

METRICAS PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SONIDO

JUAN DAVID HERRERA RENDON

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MECÁNICA

MEDELLÍN

2012

METRICAS PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SONIDO

JUAN DAVID HERRERA RENDON

PROYECTO DE GRADO

ASESOR:

Dr.Ing. LEONEL FRANCISCO CASTAÑEDA HEREDIA

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MECÁNICA

MEDELLÍN

2012

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a mi asesor de proyecto Leonel Francisco Castañeda Heredia, por su apoyo incondicional y sus valiosos aportes en el desarrollo de este proyecto.

A todo el personal administrativo y operativo de la Universidad EAFIT, especialmente al grupo de investigación GEMI ya que su ayuda fue fundamental para la realización del proyecto.

Agradezco a mi madre, por su invaluable labor en mi formación personal y profesional.

## CONTENIDO

	Pág
OBJETIVOS.....	12
OBJETIVO GENERAL .....	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1.CONCEPTUALIZACIÓN.....	14
1.1  CONCEPTUALIZACIÓN DEL SONIDO DESDE LA DEFINICION DE ENERGÍA .....	15
1.1.1  La energía sonora o energía acústica.).....	18
1.2  SONIDO Y SUS CUALIDADES.....	18
1.2.1  Tono.....	19
1.2.2  Duración.....	20
1.2.3  Timbre.....	21
1.2.4  Volumen o intensidad.....	22
1.3  CONFORT .....	24
1.3.1  Confort psicológico.....	25
1.3.2  Confort físico. ....	26
1.3.3  Confort sociológico.....	27
1.3.4  Confort tecnológico. ....	27
1.4  Ruido.....	27

1.4.1	Tipos de ruido. ....	27
1.5	EFFECTOS DEL RUIDO EN LA SALUD.....	28
1.5.1	Pérdida de atención .....	29
1.5.2	Trastornos del sueño.....	30
1.5.3	Estrés.....	31
1.5.4	Alteraciones en otros órganos.....	32
1.5.5	Efectos psicológicos.....	33
1.5.6	Efectos mentales.....	33
1.6	CALIDAD DEL SONIDO.....	34
	2. PROCEDIMIENTOS Y METRICAS PARA LA CALIDA DEL SONIDO.....	35
2.1	MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL SONIDO .....	38
2.2	MÉTRICAS OBJETIVAS .....	38
2.2.1	Nivel de presión sonora.....	38
2.2.2	FFT (Transformada rápida de Fourier).....	39
2.2.3	Zwicker loudness.....	40
2.2.4	Sharpness.....	47
2.2.5	Roughness y fluctuation strength: .....	50
2.2.6	Métricas subjetivas.....	54
	3.MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL SONIDO UTILIZANDO EL SOFTWARE SOUND QUALITY.....	57
3.1	USOS DE PULSE SOUND QUALITY - .....	58
3.2	FUNCIONES DE EDICIÓN DISPONIBLES EN EL SOFTWARE SOUND QUALITY.....	62

3.3	TIPOS DE ANALISIS.....	65
3.3.1	Análisis FFT. ....	65
3.3.2	Orden de análisis. ....	66
3.3.3	Loudness (sonoridad).....	67
3.3.4	Métricas.....	68
3.4	VISUALIZACIÓN DE DATOS.....	68
3.4.1	Muestreo del tiempo.....	69
3.4.2	Muestreo de FFT.....	69
3.4.3	Show as CPB.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.4.4	Muestreo de sonoridad Loudness. ....	70
3.4.5	Muestreo Binaural Loudness.....	71
3.4.6	Muestreo de métricas.....	73
3.4.7	Muestreo general. ....	74
3.4.8	Prueba de jurado.....	74
3.5	APLICACIONES DE LA CALIDAD DEL SONIDO.....	58
3.5.1	Vehículos. ....	58
3.5.2	Aeronaves.....	59
3.5.3	Electrodomésticos.....	59
	CONCLUSIONES.....	76
	BIBLIOGRAFÍA.....	77

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1 Niveles de presión sonora de referencia. ....	24
Tabla 2. Valores límites en decibelios que causan trastornos .....	31
Tabla 3 Efectos del ruido a nivel sistémico.....	32
Tabla 4. Métricas para la medición de la calidad del sonido.....	38
Tabla 5. Anchos de bandas de los 24 barks de todo el eje frecuencial.....	44

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Circuitos Exteroceptores.....	17
Figura 2. Partes del cerebro .....	18
Fifura 3.Ondas de tono .....	19
Fifura 4. Ondas de duración .....	21
Fifura 5. Ondas del timbre .....	22
Figura 6. Efectos del Ruido en la salud Efectos sobre la persona.....	29
Figura 7. Secuencia de procedimientos de diagnostico de la maquina .....	36
Figura 8. Flujo de normas acusativas .....	37
Figura 9. Representación de las curvas isofónicas.....	41
Figura 10. Relación entre el nivel de presión sonora y la sonoridad para un tono de 1 KH.....	42
Figura 11. Izquierda oído humano. Derecha representación del ancho de banda de las bandas criticas .....	43
Figura 12. Sonoridad especifica a un tono puro de 1 kH a 94 dB.....	45
Figura 13. Espectro de frecuencias y los valores de nitidez de (a) un tono de 100 Hz y (b) de un tono de 10 Hz. ....	48
Figura14. Primer momento parcial.....	48
Figura 15. Ponderación $W'$ en función del tipo de banda critica.....	50
Figura 16. Onda modulada representada respecto al tiempo .....	51
Figura 17. Representacion Grafica de Roughness respecto al tiempo. ....	52
Figura 18. Aplicación prueba de jurado .....	75

## LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. NORMATIVA PARA LA MEDICIÓN ACÚSTICA.....	79
ANEXO B. NORMAS ISO: RUIDO EMITIDO POR VEHÍCULOS .....	87
ANEXO C. MANUAL DE USUARIO SOFTWARE SOUND QUALITY .....	93

## GLOSARIO

Constant percentage bandwidth: porcentaje de ancho de banda constante.

Demodulation: demodulación.

FFT averaged spectrum: espectro promedio de la transformada rápida de Fourier.

FFT contour spectrum: contorno del espectro de la transformada rápida de Fourier.

FFT waterfall spectrum: espectro en cascada de la transformada rápida de Fourier.

Fluctuation strength: fuerza de fluctuación.

Frequency response filter: respuesta del filtro de frecuencia.

Frequency shift: desplazamiento de frecuencia.

Generator: generador.

Harmonic frequency shift: desplazamiento de frecuencia armónica.

Jury testing: prueba de jurado.

Level edit: edición del nivel.

Loudness averaged spectrum: promedio del espectro de sonoridad.

Loudness contour spectrum: sonoridad del contorno del espectro.

Loudness waterfall spectrum: sonoridad del espectro cascada.

Loudness: sonoridad.

Metrics: métricas.

## GLOSARIO

Order analysis: orden de análisis.

Order attenuate: orden de atenuación.

Order passband: orden de paso de banda.

Overall: general.

Passband: banda de paso.

Peak limit: valor limite.

Psychoacoustic test bench: banco de Pruebas psicoacústica.

Realtime filter: filtro en tiempo real.

Roughness : rugosidad.

Sharpness: nitidez.

Show as loudness: muestreo de la sonoridad.

Show as time: muestreo del tiempo.

Statistical instantaneous loudness: sonoridad estática instantánea.

Time attenuate: atenuación del tiempo.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Establecer las métricas para evaluar la calidad del sonido.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conceptualizar sobre la evaluación de la calidad del sonido.

Revisar la normativa para la evaluación de ruido.

Con base en las normas determinar las métricas de la evaluación de la calidad del sonido.

Revisar el programa Sound Quality como herramienta para la evaluación de la calidad del sonido.

## INTRODUCCIÓN

La energía es la capacidad de todo cuerpo o sistema para realizar trabajo, debido a la transformación de esta energía se generan diferentes tipos de ondas entre ellas las ondas sonoras, las cuales son producidas por la vibración de algún elemento.

Las ondas sonoras no siempre son percibidas por el ser humano con la calidad adecuada, debido a esta mala calidad pueden ocasionar perjuicios a diferentes sistemas del cuerpo.

Cuando el sonido genera alteraciones o discomfort en el ser humano se denomina ruido y debe ser estudiado o evaluado para corregirlo, ya que puede generar perjuicios a diferentes sistemas del cuerpo

El siguiente trabajo tiene como objeto la conceptualización de la calidad del sonido. Se comienza con la definición de los conceptos básicos que están involucrados en la generación medición y análisis del sonido.

Se realiza una revisión de la normativa acústica determinando las métricas que se utilizan para el análisis y la medición de la calidad del sonido.

Finalmente se concluye presentando. El software Sound Quality como el programa de adquisición de señales acústicas y análisis de las mismas.

## 1. CONCEPTUALIZACIÓN

Existen dos definiciones posibles de sonido: una física, donde se considera al sonido como una perturbación en algún medio y otra psicoacústica, que se refiere al sonido como la sensación que produce una onda sonora en nuestro sistema auditivo.

(Rodrigo F. Cádiz - Centro de Investigación en Tecnologías de Audio, Chile 2008 )

El sonido, en sentido físico, es la vibración mecánica que se produce en un medio elástico gaseoso, líquido o sólido a través del cual se transmite energía, de un modo continuo, desde la fuente, por ondas sonoras progresivas.

El ruido como fenómeno físico puede ser descrito y evaluado detalladamente a través de distintos parámetros. Es también, importante asociar estos parámetros al complejo proceso de percepción auditiva.

La valoración subjetiva del ruido permite establecer límites que no solo están orientados a proteger el sistema auditivo de niveles excesivos, sino que además a definir el concepto Calidad acústica.

(Antropología del Sonido Netaudio en España. 2006)

Dentro de esta idea, es importante entender el fenómeno de propagación del sonido en recintos, ya que muchas actividades que el hombre realiza se desarrollan en espacios cerrados y es en estos lugares donde la Calidad o confort acústico cobra especial validez.

El ruido y su valoración es por lo tanto un tema de creciente interés, no sólo en el ámbito de la salud ocupacional, donde se enfoca desde el punto de vista de la prevención de pérdidas auditivas, sino que además por la estrecha relación que existe con muchas actividades que el hombre realiza.

## 1.1 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SONIDO DESDE LA DEFINICION DE ENERGÍA

La energía se define como la capacidad de un cuerpo o sistema para realizar trabajo. Existen diferentes tipos de energía:

- Energía Mecánica.
- Energía Potencial.
- Energía Cinética.
- Energía Química.
- Energía Calórica.
- Energía Eléctrica.
- Energía Nuclear.
- Energía Solar.
- Energía Geotérmica.
- Energía Eólica.
- Energía Hidráulica.

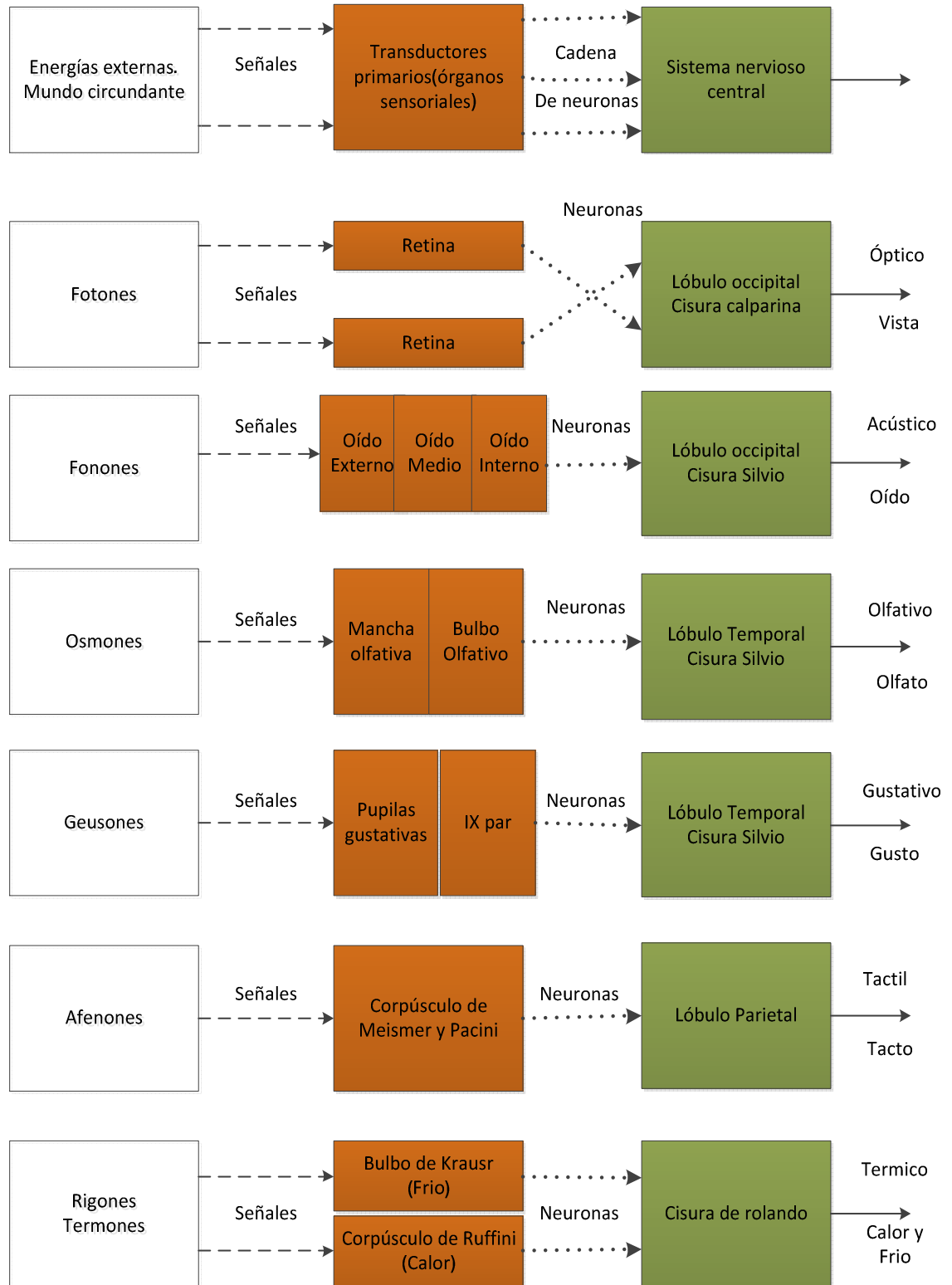
Las energías externas alteran nuestros sentidos. Tales energías, provenientes del mundo circundante, están constituidas por vibraciones, reacciones químicas y fenómenos físicos, y en cada caso emiten señales particulares. En la medida en que cada una de las energías externas impresiona el órgano sensorial correspondiente, se tiene una conversión de la forma de señal originaria, a la forma eléctrica. Genéricamente los órganos sensoriales se denominan transductores primarios.

Para diferenciar los estímulos o señales del mundo circundante (energías externas) conforme a su modalidad, frecuencia o tipo, se ha establecido la siguiente clasificación (ver figura 1).

- Fotones: Los que inciden en el órgano de la vista, dando lugar a la sensación de luz y color
- Fonones: Los que estimulan el oído
- Osmones: Los que afectan el olfato
- Geusones: Los que afectan el gusto
- Afenones: los que estimulan el tacto
- Termiones y Rigones: Los que se relacionan con el calor y el frío respectivamente.

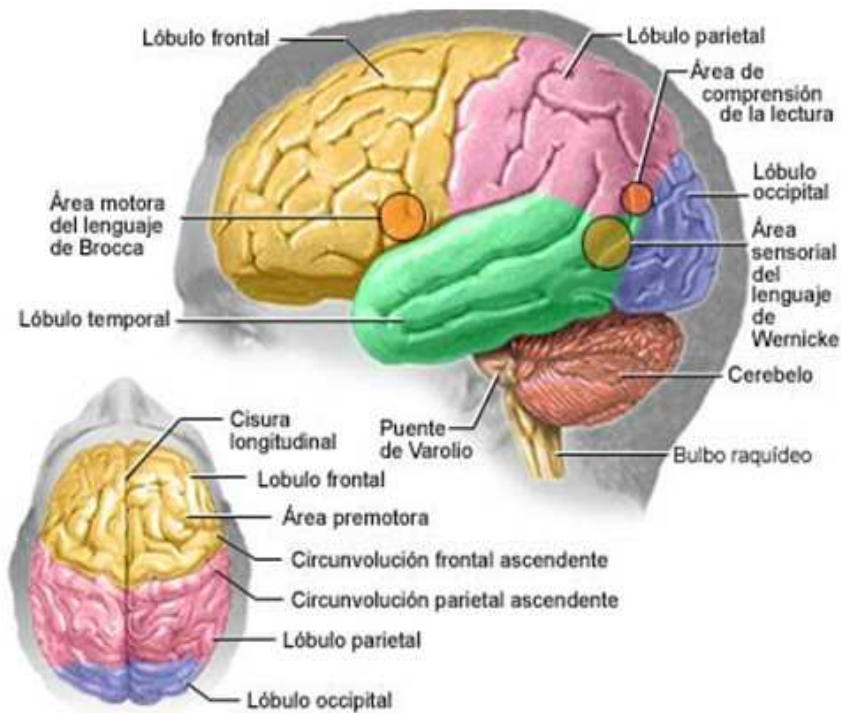
(Biosicoenergetica, Livio Vinardi)

Figura 1. Circuitos Exteroceptores



Biopsicoenergía. El ser humano como medida. Kier, 2004

Figura 2. Partes del cerebro



Emoción. Psicobiología de los sentimientos. Psiharis. España

1.1.1 La energía sonora o energía acústica. Es la energía que transmiten o transportan las ondas sonoras. Procede de la energía vibracional del foco sonoro y se propaga a las partículas del medio que atraviesan en forma de energía cinética (movimiento de las partículas).

(Definición energía sonora, wikipedia).

## 1.2 SONIDO Y SUS CUALIDADES

El sonido es una señal de presión propagada en algún medio.

El oído es capaz de distinguir unos sonidos de otros porque es sensible a las diferencias que puedan existir entre ellos en lo que concierne a alguna de las cuatro cualidades que caracterizan todo sonido y que son la intensidad, el tono, duración y el timbre. Aún cuando todas ellas se refieren al sonido fisiológico, están relacionadas con diferentes propiedades de las ondas sonoras.

En base a los anteriores parámetros conocidos para las ondas, se derivan algunas definiciones formales específicas para la descripción del sonido, entre las principales se tienen:

1.2.1 Tono. El tono o altura permite diferenciar sonidos graves o bajos de agudos o altos. Depende de la frecuencia del sonido: un sonido es grave si su frecuencia es inferior a 1.000 Hz (sonido de bombo, voz de bajo,...) y agudo si su frecuencia es superior a 1.000 Hz (voz de soprano y tenor, sonido de violín,...). Así, las diferentes notas musicales (do, re, mi, fa, sol, la, si) corresponden a diferentes frecuencias, situadas normalmente por debajo de 4.000 Hz.

Figura 3. Ondas de tono



Cualidades del sonido, wikipedia

El oído humano detecta los sonidos de frecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 Hz, aunque puede variar con la persona y la edad. Otras especies animales detectan otros intervalos de frecuencias; así ballenas y murciélagos, emiten y detectan sonidos de hasta 100.000 Hz.

Los sonidos de frecuencia inferior al umbral que detecta una persona ( $v < 20$  Hz) se llaman infrasonidos; por ejemplo, los que emiten los terremotos o la maquinaria pesada que trabaja en los desmontes en la construcción de carreteras. Por otro lado, los sonidos de frecuencia superior al límite máximo de

audición humana ( $v > 20.000$  Hz) se llaman ultrasonidos; se emplean en la realización de ecografías y en el sonar de los barcos (40.000 Hz).

La velocidad del sonido es constante para cualquier frecuencia, por lo tanto, la longitud de onda,  $\lambda$  de los sonidos agudos es menor que la de los graves, ya que:

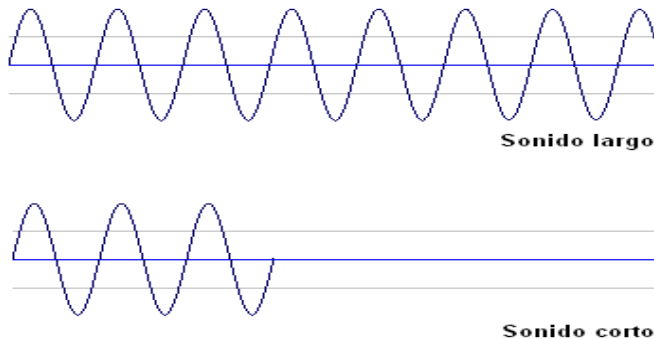
$$v = \lambda \cdot f$$

$v$ = velocidad del sonido

$f$ = frecuencia

1.2.2 Duración. La duración es una cualidad del sonido que posee gran importancia musical, debido a que determina el ritmo, uno de los elementos básicos de la música. La duración de una sensación sonora depende directamente de la duración del movimiento vibratorio que origina el sonido, aunque en algunos casos la sensación persiste después del cesar el estímulo. Cuando la duración es muy pequeña afecta nuestra percepción de la altura: según experiencias realizadas por Ekdahl y Stevens, un sonido de 1000 ciclos cuya duración es de 0,01 segundos produce una sensación cuya altura es igual a la de un sonido de 842 ciclos cuya duración es de 1,5 segundos. Con la intensidad del sonido ocurren fenómenos similares.

Fifura 4. Ondas de duración



Cualidades del sonido, wikipedia

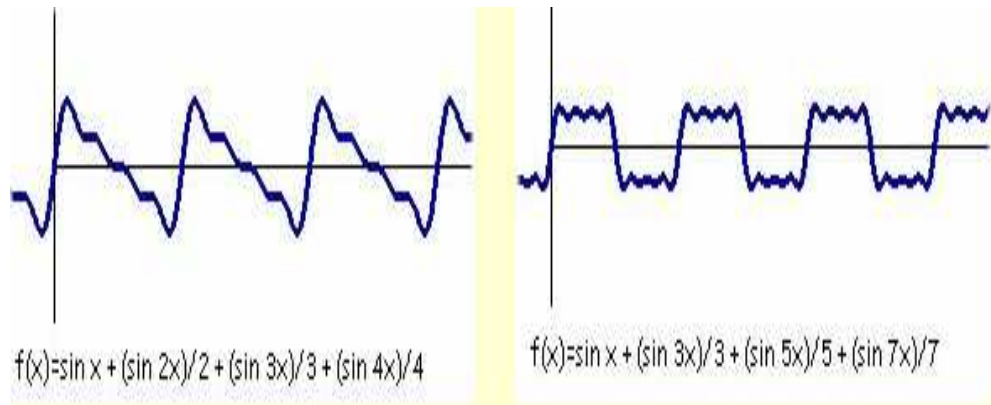
1.2.3 Timbre. Esta cualidad permite distinguir dos sonidos de igual intensidad y tono producidos por dos focos diferentes. Dos violines, por ejemplo, de diferente fabricación producen diferente timbre aún tocando la misma nota. El timbre se relaciona con el hecho de que un sonido casi nunca es puro, o sea, casi nunca corresponde a una onda sonora dada, sino que suele haber una frecuencia fundamental a la que pertenece la mayor parte de la energía de ese sonido y otras frecuencias que llevan su cantidad de energía y responden a otra frecuencia y son llamadas armónicas las cuales se superponen a la onda correspondiente a la frecuencia fundamental.

Físicamente, el timbre es la cualidad que confieren al sonido los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental. Estos armónicos generan variaciones en la onda base.(Sonido, física del sonido, capítulo 2)

A continuación se observan dos representaciones de ondas de la misma frecuencia principal pero que se diferencian por su forma, es decir se

diferencian en los armónicos y por ello si los escucháramos podríamos distinguir los dos sonidos, pues tienen distinto timbre.

Figura 5. Ondas del timbre



Cualidades del sonido, wikipedia

1.2.4 Volumen o intensidad. Calidad derivada de la amplitud de la onda sonora que encarna el sonido y determina su intensidad, describe el sonido en términos de sonoridad y debilidad.

La intensidad del sonido percibido, o propiedad que hace que éste se capte como fuerte o como débil, está relacionada con la intensidad de la onda sonora correspondiente, también llamada intensidad acústica. La intensidad acústica es una magnitud que da idea de la cantidad de energía que está fluyendo por el medio como consecuencia de la propagación de la onda.

Se define como la energía que atraviesa por segundo una superficie unidad dispuesta perpendicularmente a la dirección de propagación. Equivale a una potencia por unidad de superficie y se expresa en  $W/m^2$ . La intensidad de una onda sonora es proporcional al cuadrado de su frecuencia y al cuadrado de su amplitud y disminuye con la distancia al foco.

La magnitud de la sensación sonora depende de la intensidad acústica, pero también depende de la sensibilidad del oído. El intervalo de intensidades acústicas que va desde el umbral de audibilidad, o valor mínimo perceptible, hasta el umbral del dolor.

La intensidad fisiológica o sensación sonora de un sonido se mide en decibelios (dB). Por ejemplo, el umbral de la audición está en 0 dB, la intensidad fisiológica de un susurro corresponde a unos 10 dB y el ruido de las olas en la costa a unos 40 dB. La escala de sensación sonora es logarítmica, lo que significa que un aumento de 10 dB corresponde a una intensidad 10 veces mayor por ejemplo, el ruido de las olas en la costa es 1.000 veces más intenso que un susurro, lo que equivale a un aumento de 30 dB.

Debido a la extensión de este intervalo de audibilidad, para expresar intensidades sonoras se emplea una escala cuyas divisiones son potencias de diez y cuya unidad de medida es el decibelio (dB), La conversión entre intensidad y decibelios sigue esta ecuación:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Donde  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  y corresponde a un nivel de 0 decibelios por tanto. El umbral del dolor corresponde a una intensidad de  $1 \text{ W/m}^2$  o 120 dB.

Ello significa que una intensidad acústica de 10 decibelios corresponde a una energía diez veces mayor que una intensidad de cero decibelios; una intensidad de 20 dB representa una energía 100 veces mayor que la que

corresponde a 0 decibelios y así sucesivamente. (Sonido, física del sonido, capítulo 2)

Tabla 1 Niveles de presión sonora de referencia.

Sonido	Estimación en dB
Estudio de grabación vacío.	0 dB
Murmullo a tres metros.	10 dB
Paso de las hojas de un libro	10 dB
Susurro a un metro	20 dB
Calle sin tráfico en zona residencial	30 dB
Dormitorio tranquilo de día	25 dB
Conversación a tres metros	45 dB
Orquesta de cuerda y viento	60 dB
Orquesta de metales	70 dB
Despertador a 40 cm	80 dB
Calle ruidosa con mucho tráfico	90 dB
Fábrica industrial ruidosa	100 dB
Umbral del dolor	120 dB
Avión a reacción a 200m	140 dB
Cohete espacial a unos 3.000m	200 dB

Sonido, física del sonido, capítulo 2. 2004

### 1.3 CONFORT

La definición del confort es algo complejo ya que depende de la apreciación subjetiva de cada persona y es una mezcla de diversos factores tanto físicos

como psicológicos que dependen de la necesidad de cada individuo para atenuar o eliminar la sensación de incomodidad.

El confort es definido como el bienestar que experimenta el individuo ante la ausencia de perturbaciones físicas y psicológicas. Este bienestar puede ser perturbado por factores como ruido, vibraciones, movimientos, etc.

La sensación de bienestar depende además de otros factores como hábitos, estrés y criterios subjetivos de las personas. Por ésta razón, las normas establecen que el juicio sobre un aspecto de la calidad de un ambiente, se debe basar en la determinación de un parámetro estadístico, llamado: Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI) Es decir, del número estimado de personas que expresan insatisfacción (Javier Covarrubias)

Nunca se llegará por lo tanto al 0% de insatisfacción por razones obvias.

Las instalaciones se diseñan y conciben para controlar solamente uno o unos pocos de los numerosos parámetros que afectan al confort.

El confort se puede observar o estudiar en cuatro campos o puntos de vista los cuales son:

1.3.1 Confort psicológico. Se refiere a la percepción global que tiene el cerebro de toda la información sensorial que recibe del medio ambiente, esta es analizada y procesada en función de la información (conocimiento y experiencias), de tal forma que el individuo responderá de una u otra manera, expresando satisfacción o desagrado ante estímulos ambientales. Algunos aspectos del confort psicológico son:

- Confort material: satisfacción básica de necesidades como comida, higiene, seguridad definiendo así una condición externa mínima de confort
- Confort estético: es subjetivo y depende del gusto de cada individuo por los olores, texturas, colores, etc.
- Confort de socialización: algunas personas tienen la necesidad de comunicarse con otras mientras que hay personas que se sienten cómodas estando sola.
- Confort de pertenencia: las personas quieren sentir que pertenecen a un grupo de personas y no les gusta sentirse extraños.

Todas las personas tratan de encontrar estas cuatro categorías de confort, cada uno a su manera ya que depende de su cultura, educación, historia, experiencias, etc.

1.3.2 Confort físico. Es el estado de una persona, la cual presenta ausencia de dolor o algún tipo de mal que aqueje el cuerpo donde los sentimientos de bienestar son agradables y relajantes. La calidad del aire, temperatura y ruido son algunos de los factores que pueden alterar este tipo de confort. Este puede dividirse en fisiológico y biomecánico.

- El confort fisiológico es aquel relacionado con los factores que alteran el estado fisiológico natural de la persona como por ejemplo el ruido y las vibraciones.
- El biomecánico se refiere a la postura de las personas por largos periodos de tiempo, generalmente este tipo de confort va relacionado con la ergonomía de los elementos donde se ubica el individuo.

1.3.3 Confort sociológico. Cada individuo tiene su propia idea de confort pero está condicionada por el grupo, familia o cultura a la que pertenezca, generalmente se distinguen entre percepción geográfica y etnia del confort, la cual varía entre culturas, países y la percepción de clases sociales la cual percibe el confort con la capacidad de adquirir bienes.

1.3.4 Confort tecnológico .Estado material del confort referido a condiciones en el ambiente de la persona rodeada por artículos y servicios que hacen de su vida más fácil y agradable. El confort se provee por medios tecnológicos, objetos manufacturados que tienen características confortables, las cuales son medibles.

## 1.4 RUIDO

Es un sonido no deseado y se compone de una parte subjetiva que es la molestia y una parte objetiva que puede cuantificarse, que es el sonido propiamente dicho.

1.4.1 Tipos de ruido. Los ruidos se pueden clasificar en función del tiempo y la frecuencia. Clasificando el en función del tiempo se pueden encontrar los siguientes tipos:

Continuo constante: ruido cuyo nivel de presión sonora permanece constante o presenta pequeñas fluctuaciones a lo largo del tiempo. Estas fluctuaciones deben ser menores de 5dB durante el periodo de observación.

Fluctuante: ruido cuyo nivel de presión sonora fluctúa a lo largo del tiempo. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o aleatorias.

Impulsivo: ruido cuyo nivel de presión sonora se presenta por impulsos. Se caracteriza por un ascenso brusco del ruido y una duración total del impulso muy breve con relación al tiempo que transcurre entre impulsos. Estos impulsos pueden presentarse repetitivamente en intervalos iguales de tiempo o bien aleatoriamente.

En cuanto a los ruidos en función de la frecuencia, cabe destacar el ruido blanco como aquel ruido cuyo nivel de presión sonora permanece constante para todas las frecuencias en un amplio ancho de banda de frecuencias. Por lo tanto, se trata de un sonido en el que todas las frecuencias tienen la misma intensidad ( Ingeniería telemática para la asignatura de LSED de la escuela politécnica superior de Alcoy (E.P.S.A).

## 1.5 EFECTOS DEL RUIDO EN LA SALUD

El ruido actúa a través del órgano del oído sobre los sistemas nerviosos central y autónomo. Cuando el estímulo sobrepasa determinados límites, se produce sordera y efectos patológicos en ambos sistemas, tanto instantáneos como diferidos. A niveles mucho menores, el ruido produce malestar y dificulta o impide la atención, la comunicación, la concentración, el descanso y el sueño. La reiteración de estas situaciones puede ocasionar estados crónicos de nerviosismo y estrés, lo que, a su vez, lleva a trastornos psicofísicos, enfermedades cardiovasculares y alteraciones del sistema inmunitario, la disminución del rendimiento escolar o profesional, los accidentes laborales o de tráfico, ciertas conductas antisociales, la tendencia al abandono de las ciudades y la pérdida de valor de los inmuebles son algunas de las consecuencias.

Figura 6. Efectos del Ruido en la salud Efectos sobre la persona.



Innatia, Efectos del Ruido en la salud. 2010

La sensación de malestar procede no sólo de la interferencia con la actividad en curso o con el reposo, sino también de otras sensaciones menos definidas pero a veces muy intensas. Las personas afectadas hablan de intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, ansiedad y rabia. Todo ello contrasta con la definición de "salud" dada por la Organización Mundial de la Salud: *"Un estado de completo bienestar físico, mental y social, no la mera ausencia de enfermedad"*.

1.5.1 Pérdida de atención, de concentración y de rendimiento. Es evidente que cuando la realización de una tarea necesita la utilización de señales acústicas, el ruido de fondo puede enmascarar estas señales o interferir con su percepción. Por otra parte, un ruido repentino producirá distracciones que

reducirán el rendimiento en muchos tipos de trabajos, especialmente en aquellos que exijan un cierto nivel de concentración.

En ciertos casos las consecuencias serán duraderas, por ejemplo, los niños sometidos a altos niveles de ruido durante su edad escolar no sólo aprenden a leer con mayor dificultad sino que también tienden a alcanzar grados inferiores de dominio de la lectura.

1.5.2 Trastornos del sueño. El ruido influye negativamente sobre el sueño de tres formas diferentes que se dan, en mayor o menor grado según peculiaridades individuales, a partir de los 30 dB:

- Daños al oído. En la sordera transitoria o fatiga auditiva no hay aún lesión. La recuperación es normalmente casi completa al cabo de dos horas y completa a las 16 horas de acabar el ruido
- La sordera permanente está producida, bien por exposiciones prolongadas a niveles superiores a 75 dBA, bien por sonidos de corta duración de más de 110 dBA, o bien por acumulación de fatiga auditiva sin tiempo suficiente de recuperación. Hay lesión del oído interno. Se produce inicialmente en frecuencias no conversacionales, por lo que el sujeto no la suele advertir hasta que es demasiado tarde, salvo casos excepcionales de autoobservación. Puede ir acompañada de zumbidos de oído (acúfenos) y de trastornos del equilibrio (vértigos). (Dr. Alberto Fernández Ajuria, Puerto Real, Mayo 2001)

1.5.3 Estrés, manifestaciones y consecuencias. Las personas sometidas de forma prolongada a situaciones como las anteriormente descritas (ruidos que hayan perturbado y frustrado sus esfuerzos de atención, concentración o comunicación, o que hayan afectado a su tranquilidad, su descanso o su sueño) suelen desarrollar algunos de los síndromes siguientes:

- Cansancio crónico.
- Enfermedades cardiovasculares: hipertensión, cambios en la composición química de la sangre, isquemias cardiacas, etc. Se han mencionado aumentos de hasta el 20% o el 30% en el riesgo de ataques al corazón en personas sometidas a más de 65 dB en periodo diurno.
- Trastornos del sistema inmune responsable de la respuesta a las infecciones y a los tumores.
- Trastornos psicofísicos tales como ansiedad, manía, depresión, irritabilidad, náuseas, jaquecas, y neurosis o psicosis en personas predispuestas a ello.
- Cambios conductuales, especialmente comportamientos antisociales tales como hostilidad, intolerancia, agresividad, aislamiento social y disminución de la tendencia natural hacia la ayuda mutua. (Dr. André Looten, Madrid 1994)

Tabla 2. Valores límites en decibelios que causan trastornos

A partir de este valor en decibelios	Se empiezan a sentir estos efectos nocivos
30	Dificultad en conciliar el sueño Pérdida de calidad del sueño
40	Dificultad en la comunicación verbal
45	Probable interrupción del sueño
50	Malestar diurno moderado

A partir de este valor en decibelios	Se empiezan a sentir estos efectos nocivos
55	Malestar diurno fuerte
65	Comunicación verbal extremadamente difícil
75	Pérdida de oído a largo plazo
110 - 140	Pérdida de oído a corto plazo

Dr. André Looten, Madrid 1994

1.5.4 Alteraciones en otros órganos. La exposición al ruido puede tener un impacto permanente sobre las funciones fisiológicas de los trabajadores y personas que viven cerca de aeropuertos, industrias y calles ruidosas. Después de una exposición prolongada, los individuos susceptibles pueden desarrollar efectos permanentes, como hipertensión y cardiopatía asociadas con la exposición a altos niveles de sonido. La magnitud y duración de los efectos se determinan en parte por las características individuales, estilo de vida y condiciones ambientales. Los sonidos también provocan respuestas reflejo, en particular cuando son poco familiares y aparecen súbitamente.

La presión arterial y el riesgo de hipertensión suelen incrementarse en las personas expuestas a altos niveles de ruido durante 5 a 30 años. Una exposición de largo plazo al ruido puede tener efectos cardiovasculares. Aunque su efecto no puede cuantificarse, se han establecido relaciones entre el ruido y algunos sistemas o funciones fisiológicas, como se muestran la Tabla 3.

Tabla 3 efectos del ruido a nivel sistémico

Sistema afectado	Efecto
Sistema nervioso central	Hiperreflexia y alteraciones
Sistema nervioso autónomo	Dilatación pupilar

Sistema afectado	Efecto
Aparato cardiovascular	Alteraciones de la frecuencia cardiaca e hipertensión arterial
Aparato digestivo	Alteraciones de la secreción gastrointestinal
Sistema endocrino	Aumento del cortisol y otros efectos hormonales
Aparato respiratorio	Alteraciones del ritmo
Aparato reproductor	Alteraciones menstruales
Órgano de la visión	Estrecha del campo visual y problemas de acomodación
Aparto vestibular	Vértigo y nistagmus
Aparato fonatorio	Disfonías disfuncionales

Efectos del ruido sobre la salud. Ferran Tolosa Cabani.

1.5.5 Efectos psicológicos. Se ha observado que ante el ruido excesivo y constante, disminuye la concentración, la efectividad y la productividad; y aumenta la frecuencia de accidentes de trabajo, la irritabilidad y los estados histéricos y neuróticos.

1.5.6 Efectos mentales. El ruido ambiental no causa directamente enfermedades mentales, pero se presume que puede acelerar e intensificar el desarrollo de trastornos mentales latentes. La exposición a altos niveles de ruido ocupacional se ha asociado con el desarrollo de neurosis, pero los resultados de la relación entre ruido ambiental y efectos sobre la salud mental todavía no son concluyentes. No obstante, los estudios sobre el uso de medicamentos, tales como tranquilizantes y pastillas para dormir, síntomas psiquiátricos y tasas de internamientos en hospitales psiquiátricos, sugieren que el ruido urbano puede tener efectos adversos sobre la salud mental.

(Hoja de Información del NIDCD La pérdida de audición ocasionada por el ruido).

## 1.6 CALIDAD DEL SONIDO

Es el sonido emitido por un producto sin afectar el confort. La calidad del sonido proveniente de productos está ganando importancia en la valoración de la calidad general de un producto. Para muchas clases de productos (Ej.: vehículos y herramientas) la evaluación de nivel sonoro, no es suficiente, la calidad del ruido es parte importante para atraer o alejar consumidores. El sonido correcto puede incrementar ventas.

El objetivo tradicional de los métodos de medición y análisis de ruido (como nivel de presión sonora y análisis FFT) no es suficiente para evaluar la calidad de sonido de un producto; las expectativas del consumidor y pruebas auditivas son factores importantes para determinar la aceptación.

## 2. PROCEDIMIENTOS Y METRICAS PARA LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SONIDO

El procedimiento para diagnosticar un producto se puede enmarcar en tres grupos básicos, los cuales dan sentido a los procedimientos de investigación encaminados a la calidad del estado o producto.

El primero es referente al diagnóstico del productos mediante el monitoreo de las condiciones de operación, con sensores que registren el rendimiento de las variables deseadas.

El segundo método es referente a la medición de la calidad del producto para determinar y ajustar los parámetros técnicos de las máquinas y garantizar la calidad de producción.

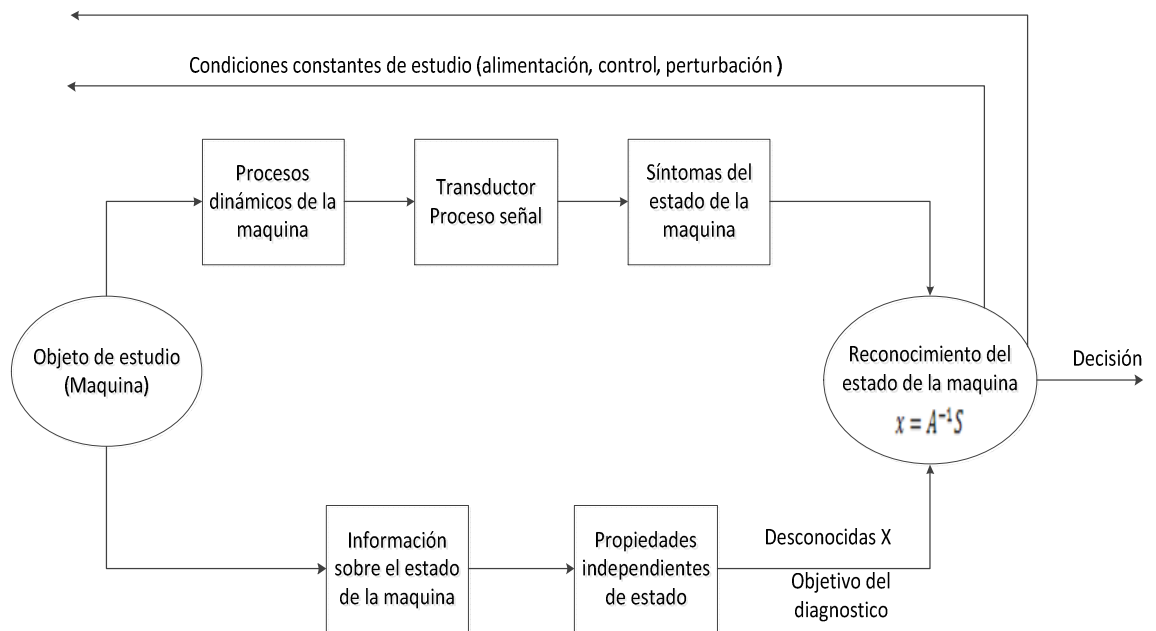
El tercer método de diagnóstico consiste en evaluar las variables de salida en los procesos, los cuales se convierten en insumos valiosos para la toma de datos y posterior evaluación (Figura 6.).

Este método es tomado como referencia para la evaluación de la calidad del sonido, ya que la emisión acústica de las máquinas, es posible evaluarla mediante múltiples sistemas de adquisición.

Aunque existista gran variedad de sistemas en el medio para registrar y evaluar el sonido, solo unos pocos cuentan con herramientas de evaluación de la calidad del sonido, ya que durante largo tiempo se a tomado como una evaluación subjetiva.

Es de gran importancia ilustrar el esquema de tareas para este procedimiento, el cual permite visualizar de manera sencilla la manera de proceder para un análisis de calidad.

Figura 7. Secuencia de procedimientos de diagnóstico de la máquina



Bases del diagnóstico técnico de las máquinas. Leonel Castañeda, Bogda Zoltowski.

El principal problema en el análisis del estado cambiante, es la determinación de la señal de salida S basado en el histórico de la señal X y las condiciones de la máquina A. Esta relación se describe como

$$S = AX$$

Este problema se describe como inverso de análisis de sistemas, para solucionar este problema se describe de manera inversa la anterior ecuación.

Para efectuar el anterior procedimiento existen estándares o normativas.

Las normas ISO, suministran los parámetros necesarios para realizar mediciones de ruido, además se detallan los parámetros de medición que se deben adquirir. Se debe verificar, en la selección o uso de equipos de adquisición que las especificaciones técnicas de los instrumentos si cumplan con los establecidos en la norma y que si sean capaz de medir los parámetros que se especifican.

Figura 8. Flujo de normas acusativas



Las normas ISO determinan parámetros estándar de medición de ruido con el fin de garantizar confiabilidad en las señales del sistema medido.

El desglose de las norma respectivas al ruido se da en principio para proteger al ser humano de las emisiones acústicas, luego se determinan normas para las máquinas, con el objeto de medir las señales acústicas para el monitoreo de su condición. En cuanto a las normas de ruido para vehículo se generan por la alta demanda del campo automotriz para garantizar confort médiante la disminución de perturbaciones acústicas.

## 2.1 MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL SONIDO

La medición de la calidad del sonido es dividida en dos tipos de métricas subjetivas y objetivas, debido a que no se encuentran aún formulaciones matemáticas que arrojen valores cuantitativos para algunas de estas métricas. Dicha división se ilustra en la tabla 4.

Tabla 4. Métricas para la medición de la calidad del sonido.

Métricas Objetivas	Métricas Subjetivas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de presión sonora (SPL) mediciones (ponderada y sin ponderar).</li> <li>• FFT (métricas basadas en el tono-a-ruido, Proporción de prominencia).</li> <li>• Métricas Zwicker basadas en la sonoridad (sonoridad, nitidez, rugosidad, fuerza de fluctuación).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simpatía</li> <li>• Molestia</li> <li>• Tono-a-ruido</li> <li>• Proporción de Prominencia</li> <li>• Tonalidad , Fuerza de tono</li> <li>• Niveles de interferencia del habla (SIL)</li> <li>• Inteligibilidad. Índice de Articulación (AI)</li> <li>• Discurso. Transmisión Index (CTI)</li> <li>• Kurtosis</li> <li>• Métrica definidos por el usuario</li> </ul>

Introduction of Sound Quality. University of Windsor

## 2.2 MÉTRICAS OBJETIVAS

2.2.1 Nivel de presión sonora es la presión que se genera en un punto determinado por una fuente sonora y determina la Intensidad del sonido

Se expresa en decibeles (dB) y se define por la siguiente relación matemática:

$$NPS = 20 \text{ Log } (P/P_0)$$

Donde :

P : valor eficaz de la presión sonora medida.

P<sub>0</sub>: valor eficaz de la presión sonora de referencia,

Fijado en

$$2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

2.2.2 FFT (Transformada rápida de Fourier). La FFT es un algoritmo o rutina de cálculo que permite obtener a partir de una vibración u onda en el tiempo la conexión matemática entre el dominio tiempo y el dominio frecuencia y viceversa. Permite conocida una señal en el tiempo calcular su espectro.

La FFT es de gran importancia en una amplia variedad de aplicaciones, desde el tratamiento digital de señales y filtrado digital en general a la resolución de ecuaciones diferenciales parciales o los algoritmos de multiplicación rápida de grandes enteros. El algoritmo pone algunas limitaciones en la señal y en el espectro resultante. Por ejemplo: la señal de la que se tomaron muestras y que se va a transformar, debe consistir de un número de muestras igual a una potencia de dos. La mayoría de los analizadores FFT permiten la transformación de 512, 1024, 2048 o 4096 muestras. El rango de frecuencias cubierto por el análisis FFT depende de la cantidad de muestras recogidas y de la proporción de muestreo.

## Aplicaciones

- Tratamiento de imagen (JPEG) y audio (MP3)
- Reducción de ruido en señales, como el ruido blanco
- Análisis en frecuencia de cualquier señal discreta
- Análisis de materiales y estadística
- Síntesis, mediante la transformada inversa IFFT

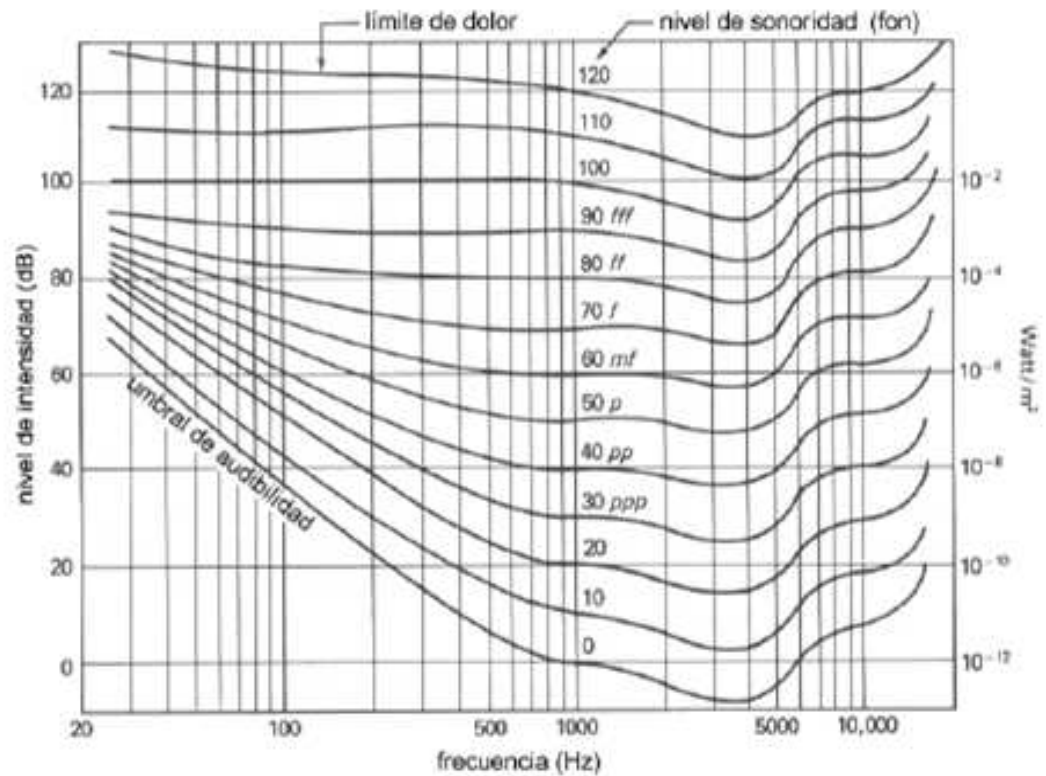
2.2.3 Zwicker LOUDNESS. La sonoridad, es una medida subjetiva de la intensidad con la que un sonido es percibido por el oído humano.

Esta métrica determina cómo es de fuerte un sonido en relación con otro, y se define según (Zwicker & Fastl 1990) como “el nivel de presión sonora de un tono de 1kHz en una onda plana incidente y frontal que es tan fuerte como el sonido evaluado, su unidad es el fonio. Ejemplo, un sonido que es tan fuerte como un tono de 1kHz con un nivel de presión sonora de 40 dB se dice que tienen un nivel de sonoridad de 40 fonios.

El fonio (o fon) está definido arbitrariamente como la sonoridad de un sonido senoidal de 1 kHz con un nivel de presión sonora de 0 dB. Así, 0 dB es igual a 0 fonios y 120 dB es igual a 120 fonios. Eso, siempre, para sonidos sinusoidales con frecuencias de 1 kHz.

La relación entre el nivel de presión sonora y la sonoridad para tonos puros se representa en las curvas isófonas.

Figura 9. Representación de las curvas isofónicas



Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010.

Las curvas de igual sonoridad, establecidas por Munson y Fletcher en 1930, muestran la relación que debe existir entre las frecuencias e intensidades de dos sonidos senoidales para ser percibidos igual de fuertes, es decir, con la misma sonoridad.

La dependencia de la sonoridad con la frecuencia está dada principalmente por las características del oído. A medida que el nivel de intensidad aumenta las curvas se aplanan, es decir, dicha dependencia disminuye.

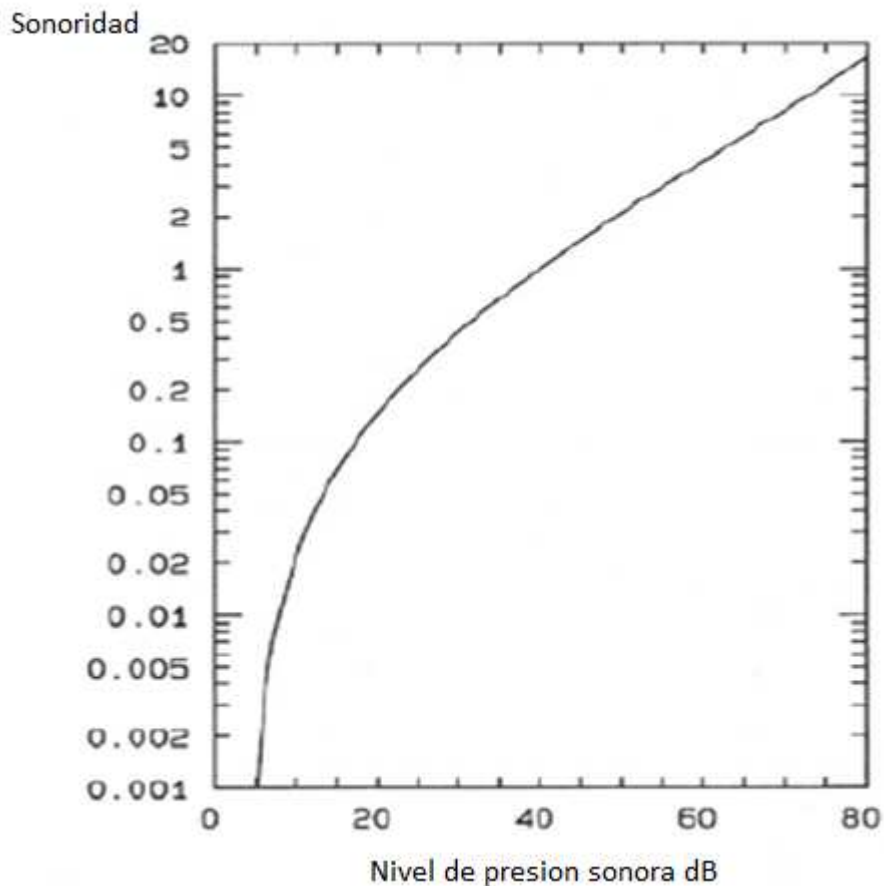
Nivel de sonoridad (NL): nivel por comparación con un sonido de referencia (el de una onda sonora de 1 kHz).

Sonoridad (sonios): es el valor numérico de la fuerza de un sonido que es proporcional a una magnitud subjetiva evaluada por oyentes normales. El sonio está definido como la sonoridad de un sonido senoidal de 1 kHz con un nivel de intensidad sonora de 40 dB.

$$N = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

Donde N se expresa en sonios LN en fonios

Figura 10. Relación entre el nivel de presión sonora y la sonoridad para un tono de 1 KH



Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010

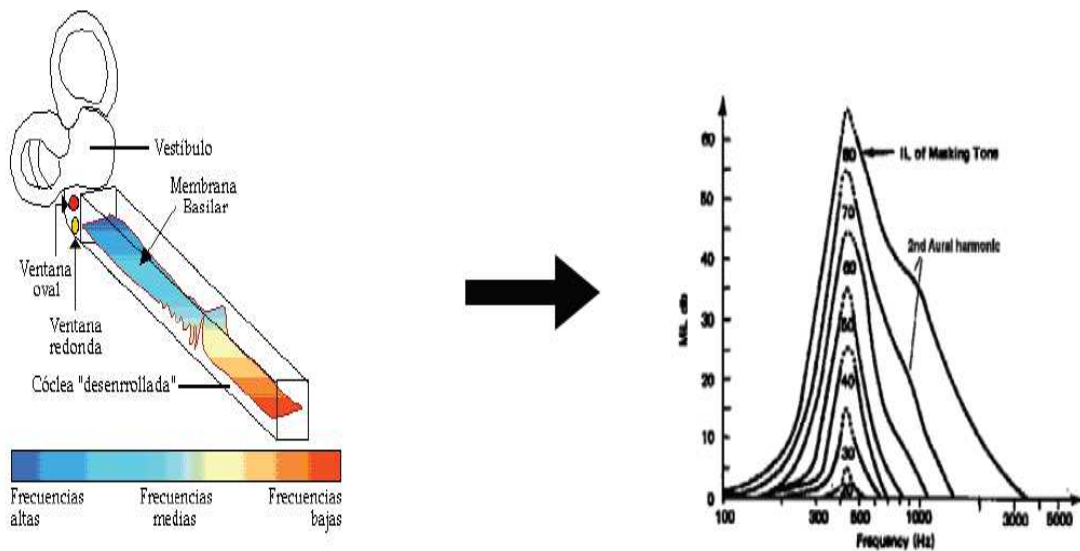
La sonoridad es el único parámetro estandarizado y su cálculo exacto se especifica en la norma ISO532/R (la UNE 74-014-78 corresponde totalmente

con esta norma). Antes de analizarla con más detalle, es preciso recordar ciertos aspectos de la psicoacústica.

En el cálculo de la sonoridad tiene un importante papel el enmascaramiento frecuencial, que ocurre cuando un sonido impide la percepción de otro, es decir, lo enmascara.

En la membrana basilar, no sólo entran en movimiento las células filiales correspondientes a la frecuencia de un tono puro, también, aunque con menor intensidad, entran en movimiento los nervios adyacentes con frecuencias mayores y menores. La amplitud de la alteración a lo largo de la membrana basilar cuando se percibe un tono puro define las curvas de enmascaramiento para ese tono puro. El ancho de banda de esa curva se denomina banda crítica y es diferente para cada una de las frecuencias ( Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010).

Figura 11. Izquierda oído humano. Derecha representación del ancho de banda de las bandas críticas



Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010

Por lo tanto, todos los sonidos que únicamente exciten las frecuencias correspondientes a la banda crítica se verán camuflados por el tono enmascarante.

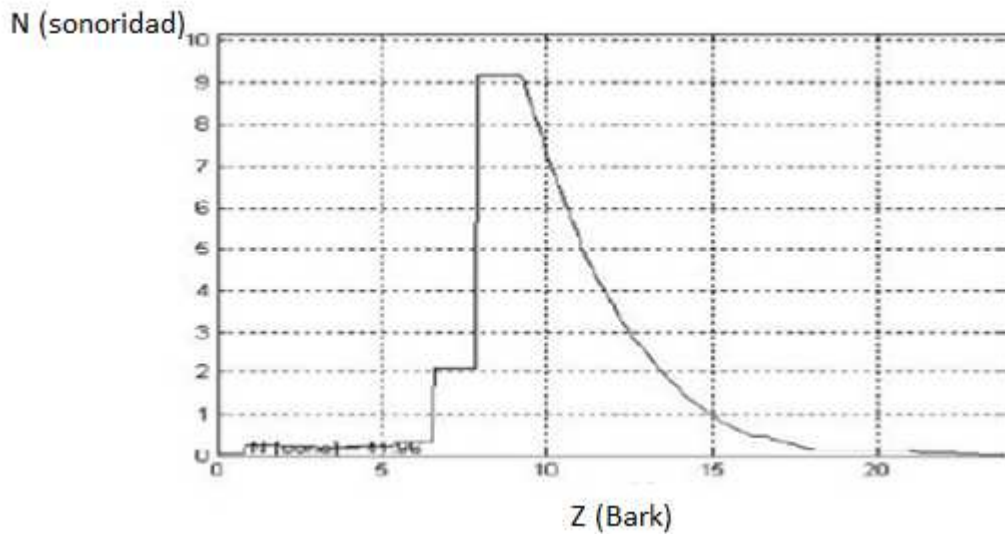
Para representar la sonoridad respecto la frecuencia, existe la sonoridad específica que se simboliza mediante  $N'$ . El rango frecuencial, a diferencia de un espectro habitual, que puede dividirse en octavas o tercios de octava, se fracciona en las bandas críticas de las siguientes 24 frecuencias, cada una de estas bandas se denomina bark:

Tabla 5. Anchos de bandas de los 24 barks de todo el eje frecuencial

número	frecuencia central (Hz)	banda crítica (Hz)	frecuencia de corte inferior (Hz)	frecuencia de corte superior (Hz)
1	50	-	-	100
2	150	100	100	200
3	250	100	200	300
4	350	100	300	400
5	450	110	400	510
6	570	120	510	630
7	700	140	630	770
8	840	150	770	920
9	1000	160	920	1080
10	1170	190	1080	1270
11	1370	210	1270	1480
12	1600	240	1480	1720
13	1850	280	1720	2000
14	2150	320	2000	2320
15	2500	380	2320	2700
16	2900	450	2700	3150
17	3400	550	3150	3700
18	4000	700	3700	4400
19	4800	900	4400	5300
20	5800	1100	5300	6400
21	7000	1300	6400	7700
22	8500	1800	7700	9500
23	10500	2500	9500	12000
24	13500	3500	12000	15500

Lieberman, P., y Blumstein, S. E. (1988)

Figura 12. Sonoridad específica a un tono puro de 1 kHz a 94 dB



Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010

### ISO532/R

La norma específica dos métodos de cálculo para la sonoridad total. El primero (Método A), utiliza medidas físicas obtenidas mediante análisis en frecuencias en bandas de octava y el segundo (Método B), sin embargo, utiliza análisis en bandas de tercio de octava. Además de la diferencia en cuanto al ancho de banda, los dos métodos difieren en otros aspectos.

A continuación se resume los dos métodos para tener una idea del procesos que se deben seguir para el cálculo de la sonoridad:

1. Método A: Es un método simplificado destinado al cálculo de la sonoridad para sonidos en los que un análisis en bandas de octava sea apropiado.

El procedimiento se basa en transformar cada nivel de presión sonora calculado en cada una de las bandas de octava, en un índice de sonoridad que serán introducidos en una fórmula que calcule la sonoridad total expresada en

sonios. Este valor puede calcularse en sonios mediante la fórmula de sonoridad y luego se halla la sonoridad total mediante, por lo tanto, el método se basa en las tres relaciones siguientes( Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010):

- Una función que relaciona la sonoridad en sonios con el nivel de sonoridad en fonios.
- Una familia empírica de curvas de igual sonoridad para bandas de ruido en campo acústico difuso.
- Una fórmula que relaciona la sonoridad total de un sonido con los índices de sonoridad de las bandas de frecuencia que lo componen.

$$N_t = N_m + F(\Sigma N - N_m)$$

Donde,  $N_m$  es el mayor índice de sonoridad y  $\Sigma N$  la suma de los índices de sonoridad de todas las bandas.

Para bandas de octava  $F=0,3$ .

(Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010)

Método B: Este es un método destinado a sonidos de espectro complejo en los que un análisis en bandas de octava no es suficiente, y está ceñido a los parámetros que describe y sugiere la norma ISO 532/R.

El procedimiento para el cálculo del nivel de sonoridad consta de tres pasos basados en un conjunto de gráficos de medición de sonido ilustrados en la norma.

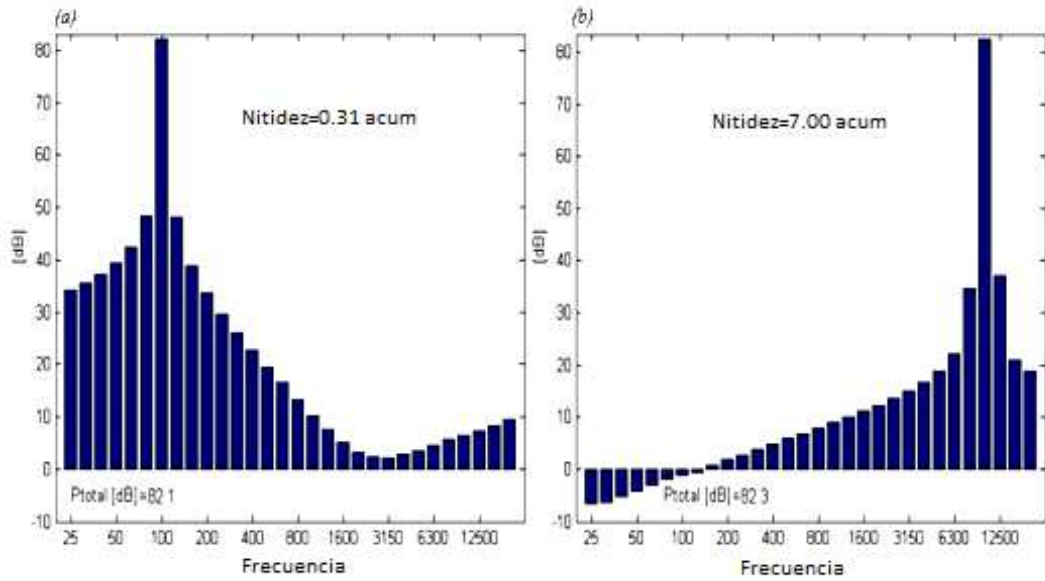
Paso 1: elegir el gráfico adecuado teniendo en cuenta el campo sonoro en el que se ha evaluado el sonido y el gráfico debe incluir el valor más alto medido en bandas de tercio de octava.

Paso 2: unir todas las bandas de modo correcto siguiendo las instrucciones descritas en la página 7 de la norma. En este paso es donde entra en juego el enmascaramiento. La unión de las bandas se realiza teniendo en cuenta este principio de la psicoacústica.

Paso 3: transformar el área delimitada en un rectángulo de la misma área con una base igual al ancho del gráfico. La altura del rectángulo proporcionará directamente el nivel de sonoridad

2.2.4 Nitidez. La nitidez mide el contenido de alta frecuencia de un sonido. La nitidez puede ser un parámetro útil para los sonidos de un producto en el que el contenido de alta frecuencia sea importante. (Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010)

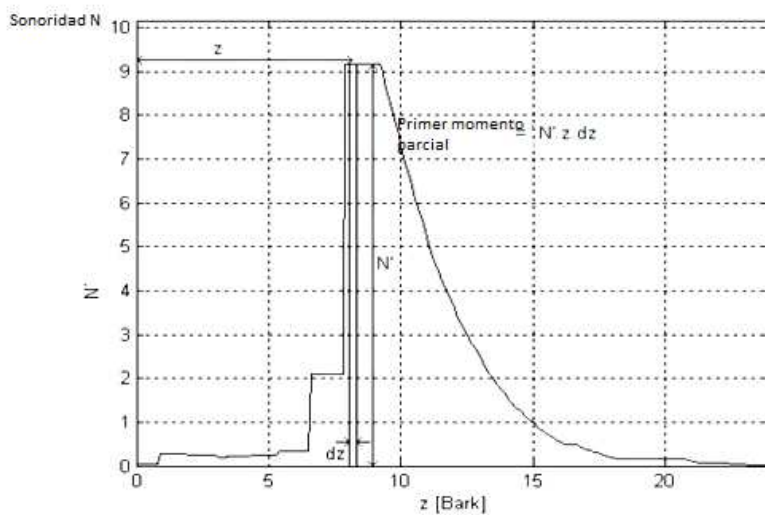
Figura 13. Espectro de frecuencias y los valores de nitidez de (a) un tono de 100 Hz y (b) de un tono de 10 Hz.



Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010

La nitidez es un indicador que aún no se ha normalizado. En consecuencia, existen varios métodos para el cálculo de esta métrica.

Figura 14. Primer momento parcial



Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010

A continuación se expone uno de los métodos a manera de ejemplo.

Con el método de Zwicker y Fastl

La nitidez puede ser calculado como el primer momento ponderado de la intensidad específica ( $N'$ ). El cálculo de un primer momento parcial en  $z$  es  $N'z \cdot dz$ . Este primer momento parcial se pondera por la función  $g'(z)$  para obtener  $N'g'(z)z \cdot dz$ . La suma de estos momentos parciales ponderados es calculada. Este se divide por el volumen total ( $N$ ):

$$\frac{\int N' g'(z) z \cdot dz}{N}$$

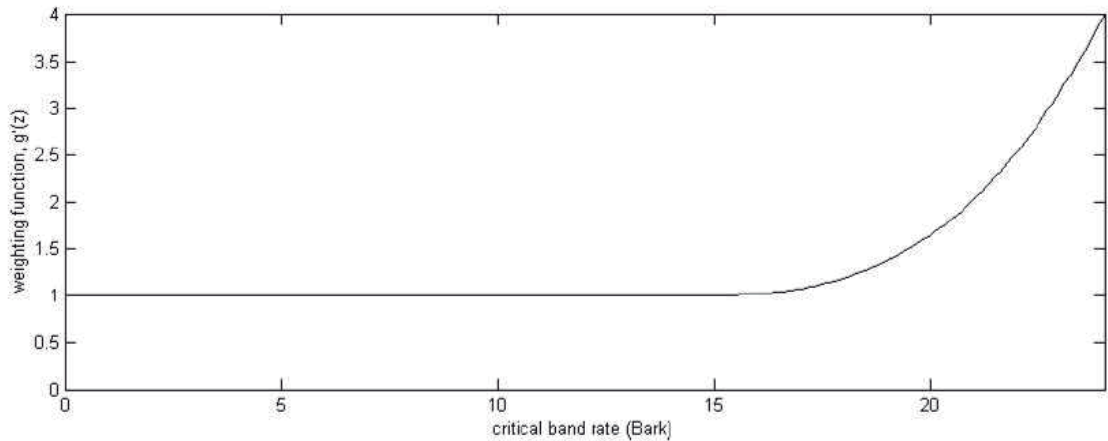
Y multiplicado por una constante de proporcionalidad ( $c = 0,11$ ) para dar el siguiente valor para la nitidez ( $S$ ):

$$S = c \frac{\int N' g'(z) z \cdot dz}{N}$$

Donde:

$$N' = \frac{1}{V} \int I(z) \cdot dz$$

Figura 15. Ponderación  $g'$  en función del tipo de banda crítica.



(Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra)

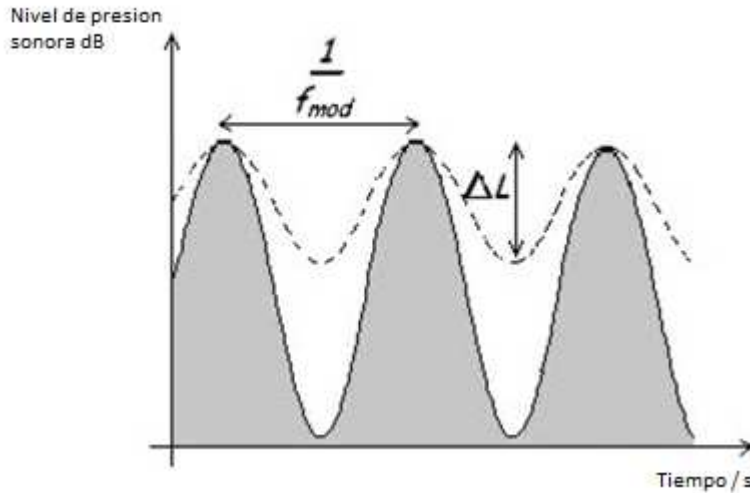
2.2.5 Rugosidad y fuerza de fluctuación: Si aplicamos a una señal una modulación a baja frecuencia, como 1, 5, 10.....Hz, los cambios de intensidad en el sonido serán muy notorios y esto produce una sensación de fluctuación en el oyente. En cambio, si la frecuencia de modulación toma valores mayores, entre 20 y 500Hz más o menos, la sensación cambia y se aprecia una aspereza o rugosidad. Para cuantificar el grado de molestia que originan estos efectos existen dos parámetros; fuerza de fluctuación, para los sonidos modulados a bajas frecuencias y la rugosidad, para los modulados a frecuencias más altas.

( Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010)

- Rugosidad. Es un parámetro que cuantifica el grado de molestia provocado a causa de modulaciones rápidas. Su unidad es el asper. Un asper se define como la rugosidad producida por un tono de 1000 Hz a 60dB, modulado a 70 Hz con un índice de modulación del 100%. El valor

máximo de rugosidad para cualquier sonido se logra modulándolo a 70Hz.

Figura 16. Onda modulada representada respecto al tiempo



Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010

Donde  $f_{mod}$  es la frecuencia de modulación y  $\Delta L$  es el índice de modulación percibido por el oyente, es decir, debido a la modulación existe una variación de nivel en el sonido, pero la variación de nivel percibida por el oído es menor que la variación real.

Este parámetro puede ser evaluado con la siguiente ecuación:

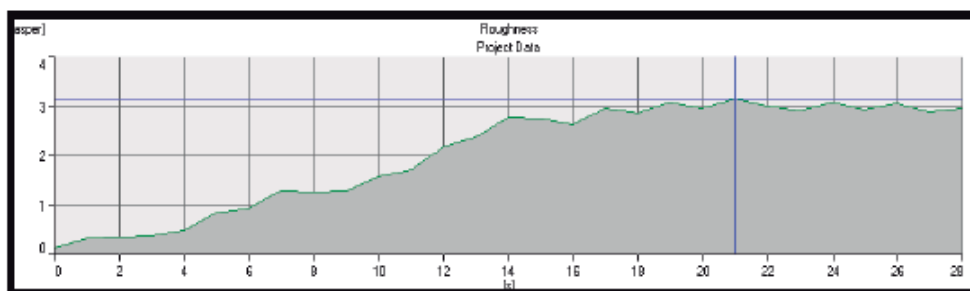
$$\Delta L = 10 \log_{10} \left( \frac{1 + m}{1 - m} \right)$$

Para ver visualmente el valor numérico del grado de molestia, obtenido mediante la fórmula de Zwicker & Fastl, que produce la modulación se ha

representado la rugosidad respecto el tiempo de un tono de 1 kHz modulado con un barrido en 30 segundos todas las frecuencias desde 0 hasta 100 Hz.

Teniendo en cuenta la teoría, el valor máximo del rugosidad deberá darse cuando la señal esté modulada a 70Hz que corresponde al segundo 21.

Figura 17. Representacion Grafica de la rugosidad respecto al tiempo.



Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010

Efectivamente, en la imagen se aprecia como en el segundo 21 toma el valor máximo y poco a poco comienza a descender, si la gráfica siguiera hasta que el barrido alcanzará los 500Hz se visualizaría que la rugosidad disminuye casi hasta 0.

- Fuerza de fluctuación. Es el parámetro que cuantifica la molestia producida por un sonido que fluctúa a causa de una modulación. Esta sensación persiste hasta una frecuencia de modulación de 20Hz, en este momento la sensación de aspereza o rugosidad se hace cargo. Hay una frontera difusa en el cambio de las dos sensaciones, es difícil de cuantificar con precisión una o la otra.

Su unidad de medida es el vacil que se define como la fuerza de fluctuación producida por un tono de 1000 Hz de 60dB, modulado a 4Hz con un índice de modulación del 100%. Su valor máximo se encuentra a una frecuencia de modulación de 4 Hz.

$$V = \frac{1}{2} \left( \frac{1 + m}{1 - m} \right)^2$$

Donde  $f_m$  es la frecuencia de modulación y  $m$  es el índice de modulación percibido por el oyente.

(Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra)

Los parámetros descritos hasta el momento devuelven valores que indican características de un sonido, pero, si nos dijese que el sonido del motor de un coche concreto tiene una sonoridad de 30 sonios, una nitidez de 3,13 acum, una rugosidad de 4,1 asper y una fuerza de fluctuación de 5,98 vacil, no podríamos hacernos una idea de su grado de molestia, a no ser, que estemos muy familiarizados con la calidad sonora. (Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra. 2010).

A consecuencia de ello, Zwicker & Fastl, teniendo en cuenta las experiencias psicoacústicas, lograron una expresión que devuelve el grado de molestia de un sonido mediante una combinación de las cuatro métricas, a ese valor le denominan “molestia psicoacústica”.

Comenzaron estudiando la relación de proporcionalidad, el aumento de cualquier parámetro supone el incremento del grado de molestia:

$$PA = \sqrt{N^2 + S^2 + F^2 + R^2}$$

Donde PA es el grado de molestia total; N, la sonoridad; S, la nitidez; F, la fuerza de fluctuación y R, la rugosidad.

La descripción cuantitativa final del “molestia psicoacústica”, basada en los resultados de experiencias psicoacústicas, corresponde a la expresión:

$$PA = \sqrt{N^2 + S^2 + F^2 + R^2}$$

Donde;

- $N_5$  Es el percentil 5 de la sonoridad frente al tiempo.
- $S_5$  Es la componente que contiene el valor de sharpness (S).

$$PA = \sqrt{N_5^2 + S_5^2 + F^2 + R^2}$$

$F_{50}$  Es la componente correspondiente a las modulaciones es decir Fuerza de fluctuación (F) y rugosidad (R).

$$PA = \sqrt{N_5^2 + S_5^2 + F_{50}^2 + R^2}$$

## 2.2.6 Métricas Subjetivas

A la hora de realizar un método subjetivo para la evaluación de un sonido, es preciso tener en cuenta una serie de aspectos para que los resultados sean válidos.

En primer lugar, dependiendo de la complejidad de la prueba, debe elegirse el perfil de los oyentes que realizarán la prueba. Pueden ser oyentes expertos o inexpertos; los primeros son individuos entrenados y que entienden el objetivo de la prueba, por lo tanto, el grado de dificultad de la prueba es elevada. En cambio, un oyente inexperto es sometido a una prueba sencilla, ya que, sus conocimientos sobre el estudio en cuestión son nulos.

Es importante que todos los sujetos que realicen el test clasifiquen los sonidos haciendo uso de un mismo criterio, como podría ser un léxico creado específicamente para la prueba. Además, es aconsejable que el oyente evalúe los sonidos mediante comparaciones con sonidos de referencia.

(Alvaro Echarte Merino Universidad Pública de Navarra)

Entre los criterios subjetivos para la evaluación del sonido se encuentran:

- Simpatía. La empatía con respecto a un sonido es la sensación de agrado que siente el ser humano al percibir un sonido
- Molestia. Es lo contrario a la simpatía, ya que es la sensación de agrado que experimenta el ser humano referente a un sonido. El nivel de malestar varía no solamente en función de la intensidad del ruido y de otras características físicas del mismo, sino también de factores tales como miedos asociados a la fuente del ruido, o el grado de legitimación que el afectado atribuya a la misma. Si el ruido es intermitente influyen también la intensidad máxima de cada episodio y el número de éstos
- Tono a ruido. Esta métrica relaciona los niveles de ruido que genera el tono percibido.

- Tonalidad (fuerza de tono). Determinación aleatoria del ser humano de la fuerza del tono y está directamente relacionado con intensidad del sonido, es decir que al elevar la intensidad se eleva el tono percibido.
- Niveles de interferencia del habla.(SIL). Medida subjetiva que describe que tanto afecta el sonido para hablar de forma normal y clara.
- Índices de transmisión del dialogo. Medida subjetiva que describe que tanto afecta el sonido percibido la comunicación verbal entre dos o más individuos.



sonido usando cuatro tarjetas; puede además, importar señales almacenadas de otros módulos de PULSE (Brüel & Kjær, 2009).

### 3.1 USOS DE PULSE SOUND QUALITY B&K -

- Análisis del sonido de productos.
- Edición de grabaciones sonoras para simular mejoras en productos.
- Preparación de pruebas auditivas y ordenamiento de pistas de audio para evaluar productos.
- Determinar los parámetros de la calidad del sonido: nivel de sonoridad, característica de sonoridad no-estacionaria, estereofonía, nitidez, grado de fluctuación, irregularidad, y parámetros relacionados.
- Visualización y edición sonora en máquinas rotativas.

### 3.2 APLICACIONES DE LA CALIDAD DEL SONIDO

A continuación se presenta un conjunto de aplicaciones desarrolladas alrededor del tema de Calidad del Sonido

#### 3.2.1 Vehículos.

- Evaluación objetiva de la calidad de sonido en pasajeros de vehículos durante la aceleración (Lee, 2007).
- Evaluación de la calidad de sonido para la sensación retumbante ha los pasajeros de los vehículos (Shin, Ih, Hashimoto y Hatano, 2008).
- Investigación de calidad base de sonidos de ruido de sistemas HVAC en modelos de automóviles (Penna, Leite, Paul y Gerges, 2008).

- Especificaciones de la calidad del sonido de componentes aplicado al sistema de ventanas eléctricas de automóviles (Nykänen y Sirkka, 2009).
- Correlaciones entre la deficiencia del sistema de potencia del sistemas de eleva-vidrios que influencia la calidad del sonido y mediciones físico-acústicas (Teik, 2000).
- Análisis de la calidad de sonido de puertas de automóviles (Parizet, Guyader, Nosulenko, 2006).
- Análisis de calidad de sonido de carros usando redes neuronales híbridas (Yıldırım y Eski, 2008).

### 3.2.2 Aeronaves:

- Características de la calidad percibida en sonidos de aviones (Schütte, Müller, Sandrock, Griefahn, Lavandier y Barbot, 2009).
- Síntesis y calidad de sonido del ruido en el exterior y el interior de aviones (Janssens, Vecchio y Auweraer, 2007).
- Síntesis de modelo del ruido de avión para cuantificar la percepción humana de la calidad de sonido y molestias (Berckmansa, Janssensb, Auweraerb, Sasa y Desmet, 2007).
- Representación porcentual de sonidos de aviones (Barbot, Lavandier y Cheminee, 2007).

### 3.2.3 Electrodomésticos:

- Investigación y desarrollo de la calidad de sonido en ascensores (Orona, 2009).
- Características de emisión y calidad de sonido del ruido de neveras en ambiente de operación real (Jeon, You y Chang, 2007).
- Caracterización de la calidad de sonido del ruido del aire acondicionado (Susini, McAdams, Winsberg, Perry, Vieillard y Rodet, 2004),

- Aplicación de mediciones físico-acústicas para mejorar la calidad de sonido de unidad de aire acondicionado (Yuan, Huang, Liu, Hu y Wang).

### 3.3 HERRAMIENTAS DE CONFIGURACIÓN DE REGISTRO Y GENERACIÓN DE REPORTES SEGÚN EL USUARIO.

Las características principales del paquete de software Sound Quality ofrece servicios para:

- Calibración:

Posee una técnica patentada para verificar la calibración y realizar diagnóstico de fallas del sistema de adquisición. La técnica descarga una señal eléctrica en el tercer cable del pre-amplificador del micrófono y monitorea la estabilidad de la respuesta de la señal, de ser necesario, presenta un diagrama de daño, cortocircuito ó errores de conexión.

- Corrección psicoacústica:

El sonido reproducido a través de auriculares no es realista. Para corregir este efecto, es posible realizar un filtro de corrección psicoacústica adicional a las correcciones normales de adquisición, la cual modifica la amplitud de la señal por encima al rango de frecuencias entre 20Hz-20kHz.

- Almacenamiento de señales acústicas:

Puede poseer hasta cuatro (4) canales de adquisición, dos (2) canales para señales de audio y dos (2) para sensores tacométricos. Usando la tarjeta de sonido ZE 0770 es posible adquirir una (1) señal estereofónica de alta calidad y dos (2) taco métricas.

- Almacenamiento de señales de PULSE:

Es posible almacenar audio usando PULSE, con la aplicación Data Recorder 7701 ó Time Capture 7705. Permite grabar datos por medio de la Unidad de adquisición de Datos 2827, permitiendo usar los controles de PULSE.

- Edición de la muestra de sonido:

Posee funciones para editar una señal almacenada en el dominio de tiempo y frecuencia.

- Reproducción de la señal original y/o editado:

Cada vez que se edita una señal, se puede reproducir el resultado y compararlo con la señal original. Todas las señales editadas pueden ser grabadas a disco para su uso posterior y comparar con la señal original.

- Pruebas de Jurado:

La evaluación final de la calidad de sonido de un producto se realiza usando un grupo de clientes ó jurados, que representen una muestra característica. Éste grupo se somete a pruebas auditivas.

- Análisis objetivo (sonoridad Zwicker):

La sonoridad Zwicker es la herramienta más importante para determinar objetivamente los parámetros de calidad del sonido.

- Herramienta de prueba psicoacústica:

Es un proceso adicional para el análisis de calidad del sonido. Puede controlar la prueba objetiva e implementa dos (2) métodos de prueba subjetiva. Calcula un modelo de sonido usando análisis de regresión para correlacionar las pruebas subjetiva y objetiva, afinando la solución de la calidad de sonido.

- Visualización de resultados:

Presentar la señal en el dominio del tiempo, frecuencia, multi-espectro, barrido de señal físico-acústica.

- Exportar datos:

Para generar reportes ó editar en procesadores de texto, es posible exportar a código ASCII. Las señales de sonido pueden ser exportadas a archivos con formato \*.wav ó a otras aplicaciones para análisis en formato Universal (\*.UFF), HDF/DAT, MATLAB® o TEAC-GX1.

### 3.4 HERRAMIENTAS DE PROCESAMIENTO DISPONIBLES EN EL SOFTWARE SOUND QUALITY.

- Límite máximo:

Es un limitador que asegura que ningún valor de pico de la muestra de tiempo exceda el límite especificado. El límite se especifica en pascales con el valor pico de la señal como referencia. El límite es bipolar, es decir, se aplica para valores negativos y positivos de la muestra y reduce el valor absoluto sin cambiar el signo.

- Atenuación del tiempo:

Atenúa la forma de la onda de tiempo y es principalmente un cambio del nivel general. El dato del primer punto se multiplica por el factor de atenuación inicial, el último punto por el factor de atenuación final. Lo que suceda en el medio depende de la función rampa (plano, lineal, coseno o exponencial) seleccionado. Además es posible seleccionar/deseleccionar una pre o pos atenuación por lo que las muestras de tiempo antes del primer y después del último dato puedan ser influenciados.

- Modulación:

Reduce las variaciones en la señal de tiempo causado por fluctuaciones en algunas de las bandas de frecuencia de la señal.

- Atenuación de frecuencia:

Es similar a la atenuación de tiempo pero atenúa las bandas de frecuencia. El dato del primer punto se multiplica por el factor de atenuación inicial, el último punto por el factor de atenuación final. Lo que suceda en el medio depende de la función rampa (plano, lineal, coseno o exponencial) seleccionado.

- Cambio de frecuencia:

Cambia una región de frecuencia seleccionado a otra región en el dominio de frecuencia. Esto permite sintetizar un cambio en el rpm o, por ejemplo, el número de aspas de un ventilador.

- Banda de paso:

Selecciona una región de frecuencia y atenúa todas las demás frecuencias con una atenuación de banda de supresión. La atenuación de banda de supresión se da como un factor absoluto de atenuación o como un nivel en dB.

- Valor máximo de frecuencia:

Es similar a la función de edición de Límite de Pico de tiempo. Es un limitador que asegura que ningún valor de pico de la muestra de tiempo exceda el límite especificado. El límite se especifica como un valor absoluto o un nivel dB relativo a la región selecta.

- Atenuación de frecuencia armónicas:

Funciona básicamente de la misma manera que la función de atenuación de frecuencia, excepto que es posible seleccionar un número de armónicos y un espaciamiento frecuencial entre ellos.

- Paso de banda de armónicos:

Funciona básicamente de la misma manera que la función de Paso banda, excepto que es posible seleccionar un número de armónicos y un espacio frecuencial entre ellos.

- Frecuencias de paso de armónicas:

Funciona básicamente de la misma manera que la función Frequency Shift, excepto que es posible seleccionar un número de armónicos y un espacio frecuencial entre ellos. Mueve unas regiones de frecuencias selectas a otro región en el dominio de frecuencia. El bloque desplazado se remueve del origen y reemplaza o se añade al lugar de destino.

- Generador:

Se usa generalmente para sintetizar señales, agregar ruido, tonos puros o armónicos a señales existentes.

La señal generada se añade o reemplaza una porción seleccionada de la señal original.

- Mezclador:

Se usa generalmente para combinar varias señales. Tanto la suma y resta están disponibles. El nivel independiente de cada señal se toma en cuenta y los niveles mezclados se pueden ajustar.

- Orden de atenuación:

Permite reducir el tamaño de una orden.

- Orden de paso de banda:

Reduce el tamaño de la señal completa excepto por uno o más ordenes adyacentes. Tiene el efecto de un filtro paso banda de orden.

- Edición de nivel:

Aumenta o disminuye el nivel de la señal.

- Filtro en tiempo real:

Filtra la señal a través de un número de filtros que pueden ser ajustados dinámicamente mientras se escuchan los resultados.

- Respuesta de filtro de frecuencia:

Permite al usuario definir su propia función de respuesta en frecuencia y usar eso como un filtro.

- Edición definida por el usuario:

Se puede crear una función de edición en Visual Basic.

### 3.5 HERRAMIENTAS DE ANALISIS.

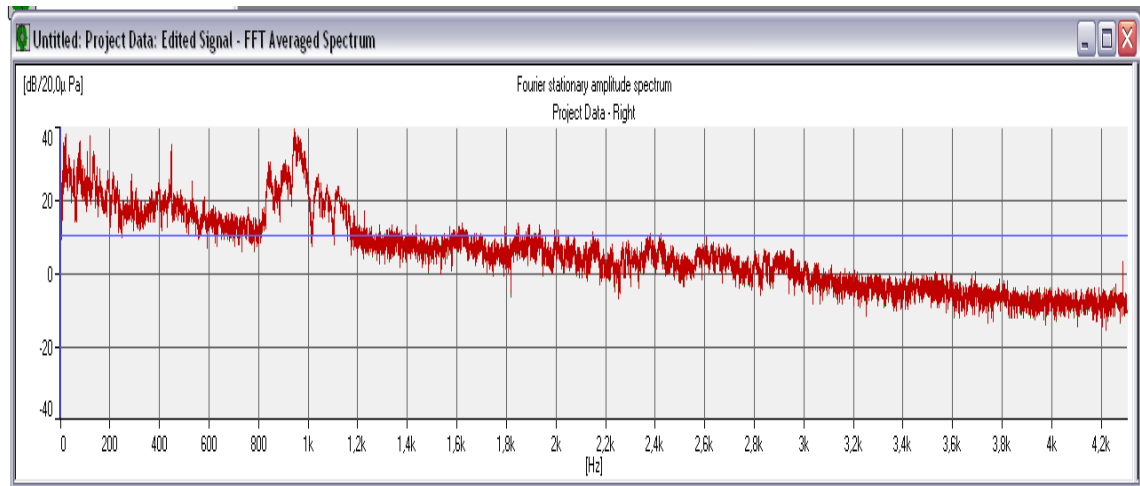
El software Sound Quality B&K. Posee una variedad de analizadores para evaluar la calidad sonora cuyos resultados se exhiben a través de las opciones de visualización. Para configurar los parámetros de análisis se ubica el cursor del Mouse sobre la barra de menú .y se elige el tipo de análisis.

A continuación se hace una descripción de cada uno de los tipos de análisis existentes en el software Sound Quality B&K.

3.5.1 Análisis FFT. La transformada de Fourier de una señal de tiempo da un espectro de frecuencia de ancho de banda constante. Por lo tanto, el espectro es útil para investigar el contenido de tonos puros de una señal. Si se visualiza

el espectro en una escala lineal, cualquier armónico tendrá la misma resolución y estará igualmente espaciado haciendo que sea fácil detectarlos.

Figura 18. Espectro FFT



### Sound Quality. B&K

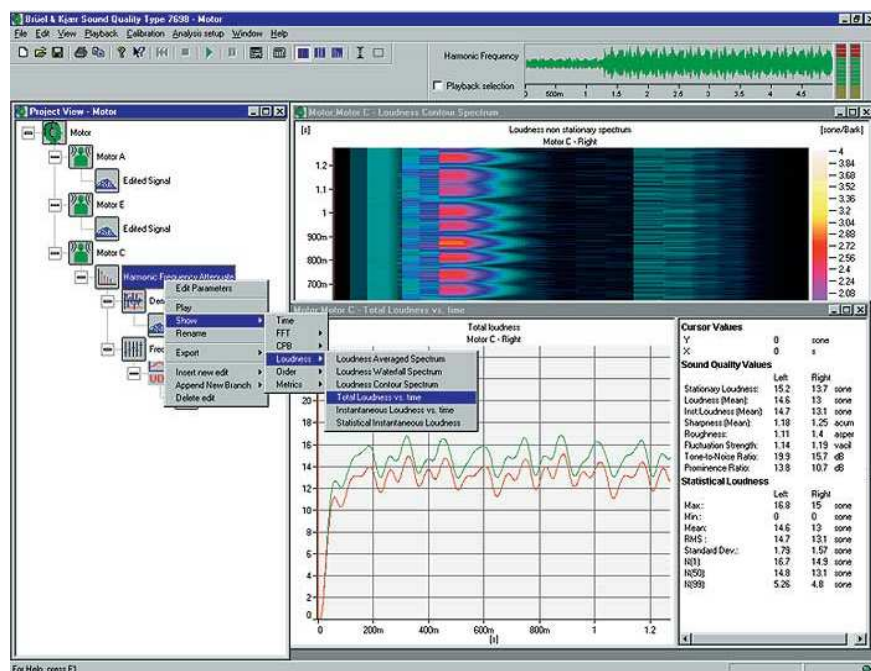
3.5.2 Análisis de orden. Son armónicos de una frecuencia fundamental directamente relacionado por multiplicación. Si la frecuencia fundamental de una señal cambia, también cambiara la frecuencia absoluta de los armónicos, pero no las ordenes. Esta propiedad es útil para el análisis de maquinaria rotatoria, donde el ruido usualmente se relaciona con la velocidad de la maquina.

El análisis de orden del software Sound Quality usa una señal RPM para calcular el espectro de frecuencia instantánea de una señal. Esto permite al software visualizar Cascadas y contornos FFT de la señal de audio con información de orden, Las muestras presentadas son similares a las cascadas promedio y contornos FFT, excepto que uno de los cursores ahora trabaja en un plano de orden, cambiando el ángulo de acuerdo al número de orden.

3.5.3 Sonoridad. Esta aplicación es necesaria cuando se requiere calcular sonoridad, nitidez, aspereza, fuerza de la fluctuación y parámetros relacionados ya que se basan en los cálculos de sonoridad.

Sobre la base de un análisis de 1/3 de octava, el software de sonoridad Zwicker calcula un estimado en tiempo real de la sonoridad de un sonido como se percibe por el oído humano.

Figura 19. Grafica ventana Loudness (sonoridad Vs tiempo) Sound Quality .



Sound Quality. B&K

#### 3.5.4 Métricas

Las métricas de sonoridad de Zwicker forman un grupo de rutinas de pos procesamiento incluidas en el programa Sound Quality. Llevan el nombre del Prof. E. Zwicker quien originalmente diseño algunos de los cálculos básicos para estas métricas. Las métricas proporcionan una manera de transferir la evaluación subjetiva de eventos sonoros en un método objetivo de medición y calculo. Como las pruebas subjetivas de escucha son muy consumidoras de tiempo y caros para llevar a cabo, las métricas son una manera más rápido de obtener estas evaluaciones.

### 3.6 HERRAMIENTAS VISUALIZACIÓN DE DATOS

Para visualizar los datos de la señal original o editada se siguen los siguientes pasos:

1. Ubicar el cursor del mouse sobre el icono del que se desea mostrar los datos.
2. Seleccionar Show del menú desplegable.
3. Elegir el tipo de datos que se quiera visualizar: tiempo, frecuencia o métricas.
- 4.

Se puede seleccionar la visualización de:

- Tiempo
- FFT
- CPB
- Loudness (sonoridad)

- Binaural Loudness ( )
- Orden
- Métricas
- General

### 3.6.1 Muestreo del tiempo

Muestra la señal de tiempo para los datos originales o editados seleccionados en la ventana del proyecto. Por defecto, el eje x cubre la longitud total de la señal de tiempo original.

3.6.2 Muestreo de FFT. Se puede elegir entre 3 opciones para visualizar el espectro FFT:

- FFT Averaged spectrum – (Espectro FFT calculado) de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto. El cálculo FFT se hace de acuerdo a los ajustes elegidos en la caja de dialogo del FFT disponible en el menú bajo instalador de analisis
- FFT Waterfall Spectrum – (Grafica de cascada de un multiespectro FFT) calculado de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.
- FFT Contour Spectrum– (Grafica de contorno de un multiespectro) FFT) calculado de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.

### 3.6.3 Muestreo CPB

CPB: Porcentaje de ancho de banda constante. Es una manera de visualizar datos en forma de bandas de octava – que para el caso de Sound Qaulity es en bandas de 1/3 octava. Para poder usar el usar el análisis CPB dentro del SQ es necesario tener instalado la opción de software BZ5265.

Se puede elegir entre 3 formas de visualizar el espectro 1/3-octava:

- 1/3-octave Averaged spectrum – (Espectro CPB calculado )de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto..
- 1/3-octave Waterfall Spectrum – (Grafica de cascada de un espectro) CPB calculado de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.
- 1/3-octave Contour Spectrum –( Grafica de contorno de un espectro) CPB calculado de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.
- 

3.6.4 Muestreo de sonoridad . Para poder usar los servicios de cálculo de la sonoridad dentro de Sound Quality es necesario tener instalado la opción de software BZ5265.

Dependiendo de lo que se requiera analizar y de otros ajustes (Ajustes de sonoridad en el menú de instalador de analisis) se puede visualizar:

- Sonoridad promedio del espectro. – Sonoridad calculado de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.
- Volumen del espectro en cascada. – Grafica de cascada calculado de un multiespectro de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.
- Contorno de el espectro de sonoridad – Grafica de contorno de un multiespectro de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.

- Sonoridad total vs tiempo – Grafica de tiempo de la sonoridad total de la señal.
- Sonoridad instantánea – Grafica de tiempo de la sonoridad instantanea de la señal.
- Sonoridad estática instantanea – Una visualización de tiempo o cascada mostrando un arreglo de parámetros de sonoridad estadísticos de la señal.

3.6.5 Muestreo Binaural. Dependiendo de lo que se requiera analizar y de otros ajustes (Ajustes de sonoridad en el menú de Analysis setup) se puede visualizar:

- espectro promedio de sonoridad binaural – Sonoridad biaural calculado de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.
- Espectro en cascada de sonoridad binaural – Grafica de cascada calculado de un multiespectro de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.
- Contorno de espectro de sonoridad binaural – Grafica de contorno de un multiespectro de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto.
- Sonoridad total binaural vs tiempo – Una grafica de tiempo de la sonoridad biaural total de la señal.
- Orden de Muestreo

Estas opciones solo están activas si hay una señal de tacómetro presente.

Hay varias opciones disponibles para visualizar datos relacionados con orden:

- Tacho (Solo para la señal original) –Grafica de tiempo para los canales de los tacómetros.
- Schmitt tacho (Solo para la señal original) –Grafica de tiempo para una señal de tacómetro luego de que un disparador Schmitt se haya ejecutado
- RPM (Solo para la señal original) –Grafica de tiempo para el RPM.
- FFT en cascada vs. RPM – Grafica de cascada para un espectro FFT calculado de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto usando una señal RPM! Como base para el análisis de orden.
- FFT Contorno vs RPM – Grafica de contorno para un espectro calculado de la señal de tiempo para el icono seleccionado en la ventana del proyecto usando una señal RPM como base para el análisis de orden.

#### Sonoridad

- Contorno de sonoridad vs. RPM – Datos de sonoridad como una visualización de contorno. Los cálculos se hacen de acuerdo a los ajustes en el menú de Analysis Setup.
- Sonoridad Total vs. RPM – Grafica de la sonoridad total como función del RPM.
- Sonoridad instantánea vs. RPM – Grafica de la sonoridad instantánea como función del RPM.

## Métricas

- Rugosidad vs. RPM – Grafica de la aspereza como una función del RPM.
- Los cálculos son hechos en base a los ajustes de la sonoridad y orden disponibles en el menú.
- Fuerza de fluctuación vs. RPM – Grafica de la fuerza de fluctuación como función del RPM.
- Los cálculos son hechos en base a los ajustes de la sonoridad y orden disponibles en el menú.

## General

- Linear level (nivel lineal) vs. RPM – Grafica del nivel lineal como una función de RPM.
- Los cálculos son hechos en base a los ajustes de la sonoridad y orden disponibles en el menú del instalador de análisis.
- A-weighted level vs. RPM – (Grafica de nivel ponderado) A como función del RPM.
- Los cálculos son hechos en base a los ajustes de la sonoridad y orden disponibles en el menú.

3.6.6 Muestreo de métricas. Las métricas disponibles para visualizar depende de los ajustes en la sonoridad disponible en el menú A. Dependiendo si se elije el análisis estacionario o no estacionario y de los otros ajustes del menú de análisis se pueden visualizar:

- Nitidez vs. time
- Rugosidad especifica

- Fuerza de fluctuación específica
- Rugosidad vs. Time
- Fuerza de fluctuación vs. Tiempo
- Relación tono a ruido vs. Tiempo
- Relación de prominencia vs. Tiempo
- Análisis envolvente.

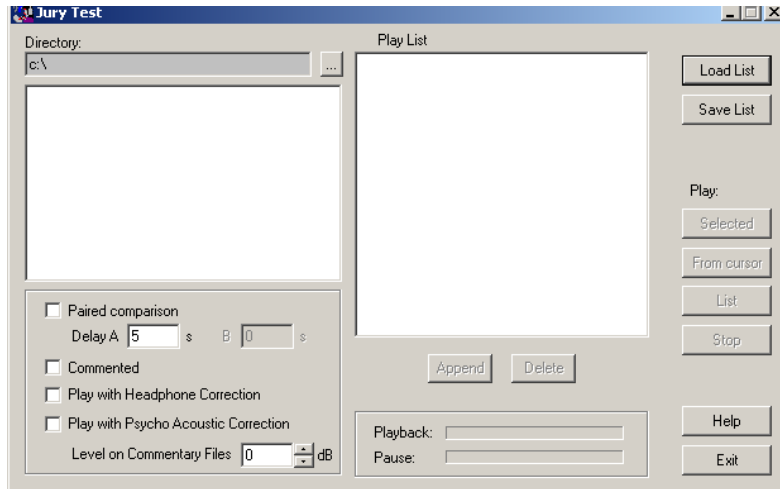
3.6.7 Muestreo general. Exhibe una grafica del nivel total de ancho de banda. Se puede elegir entre:

- Muestreo de nivel lineal vs. Time – Exhibe una grafica del Nivel Lineal como una función de tiempo
- Muestreo de niveles ponderados vs. Time – Exhibe una grafica de Nivel Ponderado A como una función de tiempo.

3.6.8 Prueba de jurado. El criterio definitivo de un producto lo realiza los usuarios, y es así que en el desarrollo de nuevos productos una cierta cantidad (o incluso una cantidad considerable) de pruebas deben ser hechas en sujetos. Esto se conoce como pruebas de jurado o Jury Testing. La idea es reproducir sonidos de diferentes productos a las personas y hacer que evalúen la calidad de los sonidos.


Prueba de jurado es una herramienta diseñado para presentar una serie de pruebas a un jurado de oyentes participando en una prueba de escucha. Se puede acceder a esta aplicación por medio del Software Sound Quality en la barra de menú en Tools, Jury Test o en Windows en la ruta menú inicio/Todos los programas/PULSE/Applications/ Jury Test.

Figura 18. Aplicación prueba de jurado



Fuente (Pulse, Sound Quality)

Todos los datos usados en la prueba de jurado deben estar en formato .WAV. Una grabación creada o modificada en el Sound Quality debe ser exportado como un archivo wave antes de ser usado en la prueba de jurado.

Para seleccionar archivos para una lista de reproducción en Jury Test se debe usar el botón  para buscar en el disco el directorio con los archivos wave que se usaran. Aparecerán en la caja debajo del directorio, los archivos .wave contenidos en el directorio. Para reproducir un archivo se da doble clic o para parar se pulsa Stop. Para agregar un archivo wave a la lista de reproducción se arrastra el archivo a la caja de Play List o se señala el archivo y se pulsa Append.

## CONCLUSIONES.

Se conceptualiza las métricas para evaluar la calidad del sonido, lo cual es un aporte importante para la evaluación de productos.

La diferencia entre las métricas objetivas y subjetivas para la medición de la calidad del sonido hace más confiable el análisis del mismo.

El estudio normativo permite establecer métodos y procedimientos estándar, para la medición, garantizando la confiabilidad en la toma de datos.

La definición del método de diagnóstico para evaluar las variables de salida de las máquinas, permite orientar al usuario en su procedimiento de medición.

Se ha estudiado PULSE, Sound Quality, un programa capaz de realizar cálculos relacionados con múltiples ámbitos de la acústica, y una plataforma especializada en la calidad sonora.

Se observa que la herramienta PULSE, Sound Quality pueden captar y editar sonidos para luego calcular parámetros como: loudness, sharpness, roughness y fluctuation strength. Los cuales son los parámetros de medición objetiva de las métricas acústicas.

## BIBLIOGRAFÍA

Artículo sobre el espectro electromagnético, Espectrometria.com

Castañeda Heredia Leonel Francisco, Bogdan Zoltowski. Bases del diagnóstico técnico de máquinas. Primera edición. Noviembre 2011. Medellín.

Covarrubias Javier. El Confort. Complejidad Visual en la Arquitectura, U.A.M. Azcapotzalco.

Campbell, M. and Greated, C. (1987). The Musician's Guide to Acoustics. New York: Schirmer Books. Adey WR. 1993. Biological effects of electromagnetic fields. J. Cell Biochem 51:410-416.

David Orozco, Atenuación acústica en rieles de sistemas ferroviarios, medellin 2010.

Echarte Merino Alvaro. evaluación de la calidad sonora mediante parámetros psicoacústicos. Proyecto de grado 2010. Pamplona

F Cádiz.Rodrigo . Cádiz - Centro de Investigación en Tecnologías de Audio, Chile 2008

Germán René Betancur, El confort en vehículos ferroviarios de pasajeros, proyecto de grado, Medellín 2005.

Instituto Nacional de la Sordera y otros Trastornos de la Comunicación. Hoja de Información del NIDCD La pérdida de audición ocasionada por el ruido. NIH Pub. No. 97-4233. Actualizado en abril del 2007. Estados Unidos

ISO Standards (1995) handbook . Acoustics Vol. 2. Suiza.

J. J. Condon y S. M. Ransom. «Essential Radio Astronomy: Pulsar Properties». National Radio Astronomy Observatory.

Lieberman, P., y Blumstein, S. E. (1988). Speech physiology, speech perception and acoustic phonetics. Cambridge: Cambridge University Press.

Frenzel, Louis L. (mayo de 2003). Sistemas electrónicos de comunicaciones (Tercera reimpresión edición). México D.F.: Alfaomega.

Vinardi Livio.(2004). Biospicoenergía. El ser humano como medida. Segunda edición (2004) Buenos Aires.

Anexo A. Normativa para la medición acústica

Tabla. Requerimientos de la norma ISO de Acústica para la medición de ruido

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
<p>ISO 1996-1: 1982</p>	<p>La instrumentación puede comprender:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonómetro integrador promediador</li> <li>- Dosímetro</li> <li>- Sonómetro</li> <li>- Registrador de datos</li> <li>- Analizador de distribución estadístico</li> <li>- Calibrador</li> </ul> <p>La instrumentación debe cumplir con las especificaciones para sonómetros de tipo 1 o por lo menos de tipo 2 de la norma IEC 651. Los sonómetros integradores promediadores deberán ser de categoría P.</p> <p>Si se usa instrumentos alternativos deben proporcionar un rendimiento equivalente con respecto a la frecuencia y ponderaciones de tiempo y</p>	<p>Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente Ponderado A</p>

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
	tolerancias.	
ISO 1996-2: 1987	Sonómetro preferiblemente de tipo 1, pero al menos de tipo 2, con las especificaciones dadas en la IEC Publicación 651. El sonómetro integrador promedio debe ser como esta especificado en la IEC Publicación 804.	Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para cada tiempo de intervalo de referencia.
ISO 1996-3: 1987	La instrumentación y calibración se referencia completamente de la norma ISO 1996/1.	Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente
ISO 3741: 1988	Micrófono condensador, u otro equivalente en precisión, estabilidad y respuesta en frecuencia. El micrófono debe tener una respuesta plana para sonido incidente al azar sobre el rango de frecuencia de interés. Estas especificaciones se cumplen para el micrófono de un sonómetro estandarizado de tipo 1 según la IEC 651. Calibrador.	Niveles de presión sonora en bandas de frecuencia en un camino prescrito o en varias posiciones de micrófono discretos. Niveles de potencia sonora en bandas de frecuencia. Niveles de potencia sonora ponderado A (Opcional)
ISO 3742: 1988	Micrófono condensador, u otro equivalente en precisión, estabilidad y respuesta en frecuencia. El micrófono debe tener una respuesta plana para	Niveles de presión sonora en bandas de frecuencia en un camino prescrito o en varias posiciones de micrófono discretos.

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
	<p>sonido incidente al azar sobre el rango de frecuencia de interés. Estas especificaciones se cumplen para el micrófono de un sonómetro estandarizado de tipo 1 según la IEC 651. Calibrador.</p>	<p>Niveles de potencia sonora en bandas de frecuencia. Niveles de potencia sonora ponderado A (Opcional)</p>
<p>ISO 3743-1: 1994</p>	<p>El sistema de instrumentación, incluyendo el micrófono y el cable, debe cumplir con los requerimientos para un sonómetro tipo 1 especificado en IEC 804.</p> <p>Para mediciones en bandas de octava, el sistema de instrumentación debe cumplir con los requerimientos de IEC 225.</p> <p>Calibrador.</p>	<p>Niveles de presión sonora (ponderado y en bandas de octava) en un camino prescrito o en varias posiciones de micrófono discretos.</p> <p>Niveles de potencia sonora (Ponderado A es necesario; otras ponderaciones son opcionales). Niveles de potencia sonora en bandas de frecuencia.</p>
<p>ISO 3743-2: 1994</p>	<p>El sistema de instrumentación consiste de un micrófono, un amplificador con una red de ponderación A, un circuito cuadrático y promediador y un dispositivo indicador. Estos elementos pueden estar por separados o estar integrado en una unidad completa como es el caso del sonómetro. Los</p>	<p>Niveles de presión sonora (Ponderado A y en bandas de octava) en un camino prescrito o en varias posiciones de micrófono discretos.</p> <p>Niveles de potencia sonora (Ponderado A es necesario; otras ponderaciones son</p>

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
	<p>requerimientos que se deben cumplir para sonómetros se encuentran en IEC 651 y IEC 804.</p> <p>Calibrador</p>	<p>opcionales). Niveles de potencia sonora en bandas de frecuencia.</p>
<p>ISO 3744: 1994</p>	<p>El sistema de instrumentación, incluyendo el micrófono y el cable, debe cumplir con los requerimientos para un sonómetro tipo 1 especificado en IEC 654.</p> <p>En caso de sonómetros integradores promediadores, los requerimientos para tipo 1 están especificados en IEC 804.</p> <p>Los filtros deben cumplir con los requerimientos de IEC 225.</p> <p>Calibrador</p> <p>Para una superficie de medición hemisférica se requiere de un arreglo de por lo menos 10 micrófonos.</p> <p>Para una superficie de medición en forma de paralelepípedo la cantidad de micrófonos depende del número de planos reflectantes y del tamaño de la maquina.</p>	<p>Niveles de presión sonora (ponderado y en bandas de octava) en posiciones prescrito de micrófono de medición.</p> <p>Niveles de potencia sonora ponderado (Ponderado A es necesario; otras ponderaciones son opcionales). Niveles de potencia sonora en bandas de frecuencia; características directivas de la fuente.</p>
<p>ISO 3745: 1977</p>	<p>Micrófono condensador, u otro</p>	<p>Niveles de presión sonora</p>

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
	<p>equivalente en precisión, estabilidad y respuesta en frecuencia. El micrófono debe tener una respuesta plana para sonido incidente al azar sobre el rango de frecuencia de interés. Se recomienda que el diámetro del micrófono sea de 13 mm.</p> <p>Sonómetro que cumpla con los requerimientos de IEC 179.</p> <p>Calibrador</p> <p>Para una superficie de medición hemisférico se requiere de un arreglo de por lo menos un arreglo 10 posiciones de micrófonos.</p> <p>Para una superficie de medición en forma de paralelepípedo la cantidad de micrófonos depende del número de planos reflectantes y del tamaño de la maquina.</p>	<p>(ponderado y en bandas de octava) en posiciones prescrito de micrófono de medición.</p> <p>Niveles de potencia sonora ponderado (Ponderado A es necesario; otras ponderaciones son opcionales). Niveles de potencia sonora en bandas de frecuencia; características directivas de la fuente.</p>
ISO 3746: 1995	<p>El sistema de instrumentación, incluyendo los micrófonos y el cable, debe cumplir con los requerimientos para instrumentos de tipo 2 especificado en IEC651 o, en caso de sonómetros</p>	<p>Niveles de presión sonora ponderados en posiciones de micrófono de medición.</p> <p>Niveles de potencia sonora ponderado (Ponderado A es</p>

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
	integradores promediadores, los requerimientos para tipo 2 especificado en IEC 804. Calibrador.	necesario; otras ponderaciones son opcionales)
ISO 3747: 1987	Sonómetro que cumpla con los requerimientos de tipo 1 o tipo 2 según lo establecido en IEC 651. Si se usan sonómetros integradores promediadores deben cumplir con los requerimientos para un instrumento de tipo 1 o 2 según lo establecido en IEC 804. Calibrador.	Niveles de presión sonora con ponderación A, y si es necesario, en bandas de octava en posiciones de micrófono especificado para la fuente de ruido bajo prueba y para un fuente de sonido de referencia que es instalado encima o al lado de de la fuente bajo prueba. Nivel de potencia sonora ponderado A (Ponderación A es necesario, otras ponderaciones son opcionales)
ISO 6081: 1986	Sonómetro que cumpla con los requerimientos de tipo 1 según lo establecido en IEC 651. Si se usan sonómetros integradores promediadores deben cumplir con los requerimientos para un instrumento de tipo 1 según lo establecido en IEC 804.	Niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado A $L_{Aeq}$ y los niveles de presión en bandas para cada posición del micrófono. Niveles de presión sonora del ruido de fondo para

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
	Calibrador. EL micrófono debe tener un diámetro que no sea superior a 13 mm.	cada punto de medición y su correspondiente corrección.
ISO 6926: 1990	Micrófono condensador, u otro equivalente en precisión, estabilidad y respuesta en frecuencia. El micrófono debe tener una respuesta plana para sonido incidente al azar sobre el rango de frecuencia de interés. Se recomienda que el diámetro del micrófono sea de 13 mm. Sonómetro que cumpla con los requerimientos de IEC 179. Calibrador	Niveles de presión sonora (ponderado y en bandas de octava) en posiciones prescrito de micrófono de medición. Niveles de potencia sonora ponderado (Ponderado A es necesario; otras ponderaciones son opcionales). Niveles de potencia sonora en bandas de frecuencia; características directivas de la fuente.
ISO/TR 7849: 1987	Acelerómetro. Sonómetro que cumpla con los requerimientos para instrumentos de tipo 0 o tipo 1 IEC. Se reemplaza el micrófono por acelerómetro. Calibrador	El nivel de velocidad vibratorio para cada posición de medición El nivel de velocidad vibratoria promedio La potencia sonora aérea Lws, para el sonido estructural
ISO 8297: 1994	Sonómetro integrador promediador tipo 1 que cumpla con los requerimientos IEC 804	Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente. Niveles de potencia

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
	<p>o para ruido estable se puede usar sonómetro tipo 1 que cumpla requerimientos IEC 651.</p> <p>Calibrador de acuerdo IEC 942.</p>	<p>sonora Lw</p>
<p>ISO 9614-1: 1993</p>	<p>Instrumento para medición de intensidad sonora y una sonda que cumpla con los requerimientos de IEC 1043.</p> <p>Calibrador.</p>	<p>Nivel de intensidad sonora Li.</p> <p>Nivel de Potencia sonora.</p>

## ANEXO B. NORMAS ISO: RUIDO EMITIDO POR VEHÍCULOS

Tabla. Requerimientos de la norma ISO de Acústica para la medición de ruido emitido por vehículos

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
ISO 362: 1994	Sonómetro tipo 1 Calibrador. Instrumentos para medir rpm motor y la velocidad en carretera del vehículo.	Nivel de presión sonora máxima $L_{pmax}$ durante cada paso del vehículo. Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo F. Se hacen dos mediciones a cada lado del vehículo.
ISO 2922: 1975	Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 179. Calibrador.	Nivel de presión sonora ponderado A $L_{pA}$ . Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo F (Fast). Para análisis espectral los valores se medirán en bandas de octava o 1/3 de octava
ISO 2923: 1975	Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 179. Calibrador	Nivel de presión sonora ponderado A $L_{pA}$ . Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo S (Slow). Para análisis

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
		espectral los valores se medirán en bandas de octava o 1/3 de octava.
ISO 3095: 1975	Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 179. Calibrador Para la medición del vehículo estacionario se requiere 12 posiciones del micrófono.	Nivel de presión sonora ponderado A LpA. Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo F.
ISO 3381: 1976	Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 179. Calibrador	Nivel de presión sonora ponderado A LpA. Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo F.
ISO 3891:1978	El equipo y calibración se especifican en IEC 651: "Equipo de medición electroacústica para certificación de ruido de aeronaves. "	Nivel efectivo de ruido percibido. LEPA Nivel de presión sonora LA
ISO 5128: 1980	Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 651. Calibrador. Micrófono de preferencia omnidireccional. Instrumentos para medir el rpm del motor y la velocidad del vehículo.	Nivel de presión sonora ponderado A LpA. Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo F (Fast). Para análisis espectral los valores se

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
		medirán en bandas de octava o 1/3 de octava
ISO 5129: 1987	<p>Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 651. Calibrador.</p> <p>Micrófono de preferencia omnidireccional. Instrumentos para medir el rpm del motor.</p> <p>Para la medición del ruido cerca del motor especifica 3 posiciones de micrófono.</p>	<p>Nivel de presión sonora ponderado A LpA.</p> <p>Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo S (Slow). Para análisis espectral los valores se medirán en bandas de octava o 1/3 de octava</p>
ISO 5131: 1982	<p>Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 651. Calibrador.</p>	<p>Nivel de presión sonora ponderado A LpA.</p> <p>Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo S (Slow).</p>
ISO 6393: 1985	<p>Sonómetro que cumpla con los requerimientos de IEC 179 con ponderación de tiempo "Slow" (Lento). Para ruido impulsivo, ponderación de tiempo "Impulse"</p> <p>Especifica 6 posiciones de micrófonos para la superficie de medición hemisférica.</p> <p>El micrófono debe ser de tipo condensador o uno equivalente</p>	<p>El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A en cada posición de medición.</p> <p>El nivel de presión sonora del ruido de fondo en cada posición de medición.</p> <p>El nivel de potencia sonora ponderado A.</p>

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
	en precisión, estabilidad y respuesta en frecuencia. El diámetro exterior no debe exceder los 13 mm	
ISO 6394: 1985	<p>Sonómetro que cumpla con los requerimientos de tipo 1 según lo establecido en IEC 651. Si se usan sonómetros integradores promediadores deben cumplir con los requerimientos para un instrumento de tipo 1 según lo establecido en IEC 804.</p> <p>Calibrador.</p> <p>Especifica 6 posiciones de micrófonos para la superficie de medición hemisférica.</p> <p>El micrófono debe ser de tipo condensador o uno equivalente en precisión, estabilidad y respuesta en frecuencia. El diámetro exterior no debe exceder los 13 mm.</p>	<p>El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A en cada posición de medición.</p> <p>El nivel de presión sonora del ruido de fondo en cada posición de medición.</p>
ISO 6395: 1988	<p>Sonómetro tipo 1 integrador promediador de acuerdo a la norma 804.</p> <p>Micrófono debe ser omnidireccional y debe cumplir con los requerimientos IEC 651.</p>	<p>El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A en cada posición de medición.</p> <p>El nivel de presión sonora del ruido de fondo en cada posición de medición.</p>

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
		<p>El nivel de presión sonora continuo equivalente promediado sobre la superficie de medición.</p> <p>El nivel de potencia sonora ponderado A.</p>
ISO 6396: 1992	<p>Sonómetro tipo 1 integrador promediador de acuerdo a la norma 804.</p> <p>Micrófono debe ser omnidireccional y debe cumplir con los requerimientos IEC 651.</p>	<p>El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A en cada posición de medición.</p> <p>El nivel de presión sonora del ruido de fondo en cada posición de medición.</p>
ISO 7188: 1994	<p>Especifica un método para medir el ruido emitido por carros de pasajeros en movimiento.</p>	<p>Nivel de presión sonora máxima <math>L_{pmax}</math> durante cada paso del vehículo.</p> <p>Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo F. Se hacen dos mediciones a cada lado del vehículo.</p>
ISO 7216: 1992	<p>Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 651.</p> <p>Calibrador.</p> <p>Instrumentos para medir rpm motor y la velocidad en carretera del vehículo.</p>	<p>Nivel de presión sonora máxima <math>L_{pmax}</math> durante cada paso del vehículo.</p> <p>Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo F.</p>

NORMA	INSTRUMENTACION	PARAMETRO DE MEDICION
		Se hacen dos mediciones a cada lado del vehículo.
ISO 9645: 1990	<p>Sonómetro que cumpla con los requerimientos para tipo 1 de acuerdo a la norma IEC 651.</p> <p>Calibrador.</p> <p>Instrumentos para medir rpm motor y la velocidad en carretera del vehículo.</p>	<p>Nivel de presión sonora máxima <math>L_{pmax}</math> durante cada paso del vehículo.</p> <p>Mediciones se deben hacer con frecuencia de ponderación A y ponderación de tiempo F.</p> <p>Se hacen dos mediciones a cada lado del vehículo.</p>
ISO 10844: 1994	NA	NA

## ANEXO C. MANUAL DE USUARIO SOFTWARE SOUND QUALITY

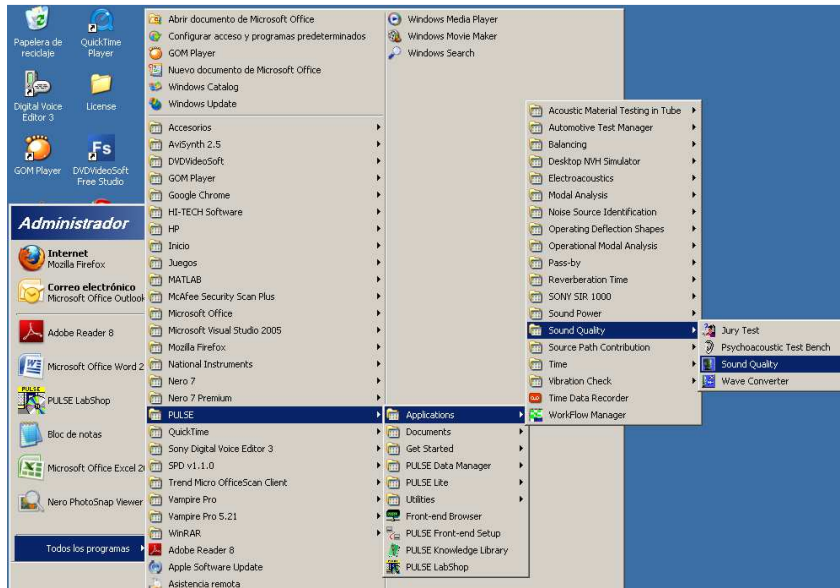
### ACCESO AL SOFTWARE SOUND QUALITY.

#### 3.7 CARACTERÍSTICAS DE PULSE SOUND QUALITY - TYPE 7698

- Se ejecuta bajo Microsoft® Windows® XP, con el sistema de sonido Microsoft®, compatible con tarjetas de sonido (4 canales max.).
- Carga archivos de datos de audio de PULSE.
- Control para mediciones con datos almacenados (u opción captura en tiempo real).
- Análisis de sonoridad Zwicker (con la opción BZ 5265).
- Análisis de orden (con la opción BZ 5277).
- Herramienta de correlación (con la opción BZ 5301 de Psychoacoustic Test Bench).
- Herramienta de prueba para diseñar y ejecutar pruebas auditivas de calidad del sonido.
- Corrección acústica para mejorar grabaciones.
- Edición en el dominio de frecuencia y tiempo para señales en tiempo real.
- Visualización de gráficas de espectros, contornos y superficies.
- Funciones programables usando Visual Basic® o Visual C++®.
- Macros programables usando VBScript o JavaScript.
- Análisis de regresión (opción BZ 5301).

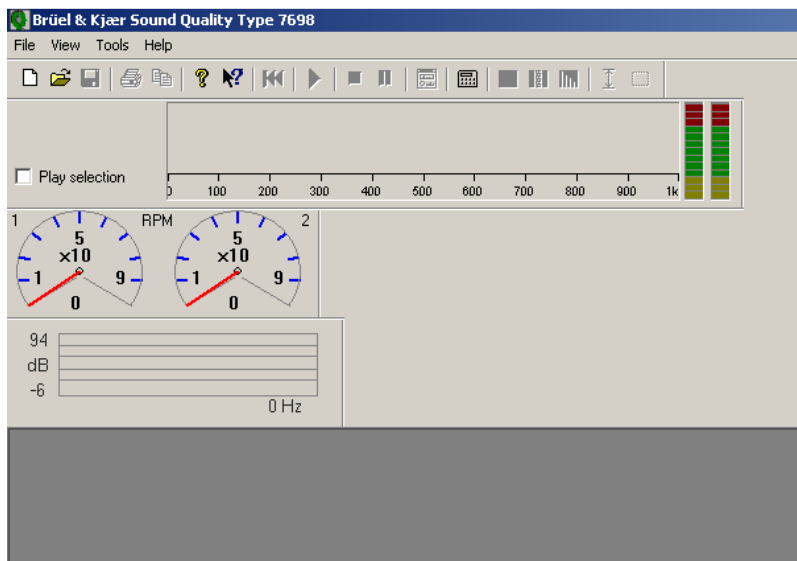
Para iniciar el PULSE Sound Quality, se accede a través del menú inicio/Todos los programas/PULSE/Applications/Sound Quality... (ver Figura 70).

Figura 6 Ruta de acceso al software PULSE Sound Quality



Propia

Figura 7. Pantalla inicial Sound Quality



Pulse, Sound Quality.

El software Sound Quality trabaja con proyectos. La extensión de archivo de los proyectos es \*.SQ y comprende:

Datos para la señal original

## Datos de calibracion opcional

Una vista del proyecto que muestra las funciones de edicion que se han aplicado a la señal(es) original(es).

El diseño de pantalla al momento de guardar, incluyendo todas las graficas activas.


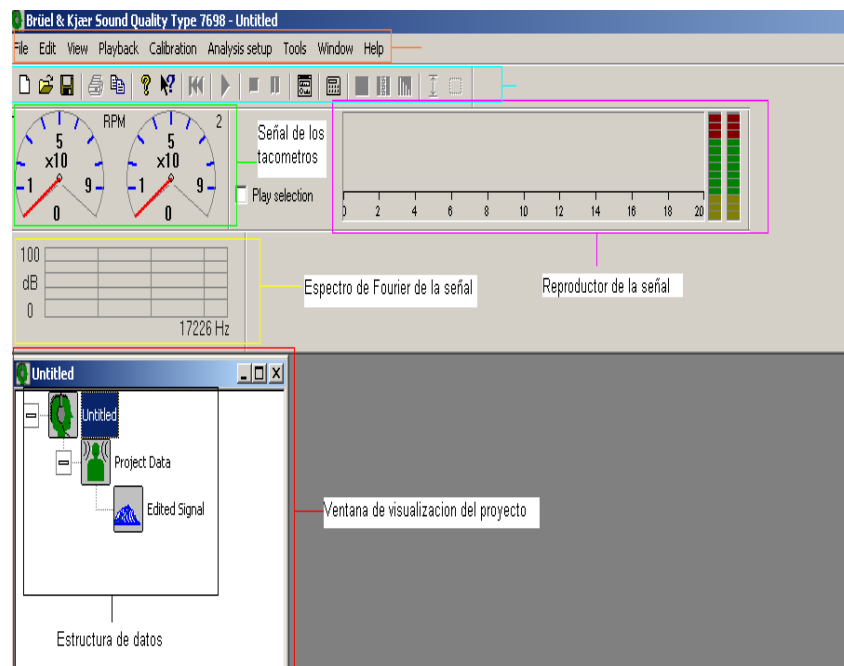

CREAR UN NUEVO PROYECTO. Paso 1. Para crear un nuevo proyecto, en la barra de menu seleccionar File, New project, o en el teclado mediante las teclas <Ctrl+n> o haciendo clic sobre el icono . Aparece en pantalla una pequeña ventana de visualizacion del proyecto con iconos organizados en una estructura de arbol donde se ingresan, editan y procesan las señales.

Figura 8 Estructura del inicio de un nuevo proyecto



Pulse, Sound Quality.

Paso 2. Insertar datos de una señal. Para poder insertar datos de una nueva medición o adquisición de señales es necesario tener un proyecto en ejecución ya sea un proyecto anteriormente guardado o uno nuevo. Se puede introducir datos desde un archivo, por ejemplo, aquellos creados por pulse, (.dat, ,wav, .uff) o desde la tarjeta de sonido del PC, directamente o a través del DAT(Cinta de Audio digital). Se da clic sobre el icono project data y en el menu señalar New Data y seleccionar la opcion que se desee usar.

Introducir datos desde el icono de Project Data ingresa datos a o modifica datos en esa rama de la estructura del proyecto. Introducir datos desde el icono Project , añade una nueva rama al árbol para que el proyecto contenga más de una señal.

Paso 3. Entrada a través de la Tarjeta de Sonido. Cuando se introduce datos a través de la tarjeta de sonido, los datos se almacenan en un archivo temporal en el disco duro, C:\TEMP\SQ\_tempwav.wav. Se puede seleccionar una parte de esta señal para análisis, pero se debe tener precaución ya que si se graba una nueva señal, el archivo se sobrescribe. Si se desea usar el archivo nuevamente para otros análisis posteriores se recomienda guardar el archivo bajo otro nombre en alguna carpeta del disco duro.

Para ingresar datos a través de la tarjeta de sonido se debe ubicar sobre el icono de project o project data, dar clic derecho y seleccionar New Data, Recording. Se abre una ventana con las opciones de grabación que permiten controlar:

La rata de muestreo de la toma de señal

Modo de grabación

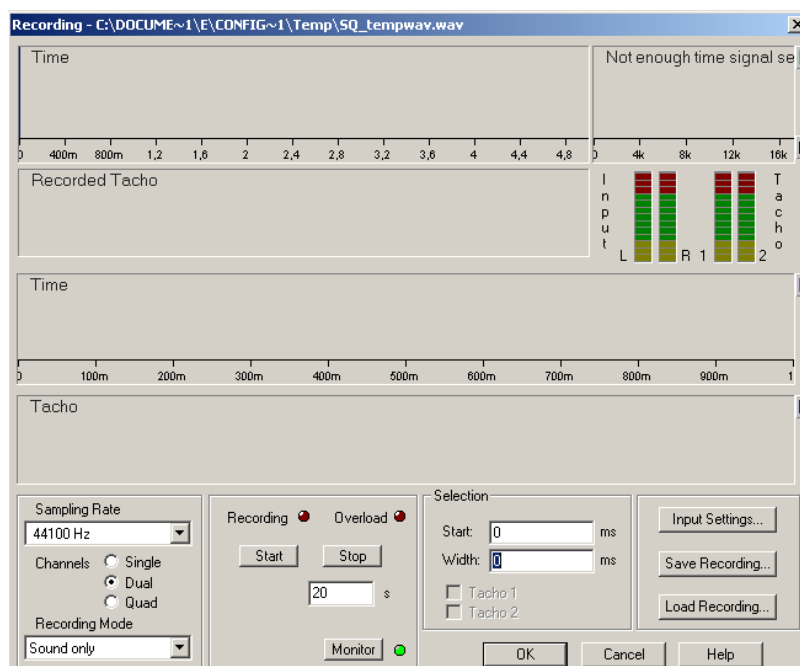
Tiempo de grabación

Tiempo de inicio

Ver espectro en tiempo real

Configurar las entradas

Figura 9. Menú para grabación de datos en el programa Sound Quality



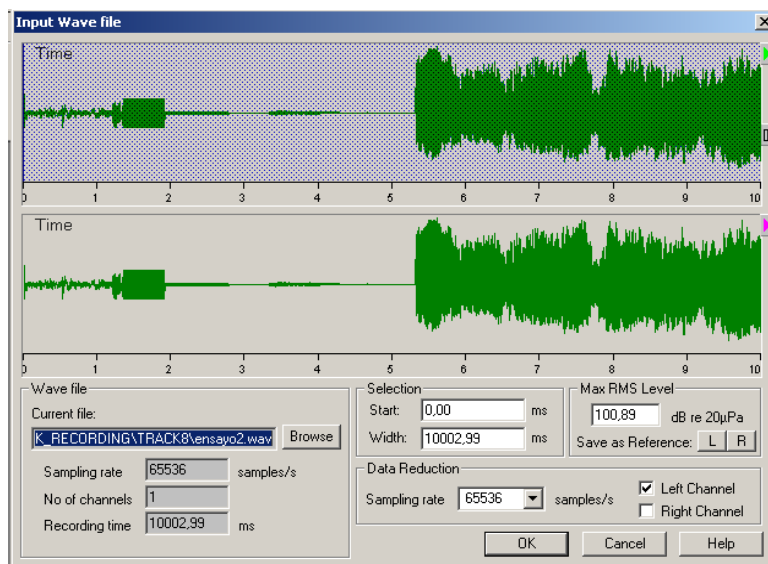
Pulse, Sound Quality.

Paso 4. Introducir los datos desde el archivo. Los archivos Wave y UFF producidos por PULSE son excelentes fuentes de datos para proyectos de Calidad Sonora. .WAV es el formato de archivo recomendado para uso general. Los archivos .DAT grabados con el PULSE Data Recorder se pueden leer directamente.

Los archivos .UFF son particularmente útiles ya que pueden contener múltiples pistas de sonido, permitiendo la introducción de datos de tacómetro como también de datos de sonido de dos canales. El archivo .wav también soporta múltiples pistas y pueden ser introducidos dentro del programa Sound Quality.

Para introducir datos desde un archivo, ubicar el cursor del mouse sobre el icono de Proyecto o Project Data, pulsar clic derecho y seleccionar New Data. Luego se selecciona entre las opciones Wave file, PULSE DAT, UFF o Paste Wave (solo se activa esta opción si se tiene un archivo .wav en el portapapeles). Dependiendo del ítem que se elija aparecen distintos menús para configurar las opciones de muestreo. Para cada ítem se definen los canales (Left, Right), las tasas de muestreo, la porción de la señal que se seleccionara de la señal original y el nivel máximo de la raíz media cuadrática de la señal.

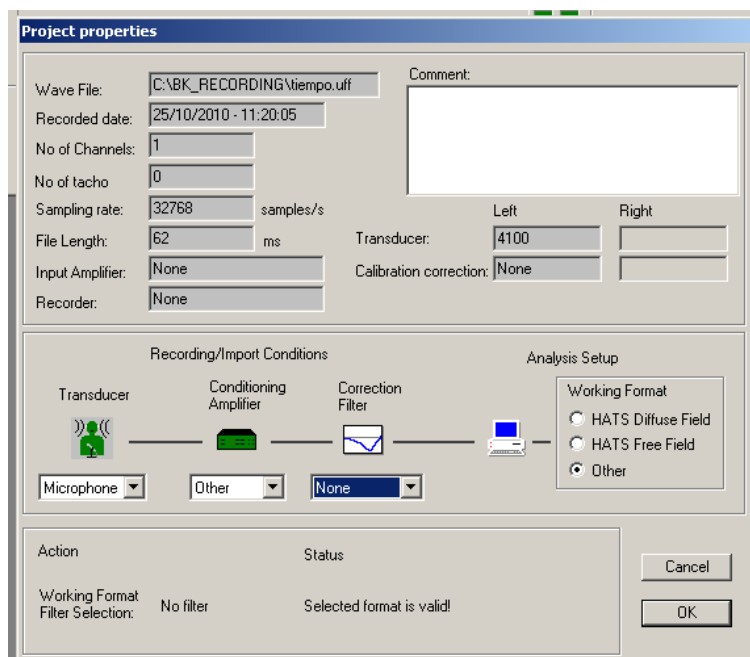
Figura 10. Menú de parámetros de selección de la señal



Pulse, Sound Quality.

Luego de realizar una grabación o de importar datos desde un archivo, aparece en pantalla un menú con las propiedades del proyecto en el que se describen las cualidades de los datos de la señal y en el que se deben especificar las condiciones de grabación/ importación de datos. Debido a que no se cuenta con las herramientas recomendadas por la B&K para medición de la calidad sonora (HATS) se recomienda configurar las opciones como aparece en la figura 74.

Figura 11. Menú de propiedades del proyecto



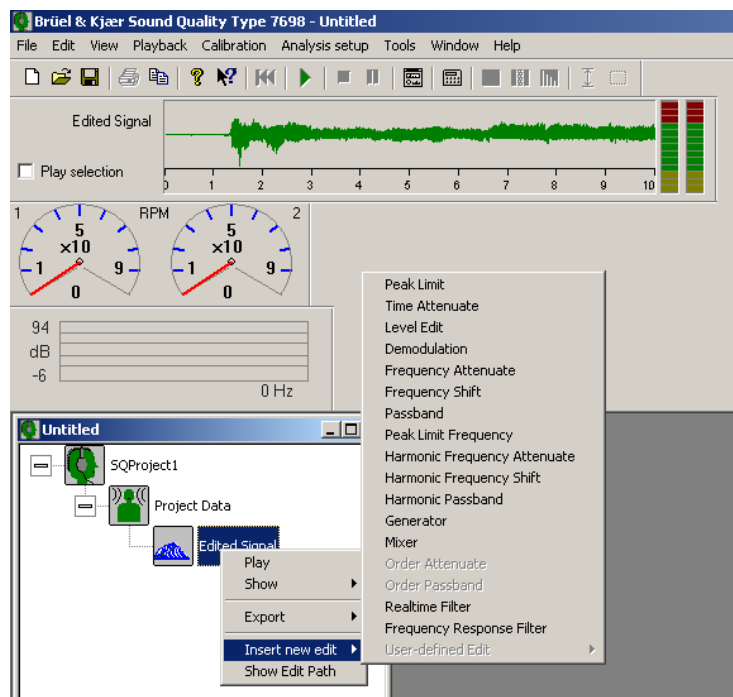
Pulse, Sound Quality.

Paso 5. Edición de la señal El programa Sound Quality permite modificar señales mediante la implementación de un conjunto de funciones para editar. Las funciones para editar son un grupo de funciones de pos procesamiento que permiten editar señales de tiempo grabados. Las ediciones se realizan en el dominio de frecuencia y/o tiempo. Las señales editadas pueden ser evaluadas y comparadas con la señal original u otras señales Esto permite evaluar un

cambio en la construcción antes de que sea implementado de verdad, reduciendo costos y tiempo de desarrollo.

Para editar una señal se ubica el mouse sobre la señal que se desea editar, se da clic derecho y en el menu se señala Insert new edit y se selecciona la opcion que se desee realizar.

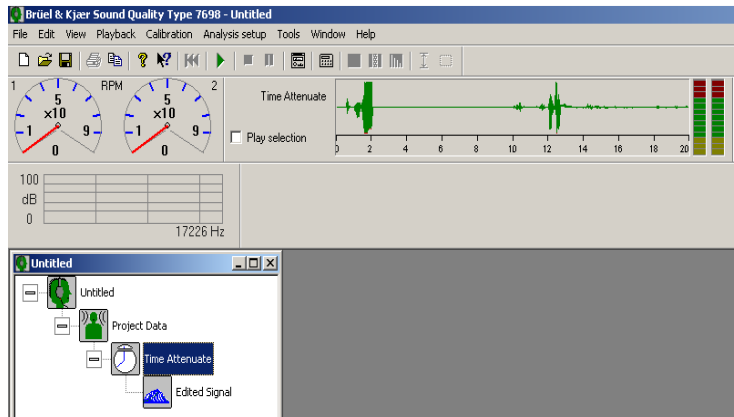
Figura 12. Funciones de edición de señal



Fuente (Pulse, Sound Quality)

Luego de editar una señal se agrega un icono de la función de edición en la ventana de visualización del proyecto. Se pueden realizar varias modificaciones a una misma señal. Cada vez que se realiza una edición se añade, después de la última función de edición, un icono a la estructura de datos.

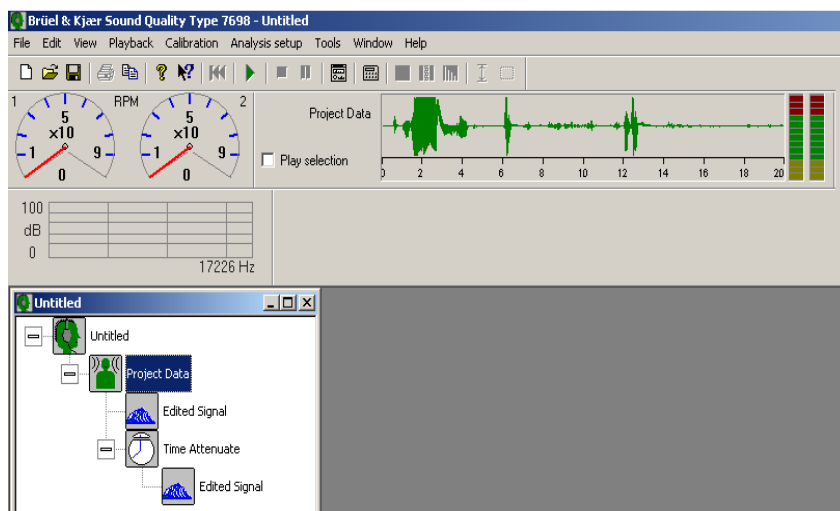
Figura 13. Ejemplo de una señal luego de aplicar una función de edición.



Fuente (Pulse, Sound Quality)

Si se desea conservar la señal original y hacer una “copia” con una función de edición aplicada, se debe ubicar el mouse, en vez de en el icono de Edited Signal, en Project Data, luego dar clic derecho y seleccionar Append new branch que agrega una nueva rama con la señal modificada, mediante una función de edición, a la estructura de datos.

Figura 14 Estructura de datos con la nueva función de edición anexada en Project Data



Fuente (Pulse, Sound Quality)

