



UNIVERSIDAD de VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

EVALUACIÓN DEL CONFORT ACÚSTICO EN DISTINTOS AMBIENTES



UNIVERSIDAD de VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL,
ESPECIALIDAD EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

PROYECTO FIN DE CARRERA

EVALUACIÓN DEL CONFORT ACÚSTICO EN DISTINTOS AMBIENTES

Autores:

**Anta Pérez, Alfonso de
Enríquez Jiménez, Diego**

Tutoras:

**Tarrero Fernández, Ana Isabel Departamento de Física Aplicada
Martín Bravo, M^a Ángeles Departamento de Física Aplicada**

JULIO — 2013

OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es estudiar cómo perciben los usuarios el confort acústico en distintos ambientes. Para ello se utilizó un índice que tendrá en cuenta los diferentes factores que influyen en la percepción de la molestia de cada persona.

Además del objetivo principal, hay otros objetivos secundarios que han de completarse para llegar a una conclusión final. Los objetivos secundarios son los siguientes:

- 1) Estudiar los factores acústicos que influyen en la percepción de la molestia.
- 2) Medir el tiempo de reverberación de cada sala.
- 3) Llevar a cabo un estudio de campo a los usuarios en cada ambiente mediante una encuesta.
- 4) Medir el nivel de presión sonora y el índice IRO y relacionarlos con el estudio de campo realizado.

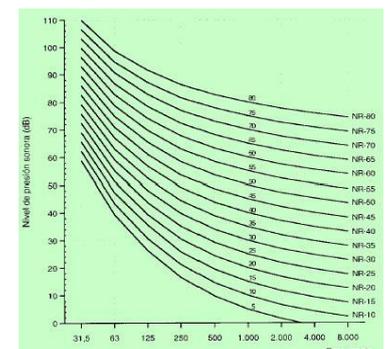
Una vez cumplidos todos los objetivos secundarios se llegará a una conclusión final para proponer algún tipo de mejora en el método utilizado para evaluar el confort acústico.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El **confort acústico** es aquella situación en la que el nivel de ruido provocado por las actividades humanas resulta adecuado para el descanso, la comunicación y la salud de las personas. Para conocer y evaluar el malestar de una persona o de un colectivo en un ambiente de ruido es necesario crear una escala que relacione la respuesta subjetiva de las personas con los valores alcanzados por un indicador que dependa de las características físicas del ruido. Existen diferentes índices de valoración de ruido, como son: el **Nivel de Presión Sonora (NPS)**, el Nivel Sonoro Continuo Equivalente, el Nivel Sonoro Diario Equivalente, el Nivel de Interferencia Conversacional (PSIL), **las Curvas de valoración NR (Noise Rating)**, el **Tiempo de reverberación (TR)**, el **Índice de ruido en oficinas (IRO)**, etc.

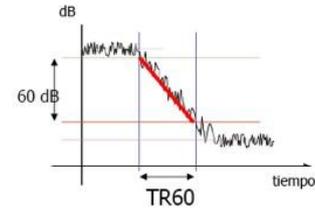
El **nivel de presión sonora (NPS)** determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora, se mide en decibelios (dB).

Las **Curvas de valoración NR** establecen límites aceptables de confortabilidad en recintos en los que existen niveles de ruido estables. Esta forma de categorización permite asignar al espectro de un ruido un solo número que lo caracterice, éste corresponde a la curva inmediatamente superior a la representación de los niveles obtenidos



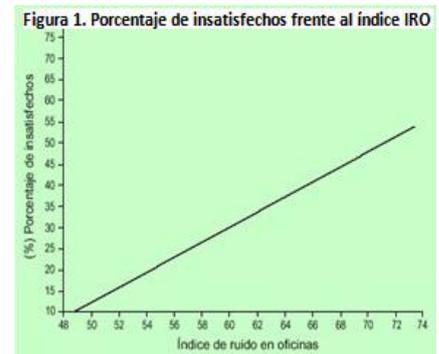
en cada banda de frecuencia. Es útil para la valoración de ruidos estables y continuos.

El **Tiempo de Reverberación (T_R o T_{60})** para una frecuencia dada es el tiempo, en segundos, necesario para que después de que cese la emisión de ruido, el nivel de presión sonora disminuya 60 decibelios.



El **Índice de Ruido en Oficinas (IRO)** está basado en los resultados obtenidos en un estudio realizado por B. Hay & M. F. Kemp (1972). Este estudio está reflejado en la Nota Técnica de Prevención NTP-503 y éste se realizó con la curva NR-40. En la Figura 1 se muestra la relación entre el porcentaje de insatisfechos obtenido a partir de las encuestas realizadas, y el índice IRO.

$$IRO = L_{90} + 2,4 (L_{10} - L_{90}) - 14$$
 Donde: L_{10} = el nivel de presión acústica (dB(A)) que se sobrepasa durante el 10% del tiempo de observación. L_{90} = el nivel de presión acústica (dB(A)) que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de observación, que representa el ruido de fondo.



Con este proyecto queremos llevar a cabo un producto hardware y software para controlar y gestionar el ruido, conscientes de la importancia que tiene la formación y la concienciación de las personas para afrontar este tipo de problema. Con la ayuda de **SAS-2000** desarrollado por Proceso Digital de Audio, que a continuación describiremos, iniciaremos la evaluación del Confort Acústico.

El **SAS-2000**, que trabaja bajo la NTP-503, es un dispositivo creado para medir el confort acústico de las salas en las que se albergan personas que desarrollan cualquier tipo de actividad, como pueden ser oficinas, hospitales, bibliotecas, salas de espera, comedores, aulas, etc. Este dispositivo clasifica el ambiente en el que estamos en tres tipos mediante un semáforo el cual se irá adaptando a ellos dependiendo del valor del IRO_{SAS} ($IRO_{SAS} = IRO + Penalización (NR) + Penalización (tonal)$). Las penalizaciones NR y tonal se aplican cada minuto. La penalización NR es la diferencia que hay entre la curva NR recomendada y la curva real en la que el SAS está trabajando. La penalización tonal es la aplicada al comparar cada banda de frecuencia con sus alledañas, y en el caso de haber una diferencia de 15 dB(A) se penalizará sumando tres unidades al IRO_{SAS} . Los tres tipos de ambientes calificados por el SAS-2000 son los siguientes: Ambiente Confortable (Verde) - Ambiente Ruidoso (Ámbar) - Ambiente Muy Ruidoso (Rojo). El paso de ambiente confortable a

ruidoso se realiza, aproximadamente, cuando hay un 20% de personas insatisfechas y el cambio de ambiente ruidoso a muy ruidoso cuando hay un 40% de personas insatisfechas. Los rangos de valores que califican estos ambientes para la curva NR-40 son los siguientes: [0-55) Ambiente Confortable - [55-68) Ambiente Ruidoso - 68 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.

METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto se basa en el estudio de campo de diferentes tipos de ambientes, analizando sus características, realizando medidas con el equipo SAS-2000 del nivel de presión sonora y el índice IRO_{SAS} , y además el tiempo de reverberación con el sonómetro 01db SOLO Black Edition. También se realizó una pequeña encuesta de tres preguntas, como se muestra en el ANEXO I, en los distintos ambientes en los que se hicieron las mediciones. La primera pregunta hace referencia al NPS, la segunda pregunta al grado de satisfacción a nivel conversacional y la tercera al grado de satisfacción del confort acústico.

Para el estudio de campo realizado elegimos cuatro tipos de ambientes distintos, siendo estos, Administrativo (Oficinas), Docente (Aulas y Sala de Estudio), Sanitario (Salas de espera) y Ocio (Restaurantes-Comedores). El total de encuestas realizadas de todos los ambientes fueron 586, durante un tiempo de 2.929 minutos.

PROPUESTA

Lo primero observado de todos los datos medidos y de las encuestas realizadas es que el equipo basado en el IRO_{SAS} , trabaja adecuadamente en ambientes similares a los de una oficina. Los ambientes en los que se podría usar el mismo índice son salas de estudio, bibliotecas...Por ello hemos englobado el ambiente de Oficinas y Sala de Estudio en uno.

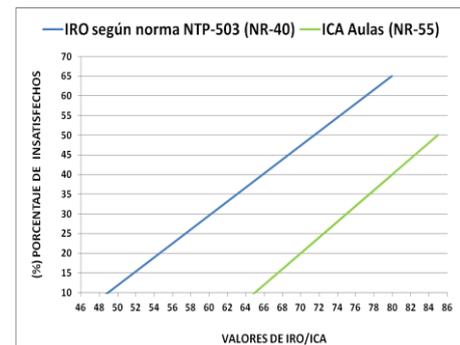
En el resto de los ambientes estudiados se comprueba que al ser ambientes diferentes, existen diferencias entre los valores obtenidos. Estas diferencias son consecuencia de que el confort acústico se percibe de forma diferente en cada ambiente. También hay que tener en cuenta que **la valoración del confort es algo muy subjetivo**, diferente en cada persona, por lo que para la propuesta se han realizado los siguientes pasos.

En primer lugar se realizó una propuesta a la empresa que fabrica el equipo SAS, pero no se pudo llevar a cabo. Posteriormente se realizó una nueva propuesta que consistía en **asignar una curva NR recomendada diferente para cada ambiente**. Esta propuesta **se aceptó** y es la que se llevó a cabo.

Observando todos los datos obtenidos de las medidas tomadas con el SAS y de las encuestas, se llegó a la conclusión de que cada ambiente se adaptaba mejor a una curva NR diferente de la implementada, ya que con la curva NR-40 los resultados no eran adecuados, por lo que después de analizar todos los datos, se asignó a cada ambiente una curva NR nueva. Esto dio lugar a una nueva recta que correlaciona el porcentaje de insatisfechos reales frente al valor del IRO_{SAS} similar a la de la Figura 1.

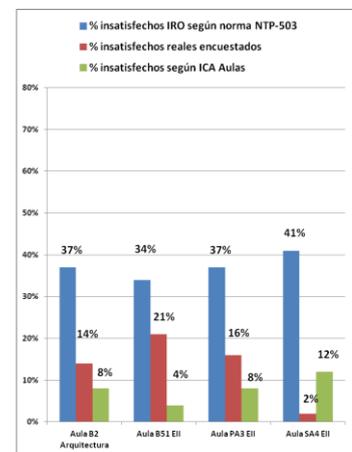
Para los **ambientes de Oficinas y Salas de Estudio** la curva NR no se cambia ya que trabaja adecuadamente, como se explicó anteriormente.

La curva a la que se asemeja el **ambiente Aulas** es la **NR-55**. El nuevo **Índice de Confort Acústico (ICA) Aulas** que se propone dará lugar a una nueva recta para relacionar el porcentaje de insatisfechos frente a los valores ICA Aulas. Al ser una curva superior y por lo tanto tener unos valores

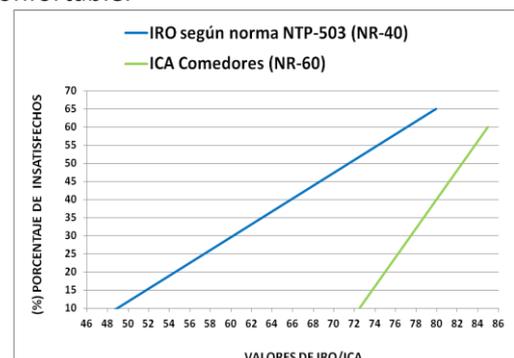


iniciales más altos, la nueva recta se verá desplazada hacia la derecha respecto a la del IRO según la norma NTP-503. La pendiente se modificó levemente, por lo que los rango de valores de ICA quedarán definidos de la siguiente manera: **[0-70) Ambiente Confortable - [70-80) Ambiente Ruidoso - 80 en adelante Ambiente Muy Ruidoso**. El rango inicial de valores para la curva NR-55 era: [0-70) Ambiente Confortable - [70-83) Ambiente Ruidoso - 83 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.

Con la nueva recta ICA Aulas, hemos reducido la gran diferencia que existía entre el porcentaje de insatisfechos según el IRO de la normal NTP-503 con los insatisfechos reales encuestados. Dada la subjetividad de las encuestas, aunque los nuevos porcentajes de insatisfechos ICA Aulas no coincidan exactamente, dichos porcentajes valoran igual el confort acústico, ya que entre el 0% y el 20%, el SAS-2000 calificará el ambiente de la misma manera, ambiente confortable.



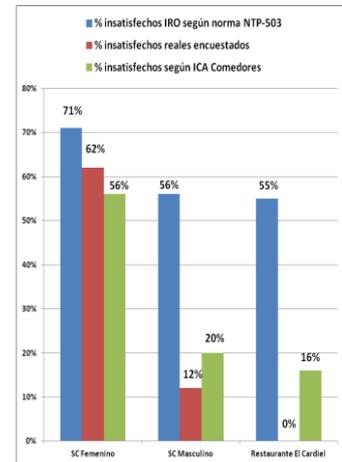
El **ambiente Restaurantes-Comedores** se asemeja a una curva **NR-60**. La recta para el **ICA Comedores** propuesta presenta varias diferencias respecto a la recta del IRO según la norma NTP-503. Se ve desplazada a la derecha al ser una curva NR superior. También la pendiente se modificó, siendo una pendiente mayor, por lo



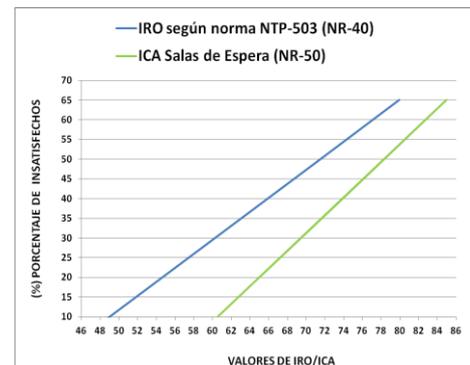
que el número de insatisfechos aumentará y llegará más rápido a un ambiente ruidoso y muy ruidoso, quedando los rangos definidos de la siguiente manera: **[0-75)**

Ambiente Confortable - [75-80) Ambiente Ruidoso - 80 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso. El rango inicial de valores para la curva NR-60 era: [0-75) Ambiente Confortable - [75-88) Ambiente Ruidoso - 88 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.

Con la nueva recta ICA Comedores, hemos reducido la gran diferencia que existía entre el porcentaje de insatisfechos según el IRO de la normal NTP-503 con los insatisfechos reales encuestados. Por lo tanto, el equipo SAS-2000, calificará el ambiente adecuadamente en todo momento.

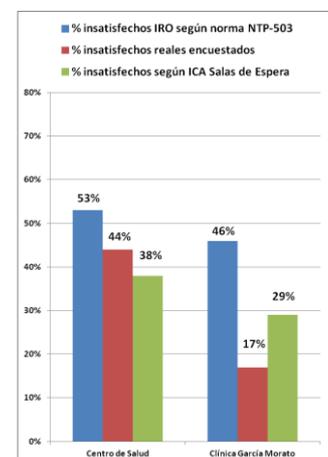


Para el **ambiente Salas de Espera** se asemeja a una curva **NR-50**. La nueva recta **ICA Salas de Espera**, al asemejarla a una curva superior y por lo tanto tener unos valores iniciales más altos, también se verá desplazada a la derecha respecto a la del IRO según norma NTP-503. Su pendiente se ha modificado levemente aumentándola para que el porcentaje de insatisfechos crezca más rápido. Como se asemeja a una curva NR-50 sus valores son más próximos a los del IRO según la norma NTP-503, comparada con los ambientes anteriores que se adaptan a curvas NR superiores (Aulas – NR 55, Comedores – NR-60). Los rangos quedarán definidos de la siguiente manera: **[0-75)**



Ambiente Confortable - [75-80) Ambiente Ruidoso -80 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso. El rango inicial de valores para la curva NR-50 era: [0-65) Ambiente Confortable - [65-78) Ambiente Ruidoso - 78 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.

Debido a la subjetividad de las encuestas, en la Clínica García Morato, el porcentaje de insatisfechos obtenidos a través de las encuestas, no coincide exactamente con el resultado de insatisfechos obtenido a través de nuestra nueva recta ICA Salas de Espera. Aunque la enorme diferencia que existía anteriormente ha desaparecido, pasando de una diferencia de un 29% de insatisfechos respecto a los reales encuestados, a un 12% con nuestra nueva recta ICA Salas de Espera. En cambio en el Centro de Salud de Laguna de Duero son bastante próximos



los resultados, sin llegar a coincidir exactamente, rebajando la diferencia de un 9% a un 6% de insatisfechos. De esta manera el SAS-2000 calificará el ambiente de una manera más eficiente respecto a como lo hacía anteriormente.

CONCLUSIONES

Como resumen del trabajo, se exponen las siguientes conclusiones:

- 1) El IRO_{SAS} trabaja adecuadamente en ambientes con características similares a los de una oficina.
- 2) El IRO_{SAS} proporciona unos resultados en ambientes diferentes a los de una oficina, que no se ajustan a la percepción que tienen las personas en estos ambientes.
- 3) La curva NR en la que trabaja el IRO_{SAS} es adecuada para oficinas y ambientes similares, pero no es aplicable a los demás ambientes estudiados en este proyecto. Las curvas a las que se asemejan los ambientes estudiados son: Oficinas NR-40, Aulas NR-55, Comedores-Restaurantes NR-60 y Salas de Espera NR-50.
- 4) El rango de valores para considerar un ambiente confortable, ruidoso o muy ruidoso no es el mismo en los diferentes ambientes estudiados.

Para concluir podemos hacer una observación importante, y es que después de realizar el estudio de campo, hemos comprobado que las personas no están implicadas en respetar las normas en cuanto a la acústica se refiere.

ANEXO I

ENCUESTA

-CONFORT ACÚSTICO-

Lugar: Hora:

Sexo: H M Edad: <30 30-44 45-59 >60

1.- Según su opinión personal, el nivel sonoro en este recinto es:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy malo				Normal					Muy bueno

2.- Según su opinión personal, ¿en qué medida puede mantener una conversación adecuada en este recinto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy mala				Normal					Muy buena

3.- Según su opinión personal, ¿se encuentra usted cómodo en este ambiente respecto al nivel de ruido?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy mal				Normal					Muy bien

Palabras Clave: Confort Acústico, Nivel de Presión Sonora, NPS, Curvas NR, Tiempo de reverberación, Índice de Ruido en Oficinas, IRO, NTP-503, SAS-2000.



UNIVERSIDAD de VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL,
ESPECIALIDAD EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

PROYECTO FIN DE CARRERA

EVALUACIÓN DEL CONFORT ACÚSTICO EN DISTINTOS AMBIENTES

Autores:

Anta Pérez, Alfonso de

Enríquez Jiménez, Diego

Tutoras:

Tarrero Fernández, Ana Isabel

Departamento de Física Aplicada

Martín Bravo, M^a Ángeles

Departamento de Física Aplicada

JULIO — 2013



Agradecimientos

A Dña. Ana Isabel Tarrero Fernández y M^a Ángeles Martín Bravo, profesoras del Departamento de Física Aplicada de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

A Dña. María de la O Machimbarrena Gutiérrez profesora del Departamento de Física Aplicada de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid.

A D. Rafael Viñas del Departamento de Física Aplicada de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

A D. Roí Arias Salve y a D. José Elías Arias Puga de Eudap y Proceso Digital de Audio.

Al personal de la Escuela de Ingenierías Industriales de la sede Francisco Mendizábal.

A Dña. Ana Belén Hernández Sánchez del departamento de Unidad de Imagen Corporativa y Comunicación Interna del Hospital Universitario Río Hortega.

A D. Ismael Jiménez Ahijado de la oficina de sindicatos CC.OO.

Al personal de las oficinas de la Casa del Estudiante de la Universidad de Valladolid.

Al personal de Administración del Colegio Mayor Santa Cruz de la Universidad de Valladolid.

Al personal del Restaurante El Cardiel en Viana de Cega.

A Dr. Carlos Imaz de la Clínica García Morato y a su personal.

Por último quisiéramos dar las gracias a nuestras familias y amigos por el gran apoyo a lo largo de estos años de carrera.



Índice

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
1.1	OBJETIVOS.....	9
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	10
2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.1	ACÚSTICA.....	15
2.1.1	EL SONIDO	15
2.1.2	PERCEPCIÓN HUMANA DE LAS ONDAS SONORAS	16
2.1.3	LONGITUD DE ONDA Y FRECUENCIA.....	17
2.1.4	LA AMPLITUD	18
2.1.5	PRESIÓN SONORA.....	19
2.1.6	ATENUACIÓN DEL SONIDO.....	21
2.1.7	FENÓMENOS FÍSICOS QUE AFECTAN A LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO.....	22
2.1.8	REVERBERACIÓN	23
2.1.9	DIFERENTES CAMPOS DE LA ACÚSTICA.....	25
2.2	EL RUIDO	26
2.2.1	FUENTES DEL RUIDO	28
2.2.2	EFFECTOS DEL RUIDO.....	30
2.3	CONFORT ACÚSTICO	33
2.3.1	VALORACIÓN DEL CONFORT ACÚSTICO.....	34
2.3.1.1	Nivel de Presión Sonora	34
2.3.1.2	Nivel de Presión Sonora Ponderado (Ponderación A).....	34
2.3.1.3	Nivel Sonoro Continuo Equivalente	34
2.3.1.4	Nivel Sonoro Diario Equivalente.....	36
2.3.1.5	Nivel de Interferencia Conversacional (PSIL)	36
2.3.1.6	Curvas de Valoración NR (Noise Rating)	37

2.3.1.7	Tiempo de Reverberación (T_r)	39
2.3.1.8	Índice de Ruido en Oficinas (IRO)	39
3.	METODOLOGÍA.....	42
3.1	INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	42
3.1.1	SAS-2000.....	42
3.1.2	SONÓMETRO 01DB SOLO BLACK EDITION	43
3.2	AMBIENTES ESTUDIADOS.....	45
3.2.1	ADMINISTRATIVO : Oficinas	45
3.2.2	DOCENTE: Aulas y Sala de Estudio	46
3.2.3	SANITARIO: Salas de Espera	49
3.2.4	OCIO: Comedores-Restaurantes	52
3.3	MEDIDA DE DATOS.....	54
3.3.1	MEDIDA DEL TIEMPO DE REVERBERACION. T_R	54
3.3.2	MEDIDAS DEL NPS E IRO_{SAS}	55
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	60
4.1	TIEMPO DE REVERBERACION	63
4.1.1	AULAS	64
4.1.2	OFICINAS Y SALA DE ESTUDIO	65
4.1.3	COMEDORES-RESTAURANTES	66
4.1.4	SALAS DE ESPERA	67
4.2	MEDIDA DEL NPS E IRO_{SAS} EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	67
4.2.1	AULAS	67
4.2.2	OFICINAS Y SALA DE ESTUDIO	71
4.2.3	COMEDORES-RESTAURANTES.....	73
4.2.4	SALAS DE ESPERA	75
4.3	ESTUDIO DE CAMPO.....	78
4.3.1	PRIMERA PREGUNTA DE LA ENCUESTA (NPS).....	78

4.3.1.1	Aulas	79
4.3.1.2	Oficinas y Sala de Estudio	81
4.3.1.3	Comedores-Restaurantes	83
4.3.1.4	Salas de Espera	85
4.3.2	SEGUNDA PREGUNTA DE LA ENCUESTA (NIVEL CONVERSACIONAL)	86
4.3.2.1	Aulas	86
4.3.2.2	Oficinas y Sala de Estudio	87
4.3.2.3	Comedores-Restaurantes	87
4.3.2.4	Salas de Espera	87
4.3.3	TERCERA PREGUNTA DE LA ENCUESTA (CONFORT ACÚSTICO)	88
4.3.3.1	Aulas	88
4.3.3.2	Oficinas y Salas De Estudio	89
4.3.3.3	Comedores-Restaurantes	90
4.3.3.4	Salas de Espera	91
5.	PROPUESTA	93
5.1	AULAS	95
5.2	COMEDORES-RESTAURANTES	97
5.3	SALAS DE ESPERA	99
6.	CONCLUSIONES	102
7.	BIBLIOGRAFÍA	104
8.	ANEXOS	106



1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es estudiar cómo perciben los usuarios el confort acústico en distintos ambientes. Para ello se utilizó un índice que tendrá en cuenta los diferentes factores que influyen en la percepción de la molestia de cada persona.

Además del objetivo principal, hay otros objetivos secundarios que han de completarse para llegar a una conclusión final. Los objetivos secundarios son los siguientes:

- Estudiar los factores acústicos que influyen en la percepción de la molestia.
- Medir el tiempo de reverberación de cada sala.
- Llevar a cabo un estudio de campo a los usuarios en cada ambiente mediante una encuesta.
- Medir el nivel de presión sonora y el índice IRO y relacionarlos con el estudio de campo realizado.

Una vez cumplidos todos los objetivos secundarios se llegará a una conclusión final para proponer algún tipo de mejora en el método utilizado para evaluar el confort acústico.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas más importante en esta sociedad actual es el gran índice de contaminación acústica a la que estamos sometidos diariamente.

La contaminación acústica, o el ruido, es el exceso de sonido producido por actividades humanas que altera las condiciones normales del medio ambiente en una determinada zona en un determinado lugar.

Las sociedades modernas cada vez están más expuestas a este tipo de contaminación invisible. El desarrollo de actividades industriales, el transporte, la construcción o incluso las derivadas de distintos hábitos sociales –actividades lúdicas o recreativas- traen como consecuencia un aumento de la exposición al ruido.

En la figura 1, se muestra las distintas fuentes principales de ruido urbano con su respectivo porcentaje de molestia.

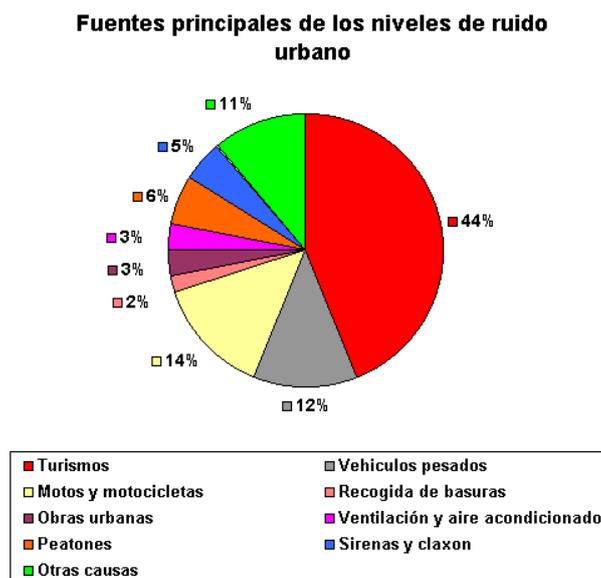


Figura 1.

Como podemos observar en la grafica la fuente que produce más molestia es el tráfico rodado bien sean turismos (44%), motos (14%) o vehículos pesados (12%), seguido de los peatones (6%) y de las sirenas con un (5%). También existen otras causas con un 11% que engloban otro tipo de agentes molestos.

Se considera ruido todo aquel sonido calificado como algo molesto, indeseable e irritante, que interfiere en nuestra actividad o descanso.

Los efectos que produce este tipo de exposición dependen principalmente de la intensidad, las frecuencias emitidas y el tiempo de exposición.

Si bien el ruido no se acumula, no se traslada de lugar ni se mantiene en el tiempo, como otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no es controlado.

Las consecuencias que puede provocar la contaminación acústica en la salud de las personas son las siguientes:

- **Pérdida auditiva** - Que puede ser significativa a partir de los 75 dB. (Si se escucha un silbido en el oído, es una señal de alarma de que nuestra audición está siendo dañada). Los sonidos repentinos y muy fuertes, como el de una explosión, pueden llegar a perforar el tímpano.
- **Alteraciones hormonales** - A partir de niveles de ruido de 60 dB se observan alteraciones en los niveles de algunas hormonas, entre ellas aumento de secreción de adrenalina y noradrenalina (potentes vasoconstrictores).
- **Disminución de la secreción gástrica** - Y por tanto problemas digestivos.
- Aceleración del ritmo cardiaco, la tensión arterial y la respiración. Esto puede dar lugar a **estrés y agravamiento de problemas cardiovasculares** (los ruidos fuertes y súbitos pueden incluso provocar infartos en enfermos de corazón).
- **Perturbación del sueño** - A partir de 45 dB de ruido, se producen alteraciones del sueño que pueden convertirse en crónicas.
- **Cansancio, dolor de cabeza, irritabilidad** y aumento de la **agresividad**.
- Falta de concentración y **disminución del rendimiento intelectual**.
- **Dificultad para el aprendizaje** y el lenguaje en los niños, por una merma en la capacidad de memoria y atención.
- Contracción de los músculos, lo que puede dar lugar a **problemas de cervicales o espalda**.

- **Depresión del sistema inmunitario.**
- **Problemas en la comunicación.**
- Incluso **problemas de laringe** por el sobreesfuerzo de tener que hablar alto.

Una parte que estamos obviando es que la contaminación acústica también puede influenciar muy negativamente a la fauna, ya que, el sonido es el medio que emplean muchos animales para su comunicación (llamadas de alerta, cortejo reproductor, ubicación de la manada, etc.). Hay estudios que demuestran que el ruido puede actuar como una barrera para la fauna (disminuyendo su éxito reproductivo).



La contaminación acústica constituye uno de los principales problemas medioambientales en Europa, a pesar de la falta de atención que se le presta. España es el segundo país con mayor nivel de contaminación acústica del mundo (después de Japón); el 50% de los ciudadanos españoles soporta niveles de ruido superiores a los 65 dB.

Medidas que se deben tomar

La reducción del ruido se debe llevar a cabo siguiendo la siguiente secuencia de medidas a tomar, ordenadas de mayor a menor eficacia y de un aspecto colectivo a uno individual:

1. Eliminar las fuentes molestas que producen el ruido.
2. Controlar la de producción del ruido (en el origen).
3. Reducir el ruido a través de medidas en el entorno.
4. Aplicar medidas de tipo individual.

En todos los países europeos se han dictado regulaciones al respecto.

En España en concreto se adoptaron las siguientes medidas:

- Tomando como base la Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido).
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

Con este proyecto queremos llevar a cabo un producto hardware y software para controlar y gestionar el ruido, conscientes de la importancia que tiene la formación y la concienciación de las personas para afrontar este tipo de problema. Con la ayuda de **SAS-2000** desarrollado por Proceso Digital de Audio, que a continuación describiremos, iniciaremos la evaluación del **Confort Acústico**.

El SAS-2000 es un dispositivo creado para medir el confort acústico de las salas en las que se albergan personas que desarrollan cualquier tipo de actividad, como pueden ser oficinas, hospitales, bibliotecas, salas de espera, comedores, aulas, etc.

Este dispositivo clasifica el ambiente en el que estamos en tres tipos mediante un semáforo el cual se irá adaptando a ellos dependiendo de un valor. Los tipos de ambiente son los siguientes:

- Ambiente Confortable: Verde
- Ambiente Ruidoso : Ámbar
- Ambiente Muy Ruidoso: Rojo

El valor del que depende la clasificación es el **Índice de Ruido en Oficinas (IRO)**. El IRO es un índice de medida del confort acústico en oficinas que se ha obtenido de la nota técnica (NTP-503) del ministerio de trabajo. El SAS trabaja bajo esta nota técnica.



Con el diseño del equipo se pretende evaluar el confort acústico y ayudar a tomar decisiones sobre el conjunto de acciones que han de tener en consideración las empresas en el ámbito de la Responsabilidad Social Corporativa, para que su actividad tenga repercusión positiva sobre sus trabajadores y sobre la sociedad.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

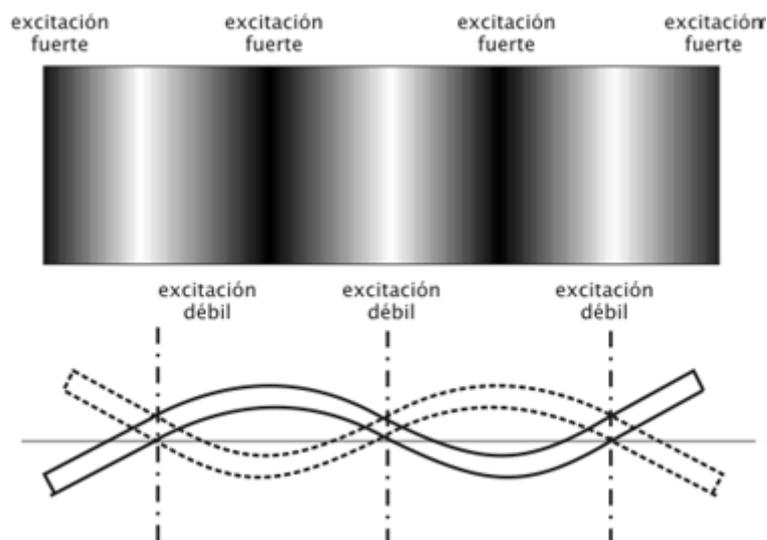
2.1 ACÚSTICA

La **acústica** es la rama de la física que estudia el **sonido**.

2.1.1 EL SONIDO

El sonido es una onda mecánica que se propaga a través de la materia, en estado gaseoso, líquido o sólido. El **sonido** es una sensación, en el órgano del oído, producida por el movimiento ondulatorio en un medio elástico, normalmente el aire. Es debido a rapidísimos cambios de presión, generados por el movimiento vibratorio de un cuerpo sonoro, que le llamaremos **fuerza sonora**.

La propagación de la perturbación sonora se produce por la compresión y expansión del medio por el que se propaga. La elasticidad del medio permite que cada partícula transmita la perturbación a la partícula adyacente, dando origen a un movimiento en cadena.



La función del medio transmisor es fundamental, ya que **el sonido no se propaga en el vacío**. Por ello, para que exista el sonido, es necesaria una fuente de vibración mecánica y también un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) a través del cual se propague la perturbación. El aire es el medio transmisor más común del sonido.

La velocidad de propagación del sonido en el aire es de aproximadamente 343 m/s a una temperatura de 20 °C (293 kelvin).

Unos ejemplos de velocidades nos muestran como la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos es mayor que en los gases:

- En el aire (a una temperatura de 20°) es de 340 m/s.
- En el agua es de 1.600 m/s.
- En la madera es de 3.900 m/s.
- En el acero es de 6.000 m/s.

2.1.2 PERCEPCIÓN HUMANA DE LAS ONDAS SONORAS

Cuando un objeto emisor (**fente sonora**) vibra, hace vibrar también al aire que se encuentra alrededor de él. Esa vibración, que la llamamos **sonido**, se transmite en la distancia llegando a nuestro oído. La oreja capta las ondas sonoras que se transmiten a través del conducto auditivo hasta el tímpano. El tímpano es una membrana flexible que vibra cuando le llegan las ondas sonoras, esta vibración llega a la cadena de huesecillos: martillo, yunque y estribo, que amplifican el sonido y lo transmite al oído interno a través de la ventana oval. Finalmente las vibraciones "mueven" los dos líquidos que existen en la cóclea (perilinfia y endolinfia), deformando las células ciliadas existentes en el interior. Estas células **transforman las ondas sonoras en impulsos eléctricos** que llegan al nervio auditivo y de este nervio a la corteza auditiva que es el órgano encargado de interpretar y decodificar la sensación. A esa sensación se le denomina "**sonido**".

El **hercio** (Hz) es la unidad que expresa la cantidad de vibraciones que emite una fuente sonora por unidad de tiempo (frecuencia). El oído humano puede percibir ondas sonoras de frecuencias entre los 20 y los 20.000 Hz. Las ondas que poseen una frecuencia inferior a los 20 Hz se denominan infrasónicas y las superiores a 20.000 Hz, ultrasónicas. Los animales tienen sus propios umbrales auditivos y escuchan sonidos que nosotros no podemos escuchar. Los elefantes pueden comunicarse batiendo sus

enormes orejas y creando infrasonidos, y los perros escuchan silbatos con frecuencias ultrasónicas.

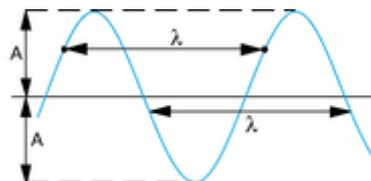
La **percepción sonora** es el resultado de los procesos psicológicos que tienen lugar en el sistema auditivo central y nos permiten interpretar los sonidos recibidos.

La **psicoacústica** estudia la percepción del sonido desde la psicología (percepción sonora subjetiva). Describe la forma en que son percibidas las cualidades del sonido y el fenómeno del enmascaramiento, entre otras cosas. Marshall McLuhan en su teoría de la percepción afirma que la audición necesita ser fortalecida por otros sentidos. No porque la audición sea débil, sino porque la percepción humana tiene gran dependencia de la percepción visual y el sentido del oído necesita que la vista confirme lo que ha percibido.

2.1.3 LONGITUD DE ONDA Y FRECUENCIA

La **longitud de onda** es un parámetro físico que indica el tamaño de una onda. Se define como la distancia, medida en la dirección de propagación de la onda, entre dos puntos cuyo estado de movimiento es idéntico, como por ejemplo crestas o valles adyacentes.

Por lo general se denota con la letra griega lambda (λ)



Frecuencia, es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en una unidad de tiempo.

La frecuencia tiene una relación inversa con el concepto de **longitud de onda**, a mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa.

Para calcular la frecuencia de un evento, se contabilizan un número de ocurrencias de éste teniendo en cuenta un intervalo temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido.

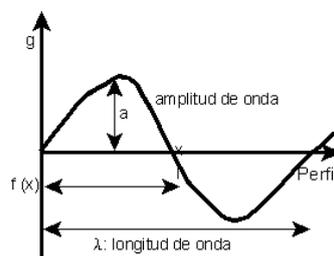
Según el Sistema Internacional, el resultado se mide en hercios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz. Un hercio es aquel suceso o fenómeno repetido una vez por segundo, 2 Hz son dos sucesos (períodos) por segundo y así sucesivamente. Otras unidades para indicar la frecuencia son revoluciones por minuto (rpm) y radianes por segundo (rad/s). Las pulsaciones del corazón o el *tempo* musical se mide como golpes por minuto (bpm, del inglés *beats per minute*).

2.1.4 LA AMPLITUD

En acústica la **amplitud** es la cantidad de presión sonora que ejerce la vibración en el medio elástico (aire). Al mismo tiempo, la amplitud determina la cantidad de energía (potencia acústica) que contiene una señal sonora.

No hay que confundir amplitud con volumen o potencia acústica, aunque es cierto que cuanto más fuerte suena un sonido, mayor amplitud tiene, porque se ejerce una presión mayor en el medio.

En definitiva, la amplitud de una onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda sinusoidal.



El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda sinusoidal recibe el nombre de "pico o cresta". El valor máximo negativo, "vientre o valle". El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, o viceversa, se conoce como "nodo", "cero" o "punto de equilibrio".

En sonido, normalmente, la amplitud viene definida en decibelios dB. Los **decibelios** representan la relación entre dos señales y se basa en un logaritmo de base 10 del cociente entre dos números. Las siglas **NPS** hacen referencia al nivel de presión sonora

2.1.5 PRESIÓN SONORA

La **presión sonora** o **presión acústica** es producto de la propia propagación del sonido. La energía provocada por las ondas sonoras genera un movimiento ondulatorio de las partículas del aire, provocando la variación alterna en la presión estática del aire (pequeñas variaciones en la presión atmosférica, la presión atmosférica es la presión del aire sobre la superficie terrestre). La razón de estas variaciones de presión atmosférica es porque se producen áreas donde se concentran estas partículas (*zonas de concentración*) y otras áreas quedan menos saturadas (*zonas de rarefacción*). Las zonas con mayor concentración de moléculas tienen mayor densidad y las zonas de menor concentración tienen menor densidad. Cuando estas ondas se encuentran en su camino con el oído la presión que ejercen sobre el mismo no es igual para todas las longitudes de onda.

Así pues, la presión acústica queda definida como la diferencia de presión instantánea (cuando la onda sonora alcanza al oído) y la presión atmosférica estática.

La presión atmosférica se mide en pascales (Pa). En el SI (Sistema Internacional) 1 Pascal es igual a una fuerza de 1 newton actuando sobre una superficie de 1 metro cuadrado. La presión atmosférica se sitúa en torno a los 100.000 Pa (estableciéndose como valor normalizado los 101.325 Pa).

La presión sonora también se puede medir en pascales, no obstante, su valor es muy inferior al de la atmosférica. El umbral de dolor se sitúa en los 20 Pa, mientras que el umbral de audición se sitúa en los 20 μ Pa. La principal **diferencia entre presión atmosférica y presión sonora** es que, mientras que la presión atmosférica cambia muy lentamente, la presión sonora, alterna muy rápidamente entre valores negativos (menores que la presión atmosférica) y positivos (mayores).

Normalmente se adopta una escala logarítmica porque el oído no percibe los sonidos en escala lineal, sino como una escala logarítmica. Y se utiliza como unidad el **decibelio**, que es la unidad relativa empleada para expresar la relación entre dos magnitudes, la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia. En el caso del nivel de presión sonora toma como unidad de referencia 1 μbar .

Para medir el nivel de presión sonora se utiliza la fórmula:

$$N.P.S = 20 \log \frac{P}{P_{ref}}$$

En donde:

P es la presión sonora instantánea.

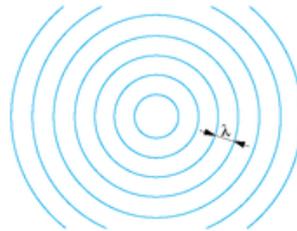
P_{ref} es la presión de referencia y se toma como referencia la presión sonora en el umbral de audición, que son 20 μPa .

Es decir, **el nivel de presión acústica** se expresa como 20 veces el logaritmo decimal de la relación entre una presión acústica y una referencia determinada.

Para diferenciar entre sonidos más intensos (el oído soporta mayor cantidad de presión sonora), de sonidos débiles, se utiliza el llamado nivel de presión sonora. El **nivel de presión sonora** determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora instantánea (es decir, del sonido que alcanza a una persona en un momento dado) y varía entre 0 dB umbral de audición y 120 dB umbral de dolor. Para medir el nivel de presión sonora no se suele utilizar el Pascal, por el amplio margen que hay entre la sonoridad más intensa y la más débil (entre 20 Pa y 20 μPa).

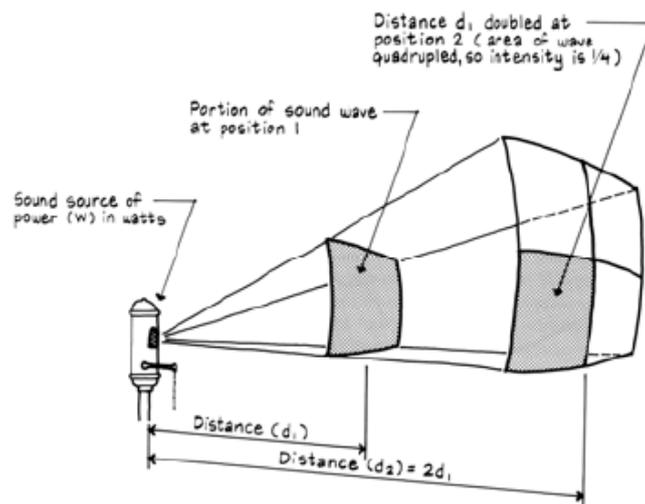
2.1.6 ATENUACIÓN DEL SONIDO

Las ondas sonoras son ondas tridimensionales, es decir, se desplazan en tres direcciones y sus frentes de ondas son esferas radiales que salen de la fuente sonora en todas las direcciones.



Las ondas van debilitándose en su amplitud conforme van alejándose de su punto de origen: es lo que se conoce como **atenuación de la onda**. Aunque la amplitud de las ondas decrece, su longitud de onda y su frecuencia permanecen invariables, ya que éstas dependen solo del foco emisor. La disminución de la amplitud viene cuantificada por la Ley cuadrática inversa.

La **ley cuadrática inversa** se refiere a algunos fenómenos físicos cuya intensidad disminuye con el **cuadrado de la distancia** al centro donde se originan. En particular, se refiere a fenómenos ondulatorios (sonido y luz) y campos centrales.



Al doblar la distancia de escucha el nivel de intensidad disminuye en 6 dB por la relación de los logaritmos.

$$\Delta dB = 20 \cdot \log\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot R_1}{R_1}\right) = 6dB / dd$$

Si estuviéramos en escala lineal disminuiría la mitad de la intensidad. Pero en escala logarítmica hace que solo disminuya 6 dB.

2.1.7 FENÓMENOS FÍSICOS QUE AFECTAN A LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO

Reflexión. Una onda cuando topa con un obstáculo que no puede traspasar se refleja (vuelve al medio del cual proviene).

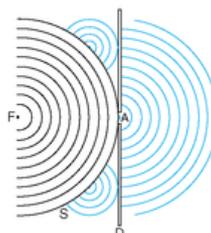
Absorción. Cuando una onda sonora alcanza una superficie, una parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio.

Transmisión. En muchos obstáculos planos (las paredes de los edificios) una parte de la energía se transmite al otro lado del obstáculo. La suma de la energía reflejada absorbida y transmitida es igual a la energía sonora incidente (original).

Difusión. Si la superficie donde se produce la reflexión presenta alguna rugosidad, la onda reflejada no solo sigue una dirección sino que se descompone en múltiples ondas.

Refracción. Es la desviación que sufren las ondas en la dirección de su propagación, cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente. La refracción se debe a que al cambiar de medio, cambia la velocidad de propagación del sonido.

Difracción. Se llama difracción al fenómeno que ocurre cuando una onda acústica se encuentra un obstáculo de dimensiones menores a su longitud de onda (λ), ésta es capaz de rodearlo atravesándolo. Otra forma de difracción es la capacidad de las ondas de pasar por orificios cambiando su divergencia a esférica con foco en el centro de éstos.

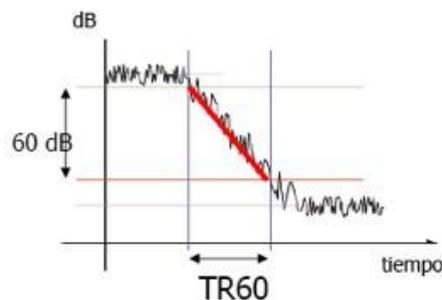


2.1.8 REVERBERACIÓN

La **reverberación** es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido. Consistente en una ligera prolongación del sonido una vez que se ha extinguido el original, debido a las ondas reflejadas. Estas ondas reflejadas sufrirán un retardo no superior a 1/10 de segundo o de 34 metros, que es el valor de la persistencia acústica. Cuando el retardo es mayor ya no hablamos de reverberación, sino de eco.

En un recinto pequeño la reverberación puede resultar inapreciable, pero cuanto mayor es el recinto, mejor percibe el oído este retardo o ligera prolongación del sonido. Para determinar cómo es la reverberación en un determinado recinto se utiliza una serie de parámetros físicos, uno de ellos es conocido como **tiempo de reverberación**.

El **tiempo de reverberación (T_R)** es el tiempo que transcurre en un determinado recinto, desde que se produce un determinado sonido, hasta que la intensidad de ese sonido disminuye a una millonésima parte de su valor original. Al tiempo de reverberación también le llamamos T_{60} , al ser el tiempo transcurrido (medido en segundos) en decrecer 60 dB la energía que recibe el receptor, al parar bruscamente la fuente de excitación.



El físico **Wallace Clement Sabine** desarrolló una fórmula para calcular el tiempo de reverberación (T_R o T_{60}) de un recinto en el que el material absorbente está distribuido de forma uniforme. Consiste en relacionar el volumen de la sala y la absorción total con el tiempo que tarda el sonido en disminuir 60 dB en nivel de presión sonora, a partir de que se apaga la fuente sonora.

$$T_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}}$$

Donde:

V es el volumen de la sala.

S es la superficie de los paramentos donde el sonido va a estar confinado.

α es el coeficiente de absorción medio de todos los materiales que conforman los paramentos de la sala.

Hay que tener en cuenta que la fórmula de **Sabine** no es la única, ni es absolutamente fiable. Es una fórmula simple y para salas de tipo “vivas”, es decir, de salas con gran reverberación y coeficientes de absorción parecidos entre todos los materiales. Cuando los consultores acústicos encargados del acondicionamiento acústico la usan, lo hacen sólo a modo de orientación.

Existen las formulaciones de **Eyring y Norris, Millington y Sette, Fitzroy** y muchos más investigadores que han realizado fórmulas más exactas a la de **Sabine**.

El tiempo de reverberación es **uno de los principales parámetros indicadores de la calidad acústica de una sala**. Su valor depende de numerosos factores: el coeficiente de absorción de los materiales de la sala, el volumen, superficie, y el dimensionado de ésta entre otros.

En la actualidad la fórmula más precisa de cálculo del T_{60} es la descubierta por el físico catalán **Higini Arau**. Hasta la fórmula Arau-Puchades se habían utilizado las premisas de:

- Distribución uniforme y difusa de la energía sonora en todos los puntos del recinto
- Igual probabilidad de propagación del sonido en todas las direcciones
- Absorción continua y constante de la absorción sonora en todos los puntos e instantes del recinto

La fórmula Arau-Puchades es capaz de calcularlo considerando que existe una distribución asimétrica de la absorción en una sala:

$$T60 = \left[\frac{0.162V}{-S \ln(1-\alpha_x)} \right]^{S_x/S} \times \left[\frac{0.162V}{-S \ln(1-\alpha_y)} \right]^{S_y/S} \times \left[\frac{0.162V}{-S \ln(1-\alpha_z)} \right]^{S_z/S}$$

V volumen

S área total de superficies de la sala

α es el coeficiente de absorción de cada pared promediado por la fracción de area

Sx es el área de superficie de Sx1 suelo + Sx2 techo

Sy es área de pared lateral Sy1 Izquierda + Sy2 derecha

Sz es área de pared de Sz1 frontal + Sz2 fondo

2.1.9 DIFERENTES CAMPOS DE LA ACÚSTICA

La acústica estudia la producción, transmisión, percepción o reproducción del sonido. Así las ramas más frecuentes de la acústica son:

Aeroacústica: generación de sonido debido al movimiento turbulento del aire.

Acústica Física: análisis de los fenómenos sonoros mediante modelos físicos y matemáticos.

Acústica arquitectónica o Arquitectura acústica: tiene que ver tanto con el diseño de las propiedades acústicas de un local a efectos de fidelidad de la escucha (salas de conciertos, teatros, etc., para esto el arquitecto emplea 2 tipos de materiales los blandos, absorben el sonido y los duros, reflejan el sonido) como con las formas efectivas de aislar del ruido los locales habitados. Participa en el diseño de: salas de conciertos, auditorios, teatros, estudios de grabación, iglesias, salas de reuniones, salones de clases, etc.

Psicoacústica: estudia la percepción del sonido en humanos, la capacidad para localizar espacialmente la fuente, la calidad observada de los métodos de compresión de audio, etcétera.

Bioacústica: estudio de la audición animal (murciélagos, perros, delfines, etc.)

Acústica médica: Estudia la interacción entre las ondas sonoras y los cuerpos humanos y animales. Se ha desarrollado enormemente el uso del ultrasonido como herramienta de diagnóstico y de tratamiento. También es importante el campo de las ayudas auditivas y de implantes para personas con defectos en la audición.

Acústica subacuática: relacionada sobre todo con la detección de objetos mediante sonido sonar.

Acústica musical: estudio de la producción de sonido en los instrumentos musicales, y de los sistemas de afinación de la escala. Combina elementos de Arte y de Ciencia al incluir el diseño de instrumentos, el uso de sistemas de grabaciones, la modificación electrónica de la música con el estudio de su percepción.

Electroacústica: estudia el tratamiento electrónico del sonido, incluyendo la captación (micrófonos y estudios de grabación), procesamiento (efectos, filtrado, compresión, etc.) amplificación, grabación, producción (altavoces) etc.

Acústica fisiológica: estudio del funcionamiento del aparato auditivo, desde la oreja a la corteza cerebral.

Acústica fonética: análisis de las características acústicas del habla y sus aplicaciones.

Macroacústica: estudio de los sonidos extremadamente intensos, como el de las explosiones, turborreactores, entre otros.

Control de Ruido y Vibraciones: Este área cobra cada vez mayor importancia dado el aumento en el reconocimiento del ruido como un factor de contaminación que afecta seriamente la salud. Su campo de trabajo está en las fábricas, en los organismos de control gubernamental y en asesorías a los arquitectos. También tiene un campo importante en el mantenimiento preventivo de maquinarias mediante el análisis de sus vibraciones.

2.2 EL RUIDO

El ruido tiene diversas definiciones, entre las que encontramos las siguientes:

- Conjunto de sonidos no agradables.
- Combinación de sonidos no coordinados que originan una sensación desagradable.
- Todo grupo de sonidos que interfiera una actividad humana.

El ruido es, por tanto, el conjunto de sonidos no deseados y que provocan una sensación de molestia.

Aunque no lo parezca, los ruidos son muy complejos, y están compuestos por una serie de sonidos puros de distintas frecuencias.

¿Por qué es tan molesto?

El espectro de frecuencias de un ruido varía aleatoriamente a lo largo del tiempo, a diferencia de otros sonidos complejos, como los acordes musicales, que siguen una ley de variación precisa. Sin embargo, el ruido es una apreciación subjetiva de un sonido. Un mismo sonido puede ser considerado como molesto o agradable dependiendo de la situación y sensibilidad concreta de la persona. Por ejemplo: cuando estamos en un local con la música elevada, no pensamos que la música sea ruido, sino música únicamente. Sin embargo, los vecinos del local, no pensarán lo mismo porque ellos sólo escucharán ruidos molestos que no les permiten conciliar el sueño (si el local no está bien aislado). Por tanto, debemos ser conscientes de que, **lo que para nosotros no tiene por qué ser ruido, para otra persona puede ser muy molesto.**

La Unión Europea estima que el ruido ambiental como efecto de las actividades humanas se ha duplicado en todos los países miembros en los últimos años, hasta el punto de que hoy los expertos consideran la contaminación acústica como una de las más molestas y de las que mayor incidencia tienen sobre el bienestar ciudadano.

Según un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, **España es el miembro europeo de la OCDE con mayor índice de ruidos, y el segundo en el ranking mundial después de Japón.** Este hecho pone de relieve que no existe necesariamente una correlación entre el desarrollo económico y el nivel de ruido, sino que éste viene determinado por otros factores entre los que se encuentra el grado de concienciación ciudadana sobre sus efectos y sobre la posibilidad de evitarlos.

En España hay, por tanto, enormes problemas de ruido. En el mapa de la figura 2, nos muestra cuáles son las regiones de España con mayores problemas de contaminación acústica:



Figura 2. Porcentaje de viviendas con problemas de ruidos. Fuente: Ruidos.org

Como podemos ver, una gran cantidad de provincias tienen problemas de contaminación acústica.

2.2.1 FUENTES DEL RUIDO

Parece que hay un acuerdo bastante generalizado para establecer las fuentes que producen el ruido en nuestras ciudades:

- Transporte (de vehículos, aéreo y ferroviario)
- Actividades industriales y de comercio
- Construcción de edificios e infraestructuras,
- Doméstica (aparatos instalados en los hogares)
- Actividades de ocio.

Pero si desglosamos aún más estas fuentes, podremos ver cuáles son los verdaderos orígenes del ruido:

- a) Tráfico rodado:** el 80% de la contaminación acústica que se genera en nuestras ciudades procede del tráfico rodado, siendo por tanto la fuente principal de contaminación acústica y sobre el que se han de centrar los mayores esfuerzos.

- b) Tráfico ferroviario:** supone aproximadamente un 6% del ruido total. El ferrocarril genera ruidos por el flujo aerodinámico (por el movimiento), la interacción rueda-raíl y el sistema de propulsión. No hay que olvidar el que se produce en las estaciones de ferrocarril por la gente, los bares, equipos de sonido, hilos musicales, megafonía, etc.
- c) Tráfico aéreo:** suele afectar a zonas muy localizadas cercanas a los aeropuertos, que sufren los ruidos de las aeronaves durante las 24 horas del día. Al tratarse de ruidos discontinuos, resultan además mucho más molestos.
- d) Actividades industriales y de comercio:** suponen aproximadamente un 10% del total de la contaminación acústica. Este tipo de fuente es extremadamente variada y se carece de estudios detallados sobre su impacto sobre la población.
- e) Construcción de edificios e infraestructuras:** debido sobre todo a la maquinaria pesada que se utiliza en las obras, (grúas, martillos hidráulicos, excavadoras, hormigoneras, etc.). El problema, es que se localizan en zonas muy puntuales, por lo que la molestia, en general, se restringe a un pequeño grupo de calles.
- f) Actividades domésticas:** en este caso, las fuentes son de muy diversa índole, pero todas ellas ocurren en el interior de los hogares. Es por ello que debemos ser conscientes de que **TODOS HACEMOS RUIDOS MOLESTOS** y que debemos aprender a minimizarlos, para reducir las molestias de nuestros vecinos. Algunas fuentes son:
- Ruido de las personas: sobre todo al alzar la voz
 - Ruidos de impactos (saltos, caídas de objetos, etc.).
 - Aparatos de radio y televisión: cuando tienen un volumen desmesurado, pueden llegar a niveles cercanos a los 100 dB lo que, como más adelante veremos, es una intensidad muy elevada.
 - Instrumentos musicales: sobre todo los equipos de música, que suponen muchas molestias para vecinos.
 - Electrodomésticos: muchas veces producen ruidos estructurales, debido al funcionamiento del aparato. Por ejemplo: lavadoras, lavavajillas, etc.

- Fontanería. Los ruidos de tuberías son muy molestos y pueden transmitirse por todo el edificio.
- Instalaciones de calefacción: sobre todo calderas y quemadores.
- Ascensores: apertura de puertas, timbre de aviso cuando se queda la puerta abierta, etc.
- Instalaciones de climatización: se propagan ruidos y vibraciones desde el equipo a toda la estructura del edificio.
- Otros: por ejemplo los animales de compañía pueden ser molestos en ocasiones para los vecinos.

g) Actividades de ocio:

- “El botellón”
- Salas de cine
- Verbenas y fiestas
- Megafonías en general
- Discotecas y bares

2.2.2 EFECTOS DEL RUIDO

Los efectos del ruido en el cuerpo humano son muy variados. No sólo afectan al sistema auditivo, si no que llegan a afectar a muchas partes de nuestro cuerpo.

NIVELES DE RUIDO MOLESTOS

En la figura 3, vemos los niveles de ruido (en decibelios, dB). El nivel de sonidos que recoge el oído humano varía entre los 0 dB y los 120 dB. Este último nivel de ruido marca aproximadamente el denominado “umbral del dolor”. A niveles de ruido superiores pueden producirse daños físicos como rotura del tímpano.

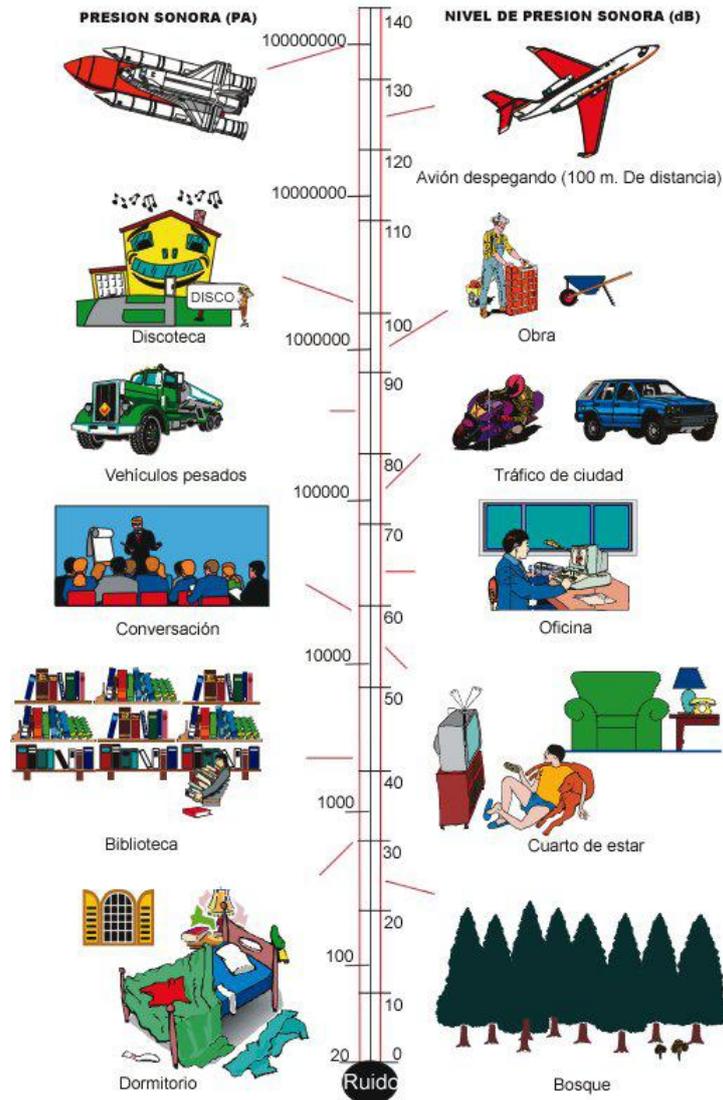


Figura 3. Escala de niveles sonoros. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

EFFECTOS AUDITIVOS

Hemos de tener en cuenta que el daño que se produce en el oído depende de dos factores fundamentales: la **intensidad del sonido** y el **tiempo de exposición** de la persona a dicho sonido. En función de estas características, encontramos los siguientes efectos:

- Trauma acústico agudo: producido por un ruido muy intenso y de poca duración, que puede producir rotura del tímpano.
- Trauma acústico crónico: destrucción de las células receptoras del sonido y por tanto, pérdida de la audición.

- Fatiga auditiva: el ruido intenso provoca primeramente una disminución del umbral de audición (es decir, se necesitan sonidos de mayor intensidad para poder escucharlos). Se recupera con reposo, pero si los descansos no son adecuados, se llega al trauma acústico crónico, es decir, a la pérdida de audición. Esto es lo que nos pasa al dejar de escuchar música alta. cuando descansamos, recuperamos el oído. pero si no descansamos lo suficiente y escuchamos música muy alta, podemos perder el oído.

EFFECTOS NO AUDITIVOS

1.- Efectos fisiológicos

Los principales efectos son:

- Aumento del ritmo cardiaco
- Vasoconstricción
- Aceleración del ritmo respiratorio
- Disminución de la actividad de los órganos digestivos
- Reducción de la actividad cerebral (con el consiguiente efecto sobre el rendimiento)

2.- Efectos psicológicos

- Agresividad
- Ansiedad
- Disminución de la atención
- Interferencias con el sueño; algo muy grave, ya que la interrupción del sueño dificulta la acción reparadora del mismo y por lo tanto el bienestar y la capacidad para el trabajo.
- Cansancio permanente

3.- Interferencias en las actividades: la presencia de ruido afecta a la realización de actividades y trabajos de manera directa, ya que impide la concentración.

4.- Interferencias en la comunicación: el alto nivel de ruido impide la comunicación, provocando que se aumente el nivel de voz y por tanto, aumente el ruido. Este hecho, también genera incomunicación de las personas.

Sonidos característicos	Nivel de presión dBA	Efecto
Zona de lanzamiento de cohetes	180	Pérdida auditiva irreversible
Sirena antiaérea	140	Trauma acústico agudo
Trueno	130	
Despegue de aviones	120	Máximo esfuerzo vocal
Claxon automóvil	120	
Martillo neumático	110	Extremadamente fuerte
Concierto de rock	110	
Camión de basura	100	Muy fuerte
Petardos	100	
Camión pesado	90	Muy molesto. Daño auditivo
Tránsito urbano	90	
Reloj despertador	80	Molesto
Secador de cabello	80	
Restaurante ruidoso	70	Difícil uso del teléfono
Tránsito por autopista	70	
Oficina de negocios	70	
Aire acondicionado	60	Silencio
Conversación normal	60	
Tránsito de vehículos ligeros	50	
Dormitorio	40	
Oficina tranquila	40	
Biblioteca	30	Muy silencioso
Susurro a 5 metros	30	
Estudio de radiodifusión	20	
	10	Apenas audible
	0	Umbral auditivo

Nivel de ruido y respuesta humana. Fuente: Revista Ciudadano nº 310

2.3 CONFORT ACÚSTICO

El **confort acústico** es aquella situación en la que el nivel de ruido provocado por las actividades humanas resulta adecuado para el descanso, la comunicación y la salud de las personas.

Otra definición de confort acústico es el nivel sonoro que no moleste, que no perturbe y que no cause daño directo a la salud.

2.3.1 VALORACIÓN DEL CONFORT ACÚSTICO

Para conocer y valorar el malestar de una persona o de un colectivo frente al ruido, sería necesario crear una escala que relacionara la respuesta subjetiva de las personas con los valores que alcanzan las características físicas del ruido.

A continuación se analizan brevemente los diferentes índices de valoración de ruido y su aplicabilidad a la valoración de las molestias producidas por el ruido.

2.3.1.1 Nivel de Presión Sonora

Es el nivel de presión sonora sin ponderar en todo el rango de frecuencias audibles (20 Hz a 20.000 Hz).

Representa el valor instantáneo del nivel de presión sonora. Este índice no proporciona información sobre la variabilidad del ruido, ni sobre su composición espectral.

2.3.1.2 Nivel de Presión Sonora Ponderado (Ponderación A)

Son los valores de presión acústica en todo el rango de frecuencias a los que se aplica la curva de ponderación A para compensar las diferencias de sensibilidad que el oído humano tiene para las distintas frecuencias dentro del campo auditivo.

De la misma forma que el anterior, este índice sólo nos proporciona información sobre el nivel de presión sonora.

2.3.1.3 Nivel Sonoro Continuo Equivalente

Es el nivel en dB(A) de un ruido de nivel constante hipotético correspondiente a la misma cantidad de energía sonora que el ruido real considerado, durante un período de tiempo T.

$$L_{Aeq} = 10 \log [1/T \cdot (\sum T_i \cdot 10^{L_i/10})]$$

Donde:

L_i = Nivel de presión sonora (dB(A)) en el período “i”

T_i = Duración del período “i”

T = Período de tiempo total

En la figura 4, se muestran los niveles sonoros continuos equivalentes de ruido aéreo, que se recomienda no sobrepasar en los locales.

TIPO DE EDIFICIO	LOCAL	L_{Aeq} (dBA) (8 - 22 h)
Residencial (público y privado)	Zonas de estancia	45
	Dormitorios	40
	Servicios	50
	Zonas comunes	50
Administrativo y de oficinas	Despachos profesional.	40
	Oficinas	45
	Zonas comunes	50
Sanitario	Zonas de estancia	45
	Dormitorios	30
	Zonas comunes	50
Docente	Aulas	40
	Salas de lectura	35
	Zonas comunes	50

Figura 4. Niveles sonoros continuos equivalentes de ruido de fondo.

2.3.1.4 Nivel Sonoro Diario Equivalente

Es el índice utilizado para la valoración de la exposición al ruido y que figura en el Real Decreto 1316/1989 sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido. Está definido por la ecuación:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \frac{T}{8}$$

Donde:

T = Duración diaria de la exposición (horas)

$L_{Aeq,T}$ = Nivel de presión sonora equivalente en el período de tiempo T (dB(A))

Este índice proporciona información sobre el nivel de exposición al ruido del trabajador. Es útil para valorar el riesgo de pérdida de la capacidad auditiva, pero no da información sobre otras características del ruido.

2.3.1.5 Nivel de Interferencia Conversacional (PSIL)

Con este método se valora la capacidad de un ruido estable de interferir en la conversación entre dos personas en un entorno libre de superficies reflectantes que pudieran reforzar las voces de las personas.

El índice PSIL es la media aritmética de los niveles de presión sonora en las bandas de octava con centro en 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz. El índice proporciona las distancias máximas a las que se puede mantener una conversación inteligible, con voz normal o con voz muy alta en función de los diferentes valores obtenidos del índice PSIL (Figura.5). Este método está recogido en la norma ISO 3352/74.

PSIL (dB)	Distancia máxima a la que se considera satisfactoriamente inteligible una conversación normal (m)	Distancia máxima a la que se considera satisfactoriamente inteligible una conversación en voz muy alta (m)
35	7,5	15
40	4,2	8,4
45	2,3	4,6
50	1,3	2,6
55	0,75	1,5
60	0,42	0,85
65	0,25	0,50
70	0,13	0,26

Figura 5. Distancias máximas a las que se puede mantener una conversación inteligible.

Este método es útil para la valoración de ruidos estables y continuos.

2.3.1.6 Curvas de Valoración NR (Noise Rating)

Estas curvas establecen límites aceptables de confortabilidad en diferentes espacios en los que existen unos niveles de ruido de fondo estables.

El método permite asignar al espectro de frecuencias de un ruido, medido en bandas de octava, un solo número NR (según método recogido en las normas ISO R-1996 y UNE 74-022), que corresponde a la curva que queda por encima de los puntos que representan los niveles obtenidos en cada banda del ruido medido.

En la figura 6, se muestran las curvas NR de evaluación de ruido. En el figura 7, figuran los valores recomendados del índice de NR para diferentes locales.

Este método, al igual que otros índices similares como son las curvas NC o PNC, es útil para la valoración de ruidos estables y continuos.

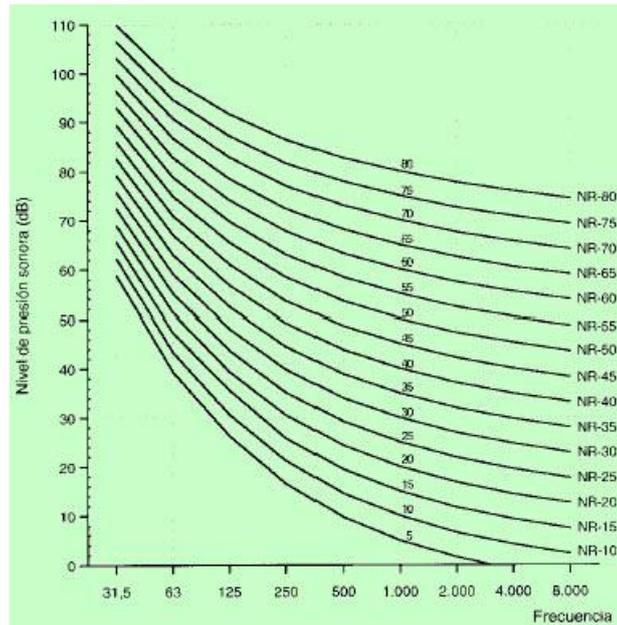


Figura 6. Curvas NR

Tipos de recintos	Rango de niveles NR que pueden aceptarse
Talleres	60-70
Oficinas mecanizadas	50-55
Gimnasios, salas de deporte, piscinas	40-50
Restaurantes, bares y cafeterías	35-45
Despachos, bibliotecas, salas de justicia	30-40
Cines, hospitales, iglesias, pequeñas salas de conferencias	25-35
Aulas, estudios de televisión, grandes salas de conferencias	20-30
Salas de concierto, teatros	20-25
Clínicas, recintos para audiometrías	10-20

Figura 7. Valores recomendados de índice NR para distintos locales.

2.3.1.7 Tiempo de Reverberación (T_r)

El tiempo de reverberación para una frecuencia dada es el tiempo, en segundos, necesario para que después de que cese la emisión de ruido, el nivel de presión sonora disminuya 60 decibelios.

En la figura 8, se recogen los tiempos de reverberación recomendados, para distintos locales habitables de diversos tipos de edificios

Tipo de edificio	Local	Tiempo de reverberación (s)
Residencial (público y privado)	Zonas de estancia	≤ 1
	Dormitorios	≤ 1
	Servicios	≤ 1
	Zonas comunes	$\leq 1,5$
Administrativo y de oficinas	Despachos	≤ 1
	Oficinas	≤ 1
	Zonas comunes	$\leq 1,5$
Sanitario	Zonas de estancia	$0,8 \leq T \leq 1,5$
	Dormitorios	≤ 1
	Zonas comunes	$1,5 \leq T \leq 2$
Docente	Aulas	$0,8 \leq T \leq 1,5$
	Salas de lectura	$0,8 \leq T \leq 1,5$
	Zonas comunes	$1,5 \leq T \leq 2$

Figura 8. Tiempos de reverberación recomendados.

El tiempo de reverberación es un índice útil para la evaluación de la “calidad acústica” de un local. Los locales con superficies muy reflectantes presentan tiempos de reverberación elevados, lo que implica dificultades en la comunicación.

2.3.1.8 Índice de Ruido en Oficinas (IRO)

El IRO está inspirado en los siguientes índices: nivel de contaminación sonora e índice de ruido de tráfico, utilizados para la valoración del ruido de las fuentes exteriores, en concreto del tráfico rodado. El interés de estos índices, además de la información que pueden proporcionar acerca del grado de aislamiento acústico

necesario para los edificios, radica en que son útiles para la valoración de ruidos generados por distintas fuentes, con distintos espectros y características de emisión. Para su determinación es necesario conocer el nivel de presión sonora y su fluctuación en el tiempo. Esta descripción encaja con el tipo de ruido que existe en las oficinas.

El índice de ruido en oficinas está basado en los resultados obtenidos en un estudio realizado por B. Hay & M. F. Kemp (1972), en nueve oficinas diáfanas con aire acondicionado, en las que trabajaban un total de 624 personas.

Los autores, además de hacer un estudio estadístico del ruido típico de una oficina (conversaciones, teléfonos, tareas, aire acondicionado, etc.), piden la opinión sobre el ruido a los ocupantes. Para ello se sirven de una escala de satisfacción de valores de siete puntos, siendo el 1 muy satisfactorio y el 7 muy insatisfactorio. Toman las respuestas marcadas 5, 6 y 7 para medir los porcentajes de insatisfacción y los relacionan con los valores de las mediciones realizadas (L_{10} y L_{90}), según la siguiente ecuación:

$$\text{IRO} = L_{90} + 2,4 (L_{10} - L_{90}) - 14$$

Donde:

L_{10} = el nivel de presión acústica (dB(A)) que se sobrepasa durante el 10% del tiempo de observación.

L_{90} = el nivel de presión acústica (dB(A)) que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de observación.

Las mediciones se llevaron a cabo durante el período normal de trabajo (8,30 a 16,45 horas) y corresponden al ruido total en las oficinas: personas hablando, teléfonos sonando, actividad de trabajo normal, sistema de ventilación y climatización en marcha y el ruido procedente del exterior. En la figura 9, se muestran los porcentajes de insatisfechos para diferentes combinaciones de L_{10} y ($L_{10} - L_{90}$).

L ₁₀ (dBA)	Porcentaje de insatisfechos para los valores (L ₁₀ - L ₉₀) (dBA)								
	7	8	9	10	11	12	13	14	15
55	14	17	20	22	25	28	31	34	37
56	16	19	22	24	27	30	33	36	39
57	18	21	23	26	29	32	35	38	40
58	20	23	25	28	31	34	37	40	42
59	22	25	27	30	33	36	39	42	44
60	24	27	29	32	35	38	41	44	46
61	26	29	31	34	37	40	43	46	48
62	28	30	33	36	39	42	45	47	50
63	30	32	35	38	41	44	47	49	52
64	32	34	37	40	43	46	49	51	54
65	34	36	39	42	45	48	51	53	56

Figura 9. Porcentaje de insatisfechos.

En la figura 10, se muestra la relación entre el porcentaje de insatisfechos y el índice de ruido en oficinas (IRO), el cual confirma la teoría de que la variabilidad del ruido es uno de los factores que mayor incidencia tiene en el grado de malestar manifestado por las personas frente al ruido.

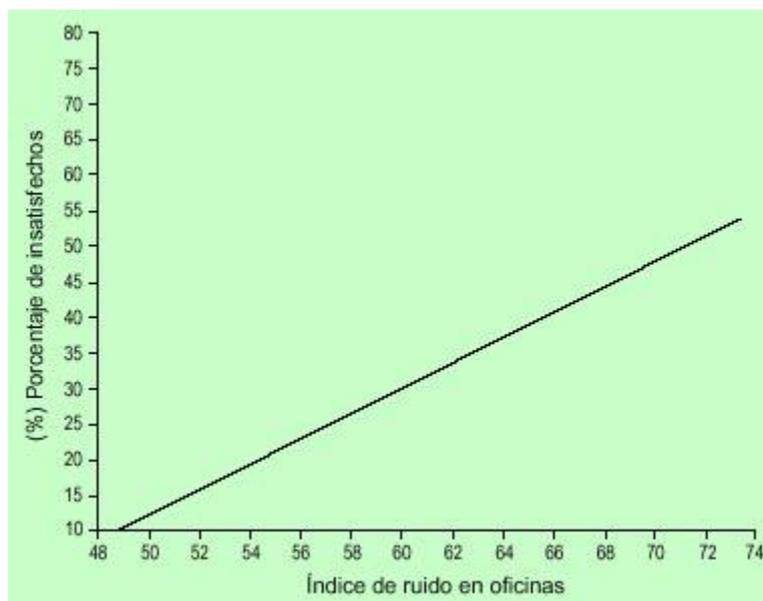


Figura 10. Relación entre el porcentaje de insatisfechos y el índice de ruido en oficinas

3. METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto se basa en el estudio de campo de diferentes tipos de ambientes, analizando sus características, realizando medidas del nivel del nivel de presión sonora, tiempo de reverberación y el índice IRO_{SAS}. También se realizó una pequeña encuesta de tres preguntas, como se muestra en el ANEXO I, en los distintos ambientes en los que se hicieron las mediciones.

3.1 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Los instrumentos de medida que usaremos para realizar las medidas son el equipo SAS-2000 y el sonómetro 01db SOLO Black Edition. A continuación describiremos las características más importantes.

3.1.1 SAS-2000

Con el equipo SAS-2000 lo que medimos fue el nivel de presión sonora y el índice IRO_{SAS} de cada sala en la que estuvimos.

Características técnicas del SAS-2000

Medidas: 340 x 270 x 80 mm.

Características del medidor de presión sonora:

- Margen dinámico: 40 - 104 dB(A)
- Calidad de la medida: Tipo II IEC-651
- Integrador del calificador de ambiente a 1 minuto
-

Características de red: el equipo es integrable en el Sistema de Supervisión Medioambiental en materia de Ruido SSMmR de Proceso Digital de Audio, utilizando como medio de transmisión.



- Red Ethernet
- Wi-Fi
- GPRS

La mayoría de las personas no saben distinguir si un determinado número de decibelios es mucho o es poco para un determinado ambiente, sin embargo es fácil para ellos reconocer que 30º es una buena temperatura para estar en la playa y muy mala para estar encerrado en una oficina.

Tiene una fácil interpretación ya que está ideado a modo de semáforo, el Supervisor de Ambiente Sonoro (SAS) nos informa de manera muy fácil y visual, del tipo de ambiente existente en un recinto: muy ruidoso (rojo), ruidoso (ámbar) y confortable (verde). Una pantalla nos muestra en cifras, el número de decibelios que acompaña a cada estado.

Permitiendo:

- Fomentar la concienciación sobre los distintos ambientes sonoros.
- Disponer de una herramienta útil para el diagnóstico del confort.
- Favorecer ambientes de mayor rendimiento: comunicación, confort, aparición de fatiga.
- Evitar la aparición de otros síntomas: insomnio, irritación, estrés,
- Percepción directa de la contaminación acústica: fácil interpretación en forma de semáforo.
- Generación del Mapa sonoro de los recintos en WEB

3.1.2 SONÓMETRO 01DB SOLO BLACK EDITION

Polivalente e innovador, SOLO Black Edition es el sonómetro analizador con más posibilidades del mercado. SOLO Black Edition ofrece los últimos avances en ergonomía, visualización de datos, duración operativa del equipo y comunicación inalámbrica. SOLO Black Edition, asociado a los softwares dBTRAIT para medidas ambientales, dBBATI para ensayos de aislamiento acústico, dBAUDITOR para

generación de informes de acuerdo a los Decretos de evaluación de actividades o dBLEXD para evaluación de ruido en el puesto de trabajo, constituye un sistema completo que permite el tratamiento, publicación y archivo de las medidas.



Principales Características

- Aprobación de modelo Tipo 1 según ITC/2845/2007
- Rango único de medida: 20 – 137 dB(A)
- Memoria interna de 8Mb ampliables a 2Gb mediante SD Card.
- Adquisición paralela de todos los parámetros de medida.
- Batería interna Li-Ion de larga duración (hasta 24 horas)
- Filtros de 1/1 y 1/3 de octavas en tiempo real con multiespectro
- Control remoto inalámbrico
- Medida del tiempo de reverberación y generador de ruido rosa y blanco incorporado
- Grabación y sincronización con la medida de audio de alta calidad

Amplia gama de accesorios para todo tipo de medidas:

- Medidas de control de Actividades
- Monitorización / medidas de larga duración
- Aislamiento acústico y Calidad de Salas
- Medida de ruido en vehículos
- Seguridad e Higiene laboral

3.2 AMBIENTES ESTUDIADOS

En el estudio de campo realizado se decidió estudiar cuatro tipos de ambientes diferentes y a continuación se escogió las salas donde realizar la toma de datos. Estos son los cuatro tipos de ambientes en los cuales se realizarán las medidas:

- 1- **Administrativo:** Oficinas.
- 2- **Docente:** Aulas y Sala de Estudio.
- 3- **Sanitario:** Salas de espera.
- 4- **Ocio:** Restaurantes/Comedores.

Una vez seleccionados los ambientes se describirá de cada uno de ellos sus características más importantes.

3.2.1 ADMINISTRATIVO : Oficinas

En este ambiente se seleccionaron dos oficinas. Una de las oficinas se encuentra en la Casa del Estudiante de la Universidad de Valladolid y la otra oficina se encuentra en el Sindicato de CC.OO.

La oficina de la Casa del Estudiante UVa es de grandes dimensiones, rectangular, con numerosos puestos de trabajos separados unos dos metros de distancia aproximadamente. Cada puesto de trabajo cuenta con su propio ordenador y teléfono. También existen varias impresoras colocadas en diferentes puntos de la oficina y la iluminación es artificial durante todo el día.



Durante todo el día se realizan tareas propias de una oficina y el ruido generado es debido a las conversaciones propias de los trabajadores y de las visitas, además del ruido generado por todos los componentes electrónicos descritos anteriormente.

La oficina está situada junto a una calle con mucho tráfico y con número de ambulancias que hace que los niveles de ruido del exterior sean altos.



La oficina del Sindicato de CC.OO es de reducidas dimensiones, rectangular. Tiene 3 puestos de trabajo, cada uno con su propio ordenador y teléfono. Además hay dos impresoras situadas en el centro de la oficina. La luz natural es muy buena por lo que la mayoría de los días no se usa la luz artificial.

Durante todo el día se realizan tareas propias de una oficina y el ruido generado es debido a las conversaciones propias de los trabajadores y de las visitas, además del ruido generado por todos los componentes electrónicos descritos anteriormente. El ruido exterior no es alto aunque se encuentre junto a una calle con tráfico fluido.



3.2.2 DOCENTE: Aulas y Sala de Estudio

En este ambiente seleccionamos cinco aulas para realizar las mediciones, además de una sala de estudio. Las aulas son: B2 en la facultad de Arquitectura, B51, PA3, SA4 y Michelin en la Escuela de Ingenierías Industriales y, por último, la sala de estudio de la Escuela de Ingenierías Industriales.

El edificio del Aula B2 de Arquitectura no es de nueva construcción. El aula es de grandes dimensiones con techo alto, rectangular. Los bancos de los alumnos están situados en filas y se imparte la clase sobre una tarima situada en el lado estrecho del aula. Dispone de ventanales en uno de los lados largos. La iluminación siempre es artificial.

Se realizan tareas académicas. El mobiliario es el típico de un aula universitaria. El aula no está acondicionada acústicamente.

El ruido generado es el propio de un aula, la voz del profesor impartiendo la clase y en algunos momentos los típicos murmullos de los



alumnos. También existen ruidos generado por la iluminación en mayor medida, y en menor medida por el proyector, ordenadores...

El ruido exterior es prácticamente nulo ya que el tráfico está lejos y hay zonas arboladas alrededor.

El edificio de las aulas y de la sala de estudio de la Escuela de Ingenierías Industriales (EII) no es de nueva construcción. El aula Michelin y la sala de estudio las describiremos a parte ya que poseen unas características diferentes. Las aulas B51, PA3 y SA4 son grandes, prácticamente cuadradas. Los bancos de los alumnos están situados en filas y se imparten las clases sobre una tarima situada en el lado más estrecho del aula. Dispone de ventanales en uno de los lados largos. La iluminación siempre es artificial.

Se realizan tareas académicas. El mobiliario es el típico de un aula universitaria. El aula B51 no está acondicionada acústicamente, además el techo del aula está abierto en la zona donde se imparte la clase por lo que el sonido se puede “escapar” por ahí. Las aulas PA3 y SA4 si tienen un techo especial, por lo que la acústica será mejor. El ruido generado es el propio de un aula. La voz del profesor impartiendo la clase y en algunos momentos los típicos murmullos de los alumnos. También existe ruidos generado por la iluminación en mayor medida, y en menor medida por el proyector, ordenadores... El ruido exterior no es muy alto ya que el tráfico no se encuentra cerca.

Aula Michelin

Es un aula de medianas dimensiones y de forma casi cuadrangular. Las mesas de los alumnos se distribuyen en 4 filas a lo largo del lado más largo del aula. Dispone de ventanas a lo largo del uno de sus lados cortos que dan a la calle, y otras más pequeñas en el lado opuesto que dan al pasillo.

Se realizan tareas académicas, las cuales son clases teóricas. El mobiliario es el típico de un aula universitaria. El aula se acondicionó recientemente para mejorar la acústica en dicha aula, por lo que posee mejora en este aspecto al resto de aulas estudiadas en el proyecto.



El ruido generado es el propio de un aula. La voz del profesor impartiendo la clase y en algunos momentos los típicos murmullos de los alumnos. También existe ruidos generado por la iluminación en mayor medida, y en menor medida por el proyector, ordenadores... El ruido exterior en bajo ya que el tráfico no se encuentra cerca.

Sala de Estudio

La sala de estudio es grande, rectangular. Las mesas son grandes y están distribuidas por filas, hay un pasillo central con columnas para el paso de los estudiantes. Dispone de ventanales en uno de los lados cortos. La iluminación siempre es artificial.

Se realizan tareas académicas relacionadas con el estudio. El mobiliario es el típico de un aula universitaria. La sala no está acondicionada acústicamente.

El ruido generado es el propio de una sala de estudio, consecuencia de la actividad de los estudiantes. También existe ruido generado por la iluminación en mayor medida, ordenadores portátiles... El ruido exterior no es muy alto ya que el tráfico no se encuentra cerca.

3.2.3 SANITARIO: Salas de Espera

En el ambiente Sanitario realizamos las medidas en seis salas de espera. Una de ellas está en el Centro de Salud de Laguna de Duero, otra en la Clínica García Morato y las cuatro salas restantes están en el Hospital Universitario Río Hortega (HURH). Estas salas son las de consultas, quirófanos, extracciones y urgencias.

El edificio de la sala de espera del Centro de Salud de Laguna de Duero no es de nueva construcción. La sala de espera es rectangular, de grandes dimensiones y alargada. Los asientos para los pacientes están situados en el centro del pasillo formando cuadrados. Hay dos puertas para el acceso exterior, una de ellas da directamente a la calle de mayor tránsito de tráfico. La otra puerta dispone de una nueva puerta la cual protege del ruido exterior. Las consultas están repartidas por los dos lados del pasillo. Existe una ventanilla de citaciones al principio del pasillo en la que se aglomera un gran número de personas. La iluminación siempre es artificial.



La sala está dedicada para que los pacientes esperen a la llamada de sus médicos para ser atendidos. Existe gran trasiego de personas, además del personal de limpieza y de los celadores realizando sus tareas habituales.

El ruido generado por los pacientes, conversaciones entre los pacientes, celadores... La iluminación también genera ruido de fondo. El ruido exterior en la sala de espera no es apreciable.

La Clínica de García Morato no es de nueva construcción. Está compuesta por 3 plantas. La planta a la que se accede desde la calle es la planta del medio. La planta del medio está compuesta por dos pequeñas salas de espera abiertas a los laterales. La recepción está junto a una sala de espera. La planta superior es para el personal de la clínica. Existe un ascensor/montacargas central el cual llega a las tres plantas de la

clínica. A la planta baja se puede acceder por el ascensor y por unas escaleras que están junto a la otra sala de espera. Las escaleras llegan a la parte central de planta baja que tiene una forma parecida a una estrella de tres puntas. Las consultas se reparten por cada uno de los lados.

Branding



La sala está dedicada para que los pacientes esperen a la llamada de sus médicos para ser atendidos.

El ruido generado por los pacientes, personal de la clínica, llamadas telefónicas, música de fondo no muy alta, ascensor central...El ruido exterior es muy alto, hay que tenerlo muy en cuenta ya que hay muchísimo tráfico en la carretera que está junto a la clínica.

El Hospital Universitario Río Hortega (HURH) es de nueva construcción. Está compuesto por cuatro plantas en las cuales se van repartiendo las distintas salas.

1- Sala de Extracciones

Esta sala se encuentra en la primera planta según se accede desde la calle en unas de las ramificaciones que salen a la derecha del pasillo central. Existen dos zonas, una de ellas de unos 45 m² aproximadamente, con forma rectangular, en la que los pacientes esperan y de otra de unos 30 m² en la que se realizan trámites administrativos. Estas dos zonas están separadas por un mostrador, en el cual la gente entrega los volantes para que luego sean nombrados. Al lado del mostrador hay un pasillo en el cual están repartidas las distintas salas donde se realizan las extracciones. Los asientos se encuentran a los largo de su perímetro menos en el espacio reservado para el mostrador. También dispone de tres filas de asientos en el centro de la sala y de un baño que se encuentra en el mismo lateral que el mostrador.

2- Sala de Quirófano

Esta sala se encuentra en el mismo pasillo que la sala de extracciones. Cuenta con dos puertas de entrada que dan acceso a dos pasillos distintos, entre medias de estas dos puertas hay otra puerta que da acceso a los baños. La sala es rectangular y tiene aproximadamente 32 m². Los asientos están repartidos a lo largo de su perímetro y de una fila central. En esta sala los acompañantes esperan a las distintas llamadas que se realizan por megafonía. En una de las esquinas de la sala dispone de dos máquinas de refrescos y café, las cuales provocan ruido de fondo. También cuenta con una estantería en la cual hay libros para que la gente permanezca entretenida y en silencio.

3- Sala de Consultas

Las salas de consultas se encuentran en la primera planta y segunda planta según se accede desde la calle. Están repartidas a lo largo de un pasillo paralelo al central y este a su vez está dividido en 7 ramificaciones perpendiculares a él, en las cuales se encuentran las distintas consultas. Cada una de estas ramificaciones tiene unas dimensiones de unos 3,5 m de ancho y 30 m de largo. Las consultas se encuentran en unos de los laterales largos y en el lado opuesto se encuentran los asientos donde los pacientes esperan a ser llamados por sus respectivos médicos. Como ruido de fondo destacar la presencia de un ventilador.



4- Sala de Emergencias

La sala de emergencias se encuentra a pie de calle en uno de los laterales del hospital. Está compuesta por tres salas de espera, las medidas se realizaron en la que era más grande, aproximadamente de unas dimensiones de 98 m². Los asientos están colocados en todo su perímetro, menos en uno de los laterales que da acceso a las puertas por donde los pacientes iban entrando según se los iba nombrando por la megafonía. Esta megafonía sonaba con bastante frecuencia con lo cual provocaba bastante ruido de fondo. También cuenta con asientos en la parte central de la sala con 4 filas de asientos. En una de las esquinas que da a un pasillo para acceder a otra sala de espera y a los baños, se encuentran 4 máquinas con refrescos, comida y café que provocan bastante ruido de fondo.

3.2.4 OCIO: Comedores-Restaurantes

Para este ambiente hemos realizado las medidas en tres comedores distintos. Dos de ellos son comedores universitarios que pertenecen al Colegio Mayor Santa Cruz de la universidad de Valladolid, siendo uno de ellos para el sexo femenino y el otro para el masculino. El otro comedor es del Restaurante El Cardiel, ubicado en Viana de Cega.

El edificio del Colegio Mayor SC Femenino no es de nueva construcción. El comedor es muy amplio de forma cuadrada. En un lateral se encuentra la cocina y la zona habilitada para que los usuarios se sirvan la comida. Las mesas son amplias y están distribuidas por filas



por toda la sala, existiendo columnas centrales. Hay grandes ventanales en el lado opuesto al de la cocina por lo que no es necesaria una iluminación artificial.

El ruido generado es debido al gran trasiego de usuarios que se concentran todos a la misma hora. También se tiene en cuenta el ruido provocado por el personal

de la cocina. Se tiene en cuenta el ruido exterior ya que está junto a una calle de gran tránsito tanto de peatones como de tráfico.

El edificio del Colegio Mayor SC Masculino no es de nueva construcción. El comedor es amplio de forma rectangular y alargada. En el fondo del comedor se encuentra la cocina y la zona habilitada para que los usuarios se sirvan la comida. Las mesas están distribuidas por los laterales dejando espacio en el centro como zona de paso. Hay ventanas en un lado del comedor las cuales dan a la calle y la luz natural no ilumina demasiado por lo que la iluminación siempre es artificial.

El ruido generado es debido al gran trasiego de usuarios que se concentran todos a la misma hora. También se tiene en cuenta el ruido provocado por el personal de la cocina.



El ruido exterior no es muy alto aunque esté pegando a una calle con tráfico constante ya que posee una pared muy gruesa que evita el paso del sonido exterior.

El edificio del comedor del Restaurante El Cardiel no es de nueva construcción. El comedor no es amplio, y tiene forma rectangular. Por uno de los lados cortos se accede a la cocina, y están situadas dos cámaras frigoríficas. Las mesas están distribuidas en 3 filas dejando espacio entre ellas para el paso de los comensales. En el lado opuesto a la cocina existen grandes ventanales que proporcionan luz natural pero siempre está conectada la luz artificial.



El ruido generado es debido a conversaciones de los comensales, la televisión a un volumen bajo, y sobre todo, por las dos cámaras frigoríficas. El ruido exterior es nulo. Existe muy poco tránsito exterior.

3.3 MEDIDA DE DATOS

A continuación explicaremos detalladamente cómo se calculan el T_R y el IRO_{SAS} .

3.3.1 MEDIDA DEL TIEMPO DE REVERBERACION. T_R

Para la realización de las medidas del tiempo de reverberación (T_R o T_{60}) se ha seguido la Norma **“UNE-EN ISO 3382-2:2008 Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios”**, la cual da las indicaciones oportunas para las obtención de las medidas correctamente.

Uno de los requisitos para medir el tiempo de reverberación es que la sala se encuentre vacía, pero se puede permitir que hasta dos personas permanezcan en ella. Esto es así porque el número de personas puede influir en el cálculo de dicho tiempo.

El micrófono debería ser lo más pequeña posible, y tener preferiblemente un diámetro de diafragma máximo de 14 mm, también se permiten micrófonos de hasta 27 mm, si son de respuesta en presión o del tipo de respuesta en campo libre, siempre y cuando se suministren con un corrector de incidencia aleatoria. El micrófono integrado en el sonómetro SOLO Black Edition es de Tipo 1 según ITC/2845/2007, con un rango único de medida de 20 dB(A) a 137 dB(A) que cumple con todas las especificaciones citadas para una correcta medida y con gran precisión.

La fuente impulsiva debe ser capaz de producir una presión acústica de pico suficiente para garantizar una curva de decrecimiento, empezando al menos en 35 dB(A) por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente. Si se tiene que medir el T_{30} es necesario crear un nivel, al menos de 45 dB(A) por encima del ruido de fondo. Para este proyecto se ha utilizado para generar la señal acústica la explosión de un globo convencional, capaz de superar los niveles marcados por la norma.

Para la medida del T_R se ha utilizado una distribución de 6 combinaciones (fuente-micrófono), que es la que marca la norma para una medida de ingeniería.

Las posiciones del micrófono deben estar preferiblemente separadas al menos a una distancia mínima de 2 metros para el rango de frecuencias habitual. La distancia

desde cualquier posición del micrófono a la superficie reflectante más cercana, incluyendo el suelo debe de ser preferiblemente entorno a un metro. Se deberían evitar las posiciones simétricas.

Las posiciones del micrófono no deben estar muy próximas, de lo contrario el número de posiciones independientes es inferior al número real de posiciones de medición.

3.3.2 MEDIDAS DEL NPS E IRO_{SAS}

Las medidas de NPS e IRO_{SAS} se realizaron utilizando el supervisor de ambiente sonoro SAS-2000 de la marca ECUDAP, el cual registra ambos valores en su memoria interna, al mismo tiempo que muestra en un display el nivel de presión sonora actual en dB(A) y mediante un semáforo el grado de confort acústico del ambiente.



Para tomar las medidas se utilizó una peana donde se colocó el SAS-2000, con el objetivo de alcanzar la altura adecuada para una correcta medición, al mismo tiempo que nos asegura que todas las mediciones se van a realizar de la misma manera.

El SAS-2000 funciona con una alimentación convencional de 220V a 50 Hz, lo que condiciona la ubicación del equipo a que exista una toma de corriente cercana, debido a que en algunas ocasiones no ha sido posible tener una toma de corriente

cerca se utilizó un cable alargador para poder ubicar el SAS en un sitio correcto para la toma de medidas y donde no estorbara demasiado.

Los parámetros configurables del SAS-2000 son accesibles a través del software EcludapToolbox suministrados por el fabricante, es un programa compatible con cualquier sistema operativo Windows y de fácil instalación.

Una vez instalado y configurado el equipo, las medidas se van almacenando en una memoria interna minuto a minuto, registrándose la fecha y la hora de cada medición.

Posteriormente se lleva a cabo el volcado de datos mediante el software EcludapToolbox y un cable USB que se conecta al ordenador. El programa nos creará un archivo *.h que guardaremos en una carpeta para poder ser luego utilizado.

Para acceder a los datos guardados se utiliza el programa Gestion SDR, que también fue suministrado por el fabricante, donde podemos observar todos los niveles de presión sonora e IRO_{SAS} a un minuto, con su fecha y hora para su volcado a una base de datos.

En la figura 11 se muestra como aparece el archivo *.h guardado anteriormente. En él podemos ver como en la parte inferior izquierda rotulado en el recuadro negro nos muestra la sesión con la que se está trabajando, el día en que se realizó dicha toma de datos, la hora de la misma, la curva NR que se usó, en este caso 40, el número de muestras que se tomaron (82) y en el intervalo que se tomaron dichas muestras, que fue cada minuto. Del recuadro de la derecha en color amarillo nos muestra dos parejas de datos cada una de ellas compuesta por, NPS e IRO_{SAS} . Los números impares pertenecen a NPS en este caso el 01 y el 03, entre estos dos números existe una diferencia en el tiempo de un minuto, y los pares al IRO_{SAS} en este caso el 02 y el 04, también entre ellos hay una diferencia de tiempo de un minuto.

El volcado de datos se hizo manualmente y el programa que se empleó fue el Excel 2007, con el que después también se trabajaría para analizar los datos.

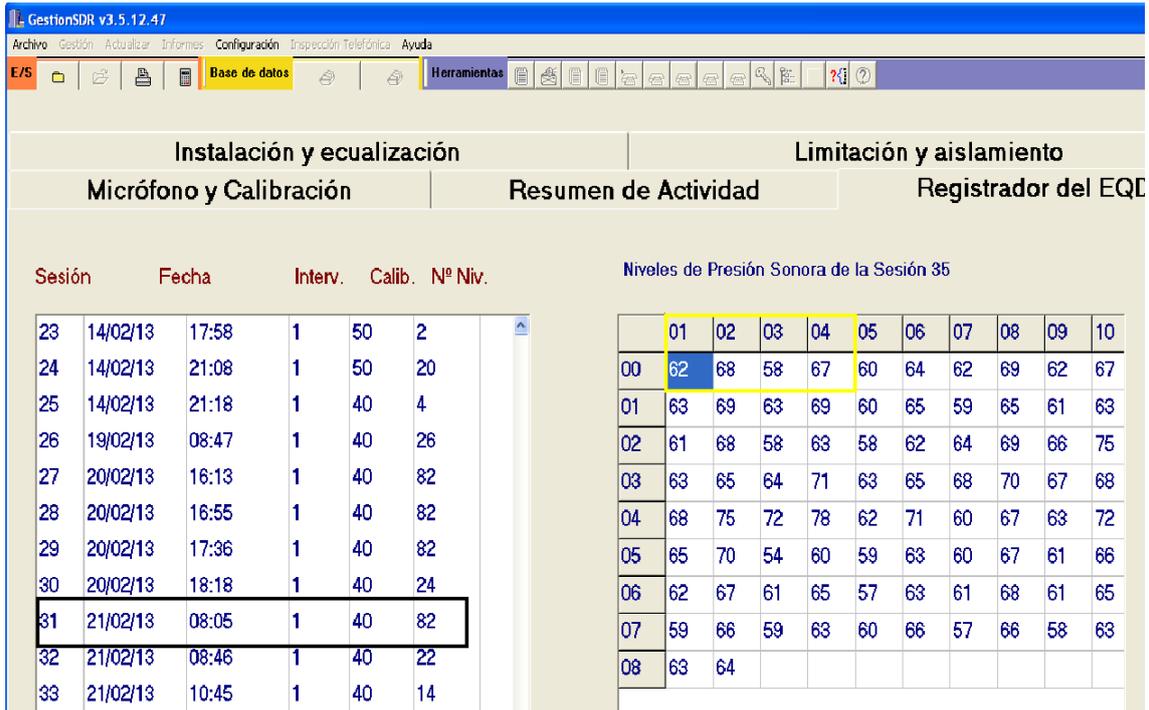


Figura 11 Programa Gestion SDR.

CÁLCULO DEL IRO_{SAS}

El SAS utiliza su propio proceso interno para calcular el IRO_{SAS}, valiéndose de la nota técnica NTP-503 y ajustándolo con una serie de penalizaciones (no recogidos en nota técnica). A este índice basado en el IRO, le llamaremos IRO_{SAS} para diferenciarlo de IRO teórico que indica la NTP-503.

El proceso es el siguiente: se van acumulando las muestras de nivel tomadas durante un periodo de aproximadamente 1 segundo, se procesan y ponderan para realizar el cálculo de L_{eqA} del segundo completo. Cuando se ha hecho esto 60 veces, se ordenan los niveles de menos a mayor y se toman los valores representativos L₁₀ y L₉₀ del periodo.

A partir de estos valores se obtiene el cálculo del IRO_{SAS}, definido como se muestra más adelante, calculado cada minuto con una resolución temporal de 1 segundo.

$$IRO_{SAS} = IRO + \text{Penalización (NR)} + \text{Penalización (tonal)}$$

- *Penalización NR:*

Se toman ventanas de 1024 muestras (para poder realizar la fft de este número de puntos) y se acumulan hasta sumar 1 segundo. Como 44100 muestras, las tomadas en un segundo, no es múltiplo de 1024 se toman en realidad $43 \cdot 1024 (44032)$ muestras, lo que equivale a 0,998 segundos.

Una vez obtenidas las 1024 posiciones donde se han acumulado el valor del segundo completo se realiza la fft de 1024 puntos, obteniendo en este punto, una muestra cada 43 Hz de resolución.

Estas muestras son filtradas por octavas y se calcula la energía de cada una de estas bandas. A partir de este valor se obtiene el L_p de cada octava.

Se realiza la comparación del L_p de cada octava con las curvas NR y se selecciona la curva inmediatamente superior al espectro del segundo en todas sus bandas.

Llegados a este punto, tenemos información a cerca de la NR recomendada para el lugar de instalación del equipo (se habrá configurado durante la instalación), y la NR real a la que se adapta el espectro en este momento. La penalización que se realiza va en proporción a la distancia entre ambas curvas.

Cuando pasa 1 minuto, que es el tiempo que se ha establecido para calcular el IRO_{SAS} , se decide la penalización del minuto total, calculando la máxima penalización del minuto, es decir, se acumulan estas penalizaciones durante 60 segundos y finalmente se penaliza el IRO_{SAS} con el valor máximo de entre todas ellas.

- *Penalización tonal:*

Cuando obtenemos la señal en frecuencias, se filtran en tercios de octava y se obtiene la energía de cada una de las bandas. Una vez hecho esto, se compara cada banda con sus aledañas, en caso de tener una diferencia de, al menos, 15 dB(A) con la media de ambas, se penaliza sumando 3 unidades al IRO_{SAS} .

- *Cálculo final:*

$IRO_{SAS\ 1\text{minuto}} = IRO\ \text{calculado} + \text{máx} [(NR\ \text{recomendada} - NR\ \text{de ajuste})_{1s}] + \text{aparición de componentes tonales (si=+3, no=0)}$

El nivel de IRO_{SAS} de un minuto, es el valor de IRO medio durante un minuto, más el máximo aparecido en un minuto de la diferencia entre la NR recomendada y la de ajuste evaluada cada segundo y la suma de 3 si aparecen componentes tonales o de 0 en el caso de que no aparezcan.

El equipo SAS-2000 marca a través de su semáforo el tipo de ambiente en el que estamos. Se considera, aproximadamente, el paso de ambiente confortable a ruidoso en el 20% de personas insatisfechas y el cambio de ambiente ruidoso a muy ruidoso en el 40% de personas insatisfechas.

En todas las curvas NR, el SAS tiene prefijados unos valores límites para determinar los cambios de ambiente. Estos se determinan de la siguiente manera:

- De la curva NR elegida mediante el software, se le sumará al valor de la curva 15 unidades para determinar el valor en el que debe cambiar a ambiente ruidoso.
- Con el valor límite de ambiente ruidoso fijado, se le sumará 13 unidades para determinar el valor en el que debe cambiar a ambiente muy ruidoso.

El rango de valores en los que aproximadamente cambia el semáforo del SAS está ajustado mediante la curva NR-40.

Para la curva NR-40 el rango de valores del IRO_{SAS} , para un ambiente confortable, es desde 0 a 55. A partir del valor 55, el equipo pasa a un ambiente ruidoso, el cual cambiará a muy ruidoso en el valor 68.

- [0-55) Ambiente Confortable
- [55-68) Ambiente Ruidoso
- 68 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso

4. RESULTADOS OBTENIDOS

En este punto se van a mostrar todos los resultados obtenidos de las mediciones con el sonómetro SOLO Black Edition y el equipo SAS-2000. Además se mostrarán los datos del estudio de campo realizado en todos los ambientes anteriormente descritos con un total de **586 encuestas** y de los **2.929 minutos** medidos.

Para hacer un mejor estudio hemos decidido englobar a las oficinas y a la sala de estudio de la EII ya que se comportan de forma similar, como ya se comprobará posteriormente. Además, en cada uno de los ambientes se realizó medidas con curvas NR diferentes. En apartados posteriores se explicarán los motivos de los cambios de curvas NR.

Los tiempos de medición en cada ambiente son los siguientes:

- **Aulas:**

-*Aula B2 Arquitectura:* se hicieron dos medidas una de **111** minutos con una curva NR-40 y otra de **116** minutos con la curva NR-55.

-*Aula B51 EII:* se hicieron dos medidas una de **88** minutos con una curva NR-40 y otra de **104** minutos con la curva NR-55.

-*Aula PA3 EII:* se hicieron dos medidas una de **54** minutos con una curva NR-40 y otra de **104** minutos con la curva NR-55.

-*Aula SA4 EII:* se hicieron dos medidas una de **47** minutos con una curva NR-40 y otra de **51** minutos con la curva NR-55.

-*Aula Michelin EII:* se hizo una medida de **99** minutos con la curva NR-55

TOTAL AULAS= 774 MINUTOS

- **Oficinas-Sala de estudio:**

-*Sala de estudio EII:* se hizo una única medida de **182** minutos con una curva NR-40.

-*Casa del Estudiante UVa:* se hizo una única medida de **228** minutos con una curva NR-40.



-*Oficina Sindicatos CC.OO:* se hizo una única medida de **183** minutos con una curva NR-40.

TOTAL OFICINAS- SALA DE ESTUDIO=593 MINUTOS

• **Comedores-Restaurantes:**

-*Restaurante El Cardiel:* se hizo una primera medida de **178** minutos con una curva NR- 40 y otra de **139** minutos con una curva NR-60.

-*Comedor Santa Cruz masculino:* se hizo una única medida de **87** minutos con curva NR-60.

-*Comedor Santa Cruz femenino:* se hizo una única medida de **95** minutos con curva NR-60.

TOTAL COMEDORES- RESTAURANTES=499 MINUTOS

• **Centros de salud- Salas de espera**

-*Clínica García Morato:* se hizo una única medida de **208** minutos con una curva NR-45.

-*Centro de Salud Laguna de Duero:* se hizo una primera medida de **138** minutos con curva NR-40 y otra de **215** minutos con curva NR-45.

-*Sala de Quirófano del Hospital Rio Hortega:* se hizo una única medida de **126** minutos con curva NR-50.

-*Sala de consulta del Hospital Rio Hortega:* se hizo una única medida de **116** minutos con curva NR-50.

-*Sala de Urgencias del Hospital Rio Hortega:* se hizo una única medida de **128** minutos con curva NR-50.

-*Sala de Extracciones del Hospital Rio Hortega:* se hizo una única medida **132** minutos con curva NR-50.

TOTAL CENTRO DE SALUD- SALAS DE ESPERA=1063 MINUTOS

Las encuestas realizadas fueron las siguientes en los distintos ambientes:

- **Aulas:**

-Aula B2 Arquitectura: **36** encuestas.

-Aula B51 EII: **24** encuestas.

-Aula PA3 EII: **58** encuestas.

-Aula SA4 EII: **48** encuestas.

-Aula Michelin: **no** se realizaron encuestas.

TOTAL AULAS=166 ENCUESTAS

- **Restaurantes- Comedores:**

-Restaurante El Cardiel: **30** encuestas.

-Comedor Santa Cruz masculino: **60** encuestas.

-Comedor Santa Cruz femenino: **79** encuestas.

TOTAL RESTAURANTES- COMEDORES=169 ENCUESTAS

- **Oficinas-Sala de estudio:**

-Oficina CC.OO: **22** encuestas.

-Casa del Estudiante: **53** encuestas.

-Sala de estudio EUP: **53** encuestas.

TOTAL OFICINAS-SALA DE ESTUDIO= 128 ENCUESTAS

- **Salas de espera**

-Clínica García Morato: **41** encuestas.

-Centro de Salud Laguna de Duero: **82** encuestas.

-Sala de Quirófano del Hospital Rio Hortega: **no** fue posible realizar encuestas.

-Sala de consulta del Hospital Rio Hortega: **no** fue posible realizar encuestas.

-Sala de Emergencias del Hospital Rio Hortega: **no** fue posible realizar encuestas.

-Sala de Extracciones del Hospital Rio Hortega: **no** fue posible realizar encuestas.

TOTAL SALAS DE ESPERA=123 ENCUESTAS

4.1 TIEMPO DE REVERBERACION

Como ya se ha explicado anteriormente el tiempo de reverberación es una medida muy importante para definir un determinado recinto, como consta en el Documento Básico de Protección Frente al Ruido (DB-HR) del Código Técnico de Edificación (CTE) que establece el valor máximo del tiempo de reverberación en diferentes ambientes. También se hace referencia a este parámetro en la Ley 5/2009 del Ruido de Castilla y León.

Para la medición del T_R se han seguido las especificaciones expuestas anteriormente en el apartado de *Medida de datos 3.3.1* para una medida de ingeniería.

Para la medición del tiempo de reverberación se ha utilizado el sonómetro SOLO que nos proporciona los resultados tras una serie de cálculos que realiza él interiormente. Los resultados obtenidos nos los muestra en distintas frecuencias. Se han elegido las frecuencias de 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz que son las frecuencias principales para la comunicación entre personas. A parte de estos datos el sonómetro nos muestra la curva lineal de dicho parámetro.

Para la obtención de los resultados se ha llevado a cabo el promedio para las distintas posiciones con sus tres frecuencias, de estos resultados parciales se ha calculado el promedio para las distintas posiciones, obteniendo así el resultado final de cada lugar.

Los resultados son:

4.1.1 AULAS

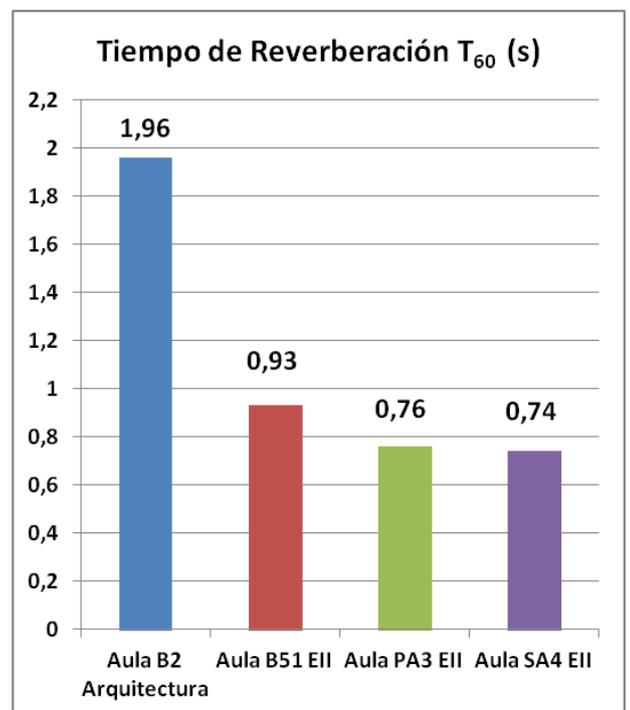
Tiempo de reverberación B2 Arquitectura				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	2,15	1,84	1,84	1,94
Posición 2	2,09	1,88	1,82	1,93
Posición 3	2,02	1,94	1,83	1,93
Posición 4	2,21	1,89	1,91	2,00
Posición 5	2,04	2	1,82	1,95
Posición 6	2,24	1,88	1,83	1,98
T₆₀=				1,96s

Tiempo de reverberación B51 EII				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	0,74	0,94	1,02	0,90
Posición 2	0,83	0,95	1,06	0,95
Posición 3	0,84	0,94	1,03	0,94
Posición 4	0,73	0,95	1,12	0,93
Posición 5	0,86	1,03	1,03	0,97
Posición 6	0,67	0,97	1	0,88
T₆₀=				0,93s

Tiempo de reverberación PA3 EII				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	0,63	0,67	0,7	0,67
Posición 2	0,58	0,76	0,96	0,77
Posición 3	0,67	0,67	0,96	0,77
Posición 4	0,67	0,7	0,91	0,76
Posición 5	0,82	0,64	1,01	0,82
Posición 6	0,67	0,75	0,94	0,79
T₆₀=				0,76s

Tiempo de reverberación SA4 EII				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	0,84	0,69	0,97	0,83
Posición 2	0,63	0,7	0,97	0,77
Posición 3	0,48	0,56	0,86	0,63
Posición 4	0,67	0,67	0,97	0,77
Posición 5	0,58	0,66	0,97	0,74
Posición 6	0,5	0,64	1,01	0,72
T₆₀=				0,74s

Como podemos observar del diagrama de barras las aulas PA3 y SA4 tienen un valor muy próximo y es debido a que son dos aulas iguales que se encuentran en distinta planta, una encima de la otra, y con la misma estructura. Estas dos aulas están muy cerca del tiempo óptimo que es de 0,8 s. Cabe también destacar que el aula B51, siendo una aula también de la Escuela de Ingenierías Industriales, tiene un valor superior a las dos anteriores y es debido a que es un aula más antigua que las anteriores y, aunque también posee un falso techo absorbente, éste será de un índice inferior o también puede ser debido a que el aula es más pequeña. Aunque supere el tiempo óptimo de 0,8 s, no supera el 1,5 s que es el límite superior que marca la norma. En el aula B2 de



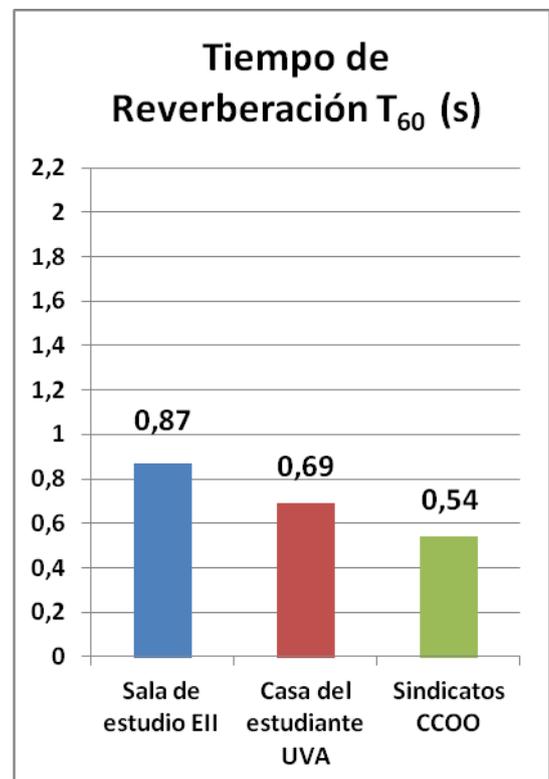
Arquitectura sale un tiempo de reverberación muy alto, 1,96s, el cual está fuera de la norma. Esto puede ser debido a que el aula tiene un techo muy alto y además no tiene techo absorbente.

4.1.2 OFICINAS Y SALA DE ESTUDIO

Tiempo de reverberación SALA DE ESTUDIO EII				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	1,11	0,8	0,84	0,92
Posición 2	0,84	0,74	0,82	0,80
Posición 3	0,86	0,77	0,89	0,84
Posición 4	1,01	0,77	0,92	0,90
Posición 5	1,03	0,78	0,87	0,89
Posición 6	0,94	0,78	0,9	0,87
$T_{60} =$				0,87s

Tiempo de reverberación Casa del Estudiante				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	0,67	0,75	0,94	0,79
Posición 2	0,56	0,64	0,69	0,63
Posición 3	0,72	0,67	0,68	0,69
Posición 4	0,68	0,63	0,66	0,66
Posición 5	0,62	0,65	0,75	0,67
Posición 6	0,73	0,7	0,72	0,72
$T_{60} =$				0,69s

Tiempo de reverberación Oficina Sindicatos CC.OO				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	0,44	0,53	0,49	0,49
Posición 2	0,68	0,63	0,66	0,66
Posición 3	0,5	0,46	0,46	0,47
$T_{60} =$				0,54s



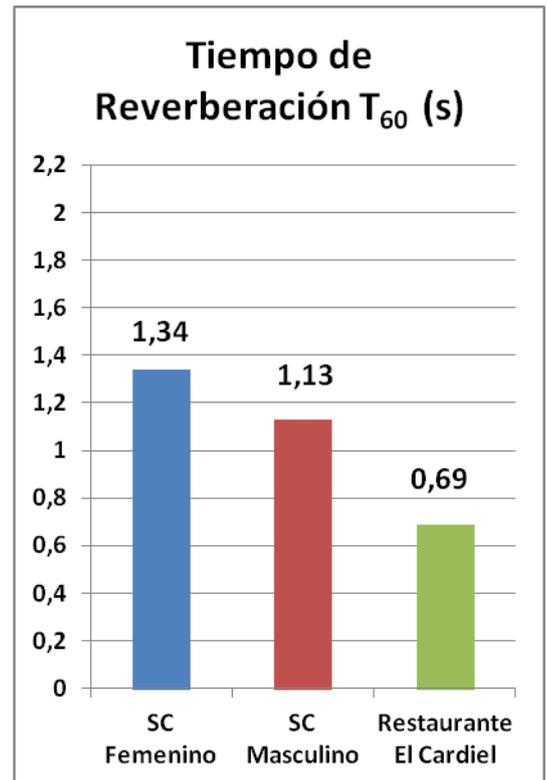
Como se puede observar del diagrama de barras, los tiempos de reverberación tanto de las oficinas como el de la sala de estudio se adaptan perfectamente a lo establecido como aceptable por la norma, que indica que en este tipo de lugares debe ser $T_{60} \leq 1$ s.

4.1.3 COMEDORES-RESTAURANTES

Tiempo de reverberación SANTA CRUZ (FEMENINO)				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	1,5	1,18	1,26	1,31
Posición 2	1,47	1,32	1,3	1,36
Posición 3	1,4	1,29	1,21	1,30
Posición 4	1,6	1,28	1,27	1,38
Posición 5	1,38	1,2	1,21	1,26
Posición 6	1,65	1,24	1,3	1,40
$T_{60} =$				1,34s

Tiempo de reverberación SANTA CRUZ (MASCULINO)				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	1,51	1,05	0,9	1,15
Posición 2	1,33	1,07	1	1,13
Posición 3	1,32	1,02	1	1,11
Posición 4	1,18	1,13	1,05	1,12
Posición 5	1,33	1,06	1,02	1,14
Posición 6	1,4	1	1,04	1,15
$T_{60} =$				1,13s

Tiempo de reverberación Restaurante El Cardiel				
Posición\Frecuencia	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Parciales
Posición 1	0,66	0,73	0,69	0,69
Posición 2	0,71	0,77	0,72	0,73
Posición 3	0,68	0,68	0,66	0,67
Posición 4	0,72	0,68	0,71	0,70
Posición 5	0,76	0,66	0,68	0,70
Posición 6	0,68	0,66	0,64	0,66
$T_{60} =$				0,69s



Según establece el Documento Básico HR Protección frente al Ruido, los restaurantes y comedores no deben superar el valor de 0,9 s, como podemos observar el único que cumple con lo especificado es el Restaurante de Viana. Los otros dos comedores lo superan con creces y puede ser debido a que uno tiene demasiadas columnas en su interior y el otro porque está alicatado en todo su perímetro.

4.1.4 SALAS DE ESPERA

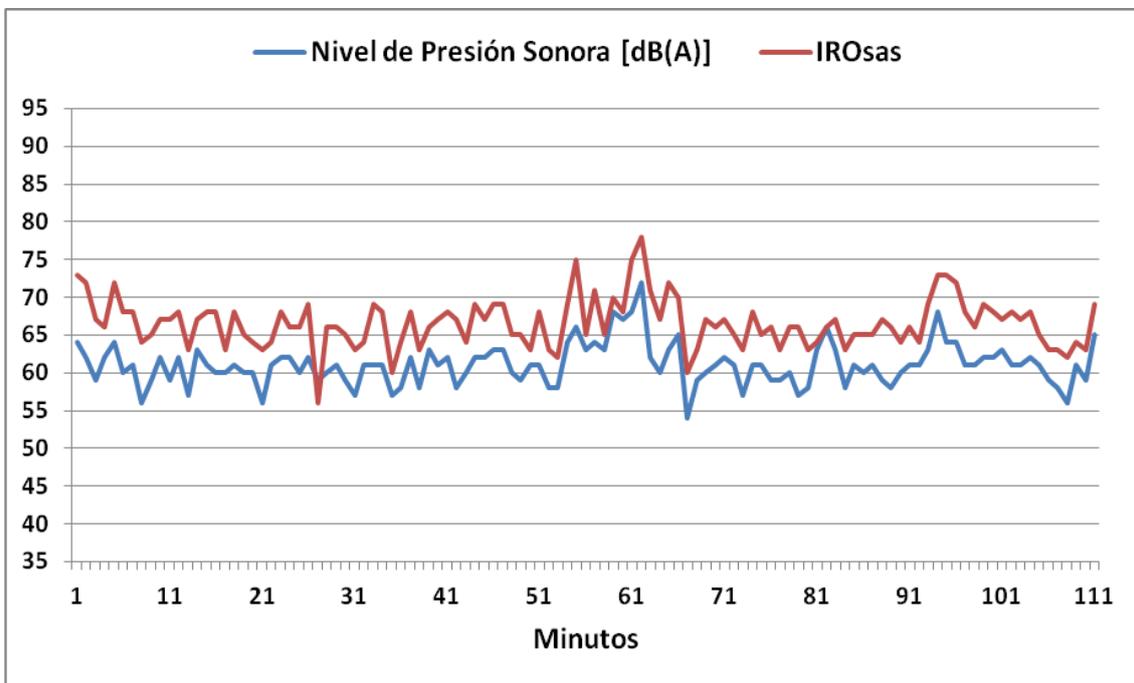
En las salas de espera no fue posible poder llevar a cabo la medida del tiempo de reverberación debido a que son lugares en los cuales hay mucho tránsito de personas y es muy difícil conseguir que se quede vacío para poder realizar dicha medida.

4.2 MEDIDA DEL NPS E IRO_{SAS} EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

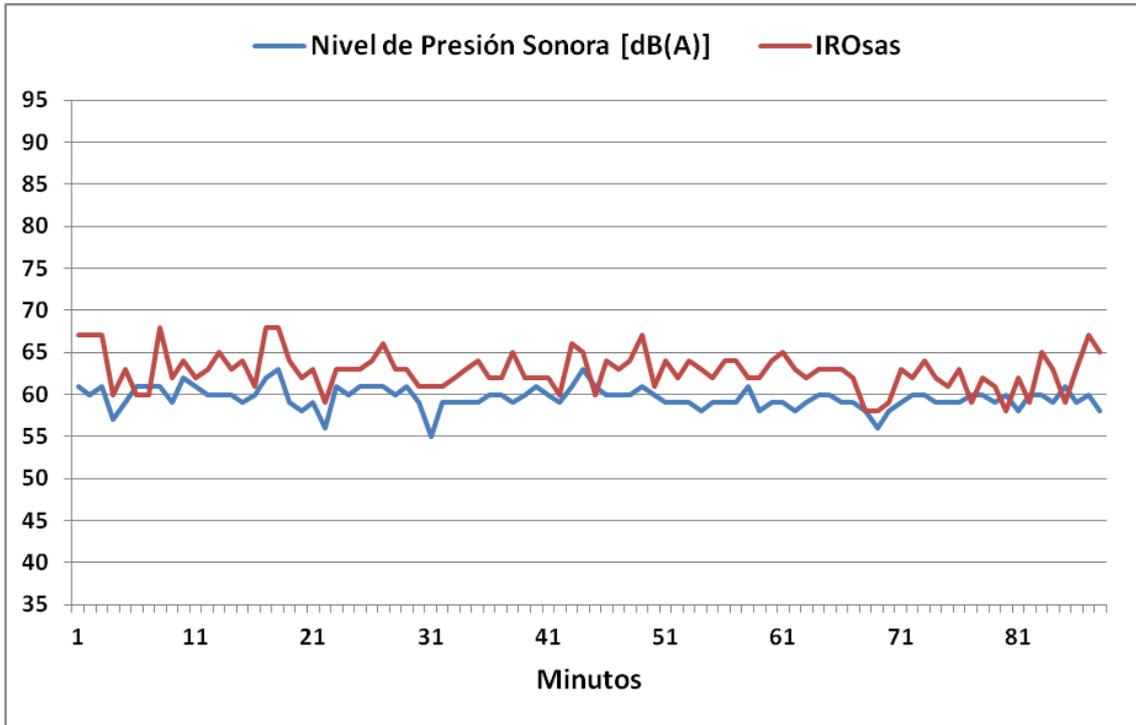
En los siguientes gráficos se representa la evolución que han seguido el NPS e IRO_{SAS} a lo largo del tiempo. Se puede observar la relación que existe entre ambos índices ya que el IRO_{SAS} en todo momento acompaña al NPS, siendo éste siempre inferior excepto en casos puntuales.

4.2.1 AULAS

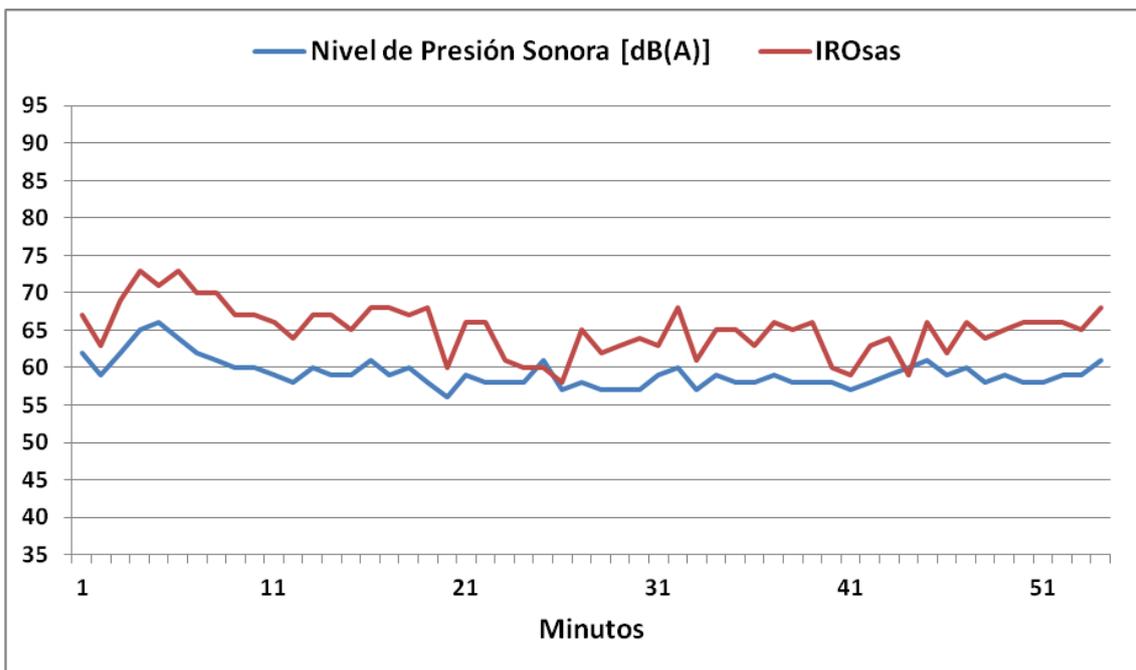
Aula B2 Arquitectura



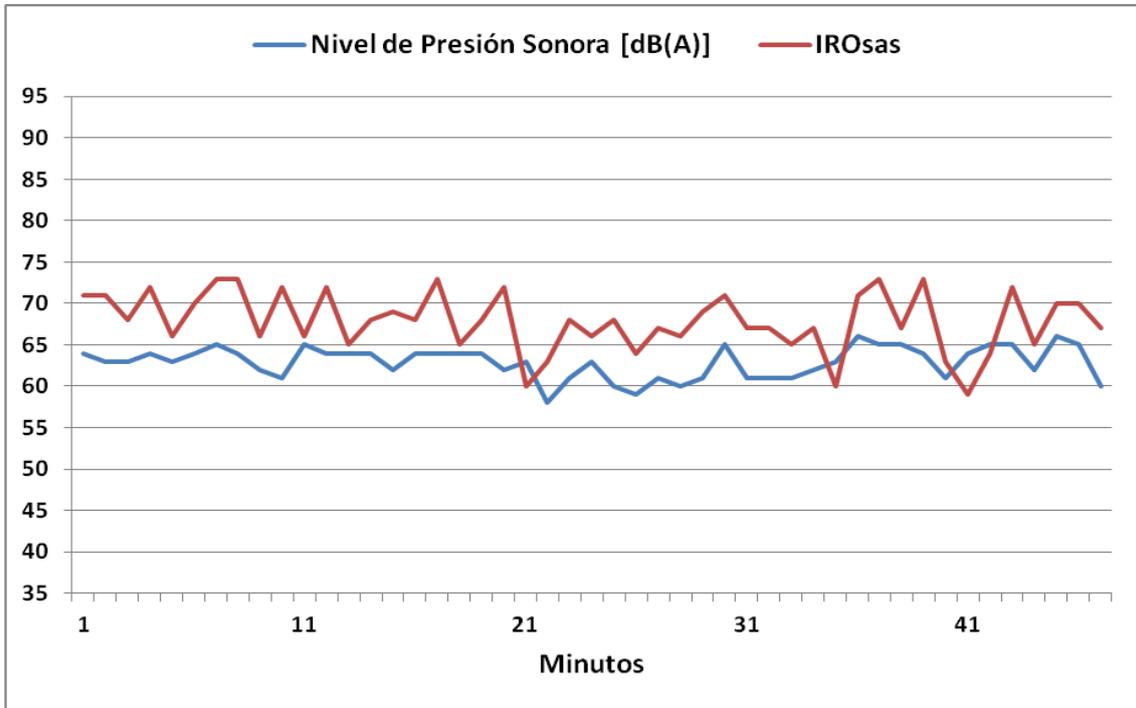
Aula B51 EII



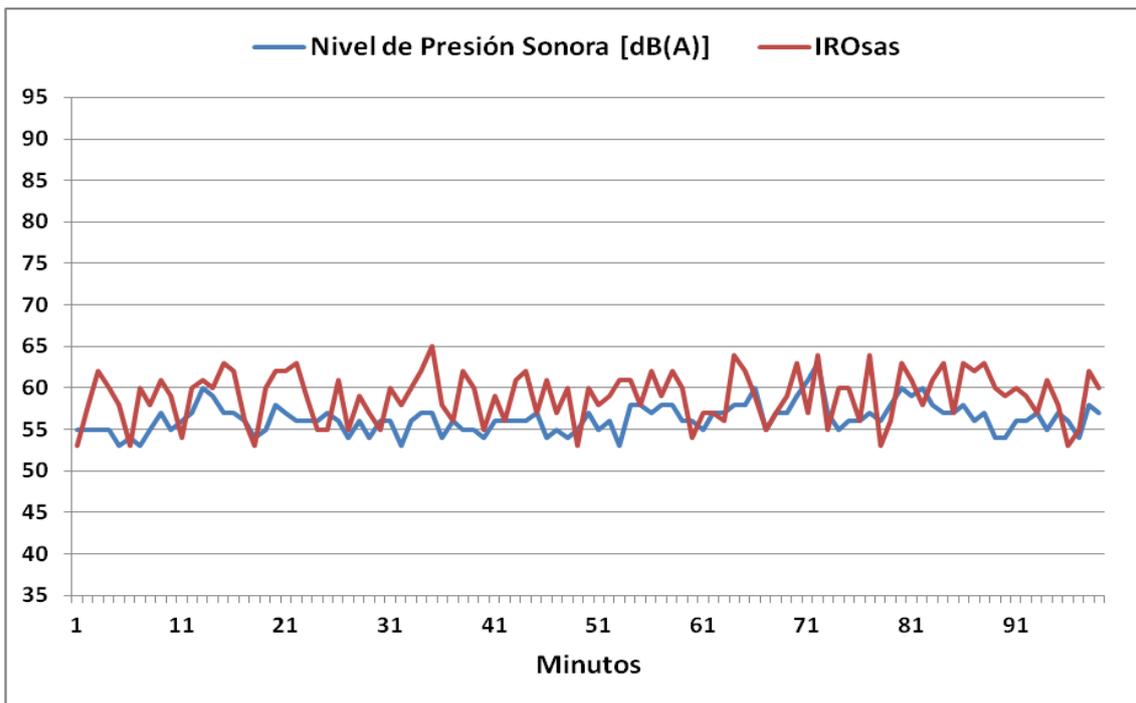
Aula PA3 EII



Aula SA4 EII



Aula Michelin EII



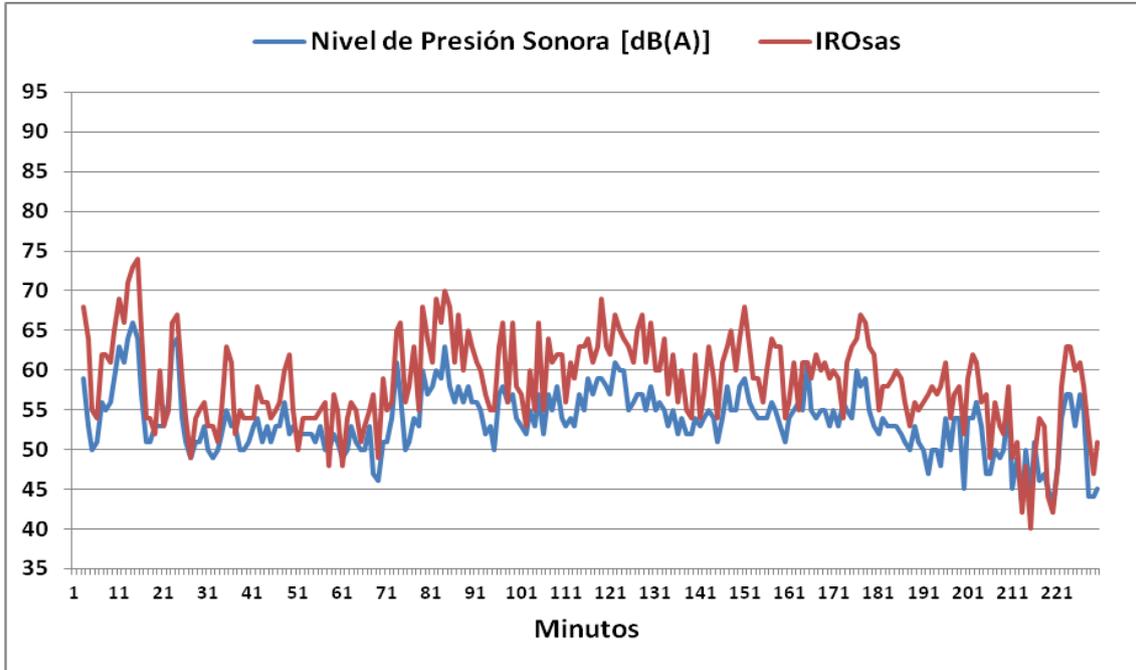
En las cinco gráficas podemos observar que los valores de Nivel de Presión Sonora son típicos de una persona hablando (profesor) en una clase de unos 60 min de duración aproximadamente en cada una de ellas, excepto en las aulas B2, B51 y Michelin, que fueron dos clases seguidas de 60 min aproximadamente de duración. En el caso de la B2 hubo un descanso entre ambas clases y dichos valores los despreciamos para la realización del estudio. En el aula B51 y Michelin no hubo ningún descanso.

En los cinco casos se colocó el equipo cerca de la fuente, el profesor, a unos 2-3 metros de distancia media. Algunos picos se deben a que la fuente se acercó demasiado al equipo o momentos de debate entre alumnos y profesor.

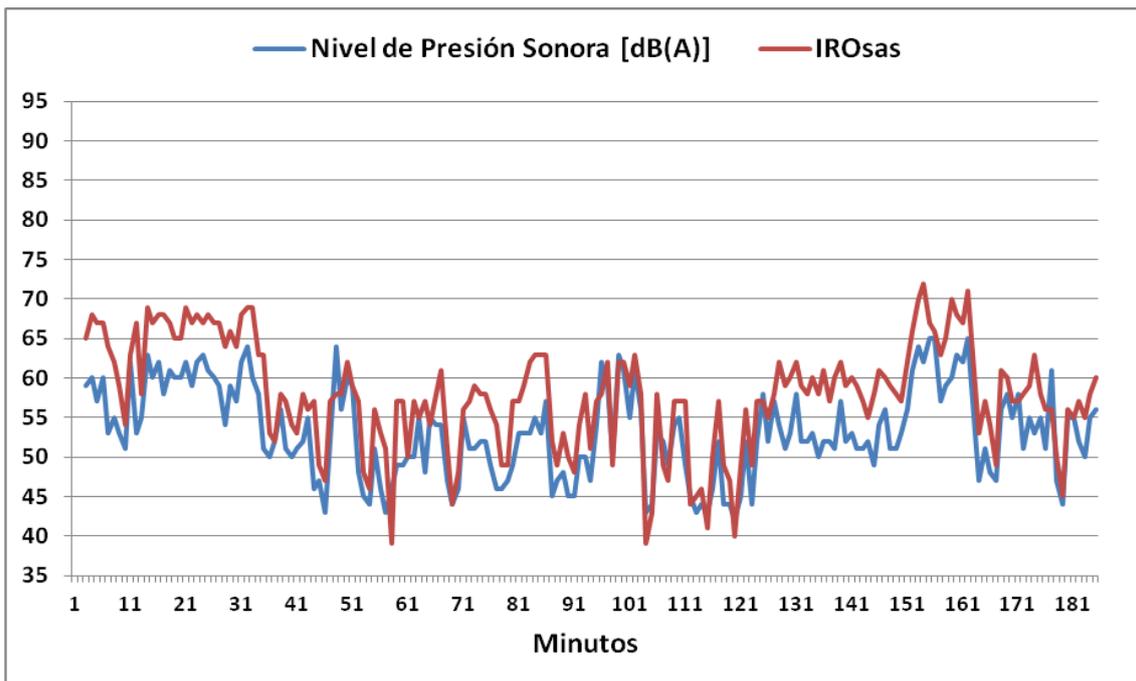
En todas son valores muy similares, sin ninguna diferencia importante. Cabe destacar la diferencia de NPS entre las aulas PA3 (60 dB(A) de media) y SA4 (63 dB(A) de media) que son completamente iguales. Esta diferencia es exclusivamente debida a que las profesoras usaron un tono diferente. En las aulas B51 fue de 60 dB(A) y en la B2 63 dB(A). En el caso del aula Michelin, fue la que registró unos valores medios más bajos, gracias a su buen acondicionamiento acústico.

4.2.2 OFICINAS Y SALA DE ESTUDIO

Casa del Estudiante UVa



Sindicatos CC.OO

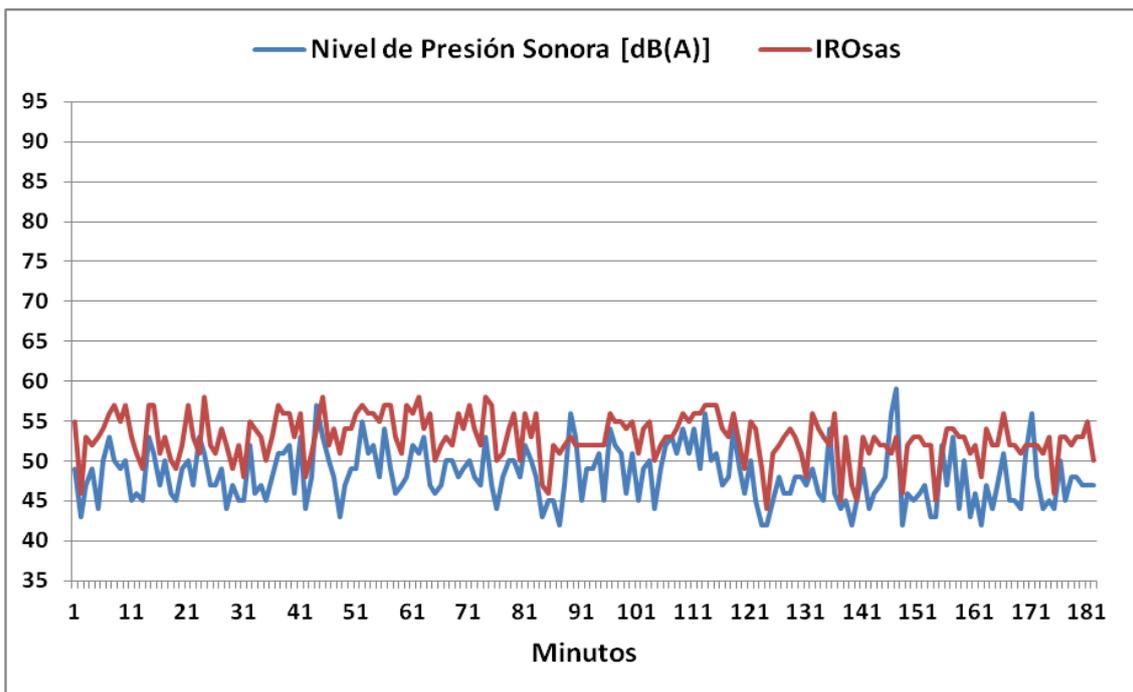


En este ambiente podemos observar que los valores medios de NPS son muy similares. 56 dB(A) en la casa del estudiante frente a los 57 dB(A) de CC.OO.

La principal diferencia es que los valores en la casa del estudiante son más estables que en CC.OO y esto es consecuencia del número de puestos de trabajo en ambas oficinas. En CC.OO es una oficina pequeña en la cual hubo momentos en los que no hubo gente en la oficina, por lo que contrasta con los momentos en los que hubo mayor número de personas que las que normalmente trabajan debido a las visitas.

En la casa del estudiante durante el tiempo de medición siempre hubo gente trabajando, por eso es más estable el resultado obtenido.

Sala de estudio EII

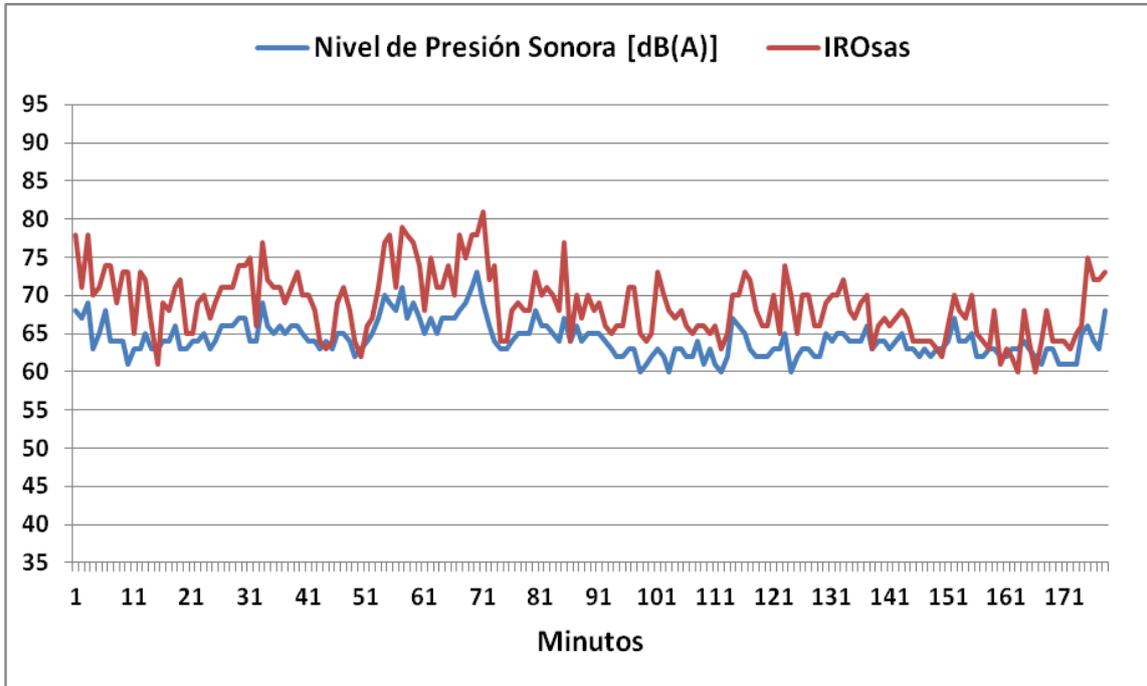


En este ambiente podemos observar que los valores de NPS oscilan entre 45 dB(A) y 52 dB(A). Son valores típicos de una sala de estudio. El tiempo de medición fue 180 minutos aproximadamente.

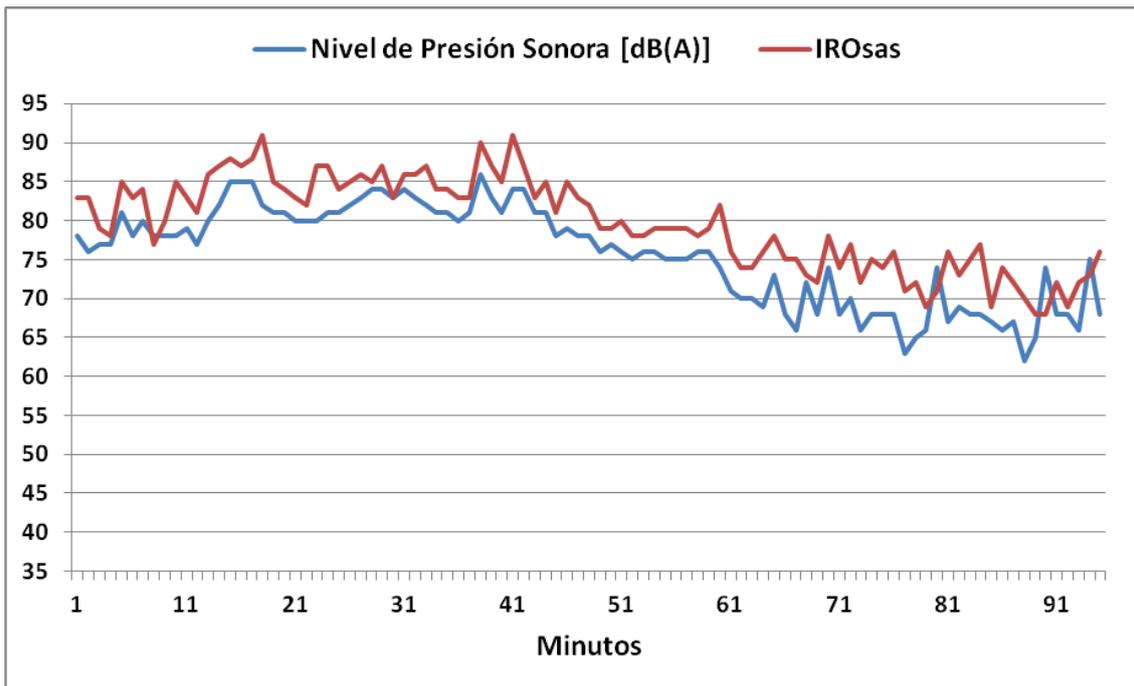
Existen números picos debido a la posición del equipo, el cual estuvo situado cerca de la salida, por lo que esos picos son debidos a trasiego de estudiantes abriendo y cerrando la puerta y del ruido exterior.

4.2.3 COMEDORES-RESTAURANTES

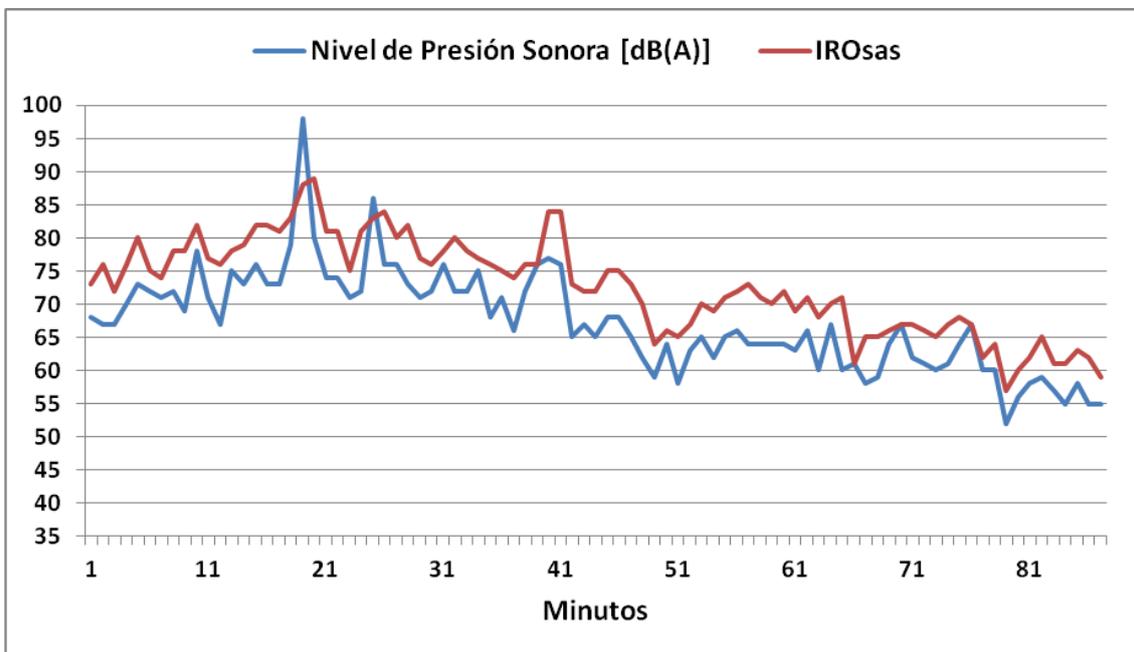
Restaurante El Cardiel



Comedor Santa Cruz Femenino



Comedor Santa Cruz Masculino

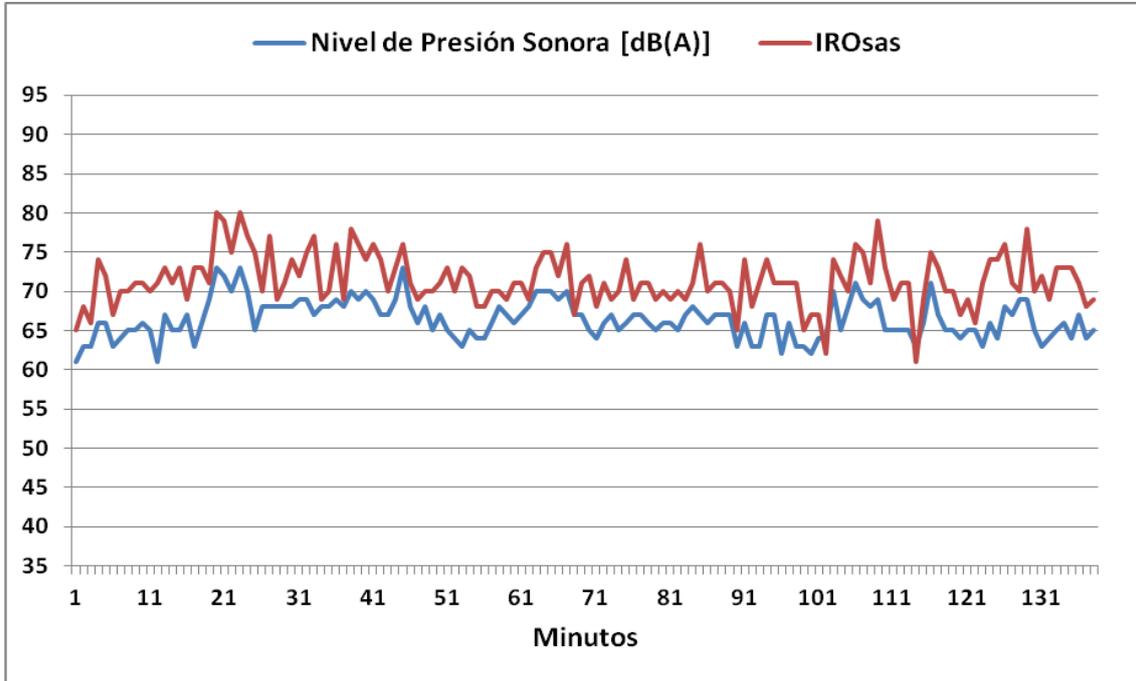


En los comedores se observa la principal característica, que son los usuarios que acuden a dichos comedores. En los de Santa Cruz las gráficas son prácticamente iguales, con un NPS medio muy elevado de 79 dB(A). Son usuarios jóvenes los cuales hablan demasiado alto, incluso chillando en algunos momentos como se puede ver en las gráficas, con picos entre 85-100 dB(A). Esos momentos de gritos no se consideraron para el estudio posterior.

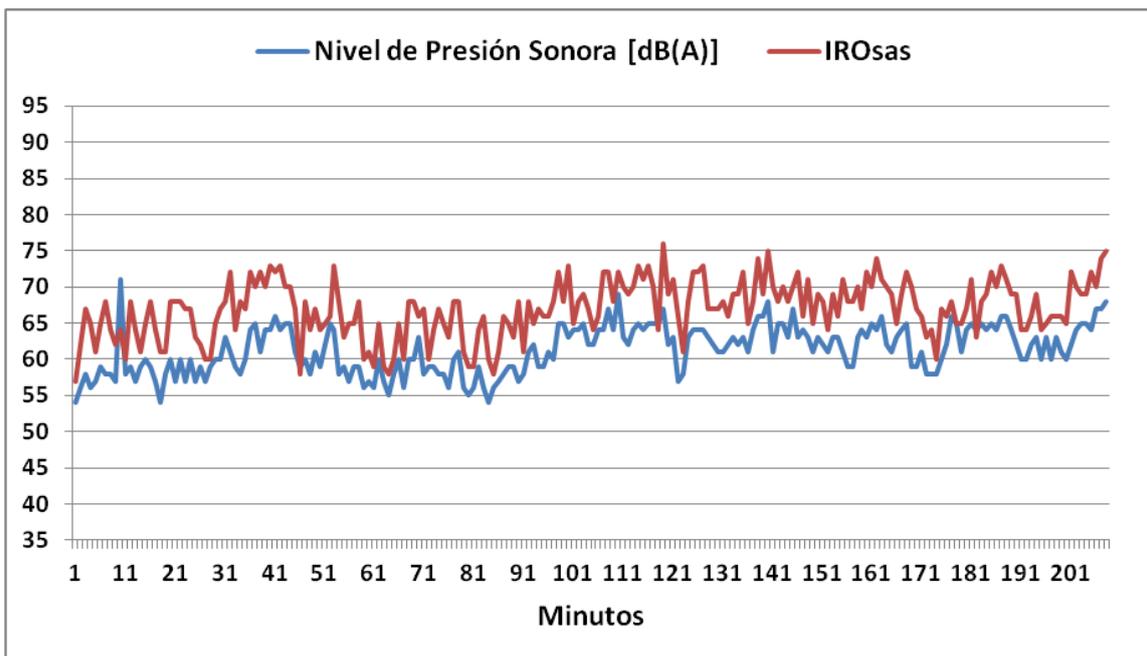
En el Restaurante El Cardiel se observan variaciones debido al número de usuarios en cada momento. La media de NPS está dentro de lo normal, siendo 65 dB(A).

4.2.4 SALAS DE ESPERA

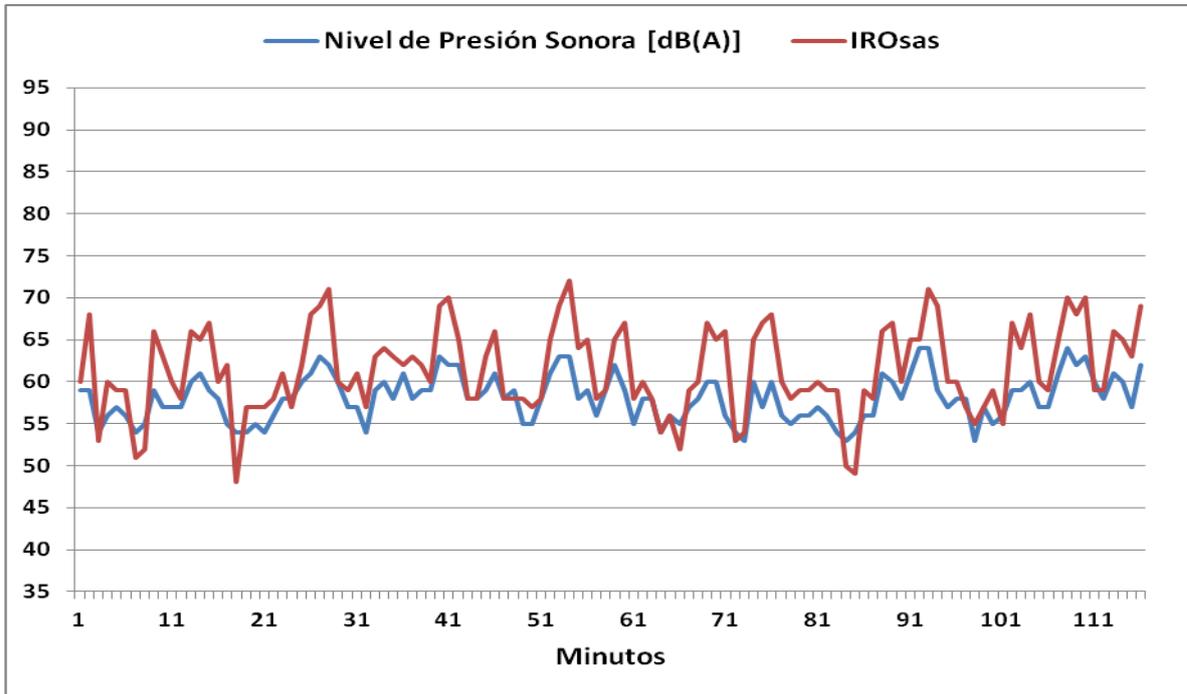
Centro de Salud Laguna de Duero



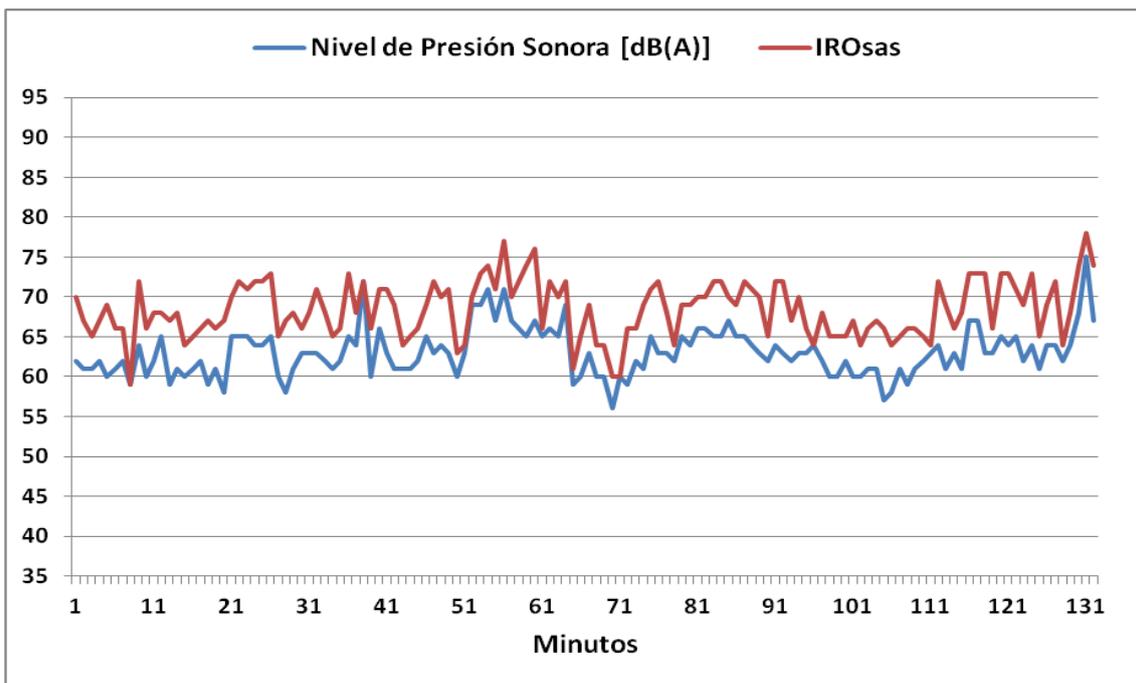
Clínica García Morato



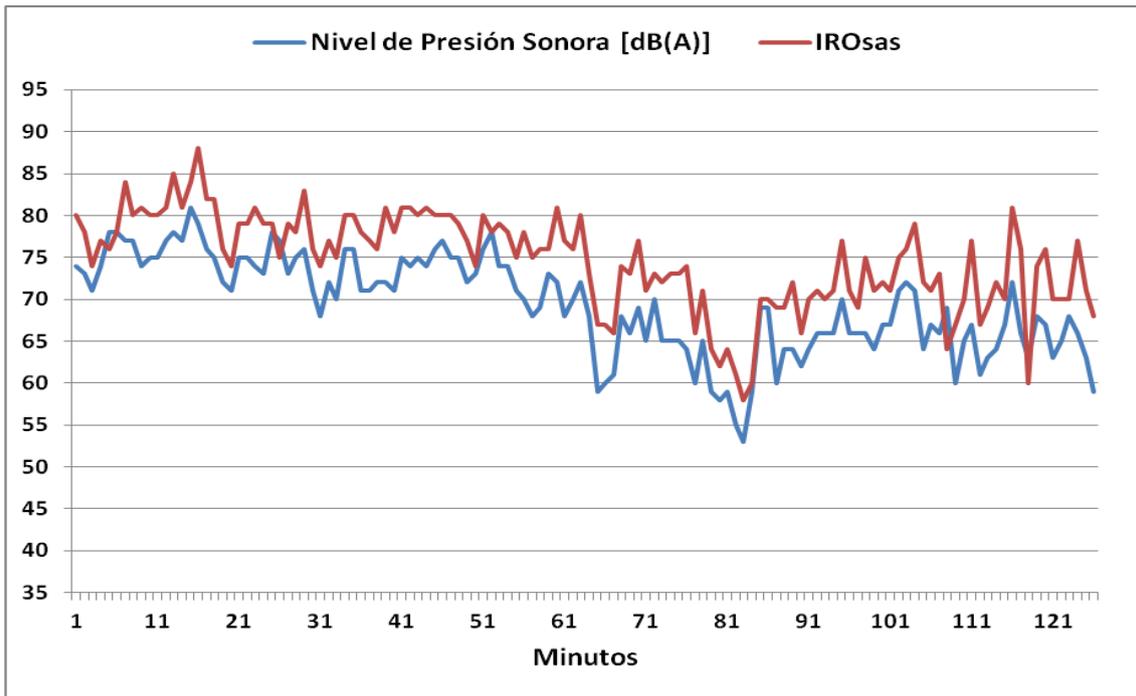
Sala de consultas HURH



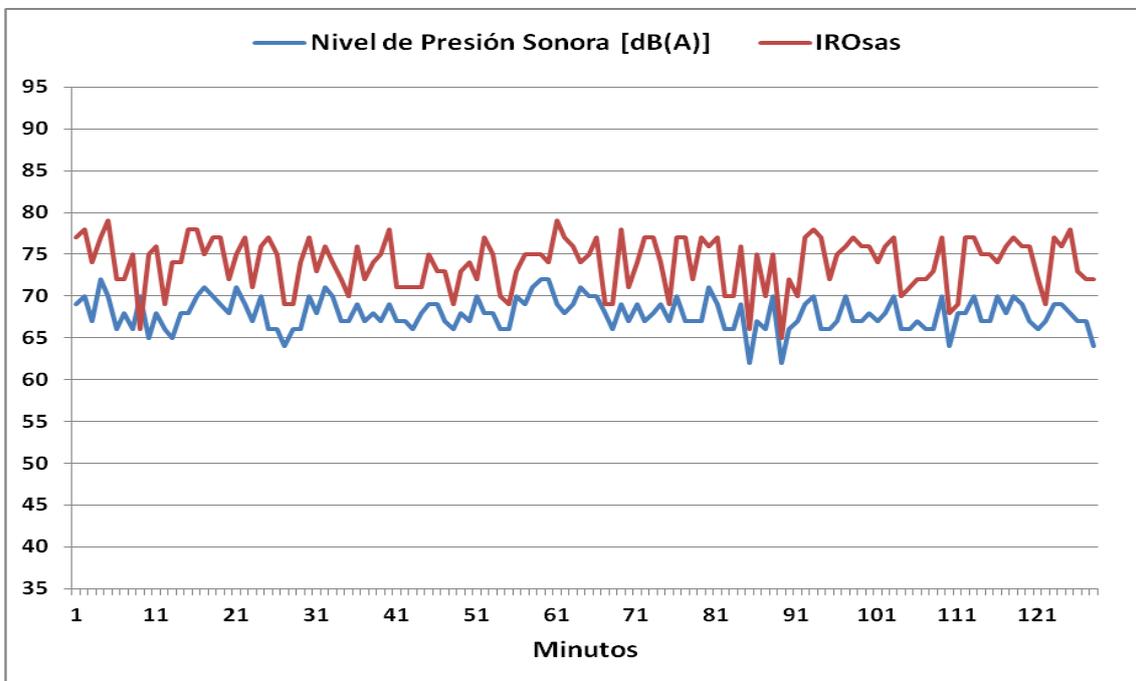
Sala de extracciones HURH



Sala de quirófanos HURH



Sala de urgencias HURH



Se pueden observar unos valores elevados de NPS e IRO_{SAS} a pesar de encontrarnos en un ambiente en el que deberían ser inferiores. El valor medio de NPS

es de 62 dB(A) en Clínica García Morato frente a los 67 del Centro de Salud de Laguna. Estos valores son elevados por el gran trasiego de personas en el Centro de Salud Laguna y en el caso de la Clínica García Morato es como consecuencia del ruido exterior, que es muy elevado.

4.3 ESTUDIO DE CAMPO

Para el estudio de campo se realizó una breve encuesta de tres preguntas a las personas presentes en los todos los ambientes en los que hemos realizado mediciones. La encuesta se hizo mientras el equipo SAS-2000 recogía las medidas.

En total se realizaron **586 encuestas** en los ambientes donde fue posible durante los **2.929 minutos**, casi **49 horas**, que se estuvieron tomando datos con el SAS-2000.

4.3.1 PRIMERA PREGUNTA DE LA ENCUESTA (NPS)

1.- Según su opinión personal, el nivel sonoro en este recinto es:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy malo			Normal				Muy bueno		

En esta primera pregunta se hará referencia al Nivel de Presión Sonora percibido por la persona encuestada en ese momento, calificando el NPS en una escala del 1 al 10. En el posterior análisis, para calificar la respuesta de una manera más sencilla, los números se identificaron de la siguiente manera:

1-2 Muy bajo.

3-4 Bajo.

5-6 Medio.

7-8 Alto.

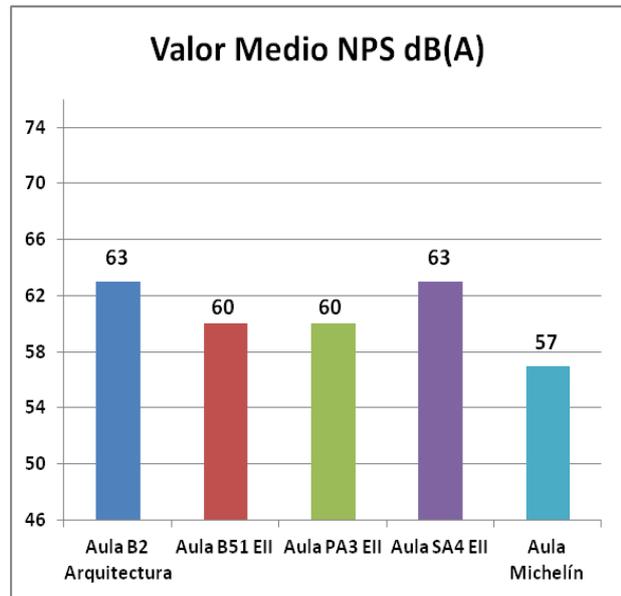
9-10 Muy alto.

A continuación desglosaremos los resultados obtenidos por ambientes estudiados.

4.3.1.1 Aulas

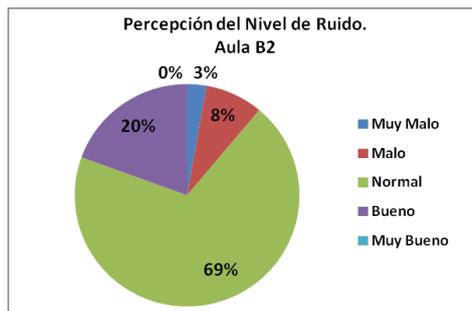
En las cuatro aulas se observan valores muy similares, ajustándose a los valores normales de una conversación que está entorno a los 60 dB(A).

En todas las aulas el equipo fue colocado en la parte delantera del aula, y teniendo en cuenta que las aulas PA3 EII y SA4 EII son iguales, la diferencia de esos 3 dB(A) es debida al tono empleado por la profesora que impartió

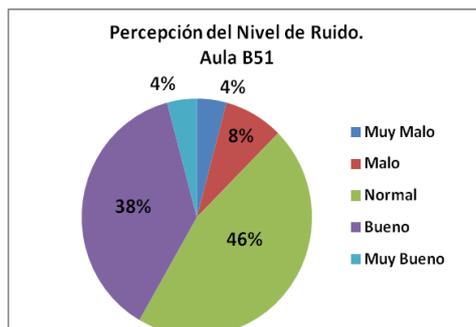


la clase. En el Aula Michelin los valores de NPS son más bajos respecto a las demás aulas. Cabe destacar que la clase la impartió la misma profesora que en el Aula PA3 EII, usando el mismo tono de voz y el equipo SAS colocado a la misma distancia, obteniendo 3 dB(A) menos del valor medio NPS. Esta diferencia se debe a que el Aula Michelin está muy bien acondicionada acústicamente.

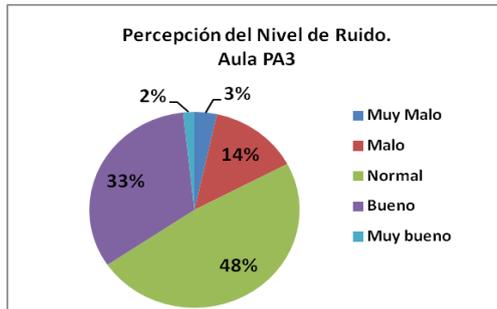
Centrándonos un poco más en el estudio de aula por aula, los resultados son los siguientes:



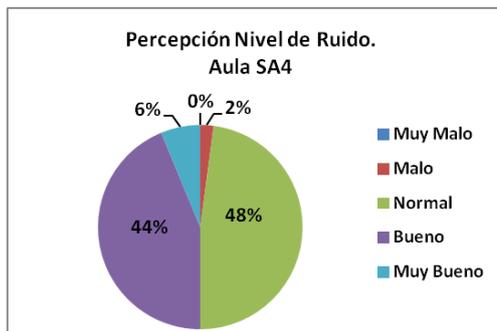
Muy Malo	2,78 %
Malo	8,33 %
Normal	69,44 %
Bueno	19,44 %
Muy Bueno	0,00 %



Muy Malo	4,17 %
Malo	8,33 %
Normal	45,83 %
Bueno	37,50 %
Muy Bueno	4,17 %



Porcentaje NPS percibido Aula PA3	
Muy Malo	3,45 %
Malo	13,79 %
Normal	48,28 %
Bueno	32,76 %
Muy Bueno	1,72 %



Porcentaje NPS percibido Aula SA4	
Muy Malo	0,00 %
Malo	2,08 %
Normal	47,92 %
Bueno	43,75 %
Muy Bueno	6,25 %

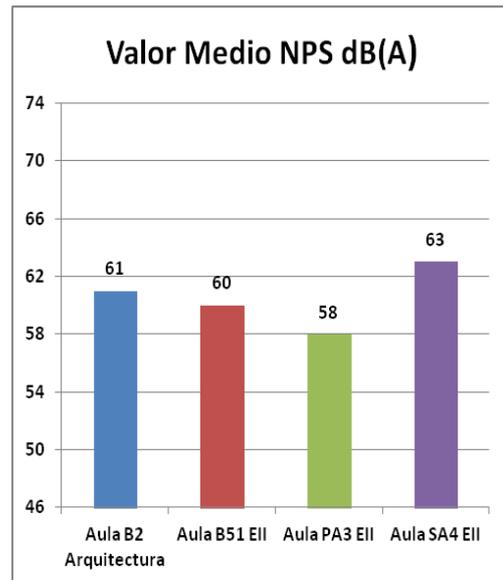
En el aula B2 Arquitectura el resultado de las encuestas nos indica que para el 69,44% de las personas el nivel de ruido del aula es normal.

En el aula B51 EII el resultado de las encuestas nos indica que para el 45,83% de las personas el nivel de ruido del aula es normal y para el 37,50% es alto. Por lo que en el aula B51 EII el nivel de ruido tiende a ser medio-alto.

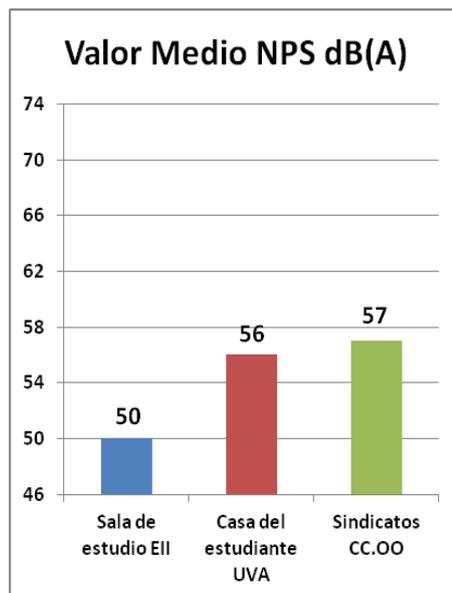
En el aula PA3 EII el resultado de las encuestas indica que la percepción de ruido está más repartida entre un nivel de ruido malo-normal-bueno. Tendiendo a ser un nivel de ruido medio para el 48,28% de las personas.

En el aula SA4 EII el nivel de ruido tiende a ser normal-bueno para las personas encuestadas, siendo para un 47,92% normal y para un 43,75% alto, prácticamente la totalidad de los encuestados.

En la segunda medición de las aulas, como se observa en la gráfica siguiente, los resultados son prácticamente los mismos excepto en el aula PA3 EII en la que el NPS bajó de 60 dB(A) a 58 dB(A). Este descenso es consecuente del tono empleado por la profesora que impartió la clase. En el Aula Michelin no se pudo hacer una segunda medición.

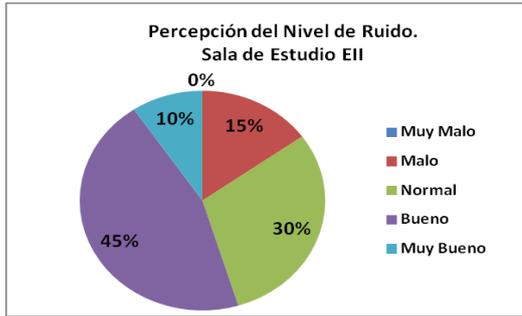


4.3.1.2 Oficinas y Sala de Estudio



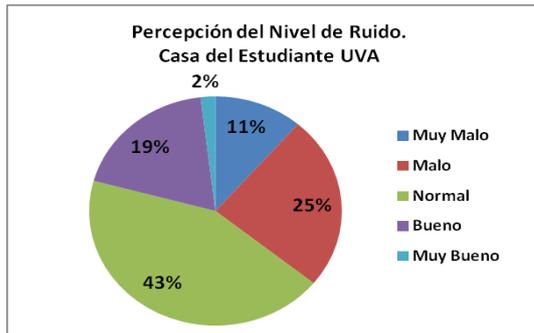
En estos dos ambientes unificados, se puede ver que las oficinas muestran un valor medio de NPS casi idéntico, 56 dB(A) para la oficina de la casa del estudiante y 57 dB(A) para la oficina de CC.OO. Valores adecuados para la actividad que se desarrolla.

En la sala de estudio EII, como parece lógico, el valor medio de NPS es significativamente más bajo que en las oficinas, 50 dB(A), dado que se desarrolla una actividad diferente en la que se espera un nivel bajo.



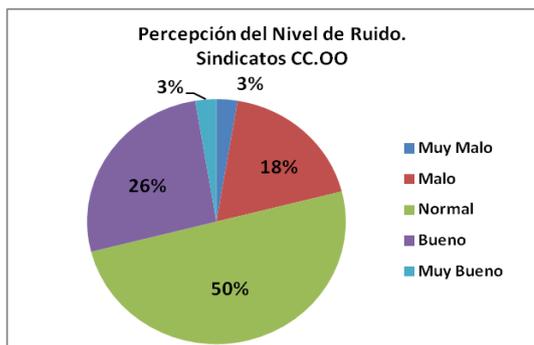
Porcentaje NPS percibido Sala de Estudio EII

Muy Malo	0,00 %
Malo	15,09 %
Normal	30,19 %
Bueno	45,28 %
Muy Bueno	9,43 %



Porcentaje NPS percibido Casa del Estudiante UVA

Muy Malo	11,32 %
Malo	24,53 %
Normal	43,40 %
Bueno	18,87 %
Muy Bueno	1,89 %



Porcentaje NPS percibido Sindicato CC.OO

Muy Malo	2,63 %
Malo	18,42 %
Normal	50,00 %
Bueno	26,32 %
Muy Bueno	2,63 %

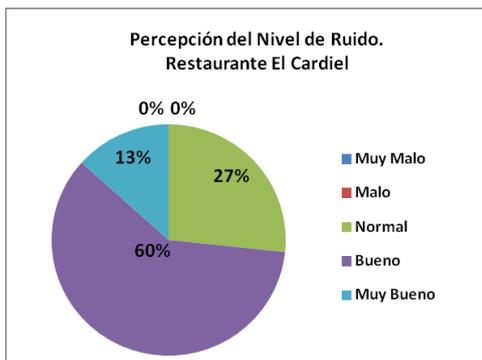
Para las personas encuestadas en la Sala de Estudio EII, el nivel de ruido es considerado normal-bueno por un 75,47% de ellos.

En la oficina de la Casa del Estudiante de la UVA los resultados son más dispersos. Para un 35,85% el nivel de ruido de la oficina es considerado muy malo-malo, y para el 62,27% es considerado medio-bueno. Por lo que tiende a un nivel de ruido medio.

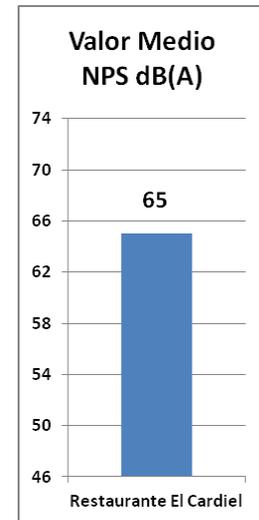
En la oficina de Sindicatos de CC.OO, el nivel de ruido según los encuestados tiende a un nivel medio, al igual que en la oficina de la casa del estudiante de la UVA. Parece lógico este resultado ya que los valores medios de NPS son prácticamente los mismos en ambos casos.

4.3.1.3 Comedores-Restaurantes

En la primera parte del proyecto, en este ambiente, sólo se realizó una medición en una sala, obteniendo un nivel medio NPS de 65 dB(A), estando dentro de los valores normales para las características de dicho ambiente.



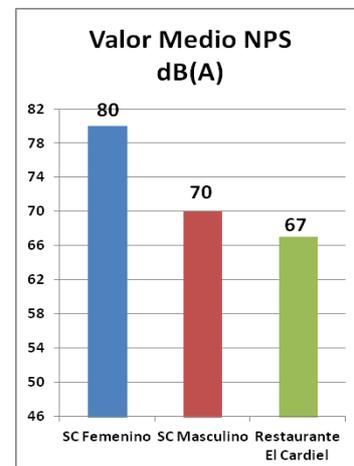
Porcentaje NPS percibido Restaurante El Cardiel	
Muy Malo	0,00 %
Malo	0,00 %
Normal	26,67 %
Bueno	60,00 %
Muy Bueno	13,33 %

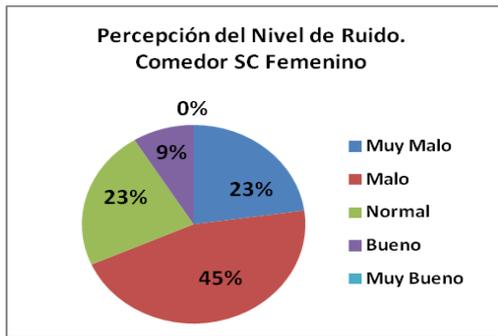


Las personas encuestadas en el Restaurante El Cardiel calificaron el nivel de ruido como bueno, con un 60%. Ninguna calificó el nivel como muy malo o malo.

En la segunda parte, se amplió el estudio con dos salas más.

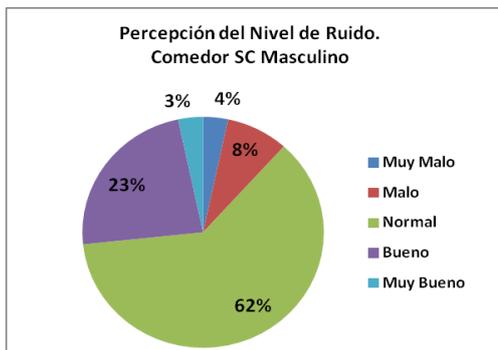
Como se puede observar en los resultados, el nivel medio NPS aumentó dos unidades en el Restaurante El Cardiel, pasando a un valor de 67 dB(A). Lo que llama la atención son los valores de los comedores universitarios de Santa Cruz. Tanto en el comedor masculino como en el femenino existen unos valores muy altos, 79 dB(A) de nivel medio NPS. Estos valores son como consecuencia del alboroto provocado por los estudiantes.





Porcentaje NPS percibido SC Femenino

Muy Malo	22,78%
Malo	45,57%
Normal	22,78%
Bueno	8,86%
Muy Bueno	0,00%



Porcentaje NPS percibido SC Masculino

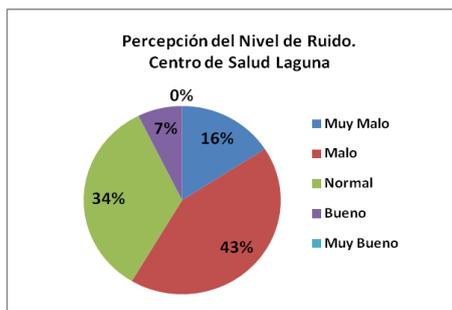
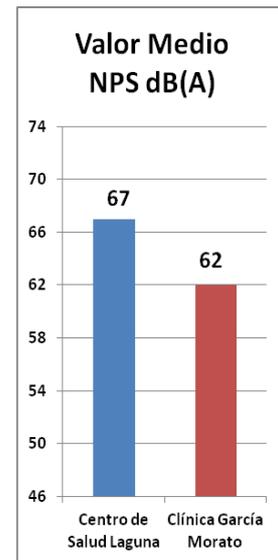
Muy Malo	3,33 %
Malo	8,33 %
Normal	61,67 %
Bueno	23,33 %
Muy Bueno	3,33 %

En el comedor SC Femenino las encuestas realizadas concuerdan con el valor medio de NPS obtenido. Un 45,57% lo calificaron como malo, habiendo tan solo uno 8,86% que lo calificaron como bueno.

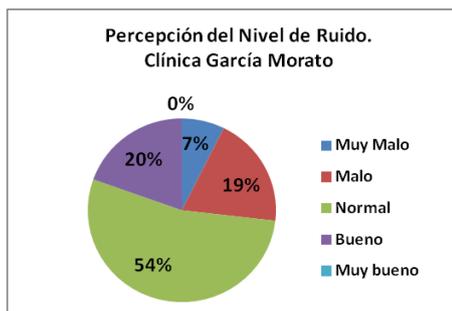
En el comedor SC Masculino un 61,67% de las personas calificaron el ambiente como normal. Un 11,66% lo calificó como muy malo-malo y un 26,66% como bueno o muy bueno. Se aprecia el cambio respecto al comedor femenino con la bajada de 10 unidades del valor medio de NPS, en la que los residentes de dicho comedor no provocaron tal albotoro con respecto al comedor femenino.

4.3.1.4 Salas de Espera

Primeramente, para este ambiente, se midió en el Centro de Salud de Laguna de Duero, obteniendo un alto nivel medio de NPS, 67 dB(A). Posteriormente se hizo una segunda medida obteniendo el mismo resultado de 67 dB(A), y además, se midió en la Clínica de García Morato, obteniendo unos valores de NPS más bajos, 62 dB(A).



Porcentaje NPS percibido Centro de Salud Laguna	
Muy Malo	15,85 %
Malo	42,68 %
Normal	34,15 %
Bueno	7,32 %
Muy Bueno	0,00 %



Porcentaje NPS percibido Clínica García Morato	
Muy Malo	7,32 %
Malo	19,51 %
Normal	53,66 %
Bueno	19,51 %
Muy Bueno	0,00 %

Más de la mitad de los encuestados en el Centro de Salud de Laguna, un 58,53%, calificó este ambiente como muy malo o malo. Solo el 7,32% calificó el ambiente como bueno. El porcentaje restante de encuestados lo calificaron como un ambiente normal.

En la Clínica García Morato nos encontramos con que la mitad de los encuestados, un 53,66%, calificaron el ambiente como normal. El resto se divide entre muy malo-malo o bueno.

Posteriormente se amplió el estudio en cuatro salas de espera más, además de las ya citadas de Laguna de Duero y Clínica García Morato. En las cuatro salas en las que ampliamos el estudio no se pudieron realizar encuestas.

4.3.2 SEGUNDA PREGUNTA DE LA ENCUESTA (NIVEL CONVERSACIONAL)

2.- Según su opinión personal, ¿en qué medida puede mantener una conversación adecuada en este recinto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy mala				Normal			Muy buena		

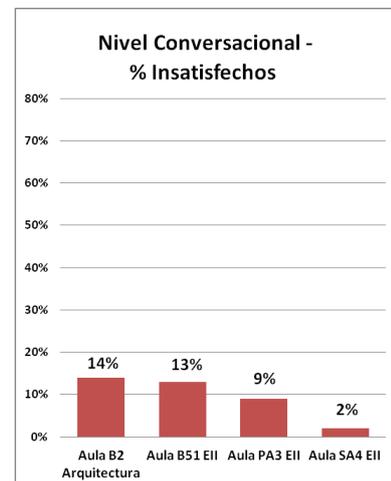
En la segunda pregunta se hará referencia a la satisfacción o insatisfacción de las personas a la hora de entablar una conversación en el ambiente en el que se hizo el estudio. La pregunta se calificó del 1 (Muy mala) al 10 (Muy buena). Los valores se identificaron de la siguiente manera:

- 1-4 Insatisfechos
- 5-10 Satisfechos

A continuación desglosaremos los resultados obtenidos por ambientes estudiados.

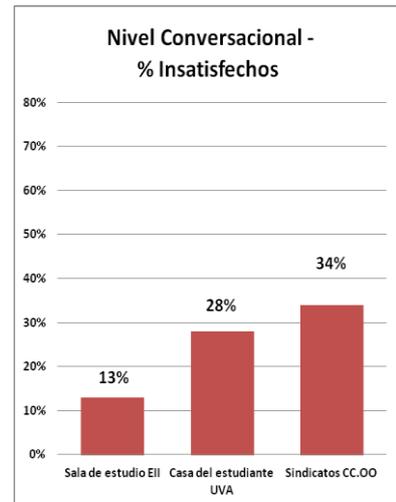
4.3.2.1 Aulas

En las aulas encontramos unos valores bajos de insatisfechos, aunque en aulas no deberían de ser muy altos estos porcentajes porque no se debería hablar entre compañeros mientras se está impartiendo la clase.



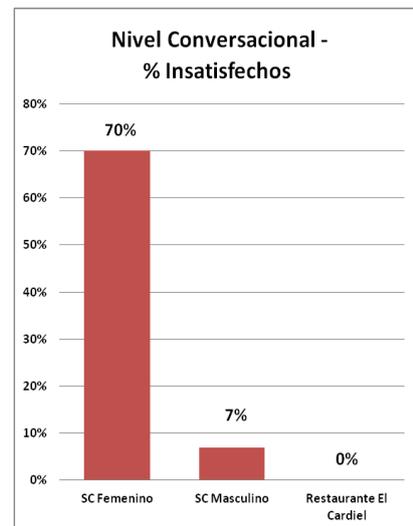
4.3.2.2 Oficinas y Sala de Estudio

En las oficinas hay un número importante de insatisfechos, posiblemente por la cercanía de los puestos de trabajo, interfiriendo unas conversaciones con otras.



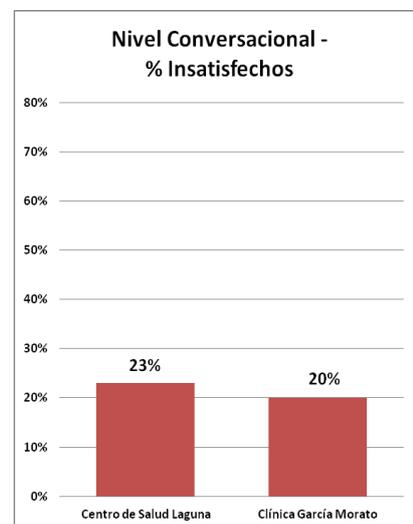
4.3.2.3 Comedores-Restaurantes

En el comedor femenino de Santa Cruz se observa un 70% de insatisfechos, un resultado muy alto en comparación con el 7% del comedor masculino y el 0% del restaurante. Pero no llama la atención este resultado porque en el comedor femenino la gran mayoría hablaba gritando.



4.3.2.4 Salas de Espera

En las salas de espera obtenemos unos valores muy similares, siendo un 3% más elevado en el Centro de Salud de Laguna como consecuencia del mayor NPS.



4.3.3 TERCERA PREGUNTA DE LA ENCUESTA (CONFORT ACÚSTICO)

3.- Según su opinión personal, ¿se encuentra usted cómodo en este ambiente respecto al nivel de ruido?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy mal		Normal				Muy bien			

Gracias a la tercera pregunta de la encuesta, pretendemos evaluar el confort acústico que percibe cada persona en el momento en el que se realizan las mediciones.

Los resultados son subjetivos y nos ayudarán a calificar de una manera aproximada el ambiente como confortable, ruidoso o muy ruidoso.

La pregunta se evaluó del 1 (Muy mal) al 10 (Muy bien). Los valores se identificaron de la siguiente manera:

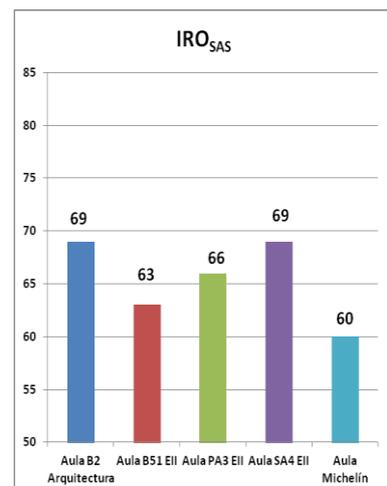
1-4 Insatisfechos

5-10 Satisfechos

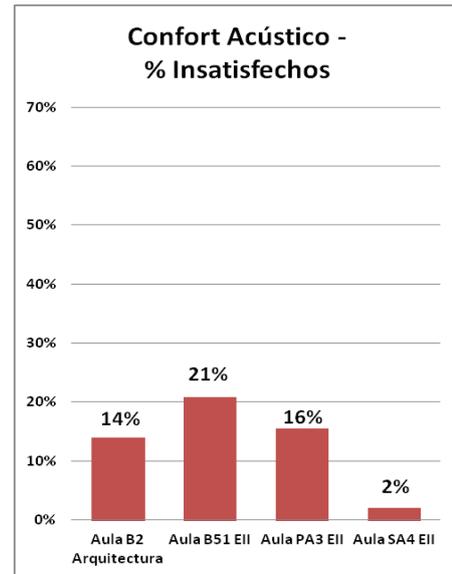
A continuación desglosaremos los resultados obtenidos por ambientes estudiados.

4.3.3.1 Aulas

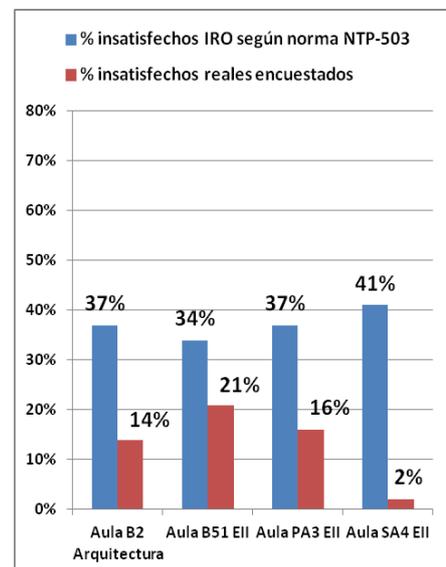
En esta gráfica representamos los valores de IRO_{SAS} medidos mediante la curva NR-40, explicada anteriormente en el apartado *Cálculo del IRO_{SAS}* . En la gráfica podemos observar valores similares, con alguna pequeña diferencia entre ellas debido al tono que se empleó al impartir la clase o una mayor penalización del SAS. Destacando el Aula Michelin con un valor más bajo, gracias a su buena acústica.



A continuación vemos el porcentaje de insatisfechos reales encuestados en cada aula referente al confort acústico. Se observa que el porcentaje de insatisfechos no es muy elevado y además en todas las aulas tenemos un valor similar de insatisfechos, exceptuando en el aula SA4 EII que nos encontramos con un 2% de insatisfechos.

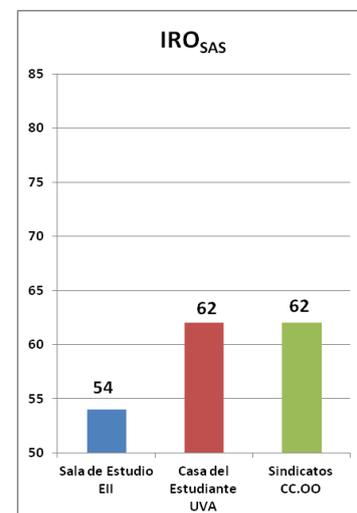


Con la comparación del porcentaje de insatisfechos calculados a partir de la norma NTP-503, con el porcentaje de insatisfechos reales encuestados, se observa que hay una gran diferencia entre los dos porcentajes. Por lo que la recta del IRO, según la norma NTP-503, no es un modo que represente bien los insatisfechos reales encuestados en las aulas.

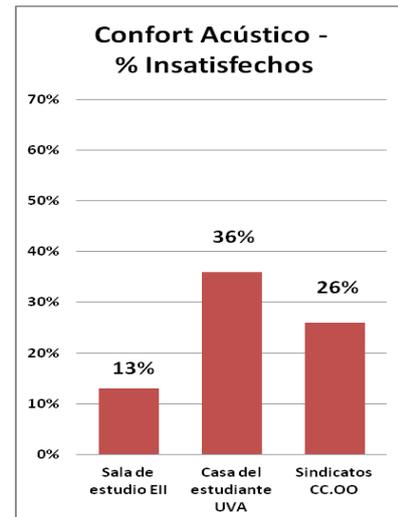


4.3.3.2 Oficinas y Salas De Estudio

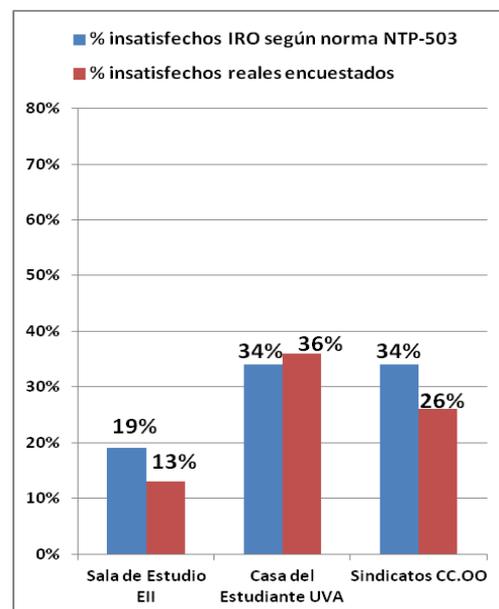
En esta gráfica representamos los valores de IRO_{SAS} medidos mediante la curva NR-40. Se observa que en la sala de estudio EII el valor del IRO_{SAS} es inferior al de las oficinas debido a que no se genera tanto ruido como en ellas.



Aquí observamos el porcentaje de insatisfechos reales encuestados referente al confort acústico. Observamos que en la oficina de Sindicatos CC.OO hay un número menor de insatisfechos que en la oficina de la casa del estudiante UVA. En el caso de la sala de estudio observamos un menor número de insatisfechos.

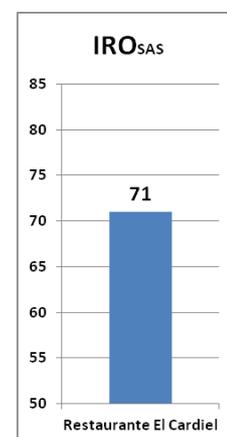


Como era de esperar, en las oficinas y en la sala de estudio el porcentaje de insatisfechos reales encuestados se aproxima bastante al porcentaje que predetermina la norma NTP-503, por lo que el equipo trabaja adecuadamente en estos dos tipos de ambientes.

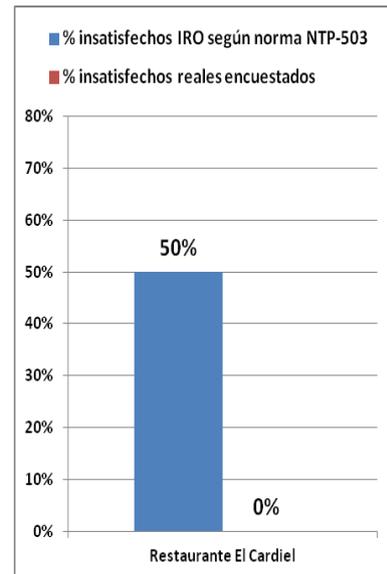


4.3.3.3 Comedores-Restaurantes

En esta primera medición no podemos comparar el nivel de IRO_{SAS} con más comedores, por lo tanto no podemos llegar a ninguna conclusión del valor del IRO_{SAS} . Esta medición fue realizada con la curva NR-40

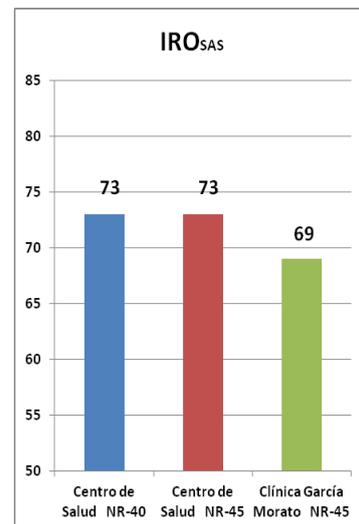


Como se puede observar, el porcentaje de insatisfechos, según la norma NTP-503, es muy superior al porcentaje de insatisfechos reales encuestados (0%). Los datos de la norma no son aceptables en este tipo de ambiente, por lo que ampliaremos posteriormente el estudio en este ambiente con dos comedores nuevos.

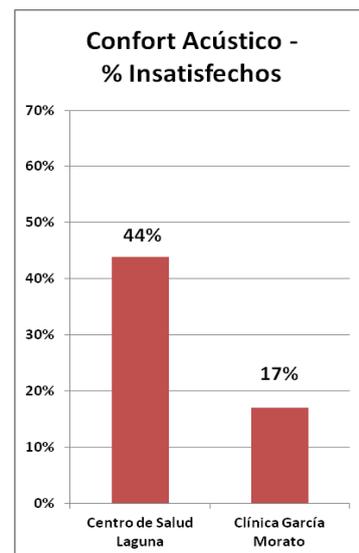


4.3.3.4 Salas de Espera

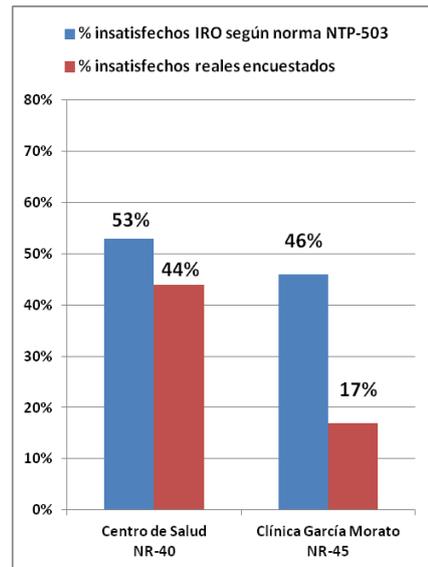
En primer lugar, realizamos una toma de medidas en el centro de salud de Laguna con la curva NR-40. Tras los resultados obtenidos con el equipo SAS-2000 y el porcentaje de insatisfechos reales encuestados, observamos que la curva NR-40 no se ajustaba a la realidad. Posteriormente ampliamos el estudio en la sala de espera de la clínica García Morato y repetimos en el centro de salud ya con una curva superior, en este caso fue la curva NR-45.



En la gráfica de insatisfechos reales encuestados referente al confort acústico observamos una diferencia considerable, en la que en el centro de salud la gente estaba más disconforme con respecto a la clínica.



Comparando los insatisfechos que marca la norma NTP-503 según el IRO y los insatisfechos reales encuestados podemos ver que en el caso de la clínica de García Morato la percepción de las personas no concuerda con lo que marca la normal. En el caso del centro de salud se asemejan más los insatisfechos.



5. PROPUESTA

El objetivo de este proyecto es estudiar cómo es percibido el confort acústico en diferentes ambientes, teniendo en cuenta todos los factores que caracterizan a los diferentes ambientes estudiados, y así poder llegar a una conclusión para poder aplicar los resultados obtenidos a una futura implementación en el equipo usado para la realización de este proyecto, SAS-2000.

Lo primero observado es que el equipo basado en el IRO_{SAS} , trabaja adecuadamente en ambientes similares a los de una oficina. Este ambiente se caracteriza por un nivel de concentración alta y ruido de fondo medio y constante. Los ambientes en los que se podría usar el mismo índice son salas de estudio, bibliotecas...

En el resto de los ambientes estudiados se comprueba que al ser ambientes diferentes, existen diferencias entre los valores obtenidos. Un ejemplo claro es el ambiente de las aulas, que como hemos explicado anteriormente, la diferencia existente entre el porcentaje de insatisfechos según el valor del IRO_{SAS} que marca la norma NTP-503 y el porcentaje de insatisfechos reales encuestados es muy grande. En el resto de ambientes existen también diferencias, por lo que el índice IRO_{SAS} no trabaja adecuadamente en ambientes diferentes a los de una oficina o similares.

Estas diferencias son consecuencia de que el confort acústico se percibe de forma diferente en cada ambiente. En oficinas se requiere una mayor concentración que en los comedores o salas de espera, por ejemplo.

También hay que tener en cuenta que la valoración del confort es algo muy subjetivo, diferente en cada persona, por lo que para la propuesta se han realizado los siguientes pasos:

En primer lugar se realizó una propuesta a la empresa que fabrica el equipo SAS-2000. Dicha propuesta consistía en:

- **Cambiar los percentiles L_{10} y L_{90} en cada ambiente.**
- **Cambiar las constantes de la fórmula del IRO.**
- **Tener en cuenta el T_R para el cálculo del IRO_{SAS} .**

- **Penalizar las componentes tonales con un valor diferente** en cada ambiente, siendo mayor la penalización en un ambiente que requiera mayor concentración.
- **Penalizar con otro valor distinto la diferencia entre la curva NR real y la curva NR recomendada (NR-40)**

Tras varias reuniones con la empresa estos cambios no se pudieron llevar a cabo. Los motivos por los cuales no se aceptaron son los siguientes:

- Cambiar los percentiles L_{10} y L_{90} para calcular otros es una **implementación difícil** en el equipo. Lo que llevaría a una reprogramación compleja.
- Tener en cuenta el T_R es muy complicado, ya que **el equipo no mide el T_R** y habría que realizar ese cálculo previamente a la instalación del equipo.
- Se necesitaría un **estudio de campo muy amplio**, similar al realizado en la norma NTP-503 para cambiar las constantes de la fórmula del IRO.

Después de no poder llevar a cabo la primera propuesta, se realizó una nueva propuesta que consistía en **asignar una curva NR recomendada diferente para cada ambiente**. Esta propuesta **se aceptó** tras una nueva reunión, y es la que se llevó a cabo. Dicha propuesta consiste en:

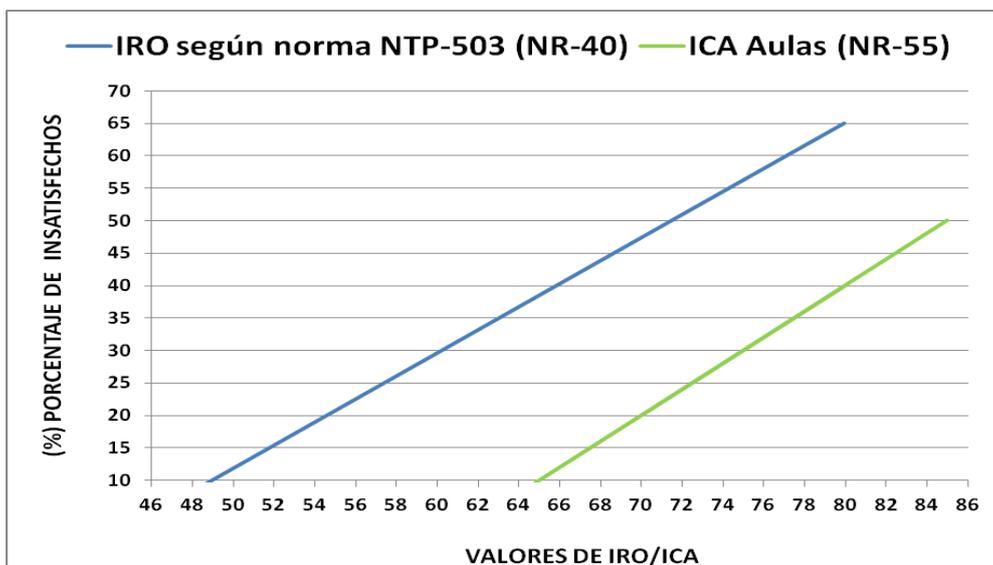
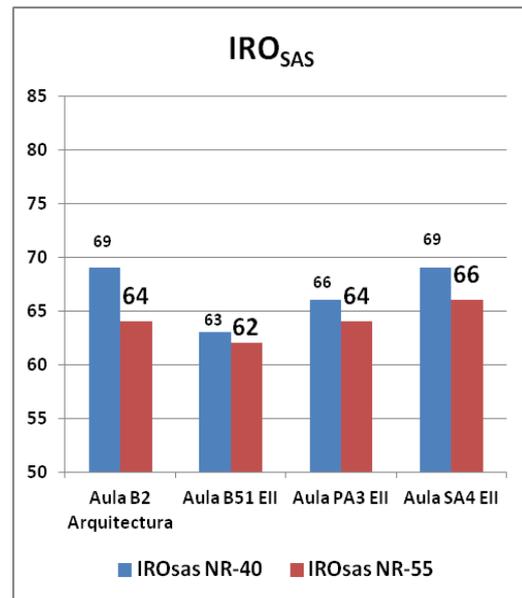
- Observando todos los datos obtenidos de las medidas tomadas con el SAS y de las encuestas, se llegó a la conclusión de que cada ambiente se adaptaba mejor a una curva NR diferente de la implementada, ya que con la curva NR-40 los resultados no eran adecuados, por lo que tras analizar todos los datos, se asignó a cada ambiente una curva NR nueva. Esto dio lugar a una nueva recta que correlaciona el porcentaje de insatisfechos reales frente al valor del IRO_{SAS} .

Para los ambientes de Oficinas y Salas de Estudio la curva NR no se cambia ya que trabaja adecuadamente, como se explicó anteriormente.

5.1 AULAS

En el ambiente aulas sí que se llevó a cabo una modificación de la curva NR. En la segunda medición se usó la curva NR-55. La pendiente de la recta se modificó levemente, siendo mayor, ya que la curva NR-55 ronda unos valores altos de NPS. Los resultados obtenidos y la nueva gráfica relacionando el porcentaje de insatisfechos con el IRO_{SAS} son los que podemos ver a continuación.

Los niveles de IRO_{SAS} disminuyeron porque el equipo SAS-2000 penalizó menos la diferencia entre las curvas real y recomendada (NR-55), debido a que el SAS, en sus cálculos internos, tiene en cuenta esta diferencia a la hora de penalizar como ya se explicó en el apartado *Cálculo del IRO_{SAS}* .



La principal diferencia entre la recta del IRO según la norma NTP -503 y la recta del nuevo **Índice de Confort Acústico (ICA)** Aulas propuesta, es que el nuevo índice ICA Aulas admite valores de IRO iniciales más altos para el mismo nivel de insatisfechos, ya que la curva NR-55 a la que se adapta el ambiente de aulas, cambia a partir de unos

valores más altos, de ahí que la curva se vea desplazada hacia la derecha. La pendiente se modificó levemente, modificando el rango de valores entre un ambiente ruidoso y muy ruidoso. Este rango se redujo a 10 unidades, quedando los rangos definidos de esta manera:

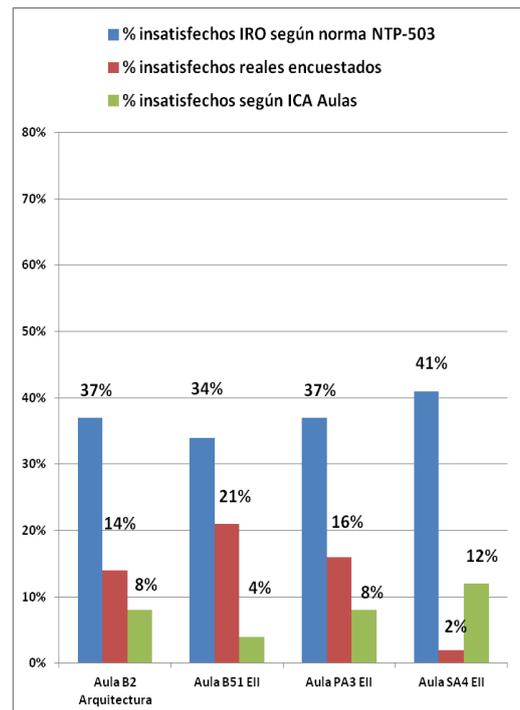
- **[0-70) Ambiente Confortable**
- **[70-80) Ambiente Ruidoso**
- **80 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.**

El rango inicial de valores para la curva NR-55 era:

- [0-70) Ambiente Confortable
- [70-83) Ambiente Ruidoso
- 83 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.

Con la nueva recta ICA Aulas, hemos reducido la gran diferencia que existía entre el porcentaje de insatisfechos según el IRO de la normal NTP-503 con los insatisfechos reales encuestados.

Dada la subjetividad de las encuestas, aunque los nuevos porcentajes de insatisfechos ICA Aulas no coincidan exactamente, dichos porcentajes valoran igual el confort acústico, ya que en torno al 20%, el SAS-2000 calificará el ambiente de la misma manera, ambiente confortable.

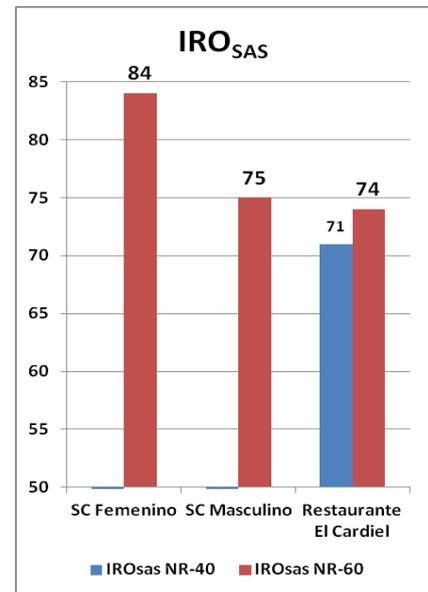


5.2 COMEDORES-RESTAURANTES

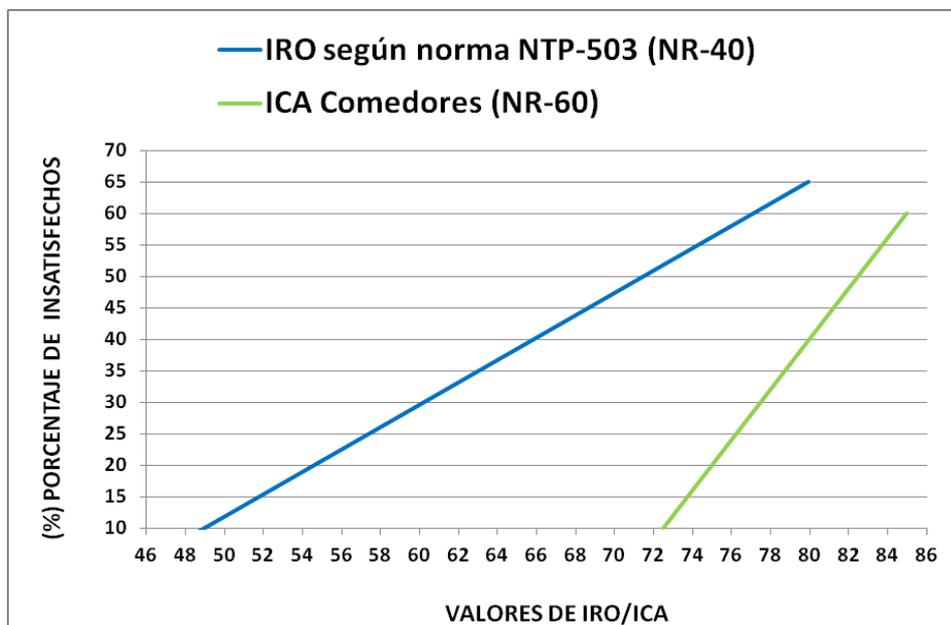
En el ambiente de Comedores se llegó a la conclusión de que el ambiente correspondía a una curva NR-60. Pero además, según el estudio de campo, la pendiente de la recta aumentó considerablemente, siendo lógico, ya que a partir de ciertos niveles de presión sonora son considerados molestos y de ahí el considerable aumento de insatisfechos.

Los resultados obtenidos y la nueva gráfica relacionando el porcentaje de insatisfechos con el IRO_{SAS} son los siguientes:

En la segunda medición se ampliaron los resultados de este ambiente en dos comedores más, además de repetir las medidas en el restaurante de la primera medición, pero con la curva NR-60, que es la que mejor se adapta a este tipo de ambiente. En esta segunda medición se observa un aumento de IRO_{SAS} en el Restaurante El Cardiel, causado por el aumento de personas presentes en la sala y por consiguiente, un aumento de NPS. Llama la atención el elevado nivel de IRO_{SAS} que hay en el comedor femenino de Santa Cruz.



Este aumento fue debido a los numerosos gritos y elevadas voces que se dieron durante la comida. En el resto de comedores los valores se aproximan bastante, siendo unos valores más normales.



La recta para el Índice de Confort Acústico (ICA) Comedores propuesta presenta varias diferencias respecto a la recta del IRO según la norma NTP-503. Esta nueva recta tiene valores iniciales mayores de IRO para el mismo número de insatisfechos. También la pendiente se modificó, siendo una pendiente mayor, por lo que el número de insatisfechos aumentará más rápido y llegará más rápido a un ambiente ruidoso y muy ruidoso, quedando los rangos definidos de la siguiente manera:

- **[0-75) Ambiente Confortable**
- **[75-80) Ambiente Ruidoso**
- **80 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.**

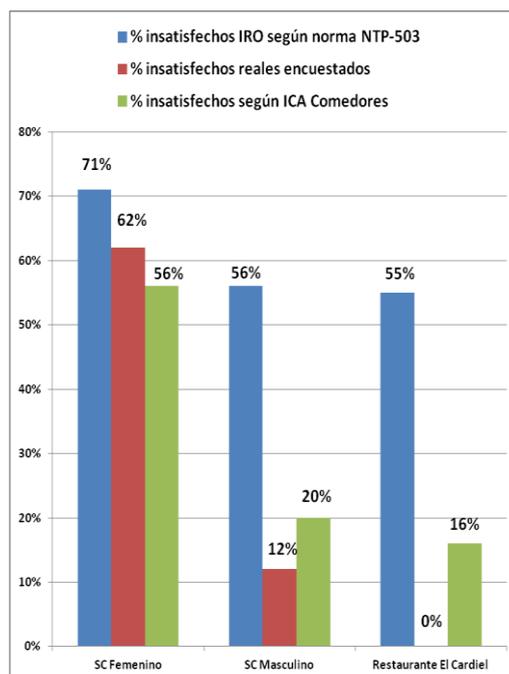
El rango inicial de valores para la curva NR-60 era:

- [0-75) Ambiente Confortable
- [75-88) Ambiente Ruidoso
- 88 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.

Con la nueva recta ICA Comedores, hemos reducido la gran diferencia que existía entre el porcentaje de insatisfechos según el IRO de la normal NTP-503 con los insatisfechos reales encuestados.

En este ambiente, nuestra nueva recta ICA Comedores, se ajusta bastante bien al porcentaje de insatisfechos reales encuestados.

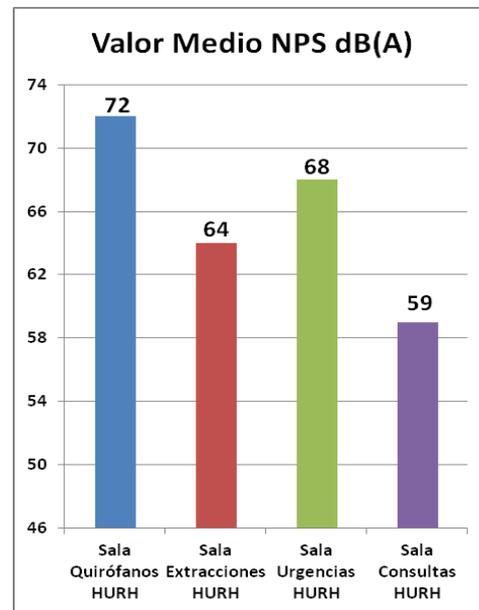
El buen ajuste se debe a que la nueva recta tiene una mayor pendiente, por lo que el número de insatisfechos crece más rápido. El porqué de esta inclinación es debido a que la curva NR recomendada a la que nos hemos ajustado (NR-60), tiene unos valores iniciales de NPS más elevados. Por esta razón, elevamos la pendiente para alcanzar el nivel de Muy Ruidoso del equipo de forma más rápida. El equipo SAS-2000 reducirá el rango entre ambiente ruidoso y muy ruidoso, siendo este de 5 unidades, en contraposición de las 13 unidades que había anteriormente.



5.3 SALAS DE ESPERA

Para las salas de espera, al igual que los ambientes anteriores, se detectó a través de las encuestas y datos obtenidos, que había que modificar la curva NR ya que no se correspondía a la realidad. La curva NR a la que se asemeja este tipo de ambientes es la curva NR-50.

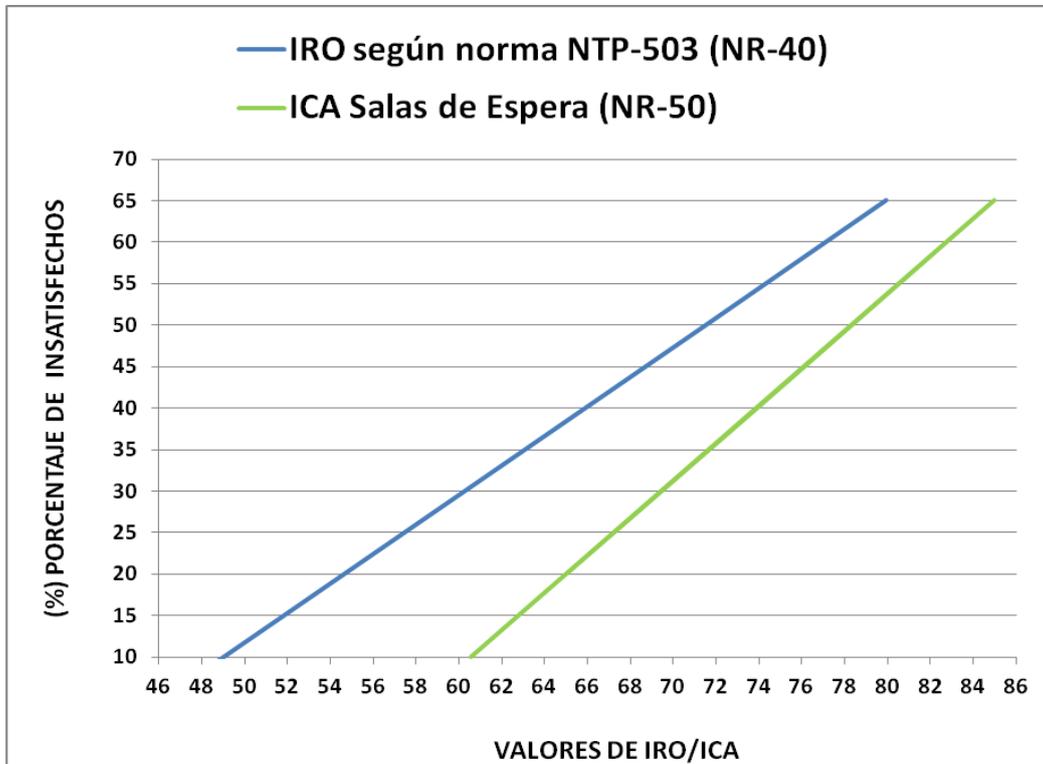
Estos valores son los obtenidos en el Hospital Universitario Río Hortega. Llegamos a la conclusión de que en este ambiente, se adaptaba mejor la curva NR-50, después de haber medido en las dos salas de espera anteriores (Clínica García Morato y Centro de Salud de Laguna), por lo que no tenemos resultados de estas salas de espera con esta curva NR.



Al no poder haber realizado encuestas en las salas de espera del HURH, la que más se asemeja a las dos anteriores, es la sala de consultas, ya que son salas destinadas al mismo uso. En la sala de consultas del HURH podemos observar que el IRO_{SAS} se redujo respecto al IRO_{SAS} de las salas del centro de salud de Laguna ($IRO_{SAS}=73$) y de la clínica García Morato ($IRO_{SAS}=69$). Esta reducción fue consecuencia de que el SAS penalizó menos la diferencia entre la curva NR real y la curva NR recomendada.

En la sala de espera de Quirófanos del Hospital Universitario Río Hortega se registró un alto valor medio de NPS, 72 dB(A). Este resultado es consecuencia de dos máquinas frigoríficas y sobre todo, de las personas presentes en ellas, que respetaban poco el silencio que se debe mantener en una sala de este tipo. En la sala de urgencias del HURH también se registró un alto valor, 68 dB(A), pero a diferencia de la sala de quirófanos, este valor es debido, sobre todo, a las cuatro máquinas frigoríficas y a un ventilador, los cuales no dejaron de funcionar. También la megafonía influyó bastante. Las personas respetaron más el silencio. Con 64 dB(A) de valor medio NPS tenemos la sala de extracciones del HURH, un valor no tan alto como las dos anteriores salas, pero

si que es algo más alto de lo que debería ser. Por último la sala de consultas del HURH con 59 dB(A), un valor más bajo, el cual es más recomendable para este tipo de salas.



En la recta ICA Salas de Espera propuesta hemos aumentado los valores iniciales y además su pendiente se ha modificado levemente aumentándola para que el porcentaje de insatisfechos crezca más rápido. Como se asemeja a una curva NR-50 sus valores son más próximos a los del IRO según la norma NTP-503, comparada con los ambientes anteriores que se adaptan a curvas NR superiores (Aulas – NR 55, Comedores – NR-60). Los rangos quedarán definidos de la siguiente manera:

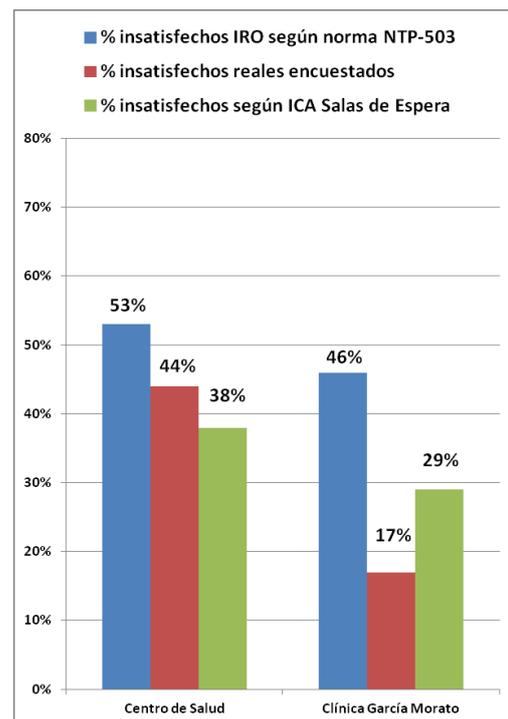
- **[0-75) Ambiente Confortable**
- **[75-80) Ambiente Ruidoso**
- **80 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.**

El rango inicial de valores para la curva NR-50 era:

- [0-65) Ambiente Confortable
- [65-78) Ambiente Ruidoso
- 78 en adelante, Ambiente Muy Ruidoso.

Al igual que en los comedores, la diferencia de rango entre un ambiente ruidoso y muy ruidoso se redujo a 9 unidades. El principal motivo es el uso que se da a estas salas, en las cuales se debe respetar mucho el nivel de ruido, por la cercanía de personas enfermas.

Debido a la subjetividad de las encuestas, en la Clínica García Morato, el porcentaje de insatisfechos obtenidos a través de las encuestas, no coincide exactamente con el resultado de insatisfechos obtenido a través de nuestra nueva recta ICA Salas de Espera. Aunque la enorme diferencia que existía anteriormente ha desaparecido, pasando de una diferencia de un 29% de insatisfechos respecto a los reales encuestados, a un 12% con nuestra nueva recta ICA Salas de Espera. En cambio en el Centro de Salud de Laguna de Duero son bastante próximos los resultados, sin llegar a coincidir exactamente, rebajando la diferencia de un 9% a un 6% de insatisfechos.



6. CONCLUSIONES

Tras analizar y estudiar todos los resultados obtenidos, se pone de manifiesto que el SAS-2000 trabaja adecuadamente en los ambientes de oficina y salas de estudio, ya que el equipo se implemento a partir de la norma NTP-503 basada en el IRO. Por el contrario en ambientes diferentes a los anteriormente citados no trabaja lo suficientemente bien.

En las primeras mediciones hemos observado que existen diferentes parámetros que afectan a la percepción acústica de las personas, como por ejemplo la aparición de componentes tonales, la presencia de un alto ruido de fondo, un tiempo de reverberación alto y la diferencia que existe entre la curva NR real en la que trabaja el SAS y la recomendada.

Ante la imposibilidad de implementar los primeros cambios propuestos en el SAS, nos centramos en **asignar una curva NR recomendada diferente para cada ambiente**. Para esto se ha buscado la curva que mejor se adapte a cada ambiente.

Como resumen del trabajo, se exponen las siguientes conclusiones:

- El IRO_{SAS} trabaja adecuadamente en ambientes con características similares a los de una oficina.
- El IRO_{SAS} proporciona unos resultados en ambientes diferentes a los de una oficina, que no se ajustan a la percepción que tienen las personas en estos ambientes.
- En aquellos ambientes destinados a transmitir información, como las aulas, un tiempo de reverberación bajo aumenta la sensación de confort. Es importante que este tiempo se encuentre dentro de los parámetros establecidos para que ayude a la inteligibilidad del mensaje.
- La presencia de componentes tonales afecta más a los ambientes silenciosos, afectando al resto en menor medida.
- La curva NR en la que trabaja el IRO_{SAS} es adecuada para oficinas y ambientes similares, pero no es aplicable a los demás ambientes estudiados en este proyecto.

- El rango de valores para considerar un ambiente confortable, ruidoso o muy ruidoso no es el mismo en los diferentes ambientes estudiados.
- Como resultado del análisis de las mediciones realizadas en los distintos ambientes podemos concluir que la curva **NR recomendada para estos ambientes** es la siguiente:

1. Oficinas: curva NR-40

2. Aulas: curva NR-55

3. Comedores-Restaurantes: curva NR-60

4. Salas de espera: curva NR-50

Para concluir podemos hacer una observación importante, y es que después de realizar el estudio de campo, hemos comprobado que las personas no están implicadas en respetar las normas en cuanto a la acústica se refiere.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. BERANEK, L.L. : Noise and vibration control. New York, Ed. McGrawHill, 1971
2. GÓMEZ CANO, M. Aspectos ergonómicos del ruido Salud y Trabajo, 1994, nº 102
3. HAY, B. and KEMP, M.F. Measurements of noise in air conditioned, landscaped offices Journal of Sound and Vibration, 1972, vol. 23 nº 3
4. KJELLBERG, A. and LANDSTRÖM, U. Noise in the office: Part I. Guidelines for the practitioner Int. J. Ind. Ergonomics, 1994, vol. 14, nº 12
5. KJELLBERG, A. and LANDSTRÖM, U. Noise in the office: Part II. The scientific basis for the guide Int. J. Ind. Ergonomics, 1994, vol. 14, nº 12
6. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO Real Decreto 2115/82, de 12 de agosto. Norma Básica de la Edificación. NBE-CA-82, sobre Condiciones Acústicas en los edificios
7. MINISTERIO DE RELACIONES CON LAS CORTES Y DE LA SECRETARÍA DEL GOBIERNO Real Decreto 1316/89, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido
8. RECUERO LÓPEZ, M. Ingeniería acústica Madrid, Brüel & Kjær Ibérica, S.A., 1991
9. RUPÉREZ, G. Análisis del ruido en las instalaciones de ventilación Factores humanos, 1994, nº 4
10. SMIT, T.J.B. Noise control in openplan offices Noise Control and Vibration Reduction, 1975, vol. 6
11. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Aspectos Ergonómicos del Ruido. Evaluación.
12. Ley 5/2009, de 4 de junio, del Ruido de Castilla y León. (BOCyL de 09-06-2009).
13. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido.

Enlaces Web:

<http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/instrumentacion/seguridad-e-higiene/sonometros/sonometro-01db-solo-black-edition/documentos/>

<http://www.linkedin.com/company/proceso-digital-de-audio-s.l./evaluador-de-confort-ac-stico-ecudap-sas-2000-339465/product>

<http://www.ecudap.com/productos-sas2000.asp/>

<http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/>

<http://ww.elruido.com>

<http://es.wikipedia.org>

<http://www.acusticaweb.com/>

<http://www.parasordos.com>

<http://www.acusticaintegral.com/>

<http://www.sea-acustica.es/>

<http://www.ia.csic.es>

http://www.cruzrojamadrid.org/que_hacemos/medioambiente/salud_ambiental/la_contaminacion_acustica/

<http://www.mundosinruido.es/contaminacion-acustica/>

http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/andared01/paisaje_sonoro/contamina.htm

8. ANEXOS

ANEXO I

ENCUESTA

-CONFORT ACUSTICO-

Lugar: Hora: :

Sexo: H M

Edad: <30 30-44 45-59 >60

1. Según su opinión personal, el nivel sonoro en este recinto es:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy malo			Normal				Muy bueno		

2. Según su opinión personal, ¿en qué medida puede mantener una conversación adecuada en este recinto?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy mala			Normal				Muy buena		

3. Según su opinión personal, ¿se encuentra usted cómodo en este ambiente respecto al nivel de ruido?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy mal			Normal				Muy bien		