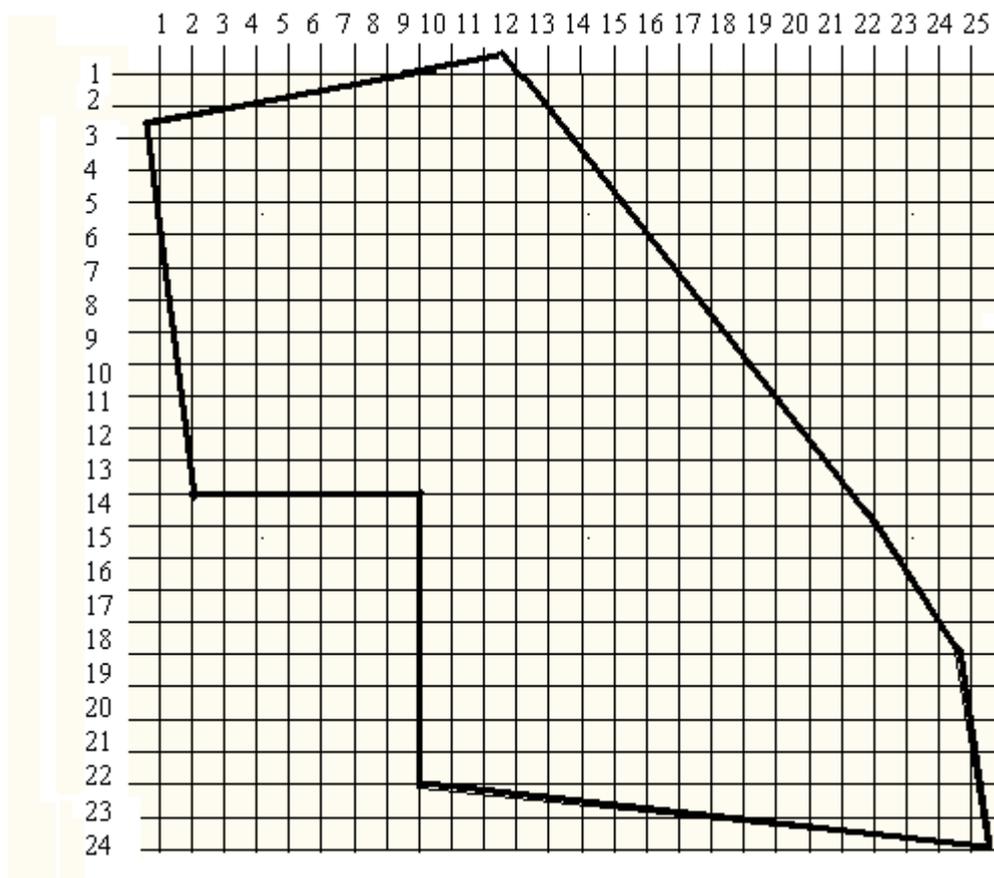
### **RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez puesto en práctica cada una de las técnicas experimentales descritas en el capítulo metodológico se muestran a continuación los resultados con sus análisis.

#### **5.1. VALORES EXPERIMENTALES**

En este trabajo de investigación se realizaron dos evaluaciones: una en el Hotel Paseo las Mercedes, ubicado en la avenida principal de las Mercedes y la otra en el Aula Magna de la Universidad Central de Venezuela (UCV)

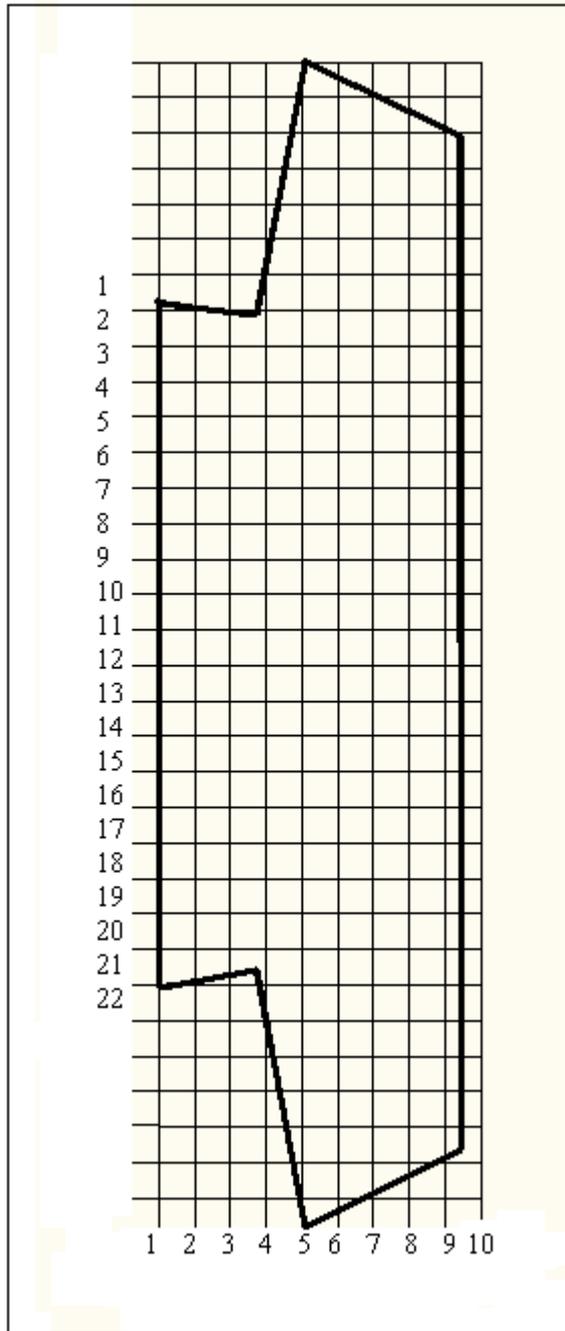
A continuación se presentan las tablas de las salas del Hotel Paseo las Mercedes (Tabla 14) y Aula Magna-UCV (Tabla 15), donde los valores son expuestos de manera matricial para facilitar su ubicación y entendimiento en los planos reales como en la Fig.34 y Fig.35, obteniendo los puntos mediante el sonómetro marca QUEST a un metro cuadrado ( $1\text{m}^2$ ) de separación.



**Figura 34. Plano del “Hotel Paseo las Mercedes”, con separación de 1m<sup>2</sup> y con coordenadas numéricas. Fuente: Los Autores**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1		85,6	85,7	84,9	84,2	84,0																		
2		87,4	86,1	87,5	86,3	85,8	83,1	84,2	87,5															
3		86,6	87,3	84,6	84,9	85,6		84,8	84,4	85,0	83,9													
4		85,5	88,8	85,5	85,9	86,9	85,6	84,9	89,0			85,9	83,7	89,9										
5	87,4	86,2	86,2	84,9	88,3	85,1	85,2			86,6				85,2	88,5	85,5								
6	85,9	85,9	85,6	85,5	86,9	86,1	83,5				88,3	87,1			84,7	88,5	92,8							
7	85,8	85,5	86,7	86,9	87,9	82,2	85,2	87,9				86,7				87,1	88,1							
8	87,5	89,1	86,8	85,2	84,1	89,1	85,1	88,1				90,0	87,1	87,1										
9	87,4	87,0	87,1		87,4	87,6	85,7	86,2	88,3	87,9		86,4	90,4	87,4		88,4	87,5							
10			88,0			84,8	84,9	91,8	86,5	87,8		88,6	91,7	89,5	87,4	85,9								
11								87,9	91,0	90,0	86,9	89,5	87,1	89,0	91,3	86,0		90,3						
12								89,5	89,2	92,9	89,9	92,3	94,8	93,9	92,0	86,1	88,9	84,0	84,8					
13								87,9	85,8	94,4	85,5	86,7	89,1	88,1	92,4	88,0	88,3	93,0		93,7				
14								92,5			93,5	90,3		89,6	95,2	88,9		93,4	84,3	85,0	90,7			
15								92,1			97,0	91,4		87,6						86,4	92,2			
16								91,4			92,3	89,9		101,2						86,2	86,9			
17								89,9			91,2	94,2		96,0						89,5	88,9	86,9		
18								94,5			96,4	93,1		92,8						86,3	87,3	89,1		
19											94,0	92,0		101,0	98,3					86,8	89,1	87,2	86,6	

**Tabla 14. Hotel Paseo las Mercedes valores en dB(A) con separación de 1m2. Fuente: Los Autores**



**Figura 35.**Plano del Aula Magna con coordenadas numéricas y separación de un m2. Fuente: Los Autores

	1	2	3	4	5	6	7
1				86,8	86,5	86,5	86,1
2		86,7	86,7	86,6	86,8	86,8	86,6
3		87,2					
4		87					
5		87,6					
6		87,6					
7		87,7					
8		87,8					
9	87,7	87,8					
10	88,5	89		89,1	89	89,5	
11	89,2	89,1				89,6	
12	88,9	89,2				91,4	
13	91	91				93	
14	90,8	90,6				91,6	
15	90,6	90,1				92,8	
16	92,7	91,1				90	
17	89,2	89,7	89,7	90,3	91	90,7	
18	89,4		90,3		90		
19	88,3	88,6	88,2	88,6	88,7	88,7	

**Tabla 15. Aula Magna, valores en dB(A) con separación de 1m<sup>2</sup>. Fuente: Los Autores**

## 5.2. VALORES TEÓRICOS

Se muestran en las tablas siguientes los valores calculados mediante el programa DIPRESON. Para ver los resultados gráfica productos de la evaluación con DIPRESON ver anexos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	84,58	84,58	84,47	86,24	86,20	86,18	86,17	86,16	86,15	86,15	86,14	86,14	86,13	86,13	86,12	86,11	86,11	86,1	86,09	86,09	86,09	86,08
2	85,38	85,38	84,71	86,30	86,23	86,20	86,19	86,17	86,17	86,17	86,16	86,15	86,14	86,13	86,13	86,12	86,11	86,11	86,1	86,1	86,09	86,09
3	88,00	88,00	84,23	84,51	86,26	86,22	86,21	86,20	86,20	86,18	86,17	86,17	86,16	86,15	86,14	86,14	86,12	86,12	86,11	86,1	86,1	86,09
4	85,43	85,43	84,76	84,50	86,28	86,25	86,23	86,23	86,22	86,21	86,20	86,19	86,18	86,17	86,15	86,14	86,13	86,12	86,12	86,11	86,1	86,1
5	84,72	84,72	84,60	84,49	86,30	86,28	86,27	86,27	86,27	86,26	86,25	86,23	86,21	86,19	86,17	86,16	86,15	86,14	86,13	86,12	86,11	86,1
6	84,63	84,64	84,68	84,61	84,44	86,32	86,31	86,32	86,34	86,35	86,32	86,28	86,24	86,22	86,19	86,18	86,16	86,15	86,14	86,13	86,12	86,11
7	81,98	84,79	84,70	84,58	84,49	86,36	86,36	86,40	86,51	86,60	86,49	86,36	86,29	86,25	86,22	86,2	86,18	86,16	86,15	86,14	86,13	86,12
8	82,93	82,93	85,00	84,72	84,56	86,42	86,42	86,50	86,91	87,00	86,89	86,45	86,34	86,28	86,25	86,22	86,20	86,18	86,16	86,15	86,13	86,12
9	85,74	85,74	83,39	82,17	84,62	84,50	86,48	86,56	86,96	87,00	86,93	86,5	86,38	86,32	86,28	86,25	86,22	86,2	86,18	86,16	86,14	86,13
10	87,00	87,00	84,17	82,33	81,66	84,51	86,53	86,57	86,68	86,77	86,65	86,51	86,42	86,37	86,32	86,29	86,25	86,23	86,2	86,18	86,16	86,14
11								86,64	86,67	86,67	86,62	86,55	86,48	86,43	86,38	86,34	86,29	86,26	86,22	86,19	86,17	86,15
12								86,38	86,43	86,42	86,36	86,27	86,58	86,52	86,46	86,40	86,35	86,29	86,25	86,21	86,18	86,16
13								86,27	86,80	86,75	86,61	86,46	86,36	86,28	86,22	86,14	86,04	86,34	86,28	86,23	86,2	86,17
14								87,01	87,26	87,43	87,04	86,73	86,58	86,54	86,50	86,36	86,18	86,03	85,93	85,86	85,81	85,78
15								88,56	93,00	88,86	87,69	87,05	86,87	87,08	93,00	86,89	86,39	86,12	85,97	85,88	85,82	85,78
16								91,28	93,00	91,30	88,85	87,30	87,15	88,26	93,00	88,10	86,63	86,18	85,99	85,89	85,83	85,79
17								91,28	93,00	91,30	88,05	87,30	87,15	88,26	93,00	88,10	86,62	86,18	85,99	85,89	85,83	85,79
18								88,56	93,00	88,59	87,33	87,05	86,86	87,07	93,00	86,88	86,39	86,11	85,96	85,88	85,82	85,78
19								87,00	87,25	87,04	86,61	86,28	86,56	86,53	86,49	86,35	86,17	86,03	85,92	85,86	85,81	85,77

**Tabla 16. Valores teóricos del “Hotel Paseo las Mercedes”, en dB(A), con separación de 1m2. Fuente: Los Autores**

	1	2	3	4	5	6	7
1				81,27	81,27	81,27	81,27
2				81,28	81,28	81,28	81,27
3				81,29	81,29	81,29	81,28
4				81,3	81,3	81,3	81,3
5				81,32	81,32	81,32	81,31
6				81,35	81,35	81,34	81,33
7				81,4	81,39	81,38	81,36
8	81,4	81,44	81,47	81,49	81,48	81,44	81,41
9	81,46	81,57	81,69	81,7	81,69	81,57	81,47
10	81,53	81,87		82,22		81,87	81,54
11	81,57	81,90		82,26		81,92	81,59
12	81,57	81,70	81,83	81,85	81,84	81,72	81,6
13	81,59	81,68	81,76	81,8	81,79	81,73	81,65
14	81,66	81,77	81,88	81,95	81,94	81,87	81,76
15	81,76	81,95	82,17	82,34	82,34	82,17	81,95
16	81,9	82,94					82,24
17	82,03	82,58					82,58
18	82,09	82,76					82,77
19	82,04	82,59					82,6
20	81,91	82,26					82,29
21	81,79	81,99	82,25	82,45	82,48	82,31	82,07
22	81,69	81,84	82,04	82,23	82,31	82,31	82,05
23	81,61	81,76	82,13		82,77		82,41
24	81,55	81,67	82,03		82,67		82,33
25	81,49	81,57	81,7	81,85	81,93	81,98	81,8
26	81,44	81,48	81,53	81,59	81,62	81,61	81,56
27				81,47	81,48	81,48	81,46
28				81,4	81,41	81,41	81,39
29				81,36	81,36	81,36	81,36
30				81,33	81,33	81,33	81,33
31				81,31	81,31	81,31	81,31
32				81,3	81,3	81,3	81,29
33				81,28	81,28	81,28	81,28

Tabla 17. Valores teóricos del “Aula Magna”, en dB(A), con separación de 1m<sup>2</sup>.

Fuente: Los Autores

### 5.3. CARACTERIZACIÓN POR BANDAS DE FRECUENCIA

Para poder tener un conocimiento más amplio sobre el control de ruido, es importante realizar el estudio por bandas de frecuencias ya que proporciona un mejor entendimiento de los materiales de absorción al poder conocer el comportamiento por niveles de frecuencia. A continuación se presentan los tipos de fuentes y su respectiva distribución en la sala:

Tipos de fuentes de la sala de enfriadores de agua del Aula magna (Figura 36):

A1, A2, A4, A5: Bomba centrífuga, Marca Westinghouse, potencia de 25 Hp, 2925 RPM. Serial: 1-1353035, cada una con un valor de potencia sonora de  $L_w = 80,59$  dBA

A3: Enfriador de agua, Marca YORK, capacidad de 400 toneladas,  $L_w = 90,31$  dBA

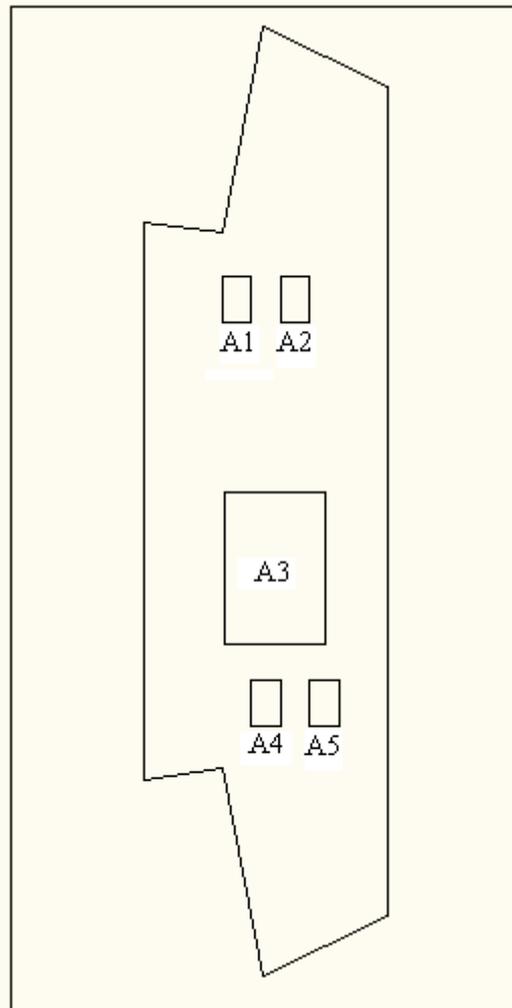


Figura 36. Distribución de las fuentes de ruido en la sala del Aula Magna. Fuente: Autores

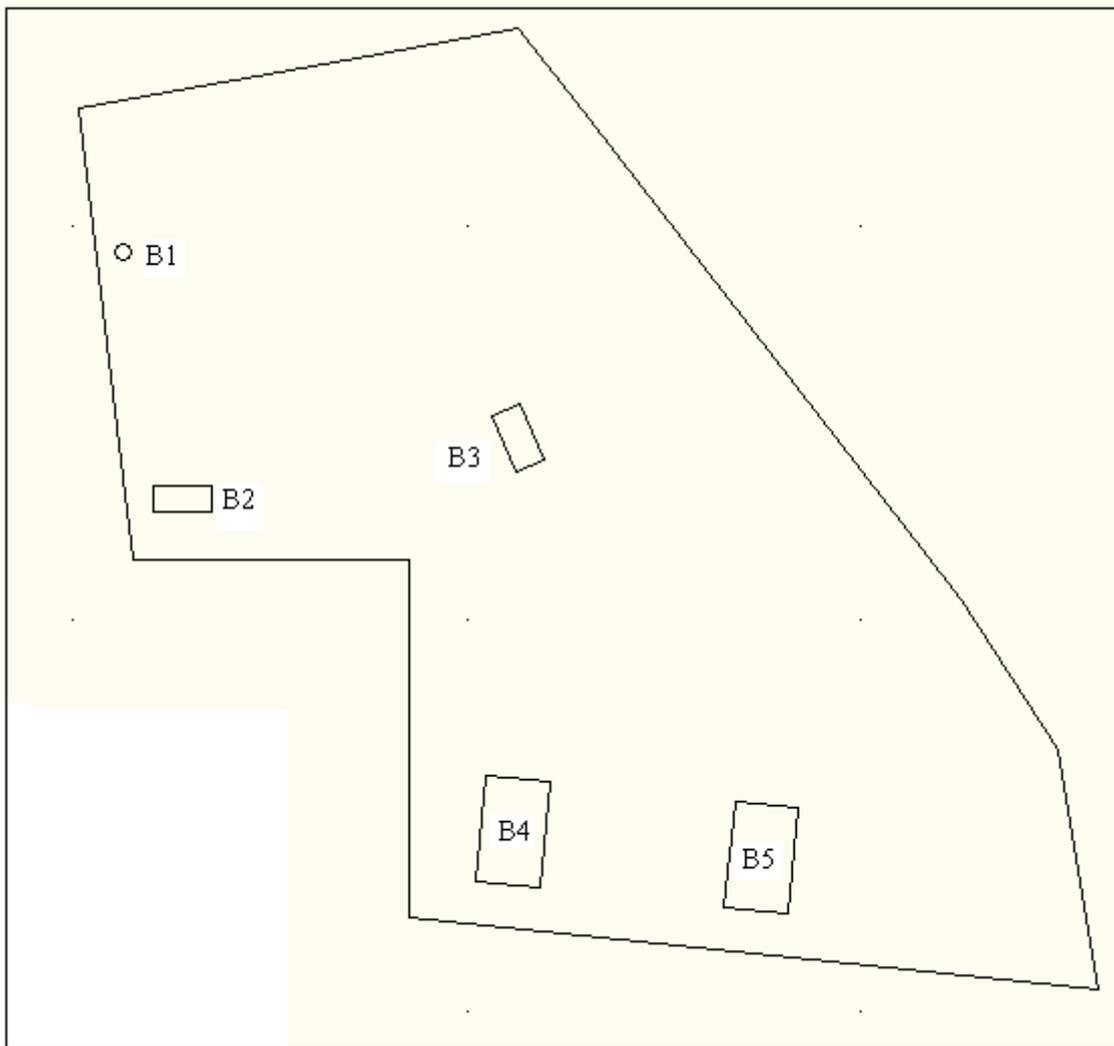
Tipos de fuentes de la sala de enfriadores de agua del Paseo las Mercedes (Figura 37):

B1: Motor, General Electric, potencia 60 Hp, modelo 5K6257XHIA,  $L_w = 86,99$  dBA

B2: Bomba centrífuga Marca SIEMENS, potencia de 60 Hp,  $L_w = 87,6$  dBA

B3: Bomba Centrífuga, Marca Aurora, potencia, 60 Hp, modelo 344ASF,  $L_w = 87,6$  dBA

B4, B5: Enfriador de agua, Marca Trane, modelo RTHD, de una capacidad instalada de 175 toneladas,  $L_{w4} = 93,02$  dBA y  $L_{w5} = 92,88$  dBA.



**Figura 37. Distribución de las fuentes de ruido en la sala del Hotel Paseo las Mercedes. Fuente: Los Autores**

En el conjunto de Tabla se muestran por fuentes, la caracterización por bandas de frecuencias a tercios de octavas en un rango de 50 a 110 dBA.

Sala Aula Magna –UCV (Figura 36 )

**Tabla 18. Caracterización por banda de frecuencia Bomba A1. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	41,7
31,5	45,8
63	68,5
125	70,3
250	76,1
500	79,5
1000	81,1
2000	83,1
4000	77,7
8000	76,8
16000	52,4

**Tabla 20. Caracterización por banda de frecuencia Bomba A3. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	80,8
31,5	46,4
63	69,1
125	78,4
250	79,2
500	80
1000	48,2
2000	88,5
4000	81
8000	71
16000	55,5

**Tabla 19. Caracterización por banda de frecuencia Bomba A2. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	47,9
31,5	44,6
63	70,8
125	73,5
250	76,4
500	83,3
1000	81,7
2000	82,8
4000	76,8
8000	68
16000	55

**Tabla 21. Caracterización por banda de frecuencia enfriador de Agua A4. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	39,7
31,5	43,6
63	67,1
125	72,3
250	76,9
500	80,9
1000	84,7
2000	86,6
4000	80,8
8000	70,3
16000	57

**Tabla 22. Caracterización por banda de frecuencia Bomba A5. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Lp
16	56,1
31,5	45
63	69,1
125	74,8
250	77,5
500	80,4
1000	84
2000	86,3
4000	80,9
8000	69,9
16000	56,3

Sala Hotel Paseo las Mercedes (Figura 37)

**Tabla 23. Caracterización por banda de frecuencia Motor B1. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	46,9
31,5	48,2
63	62
125	68,2
250	74
500	78
1000	80,6
2000	79,5
4000	73,8
8000	65,8
16000	53,7

**Tabla 24. Caracterización por banda de frecuencia Bomba B2. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	54,6
31,5	51,1
63	62
125	67,5
250	78,6
500	83,9
1000	83,2
2000	81
4000	75,4
8000	68,5
16000	60,4

**Tabla 25. Caracterización por banda de frecuencia Bomba B3. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	50,2
31,5	48,6
63	66,4
125	68,3
250	80,7
500	81,7
1000	80,6
2000	77,8
4000	71,4
8000	62,7
16000	50,3

**Tabla 26. B4 Caracterización por banda de frecuencia Enfriadores de agua. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	53,5
31,5	48,2
63	65,5
125	64,8
250	82,6
500	84,8
1000	85,9
2000	79,3
4000	69,1
8000	58,1
16000	46,2

**Tabla 27.B5 Caracterización por banda de frecuencia enfriadores de agua. Fuente: Los Autores**

Frecuencia (Hz)	Nivel de Presión sonora dBA
16	56,5
31,5	49,6
63	62,7
125	63
250	83,3
500	97,6
1000	93
2000	79,8
4000	68,1
8000	57,2
16000	48,3

#### 5.4. EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DEL PROGRAMA

Los 211 puntos experimentales fueron comparados para evaluar la proximidad de los datos obtenidos mediante el programa. A continuación se muestran los parámetros estadísticos  $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$  para cada sala de máquina, siendo el error porcentual promedio  $E_1$ , error porcentual absoluto promedio  $E_2$ , la desviación estándar del error porcentual promedio  $E_3$ . La ponderación viene dada por el error porcentual absoluto promedio  $E_2$

<b>Puntos</b>	<b>Valores Experimentales (dBA)</b>	<b>Valores Teóricos (dBA)</b>	<b>E1 (%)</b>	<b>E2 (%)</b>	<b>E3 (%)</b>
1	84,72	84,8	0,09	0,09	4,94
2	84,63	84,9	0,32	0,32	3,99
3	81,98	89	8,56	8,56	39,02
4	82,93	86,6	4,43	4,43	4,45
5	85,74	87,1	1,59	1,59	0,53
6	84,58	88,3	4,40	4,40	4,33
7	85,38	86,2	0,96	0,96	1,84
8	88	88,1	0,11	0,11	4,85
9	85,43	90	5,35	5,35	9,20
10	84,72	87,1	2,81	2,81	0,24
11	84,64	87,1	2,91	2,91	0,35
12	84,79	86,7	2,25	2,25	0,00
13	82,93	87,9	5,99	5,99	13,52
14	85,74	88,3	2,99	2,99	0,45
15	84,47	87,9	4,06	4,06	3,04
16	84,71	86,4	2,00	2,00	0,10
17	84,23	90,4	7,33	7,33	25,09
18	84,76	87,4	3,11	3,11	0,64
19	84,6	88,4	4,49	4,49	4,73
20	84,68	87,5	3,33	3,33	1,03
21	84,7	85,9	1,42	1,42	0,81
22	85	87,4	2,82	2,82	0,26
23	83,39	89,5	7,33	7,33	25,11
24	84,17	91,7	8,95	8,95	43,96
25	86,24	87,5	1,46	1,46	0,73
26	86,3	85,8	-0,58	0,58	8,39
27	84,51	85,9	1,64	1,64	0,45
28	84,5	87,4	3,43	3,43	1,24
29	84,49	91,8	8,65	8,65	40,14
30	84,61	86,5	2,23	2,23	0,01
31	84,58	87,8	3,81	3,81	2,22

Continuación de tabla

<b>Puntos</b>	<b>Valores Experimentales (dBA)</b>	<b>Valores Teóricos (dBA)</b>	<b>E1 (%)</b>	<b>E2 (%)</b>	<b>E3 (%)</b>
32	84,72	88,6	4,58	4,58	5,12
33	86,2	87	0,93	0,93	1,93
34	86,23	89,1	3,33	3,33	1,02
35	86,26	85,5	-0,88	0,88	10,22
36	86,28	85,9	-0,44	0,44	7,60
37	86,3	86,2	-0,12	0,12	5,92
38	84,44	85,5	1,26	1,26	1,13
39	84,49	86,6	2,50	2,50	0,03
40	84,56	87,4	3,36	3,36	1,09
41	84,62	85,6	1,16	1,16	1,34
42	86,18	88	2,11	2,11	0,04
43	86,2	87,1	1,04	1,04	1,62
44	86,22	86,8	0,67	0,67	2,70
45	86,25	86,7	0,52	0,52	3,22
46	86,28	85,6	-0,79	0,79	9,64
47	86,32	86,2	-0,14	0,14	6,03
48	86,36	88,8	2,83	2,83	0,26
49	86,42	87,3	1,02	1,02	1,68
50	84,5	86,1	1,89	1,89	0,18
51	84,51	85,7	1,41	1,41	0,82
52	86,19	85,2	-1,15	1,15	12,01
53	86,23	86,9	0,78	0,78	2,37
54	86,27	85,5	-0,89	0,89	10,30
55	86,31	84,9	-1,63	1,63	15,60
56	86,36	85,5	-1,00	1,00	10,97
57	86,42	84,6	-2,11	2,11	19,56
58	86,48	87,5	1,18	1,18	1,29
59	86,53	84,9	-1,88	1,88	17,64
60	86,56	88,1	1,78	1,78	0,29
61	86,57	84,2	-2,74	2,74	25,54
62	86,64	88,1	1,69	1,69	0,40
63	86,38	92,2	6,74	6,74	19,55
64	86,27	86,2	-0,08	0,08	5,75
65	87,01	93,1	7,00	7,00	21,93
66	88,56	91,2	2,98	2,98	0,44
67	91,28	85,9	-5,89	5,89	67,41
68	91,28	84,9	-6,99	6,99	86,60
69	88,56	86,3	-2,55	2,55	23,70

Continuación de tabla

<b>Puntos</b>	<b>Valores Experimentales (dBA)</b>	<b>Valores Teóricos (dBA)</b>	<b>E1 (%)</b>	<b>E2 (%)</b>	<b>E3 (%)</b>
70	86,96	87,1	0,16	0,16	4,65
71	86,68	87,5	0,95	0,95	1,88
72	86,67	92,4	6,61	6,61	18,45
73	86,43	86,4	-0,03	0,03	5,53
74	86,8	86,9	0,12	0,12	4,84
75	87	92,8	6,67	6,67	18,93
76	86,77	84,4	-2,73	2,73	25,48
77	86,67	88	1,53	1,53	0,61
78	86,42	87,6	1,37	1,37	0,90
79	86,75	86,9	0,17	0,17	4,59
80	86,62	88,3	1,94	1,94	0,14
81	86,36	91,4	5,84	5,84	12,39
82	86,61	86	-0,70	0,70	9,12
83	87,04	96,4	10,75	10,75	71,19
84	87,69	94,2	7,42	7,42	26,09
85	88,85	88,3	-0,62	0,62	8,62
86	88,05	87,9	-0,17	0,17	6,18
87	87,33	87,4	0,08	0,08	5,00
88	86,61	84,8	-2,09	2,09	19,41
89	86,5	88,5	2,31	2,31	0,00
90	86,51	85	-1,75	1,75	16,50
91	86,55	93	7,45	7,45	26,38
92	86,27	97	12,44	12,44	102,44
93	86,46	88,9	2,82	2,82	0,26
94	86,73	94	8,38	8,38	36,80
95	87,05	92,3	6,03	6,03	13,80
96	87,3	84,2	-3,55	3,55	34,43
97	87,3	86,9	-0,46	0,46	7,70
98	87,05	84,1	-3,39	3,39	32,55
99	86,28	87,6	1,53	1,53	0,62
100	86,38	84,7	-1,94	1,94	18,16
101	86,42	83,9	-2,92	2,92	27,38
102	86,48	93,7	8,35	8,35	36,39
103	86,58	92,1	6,38	6,38	16,48
104	86,36	89,5	3,64	3,64	1,74
105	86,32	85,2	-1,30	1,30	13,06
106	86,37	85,9	-0,54	0,54	8,18
107	86,43	90,7	4,94	4,94	6,89
108	86,52	92,5	6,91	6,91	21,12

Continuación de tabla

<b>Puntos</b>	<b>Valores Experimentales (dBA)</b>	<b>Valores Teóricos (dBA)</b>	<b>E1 (%)</b>	<b>E2 (%)</b>	<b>E3 (%)</b>
109	86,28	86,3	0,02	0,02	5,26
110	86,54	92	6,31	6,31	15,94
111	87,08	91,4	4,96	4,96	6,99
112	88,26	86,9	-1,54	1,54	14,88
113	88,26	85,1	-3,58	3,58	34,77
114	87,07	86,1	-1,11	1,11	11,77
115	86,53	82,2	-5,00	5,00	53,59
116	86,32	83,7	-3,04	3,04	28,64
117	86,38	85	-1,60	1,60	15,32
118	86,46	93,5	8,14	8,14	33,94
119	86,22	87,3	1,25	1,25	1,13
120	86,5	98,3	13,64	13,64	128,26
121	86,49	89,1	3,02	3,02	0,49
122	86,25	88,5	2,61	2,61	0,09
123	86,29	89,9	4,18	4,18	3,49
124	86,34	84,3	-2,36	2,36	21,89
125	86,4	90,3	4,51	4,51	4,83
126	86,14	89,1	3,44	3,44	1,25
127	86,36	101	16,95	16,95	214,21
128	86,22	85,5	-0,84	0,84	9,93
129	86,35	89,6	3,76	3,76	2,10
130	86,04	86,6	0,65	0,65	2,77
131	86,26	93,4	8,28	8,28	35,53
132	86,29	95,2	10,33	10,33	64,15
133	86,34	87,2	1,00	1,00	1,74
134	86,03	92,8	7,87	7,87	30,84
135	86,25	84,8	-1,68	1,68	15,98
136	85,93	96	11,72	11,72	88,41
137	86,23	89,1	3,33	3,33	1,02
138	85,86	101,2	17,87	17,87	241,80
139	85,88	89,9	4,68	4,68	5,59
140	85,89	89,9	4,67	4,67	5,53
141	85,89	85,2	-0,80	0,80	9,73
142	85,88	83,5	-2,77	2,77	25,88
143	85,86	85,6	-0,30	0,30	6,86
144	85,81	86,8	1,15	1,15	1,35
145	85,82	94,5	10,11	10,11	60,81

Continuación de tabla

<b>Puntos</b>	<b>Valores Experimentales (dBA)</b>	<b>Valores Teóricos (dBA)</b>	<b>E1 (%)</b>	<b>E2 (%)</b>	<b>E3 (%)</b>
146	85,83	90	4,86	4,86	6,46
147	85,83	85,1	-0,85	0,85	10,03
148	85,82	85,2	-0,72	0,72	9,23
149	85,81	85,8	-0,01	0,01	5,42
150	85,79	84,9	-1,04	1,04	11,25
151	85,78	85,6	-0,21	0,21	6,38
152	85,77	84	-2,06	2,06	19,18
<b>TOTAL</b>			<b>2,32</b>	<b>3,39</b>	<b>4,14</b>

**Tabla 28. Evaluación de la precisión de DIPRESON contra la data experimental de 152 obtenida en el Hotel Paseo las Mercedes. Fuente: Los Autores**

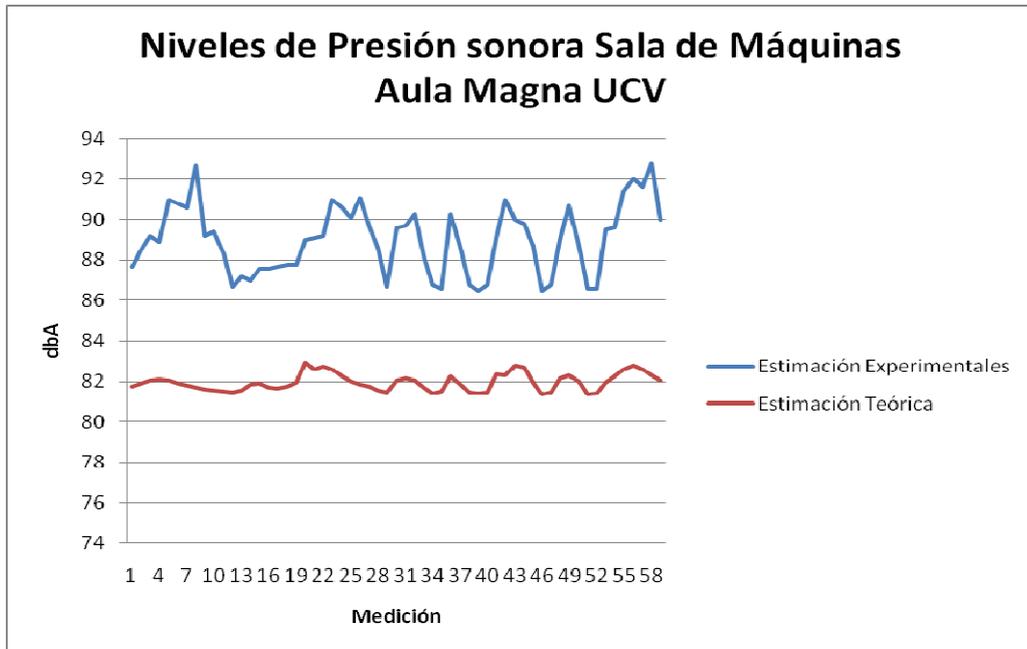
Seguidamente se representan los valores obtenidos en la sala de máquina del Aula Magna de la Universidad Central de Venezuela.

**Tabla 29. Evaluación de la precisión de DIPRESON contra la data experimental de 59 obtenida en el Aula Magna de la UCV. Fuente: Los Autores**

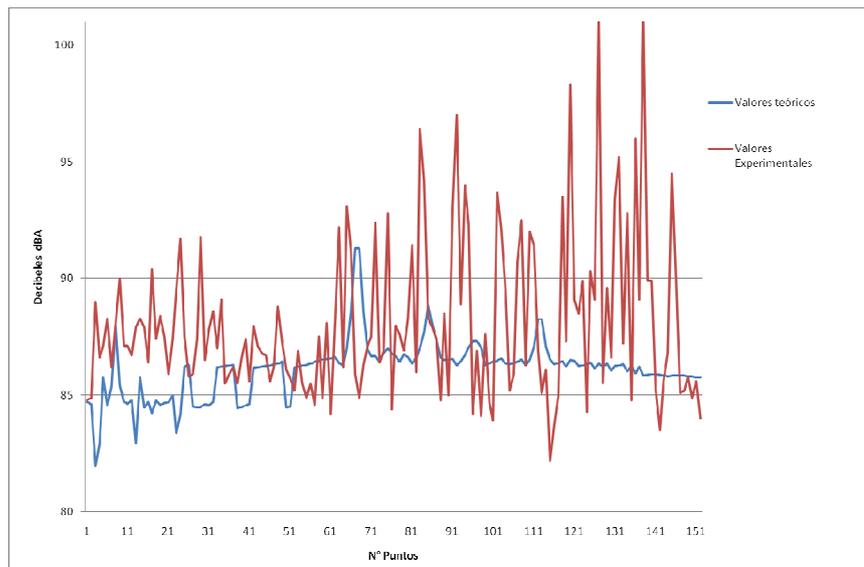
<b>Puntos</b>	<b>Valor Experimental (dBA)</b>	<b>Valor Teórico (dBA)</b>	<b>E1 (%)</b>	<b>E2 (%)</b>	<b>E3 (%)</b>
1	87,7	81,76	-6,773	6,77	1,26
2	88,5	81,9	-7,458	7,46	0,19
3	89,2	82,03	-8,038	8,04	0,02
4	88,9	82,09	-7,66	7,66	0,06
5	91	82,04	-9,846	9,85	3,8
6	90,8	81,91	-9,791	9,79	3,59
7	90,6	81,79	-9,724	9,72	3,34
8	92,7	81,69	-11,88	11,9	15,8
9	89,2	81,61	-8,509	8,51	0,37
10	89,4	81,55	-8,781	8,78	0,78
11	88,3	81,49	-7,712	7,71	0,03
12	86,7	81,44	-6,067	6,07	3,35
13	87,2	81,57	-6,456	6,46	2,08
14	87	81,87	-5,897	5,9	4
15	87,6	81,90	-6,507	6,51	1,93
16	87,6	81,70	-6,735	6,74	1,35
17	87,7	81,68	-6,864	6,86	1,07
18	87,8	81,77	-6,868	6,87	1,06
19	87,8	81,95	-6,663	6,66	1,52
20	89	82,94	-6,809	6,81	1,18
21	89,1	82,58	-7,318	7,32	0,34
22	89,2	82,76	-7,22	7,22	0,46
23	91	82,59	-9,242	9,24	1,81

<b>Puntos</b>	<b>Valor Experimental (dBA)</b>	<b>Valor Teórico (dBA)</b>	<b>E1 (%)</b>	<b>E2 (%)</b>	<b>E3 (%)</b>
24	90,6	82,26	-9,205	9,21	1,71
25	90,1	81,99	-9,001	9	1,22
26	91,1	81,84	-10,16	10,2	5,14
27	89,7	81,76	-8,852	8,85	0,91
28	88,6	81,57	-7,935	7,93	0
29	86,7	81,47	-6,032	6,03	3,48
30	89,6	82,04	-8,437	8,44	0,29
31	89,7	82,13	-8,439	8,44	0,29
32	90,3	82,03	-9,158	9,16	1,59
33	88,2	81,7	-7,37	7,37	0,28
34	86,8	81,4	-6,221	6,22	2,81
35	86,6	81,49	-5,901	5,9	3,99
36	90,3	82,23	-8,937	8,94	1,08
37	88,6	81,85	-7,619	7,62	0,08
38	86,8	81,48	-6,129	6,13	3,13
39	86,5	81,39	-5,908	5,91	3,96
40	86,8	81,48	-6,129	6,13	3,13
41	89,1	82,34	-7,587	7,59	0,1
42	91	82,31	-9,549	9,55	2,73
43	90	82,77	-8,033	8,03	0,02
44	89,8	82,67	-7,94	7,94	0
45	88,7	81,93	-7,632	7,63	0,07
46	86,5	81,38	-5,919	5,92	3,91
47	86,8	81,44	-6,175	6,18	2,97
48	89	82,17	-7,674	7,67	0,05
49	90,7	82,31	-9,25	9,25	1,83
50	88,7	81,98	-7,576	7,58	0,1
51	86,6	81,36	-6,051	6,05	3,41
52	86,6	81,41	-5,993	5,99	3,63
53	89,5	81,95	-8,436	8,44	0,29
54	89,6	82,24	-8,214	8,21	0,1
55	91,4	82,58	-9,65	9,65	3,07
56	92	82,77	-10,03	10	4,56
57	91,6	82,6	-9,825	9,83	3,72
58	92,8	82,29	-11,33	11,3	11,8
59	90	82,07	-8,811	8,81	0,84
<b>TOTAL</b>			<b>-7,89</b>	<b>7,89</b>	<b>1,47</b>

Posteriormente se representa gráficamente la diferencia de los valores experimentales y los valores teóricos de la sala del Hotel Paseo las Mercedes y la sala del Aula Magna



**Figura 38. Valores Experimentales y Teóricos de la sala del Aula Magna. Fuente: Los Autores**



**Figura 39. Valores Experimentales y Teóricos de la sala del Hotel Paseo las Mercedes. Fuente: Los Autores**

## 5.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al observar los decibeles de ambas salas de máquinas de las tablas 14 y 15 es posible distinguir unos valores más altos de los de su entorno, eso pudo deberse a espectros de ruidos externos como tales como: el continuó desempeño de trabajo de los técnicos, los valores de ruido aleatorios, cambio de rendimiento de los equipos de enfriadores de agua debido a que la demanda varía en el transcurso del día.

En las tablas 14 y 15 se observa la falta de puntos de estudios debido a la dificultad de instalación del sonómetro. Posteriormente, se observa cómo el programa **DIPRESON** facilita al usuario a obtener una distribución en toda la sala (Tabla 16 y 17), lo que nos permite tener un mayor criterio de evaluación a la hora de generar control.

La caracterización por bandas de frecuencia aparte de un estudio detallado de la distribución del ruido en las salas estudiadas, permite a futuros estudios seleccionar adecuadamente los materiales de absorción para su respectivo control.

En primera instancia la evaluación del programa en la sala de máquina del Hotel Paseo las Mercedes (Tabla 28) obtuvo un desempeño con un error porcentual promedio de un 2,32%, seguido por el error porcentual absoluto promedio con 3,39% y con una desviación estándar del error porcentual promedio de 4,14 %. Se constata que los valores de la sala varían considerablemente, debido a la geometría de la sala y la inadecuada ubicación de las fuentes de ruido.

Los datos obtenidos en la sala de máquina del Aula Magna de la Universidad Central de Venezuela (Tabla 29) presentaron un desempeño con un error porcentual promedio de un -7,89 %, seguido por el error porcentual absoluto promedio con 7,89% y con una desviación estándar del error porcentual promedio

de 1,47%. En este caso, la sala presentó valores homogéneos debido a la distribución de las fuentes y presentó una geometría adecuada.

Es importante destacar que a pesar de la desviación en los valores existe una gran aproximación de los datos en la sala de máquina del Hotel Paseo las Mercedes ver figura 39. Sin embargo en el caso de la figura 38 es importante destacar las variables que pueden afectar los resultados del programa:

- El usuario solamente puede introducir las rectas en el centro de cada cuadrado. Al mismo modo, a la hora de colocar las fuentes sólo puede introducirlas de forma rectangular.
- Al momento de calcular las distancias entre el punto a evaluar y la fuente, no calcula los valores a través de paredes ni calcula la refracción de las salas.
- DIPRESON calcula las distancias de las fuentes de manera puntual esto quiere decir que calcula el centro de cualquier fuente introducida por el usuario.

Todas estas variables no se pudieron evitar debido a la complejidad de la interfaz gráfica.

Los altos niveles de presión sonora obtenidos en ambas salas son indicativos del incumplimiento del marco legal.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES

Después de haber culminado este Trabajo Especial de Grado, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El uso de la metodología desarrollada permite la evaluación de los niveles de presión sonora en salas de máquinas, de una manera secuencial, permitiendo el ahorro de tiempo y recursos.
- Los resultados arrojados por el programa DIPRESON para la predicción de niveles de presión sonora, arrojan una diferencia de 2,32 – 7,89%, comparados con datos obtenidos de evaluaciones en campo. Esta diferencia es bastante aceptable para el uso de este programa en el área de higiene y seguridad industrial.
- El programa DIPRESON puede ser utilizado para predecir los niveles de presión sonora para cualquier fuente en un recinto cerrado.
- La representación gráfica de los datos obtenidos de evaluaciones de niveles de presión sonora en salas de máquinas, facilita en gran medida el análisis de dichos resultados, y la toma de decisiones adecuadas para su control.
- Los modelos teóricos actuales de predicción de niveles de presión sonora caracterizan la fuente como fuentes puntuales y omnidireccionales, lo cual dista mucho de la realidad.
- El programa DIPRESON puede ser utilizado para predecir la distribución de niveles de presión sonora en salas de máquinas en su fase de diseño.

- En nuestro país el desarrollo y estudio de los niveles de presión sonora en salas de maquinas de la industria, es muy escaso.

## 6.2. RECOMENDACIÓN

- Se recomienda la creación de un banco de pruebas que permita la caracterización de una amplia gama de fuentes de ruido para de esta manera obtener valores más apropiados para simulaciones. De manera tal que permita al programa DIPRESON, una mayor exactitud a la hora de predecir niveles de ruido.
- Realizar estudios en las geometrías de salas de máquinas, para determinar cuáles de estas son las más favorables en la distribución uniforme de los niveles de presión sonora.
- Buscar la cooperación de otras disciplinas, como por ejemplo la licenciatura en computación, para la ayuda técnica en proyectos de este tipo. Con su ayuda se podrá mejorar la interfaz gráfica del programa DIPRESON, permitiendo su uso de manera más agradable.
- Recomendar el uso del programa a institutos como el INPSASEL (Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales) y empresas de la rama de la seguridad industrial, para de esta manera poder probar la aplicación de este programa a un número mayor de salas.
- Se recomienda continuar con el desarrollo de este programa, y agregarle funciones como por ejemplo determinar los perfiles de ruido.
- Fomentar estudios en nuestro país en lo que respecta a la higiene y seguridad industrial, y más específicamente en predicción de distribución y control de ruido.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Beranek, L. (1971). *Noise and vibration control*. New York, E.E.U.U.: Mc. Graw Hill.
2. Avalone, E. y Baumeister III, T. (1999). MARKS; *Manual del Ingeniero Mecánico..* México: Mc. Graw Hill.
3. Cyril, H. (1995). *Manual de medidas acústicas y control de ruido*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
4. Mobley, R.(1999). *Vibration fundamentals*. EEUU: Butterworth-Heinemann.
5. Carrión, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona, España: Edicions UPC.
6. Flores, P. (1989). *Manual de acústica, ruido y vibraciones*. Barcelona, España: GYC.
7. Lora, F. y Miro J. (1978). *Técnicas de defensa del medio ambiente*. (Barcelona), España: Labor.
8. Barillas, J. y Bazo, P. (1985). *Análisis y control de ruido mediante microprocesadores*. Trabajo especial de grado no publicada. Universidad Central de Venezuela, Caracas. Ing. Mec.
9. Theot, M. (2001). *Diseño de un procedimiento para la predicción de niveles de ruido en instalaciones de gas y petróleo*. Trabajo especial de grado no publicada. Universidad Central de Venezuela, Caracas. Ing. Mec.

10. Texsa. S.A.(2004). *Sistemas de aislamiento acústico para obra nueva y rehabilitación* (2ª ed.). Barcelona , España: Autor.
11. Rastelli, V. (2007). *Acústica y control de ruido industrial*. editorial: Autor
12. Johson, R. (S/F). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros de Miller y Freund*. (5ª ed.). México: Prentice Hall.
13. Hernandez, R., y Fernández, C. (1995). *Metodología de la Investigación*. Colombia: McGraw Hill.
14. Miraya, F. (1-9-2008). *Control de Ruido*. [Documento en línea]. [fmiyara@fceia.unr.edu.ar](mailto:fmiyara@fceia.unr.edu.ar) [5,Septiembre,2008]
15. COVENIN 1565-1995. *Ruido Ocupacional .Programa de Conservación Auditiva. Niveles Permisibles y Criterios de Evaluación*. 3ª revisión, Publicación Fondonorma. Caracas, Venezuela.
16. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 36.236. Ley orgánica de prevención, condiciones y medio ambiente de trabajo., 26-7-05.
17. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*,1.631. Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Decreto N°1.564 (1973, Diciembre 31). Diciembre, 1973.
18. Cortíneza, V.; Vidala, M. y Giróna, P. *Optimización de las condiciones acústicas en recintos industriales*. [Documento en línea]. [http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article\\_viewFile/1134/1085](http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article_viewFile/1134/1085) [5,Septiembre, 2008]

19. *ISOVER. Manual de Aislamiento en la Industria.*[Documento en línea].  
<http://www.isover.net/asesoria/manuales/industria.htm>  
[20,Octubre,2008]
  
20. Microsoft Developer Network (2008). [Página web en línea].  
<http://msdn.microsoft.com/eses/library/default.aspx>  
[10,Septiembre,2008]
  
21. Ingeniería de Sonido (2008). [Página web en línea].  
<http://www.ingeneriadesonido.com/index.php> [13,Octubre,2008]

## **ANEXOS**

## A.1. LISTADO CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA “DIPRESON”

Listamos el código fuente del programa para el cálculo de la distribución de presión sonora.

Introducción de datos, Área de las paredes y Valor en dBA

```
namespace Grid
{
public partial class Leyenda : Form
{
public Leyenda()
{
InitializeComponent();
Color c = Color.FromArgb(183, 200, 255);
pictureBox8.BackColor = c;
pictureBox7.BackColor = c;
pictureBox6.BackColor = c;
pictureBox5.BackColor = c;
pictureBox4.BackColor = c;
pictureBox3.BackColor = c;
pictureBox2.BackColor = c;
pictureBox1.BackColor = c;
}

public void UpdateLeyenda(float minValue, float maxValue)
{
List<PictureBox> boxes = new List<PictureBox>();
boxes.Add(pictureBox1);
boxes.Add(pictureBox2);
boxes.Add(pictureBox3);
boxes.Add(pictureBox4);
boxes.Add(pictureBox5);
boxes.Add(pictureBox6);
boxes.Add(pictureBox7);
boxes.Add(pictureBox8);

float value = minValue;
float rango = (maxValue - minValue);
foreach (PictureBox box in boxes)
{
float v = (value - minValue) / rango;

float R = Microsoft.Xna.Framework.MathHelper.Clamp(1 - v +
0.7f, 0, 1); // v / 3;
float G = Microsoft.Xna.Framework.MathHelper.Clamp(v, 0, 1); //
v / 3 + 1 / 3f;
if (float.IsNaN(R)) R = 0;
if (float.IsNaN(G)) G = 0;
}
}
}
}
```

```

Color c = Color.FromArgb(255, (int)(R * 255), (int)(G * 255),
0);
box.BackColor = c;
value += rango / 7;
}
float Text1 = minValue + rango * (0 / 7f);
float Text2 = minValue + rango * (1 / 7f);
float Text3 = minValue + rango * (2 / 7f);
float Text4 = minValue + rango * (3 / 7f);
float Text5 = minValue + rango * (4 / 7f);
float Text6 = minValue + rango * (5 / 7f);
float Text7 = minValue + rango * (6 / 7f);
float Text8 = maxValue;
label1.Text = Text1.ToString();
label2.Text = Text2.ToString();
label3.Text = Text3.ToString();
label4.Text = Text4.ToString();
label5.Text = Text5.ToString();
label6.Text = Text6.ToString();
label7.Text = Text7.ToString();
label8.Text = Text8.ToString();
}
}
}

namespace Grid
{
partial class InputBox
{
/// <summary>
/// Required designer variable.
/// </summary>
private System.ComponentModel.IContainer components = null;

/// <summary>
/// Clean up any resources being used.
/// </summary>
/// <param name="disposing">true if managed resources should be
disposed; otherwise, false.</param>
protected override void Dispose(bool disposing)
{
if (disposing && (components != null))
{
components.Dispose();
}
base.Dispose(disposing);
}

#region Windows Form Designer generated code

/// <summary>
/// Required method for Designer support - do not modify
/// the contents of this method with the code editor.
/// </summary>
private void InitializeComponent()
{
this.textBox1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.button1 = new System.Windows.Forms.Button();
}
}
}
}

```

```

this.button2 = new System.Windows.Forms.Button();
this.labell = new System.Windows.Forms.Label();
this.SuspendLayout();
//
// textBox1
//
this.textBox1.Location = new System.Drawing.Point(12, 42);
this.textBox1.Name = "textBox1";
this.textBox1.Size = new System.Drawing.Size(412, 20);
this.textBox1.TabIndex = 0;
this.textBox1.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox1_TextChanged);
//
// button1
//
this.button1.Location = new System.Drawing.Point(234, 68);
this.button1.Name = "button1";
this.button1.Size = new System.Drawing.Size(92, 24);
this.button1.TabIndex = 1;
this.button1.Text = "OK";
this.button1.UseVisualStyleBackColor = true;
//
// button2
//
this.button2.Location = new System.Drawing.Point(332, 68);
this.button2.Name = "button2";
this.button2.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);
this.button2.TabIndex = 2;
this.button2.Text = "Cancel";
this.button2.UseVisualStyleBackColor = true;
this.button2.Click += new
System.EventHandler(this.button2_Click);
//
// labell
//
this.labell.AutoSize = true;
this.labell.Location = new System.Drawing.Point(13, 8);
this.labell.Name = "labell";
this.labell.Size = new System.Drawing.Size(35, 13);
this.labell.TabIndex = 3;
this.labell.Text = "labell";
//
// InputBox
//
this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(6F, 13F);
this.AutoScaleMode = System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
this.ClientSize = new System.Drawing.Size(437, 107);
this.Controls.Add(this.labell);
this.Controls.Add(this.button2);
this.Controls.Add(this.button1);
this.Controls.Add(this.textBox1);
this.Name = "InputBox";
this.RightToLeft = System.Windows.Forms.RightToLeft.No;
this.StartPosition =
System.Windows.Forms.FormStartPosition.CenterScreen;
this.Text = "Area";
this.TopMost = true;
this.Load += new System.EventHandler(this.Input_Load);
this.ResumeLayout(false);

```

```

this.PerformLayout();

}

#endregion

private System.Windows.Forms.TextBox textBox1;
private System.Windows.Forms.Button button1;
private System.Windows.Forms.Button button2;
private System.Windows.Forms.Label label1;
}
}

```

Introducción de Material

```

namespace Grid
{
public partial class Material : Form
{
public String alpha;
public float alphanum;

public Material()
{
InitializeComponent();
}

public DialogResult Show(String msg)
{
this.ShowDialog();
return this.DialogResult;
}

protected override void OnLoad(EventArgs e)
{
this.button1.Click += Ok;
this.button2.Click += button2_Click;
base.OnLoad(e);
}

private void Ok(Object sender, EventArgs args)
{
if (alpha == null) return;
this.DialogResult = DialogResult.OK;
this.Hide();
}

private void label1_Click(object sender, EventArgs e)
{

}

private void Material_Load(object sender, EventArgs e)
{

}
}

```

```

private void comboBox1_SelectedIndexChanged(object sender,
EventArgs e)
{
    alpha = this.comboBox1.SelectedItem.ToString();
    alpha = alpha.Replace(".",
Thread.CurrentThread.CurrentCulture.NumberFormat.NumberDecimals
eparator);
    alphanum = float.Parse(alpha.Substring((alpha.Length-7),7));
}

private void comboBox1_MouseClick(object sender, MouseEventArgs
e)
{
}

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    //if (alpha == null) return;
    this.DialogResult = DialogResult.Cancel;
    this.Hide();
}
}
}
}

```

Introducción de datos de Directividad

```

namespace Grid
{
    partial class Qvar
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should be
disposed; otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
            }
            base.Dispose(disposing);
        }

        #region Windows Form Designer generated code

        /// <summary>
        /// Required method for Designer support - do not modify
        /// the contents of this method with the code editor.
        /// </summary>
        private void InitializeComponent()

```

```

{
this.q1 = new System.Windows.Forms.RadioButton();
this.q2 = new System.Windows.Forms.RadioButton();
this.q3 = new System.Windows.Forms.RadioButton();
this.q4 = new System.Windows.Forms.RadioButton();
this.button1 = new System.Windows.Forms.Button();
this.button2 = new System.Windows.Forms.Button();
this.pictureBox4 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
this.pictureBox3 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
this.pictureBox2 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
this.pictureBox1 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
this.labell = new System.Windows.Forms.Label();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox4)).
BeginInit();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox3)).
BeginInit();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox2)).
BeginInit();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).
BeginInit();
    this.SuspendLayout();
    //
    // q1
    //
this.q1.AutoSize = true;
this.q1.Location = new System.Drawing.Point(72,
157);
this.q1.Name = "q1";
this.q1.Size = new System.Drawing.Size(37, 17);
this.q1.TabIndex = 0;
this.q1.Text = "q1";
this.q1.UseVisualStyleBackColor = true;
this.q1.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.radioButton1_CheckedChanged);
    //
    // q2
    //
this.q2.AutoSize = true;
this.q2.Checked = true;
this.q2.Location = new System.Drawing.Point(72,
367);
this.q2.Name = "q2";
this.q2.Size = new System.Drawing.Size(37, 17);
this.q2.TabIndex = 1;
this.q2.TabStop = true;
this.q2.Text = "q2";
this.q2.UseVisualStyleBackColor = true;
this.q2.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.q2_CheckedChanged);
    //
    // q3
    //
this.q3.AutoSize = true;
this.q3.Location = new System.Drawing.Point(521,
165);
this.q3.Name = "q3";
this.q3.Size = new System.Drawing.Size(37, 17);
this.q3.TabIndex = 2;
this.q3.Text = "q3";

```

```

        this.q3.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.q3.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.q3_CheckedChanged);
        //
        // q4
        //
        this.q4.AutoSize = true;
        this.q4.Location = new System.Drawing.Point(521,
375);
        this.q4.Name = "q4";
        this.q4.Size = new System.Drawing.Size(37, 17);
        this.q4.TabIndex = 3;
        this.q4.Text = "q4";
        this.q4.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.q4.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.q4_CheckedChanged);
        //
        // button1
        //
        this.button1.Location = new
System.Drawing.Point(353, 494);
        this.button1.Name = "button1";
        this.button1.Size = new System.Drawing.Size(75,
23);
        this.button1.TabIndex = 4;
        this.button1.Text = "Aceptar";
        this.button1.UseVisualStyleBackColor = true;
        //
        // button2
        //
        this.button2.Location = new
System.Drawing.Point(505, 494);
        this.button2.Name = "button2";
        this.button2.Size = new System.Drawing.Size(75,
23);
        this.button2.TabIndex = 5;
        this.button2.Text = "Cancelar";
        this.button2.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.button2.Click += new
System.EventHandler(this.button2_Click);
        //
        // pictureBox4
        //
        this.pictureBox4.Image =
global::Grid.Properties.Resources.q3;
        this.pictureBox4.Location = new
System.Drawing.Point(581, 67);
        this.pictureBox4.Name = "pictureBox4";
        this.pictureBox4.Size = new
System.Drawing.Size(201, 157);
        this.pictureBox4.TabIndex = 9;
        this.pictureBox4.TabStop = false;
        //
        // pictureBox3
        //
        this.pictureBox3.Image =
global::Grid.Properties.Resources.q4;
        this.pictureBox3.Location = new
System.Drawing.Point(581, 297);

```

```

        this.pictureBox3.Name = "pictureBox3";
        this.pictureBox3.Size = new
System.Drawing.Size(252, 196);
        this.pictureBox3.TabIndex = 8;
        this.pictureBox3.TabStop = false;
        //
        // pictureBox2
        //
        this.pictureBox2.Image =
global::Grid.Properties.Resources.q2;
        this.pictureBox2.Location = new
System.Drawing.Point(126, 317);
        this.pictureBox2.Name = "pictureBox2";
        this.pictureBox2.Size = new
System.Drawing.Size(333, 118);
        this.pictureBox2.TabIndex = 7;
        this.pictureBox2.TabStop = false;
        //
        // pictureBox1
        //
        this.pictureBox1.Image =
global::Grid.Properties.Resources.q1;
        this.pictureBox1.Location = new
System.Drawing.Point(126, 82);
        this.pictureBox1.Name = "pictureBox1";
        this.pictureBox1.Size = new
System.Drawing.Size(186, 169);
        this.pictureBox1.TabIndex = 6;
        this.pictureBox1.TabStop = false;
        //
        // label1
        //
        this.label1.AutoSize = true;
        this.label1.Font = new
System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 8.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold,
System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)0));
        this.label1.Location = new System.Drawing.Point(24,
37);
        this.label1.Name = "label1";
        this.label1.Size = new System.Drawing.Size(135,
13);
        this.label1.TabIndex = 10;
        this.label1.Text = "Factor de directividad:";
        //
        // Qvar
        //
        this.AutoScaleDimensions = new
System.Drawing.SizeF(6F, 13F);
        this.AutoScaleMode =
System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
        this.ClientSize = new System.Drawing.Size(904,
547);
        this.Controls.Add(this.label1);
        this.Controls.Add(this.pictureBox4);
        this.Controls.Add(this.pictureBox3);
        this.Controls.Add(this.pictureBox2);
        this.Controls.Add(this.pictureBox1);
        this.Controls.Add(this.button2);

```

```

        this.Controls.Add(this.button1);
        this.Controls.Add(this.q4);
        this.Controls.Add(this.q3);
        this.Controls.Add(this.q2);
        this.Controls.Add(this.q1);
        this.Name = "Qvar";
        this.StartPosition =
System.Windows.Forms.FormStartPosition.CenterScreen;
        this.Text = "Factor de Directividad";
        this.Load += new
System.EventHandler(this.Qvar_Load);

        ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox4)).
EndInit();

        ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox3)).
EndInit();

        ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox2)).
EndInit();

        ((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).
EndInit();
        this.ResumeLayout(false);
        this.PerformLayout();
    }

    #endregion

    private System.Windows.Forms.RadioButton q1;
    private System.Windows.Forms.RadioButton q2;
    private System.Windows.Forms.RadioButton q3;
    private System.Windows.Forms.RadioButton q4;
    private System.Windows.Forms.Button button1;
    private System.Windows.Forms.Button button2;
    private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox1;
    private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox2;
    private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox3;
    private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox4;
    private System.Windows.Forms.Label label1;
}
}

```

Degradación de Colores RGB

```

namespace Grid
{
    public class Cell
    {
        /// <summary>

```

```

    /// The type of the cell.
    /// </summary>
    public CellType Type;

    /// <summary>
    /// The value in db.
    /// </summary>
    private float value;

    public Vector3 Position;
    public Vector3 Size;

    private static float maxValue;
    private static float minValue;
    public static float MaxValue
    {
        get { return maxValue; }
        set { if (!float.IsNaN(value)) maxValue = value; }
    }
    public static float MinValue
    {
        get { return minValue; }
        set { if (!float.IsNaN(value)) minValue = value; }
    }
    public static void resetLimits()
    {
        MaxValue = 0;
        MinValue = float.MaxValue;
    }

    public void setColor()
    {
        if (value < 70)
            this.Color = new Color(183, 200, 255);
        else
        {
            float rango = (MaxValue - MinValue);
            float v = (value - MinValue) / rango;

            float R = MathHelper.Clamp(1 - v + 0.7f, 0, 1);
// v / 3;
            float G = v; // v / 3 + 1 / 3f;
            float B = v/3 + 2 / 3f;
            //if (G > 1) G = 1 - G;
            //if (B > 1) B = 1 - B;
            this.Color = new Color((byte)((int)(R * 255)),
(byte)((int)(G * 255)), /*(byte)((int)(B * 255)*/ 40, 255);
        }
    }

    public List<float> Lp;

    private static Random random;
    public float Value
    {
        get { return value; }
        set
        {
            this.value = value;
        }
    }

```

```

    }
}

public Color Color;

/// <summary>
/// The position of the center of the cell.
/// </summary>
public Vector3 Center
{
    get { return new Vector3(Position.X + 0.5f /
Game1.Width, Position.Y + 0.5f / Game1.Height, 0); }
}

#region Constructors
static Cell()
{
    random = new Random();
}
public Cell()
{
    this.Type = CellType.Space;
    this.Lp = new List<float>();
    //Color = new
Color((byte)(random.NextDouble()*255),
(byte)(random.NextDouble()*255),
(byte)(random.NextDouble()*255), 255);
    Color = new Color(183, 200, 255);
}
#endregion
}

public enum CellType
{
    Space,
    Wall,
    Pump,
    Chiller,
}
}

```

## A.2.TABLAS DE REPORTE

Tablas exigidas por la norma COVENIN 1565-1995.

Hotel Paseo las Mercedes

Punto	LQ	Lmax	Lmin	L5	L10	L90
1	89,7	91,8	87,7	90,6	90,4	88,9
2	88,2	90,2	85,8	89,3	89,1	87,2
3	89,3	91,3	88,2	90	89,8	88,8
4	88,9	90,6	87,5	89,7	89,5	88,4
5	87,3	89,1	85,9	88,1	87,8	86,7
6	85,7	87,4	84,5	86,4	86,3	85,3
7	87,2	89,4	85,2	86,6	88,3	86
8	87,6	90,2	85,6	89	88,6	86,7
9	86,8	88,8	84,4	87,9	87,7	85,7
10	87,3	89,4	85,6	88,1	87,9	86,5
11	86,4	87,8	85,2	87,1	86,9	85,9
12	88,8	91,1	86,7	89,9	89,7	88
13	88,6	90,1	87	89,5	89,3	87,9
14	88,6	90,5	87,1	89,7	89,4	87,8
15	87,4	89,4	85,5	88,6	88,4	86,2
16	87,2	89,1	85,7	88,2	88	86,4
17	88	90,4	86	89,5	89,2	86,9
18	86,2	89,4	84,4	87,6	87,1	85,4
19	86,5	89,9	84,7	88,2	87,8	85,5
20	86,7	88,7	84,9	87,7	87,5	85,7
21	85,3	87,4	83	86,3	86,1	84,2
22	86,8	89,2	85,1	88	87,6	86
23	88,1	90,8	85,9	89,2	89	87,1
24	87,1	90,1	85,3	88,2	87,8	86,3
25	88,2	90	85,9	89,3	89,1	87,3
26	88,1	90,7	85,2	89,6	89,3	86,8
27	86,7	88,6	85	87,6	87,4	85,9
28	87,9	90	85,6	89,1	88,9	86,8
29	88,2	90,9	85,2	90	89,7	86,3
30	88,8	90,8	86,5	89,9	89,7	87,7
31	85,1	89,2	83,1	86,3	86,1	84
32	86	88,5	84,3	87,2	86,9	85
33	86,4	91,1	84,5	88,2	87,1	85,4
34	88	90,3	86,1	89,1	88,9	87,1
35	87,7	90,1	85,9	88,8	88,6	86,7
36	91,2	94	88,7	92,7	92,5	89,9

37	89,4	93,1	85,2	91,8	91,4	86,7
38	89,1	92,1	86,5	90,6	90,4	87,8
39	90,3	92	86,1	91,5	91,2	89,2
40	88,3	92,5	85,8	89,9	89,5	87,1
41	88,1	90,2	85,5	89,4	89,1	87
42	88,5	91,4	85,5	90	89,6	87,1
43	90,2	92,7	86,9	91,5	91,2	89
44	90,1	92,5	87,4	91,4	91,1	88,7
45	91,2	96,6	88,2	93	92,5	89,4
46	89,3	92,5	85,7	90,8	90,4	88,2
47	90,2	92,9	87,1	92	91,7	88,8
48	90	92,3	87,6	91,5	91,1	88,7
49	94,2	96,4	91,9	95,5	95,2	93,2
50	91,7	94,5	88	93,2	92,8	89,7
51	91,6	96,2	88,3	95,1	94,5	89,2
52	92,8	95,3	89,8	94,4	94	91,1
53	89,3	93,7	85,5	92	91,3	86,9
54	88,7	92,1	85,7	90,4	90	86,9
55	92,5	92,2	89,5	94,1	93,8	91,1
56	87,7	90,8	84,2	89,9	89,4	85,8
57	88,3	91,3	85,4	90,2	89,7	86,8
58	94,6	96,7	92,2	95,8	95,6	93,6
59	91,4	94,6	88,2	93,4	92,8	89,6
60	90	93,1	87	91,8	91,5	88,4
61	93,1	96,4	86,6	95,4	95,1	88,4
62	94,9	97,6	91,3	96,6	96,2	93,3
63	91,4	95,8	87,1	94	93,4	88,5
64	93,9	97	88,5	95,4	95,1	92,6
65	94,2	97,3	91,5	95,7	95,4	92,8
66	96,8	99,5	92,1	98,1	97,9	94,4
67	98,8	100,4	96,2	100	99,8	97,7
68	91,6	95,4	83,3	93,8	93,4	89,1
69	93,8	98,9	91,1	96,5	95,5	92,1
70	97,4	101,1	93,7	99,8	99,4	94,8
71	88,3	90,8	86,3	89,8	89,5	87
72	88,5	91,4	85,5	90,4	90,2	86,8
73	86,7	90,5	82,8	89,8	89,4	84,1
74	88,8	91,5	87,2	89,9	89,6	88
75	88,5	91,3	85,2	90,2	89,9	86,3
76	87,7	90,8	85,4	89,3	89	86,5
77	87,8	93,6	84,8	89,1	88,7	86,5
78	87,9	89,6	86,1	88,9	88,7	87,1
79	85,9	87,6	84,7	86,7	86,5	85,3

80	90,1	91,5	87,2	91,1	90,9	89,2
81	85,5	88,3	82,6	87,1	86,9	83,8
82	88,8	90,8	87,6	89,5	89,3	88,2
83	87,9	89,8	85	89	88,8	87
84	86,9	89,8	84,5	88,6	88,2	85,5
85	91,1	93,3	89,4	92,1	91,9	90,3
86	92,8	94,8	86,7	94	93,7	91,3
87	90,2	92,3	87,4	91,3	91,1	89,2
88	88	91,9	84,9	91,1	90,7	86,3
89	90,9	93	87,6	92,1	91,7	90,2
90	91,6	93,6	89,7	92,8	92,3	90,9
91	90,9	93,1	88,4	92,1	91,8	89,5
92	86,5	89,7	84,5	88,3	87,9	85,4
93	88,2	91,8	85,7	90	89,6	86,7
94	89,3	92,8	86,1	91,4	90,6	87,5
95	89,6	91,2	87,8	90,6	90,4	88,8
96	91,1	93,3	86,8	92,5	92,3	88,6
97	90,7	93,7	88,8	92,3	92,1	89,8
98	92,3	95,1	89,4	93,9	93,6	91
99	89,4	91,8	87,2	90,7	90,4	88,4
100	89,3	91,3	86,5	90,4	90,2	88,1
101	89	91	87,2	90,1	89,9	87,9
102	88,1	91,3	85,5	90	89,5	86,7
103	87,9	89,8	85,8	89,2	89	86,9
104	90,1	93	87,3	91,8	91,5	88,6
105	89,3	91,5	87,6	90,4	90,1	88,4
106	87,2	88,9	84,9	88,2	88	86,2
107	86,8	88,8	84,7	88	87,8	85,9
108	87,1	89,1	83,8	88,3	88,2	85,3
109	87,7	89,7	86,3	89	88,7	86,9
110	84,7	86,3	82,8	85,7	85,5	83,7
111	85,6	88,1	83,8	86,8	86,3	84,9
112	85,5	87,4	84,2	86,5	86,3	84,8
113	84,5	85,7	83,4	85,1	85	84
114	85,1	87,1	83,7	86,1	85,8	84,5
115	83,6	85,9	81,9	84,7	84,5	82,8
116	84,9	86,5	83,4	85,8	85,6	84,3
117	84,9	86,5	83,4	85,6	85,5	84,3
118	83,3	84,8	82	84	83,8	82,7
119	83,3	85	82,1	84	83,8	82,7
120	85,1	87,1	83,4	86,5	86,3	84,3
121	85,8	87,8	84,5	86,6	86,4	85,3
122	84,3	85,9	83,2	85	84,8	83,8

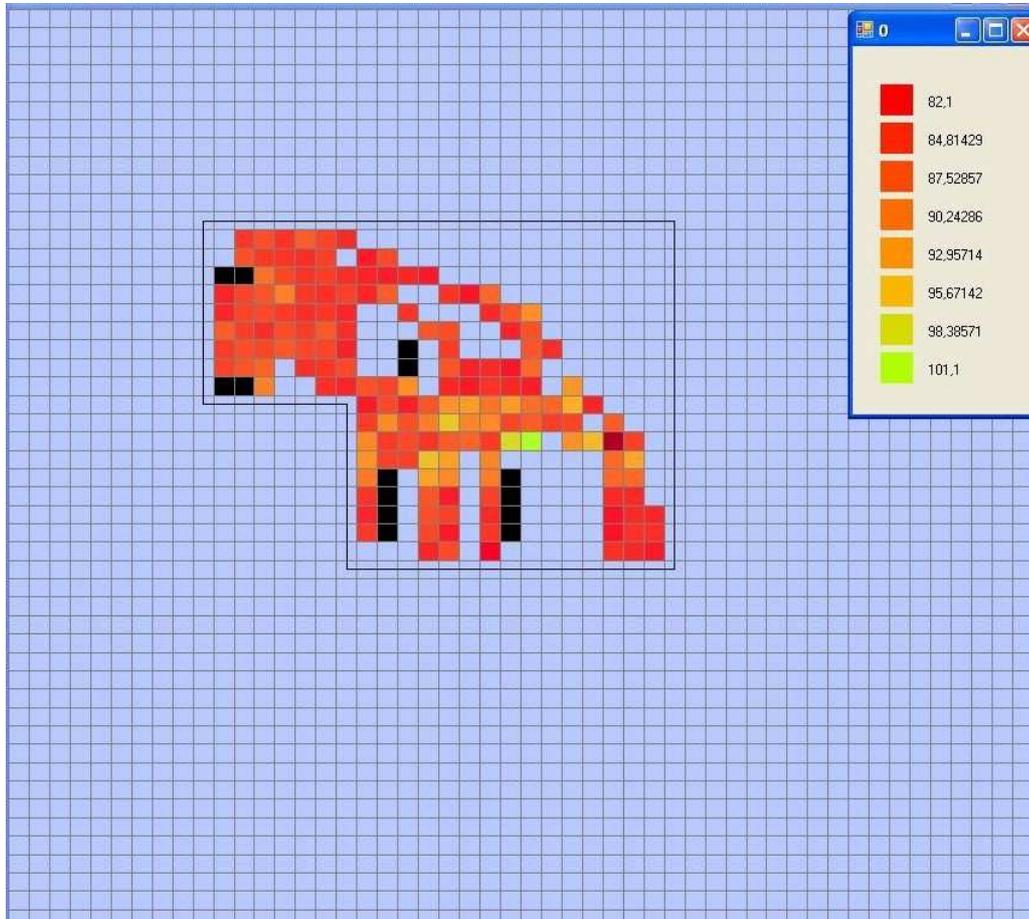
123	84,8	87,6	83,3	86,3	85,7	84
124	84,1	86	82,8	84,7	84,5	83,5
125	84,7	86,1	83,3	85,3	85,1	84,2
126	85,1	86,5	83,8	85,8	85,6	84,5
127	84,5	85,7	83,5	85,2	85	84
128	84,6	86,1	83	85,2	85,1	84
129	84,4	85,7	83,1	85,1	84,9	83,8
130	84,3	85,5	82,9	85	84,8	83,7
131	84,3	87,9	82,5	85,6	85,1	83,4
132	84,5	88	88,9	86,1	85,5	83,6
133	84,2	88,7	82,6	85,6	84,9	83,4
134	84,9	86,4	83,6	85,5	85,4	84,3
135	84	86,4	82,6	84,9	84,6	83,3
136	84,7	86,1	83,1	85,3	85,2	84,1
137	84,9	86,7	83,5	85,7	85,5	84,3
138	85,1	89,9	83,4	86,6	86,1	84,2
139	85	89,3	83,3	86,7	86,1	84
140	87,5	89,8	86,4	88,3	88	86,9
141	86,2	87,6	85	86,7	86,6	85,7
142	87,2	84,4	86,3	87,8	87,7	86,8
143	88,1	89,9	87	88,7	88,6	87,7
144	87,9	89	86,9	88,6	88,4	87,5
145	86,3	89,5	87,3	88,9	88,7	87,9
146	87,4	88,6	86,4	87,9	87,8	86,9
147	88,7	91,2	87,8	89,4	89,2	88,3
148	85	86,7	84,1	85,6	85,5	84,7
149	85,4	86,7	84,7	86	85,9	85,1
150	85,1	86,3	84,2	85,7	85,5	84,7
151	86,1	87,1	85,3	86,6	86,5	85,7
152	85	86,5	83,8	85,7	85,5	84,6

Aula Magna de la Universidad Central de Venezuela

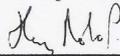
Punto	LQ	Lmax	Lmin	L5	L10	L90
1	87	89,2	85,8	87,6	87,5	86,5
2	88	92,1	85,6	89,6	89,2	86,6
3	90,1	92	87,8	91,2	91	89,1
4	89,6	91,5	87,3	90,6	90,4	88,4
5	88,7	90,6	87,6	89,5	89,2	88,2
6	88,8	89,3	88,1	89,1	89	88,4
7	99,8	100,5	97,5	100,5	100,5	99,8
8	90,1	90,6	89,8	90,4	90,4	90
9	89	89,9	88,2	89,5	89,3	88,6
10	88,7	89,9	87,9	89,6	89,4	88,2
11	88,6	89,6	88,2	89,4	89,2	88,4
12	88,2	88,7	87,9	88,5	88,4	88,1
13	88,6	90,5	87,7	89,8	89,4	88
14	88,3	89,6	87,4	89,2	88,9	87,8
15	89,4	90,1	88,6	89,8	89,8	89
16	90,3	90,9	89,4	90,8	90,7	89,8
17	90	90,6	89,1	90,4	90,3	89,4
18	90,7	93,5	89,4	91,6	91,5	90
19	91	92	90,2	91,4	91,3	90,7
20	90,3	90,9	89,8	90,6	90,6	90
21	89,7	90,4	89,1	90,2	90,1	89,6
22	89,7	90,8	88,8	90,4	90,2	89,2
23	89,2	91	88,5	90,2	89,5	88,8
24	92,7	94	91,9	93,5	93,1	92,3
25	91,1	92,9	89,6	92,5	92,3	89,9
26	90	90,4	89,4	90,2	90,2	81,8
27	90,1	90,8	89,6	90,4	90,4	89,9
28	90,6	91,8	89,1	91,5	91,4	89,6
29	90,8	92	89,5	91,7	91,6	90,1
30	90,6	91,7	89,6	91,4	91,3	90
31	91	92,3	89,6	91,9	91,8	90,1
32	91	92,1	89,8	91,8	91,7	90,2
33	89,2	90,2	88,6	89,8	89,5	89
34	88,9	89,5	88,3	89,2	89,1	88,7
35	89,2	89,7	88,7	89,5	89,5	89
36	89,1	89,9	88,1	89,5	89,4	88,9

37	89	89,6	88,4	89,4	89,3	88,8
38	88,5	89,2	88	88,9	88,8	88,3
39	87,7	88,4	87,1	88,1	88	87,4
40	87,8	88,5	87,3	88,2	89,1	87,5
41	87,7	88,4	87,3	88,1	88	87,5
42	87,6	88,3	86,9	88	88	87,2
43	87,6	88,4	87	88	88	87,3
44	87	87,5	86,5	87,3	87,3	86,7
45	87,2	87,8	86,6	87,6	87,5	86,9
46	86,7	87,3	86	87,1	86,9	86,4
47	86,7	87,3	86,3	86,9	86,9	86,5
48	86,6	87,9	85,9	87,3	87	86,3
49	86,8	87,8	86	87,2	87,1	86,3
50	86,8	87,7	86,2	87,4	87,3	86,5
51	86,6	87,4	85,8	86,9	86,9	86,2
52	86,1	86,9	85,5	86,5	86,4	85,8
53	86,5	87,3	85,9	87	86,9	86,1
54	86,5	87,3	85,9	86,9	86,8	86,2
55	86,8	87,6	86	87,2	87,1	86,4
56	92,8	93,9	91,3	93,5	93,4	91,8
57	91,6	92,4	90,6	92,2	92,1	91,2
58	93	94,2	91,2	94	93,8	92,2
59	91,4	92,6	90,6	92,1	92	90,9

### A.3. ESTIMACIÓN EXPERIMENTAL SALA HOTEL PASEO LAS MERCEDES



## A.4. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

			<b>No.</b> 0112
<b><u>Certificado de Calibración</u></b> Ref: 2007-0057-CC9110007			
			<b>Fecha de emisión:</b> 07/08/2007 <b>Válido hasta:</b> 07/08/2008
<b>INSTRUMENTO</b>			
<b>Equipo:</b> Sonómetro	<b>Marca:</b> QUEST	<b>Modelo:</b> 1900	<b>N° de serie:</b> CC9110007
<b>Componentes del instrumento:</b> Micrófono B&K, Modelo 4936, S/N: 2362779			
<b>Enviado por:</b>	UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA División de Ambiente, Salud y Trabajo Ciudad Universitaria de Caracas		
<b>Condiciones ambientales:</b>			
<b>Temperatura:</b> 18-25 °C	<b>Humedad:</b> 20-80%	<b>Presión atm.:</b> 910 - 920 mbar	
<b>Procedimiento de calibración utilizado:</b> QUEST-V059-725			
<b>Estándares de referencia utilizados:</b>			
<b>Instrumento</b>	<b>N° de serie</b>	<b>Fecha calibración</b>	<b>Válida hasta:</b>
Calibrador acústico Quest Cal	KZF070005	23/05/2007	23/05/2008
Fluke Modelo 8845A	9334003	17/01/2007	17/01/2008
<b>LABCAL Tecnología C.A. certifica que el instrumento identificado arriba fue calibrado y dejado EN TOLERANCIA de acuerdo con las especificaciones del fabricante, y cumple o excede los requerimientos de las siguientes normas internacionales:</b> <b>ANSI Standard for Sound Level Meters S1.4-1983, Type 2;</b> <b>IEC 651-1979 for Sound Level Meters, Type 2;</b> <b>IEC 804-1985 for Integrating Sound Level Meters, Type 2</b>			
<b>Revisado / Aprobado por:</b>			
 _____			
Henry Roló - Gerente de Laboratorio			
<small>Los instrumentos utilizados como estándares de referencia en esta prueba tienen trazabilidad NIST. Este documento aplica solamente al instrumento identificado arriba y no puede ser reproducido sin la aprobación expresa de LABCAL Tecnología, C.A.</small>			
<small>LABCAL Tecnología, C.A. Av Chicago, Centro Empresarial Sturgis, Piso 4. La California Sur Caracas, Venezuela. Telf. (212) 257.4434. RIF: J-29432199-2. www.labcal.com.ve</small>			

A.5. Constante de Absorción de diversos materiales

Material	Coeficiente de absorción $\alpha$ a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Durlock) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 kg/m <sup>2</sup>	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m <sup>2</sup>	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m <sup>2</sup>	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m <sup>2</sup> fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m <sup>3</sup> ) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m <sup>3</sup> ) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m <sup>3</sup> ) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m <sup>3</sup> ) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19 mm	–	0,80	0,71	0,86	0,68	–
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	–	0,72	0,61	0,68	0,79	–
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	–	0,70	0,61	0,70	0,78	–
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	–	0,72	0,62	0,69	0,78	–
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8”	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) 5/8”	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Bloque de Hormigon Tosco	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Bloque de Hormigon Tosco Pintado	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08