

Obra: Auditorio Tanque - Campus Miguelete - Universidad Nacional de San Martín

Ubicación: Av. 25 de Mayo y Francia, San Martín, Prov. de Buenos Aires

Documento: Acústica. Informe 1/2019. Resultados de las mediciones acústicas realizadas en el Auditorio Tanque

1. Análisis de la situación existente

1.1. Condiciones de la sala

En el estado de la sala al 13/10/2018.

Sala vacía (no más de 9 persona a la vez).

Horario de la medición: 11:00 hs.

1.2. Instrumental utilizado

El instrumental de medición utilizado se detalla a continuación. Los datos técnicos de cada dispositivo se adjuntan en el Anexo I.

Notebook

Marca y modelo: Lenovo T460
Serie: PC0BHYCR
Cantidad: 1

Marca y modelo: MacBook Air
Serie: YD9350PH5L9
Cantidad: 1

Medidor de nivel sonoro

Marca y modelo: Rion NL-27
Serie: 612718
Cantidad: 1

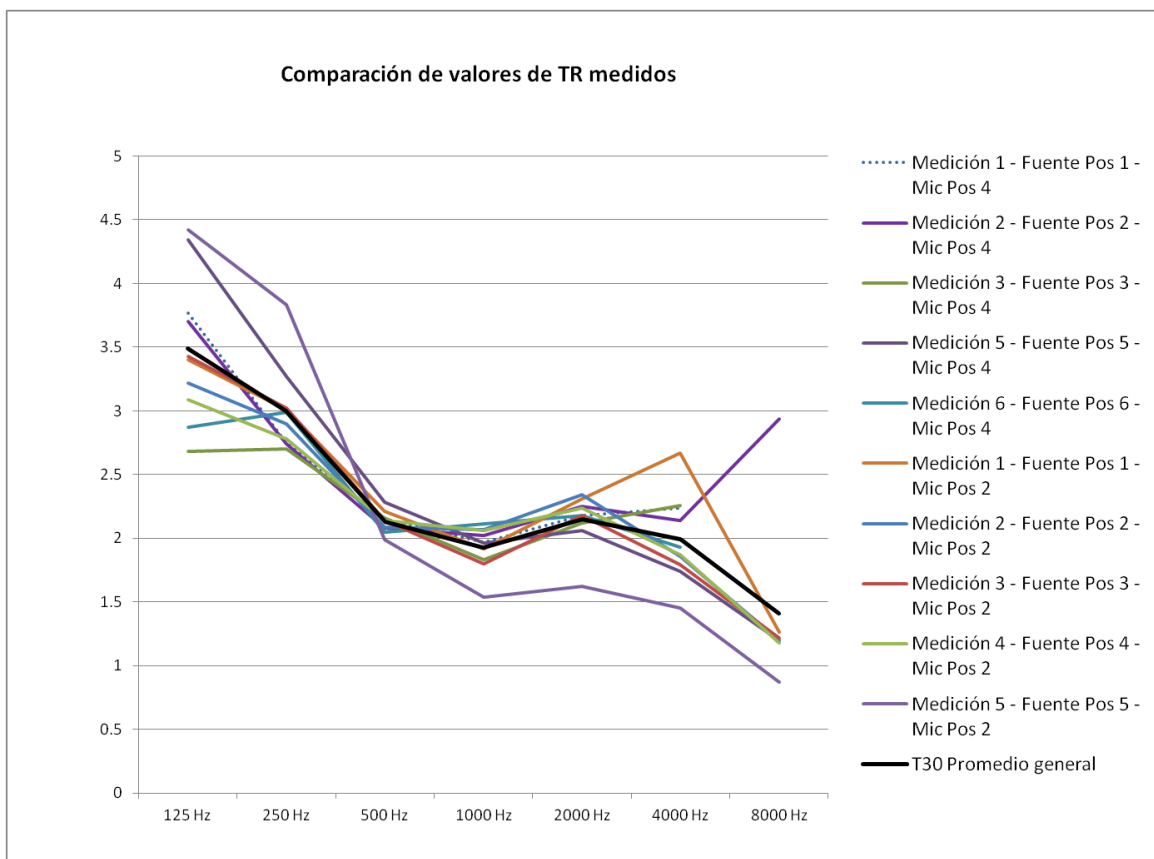
Marca y modelo: Rion NL-05
Serie: 203689
Cantidad: 1

Grabador digital

Marca y modelo: Zoom H4n

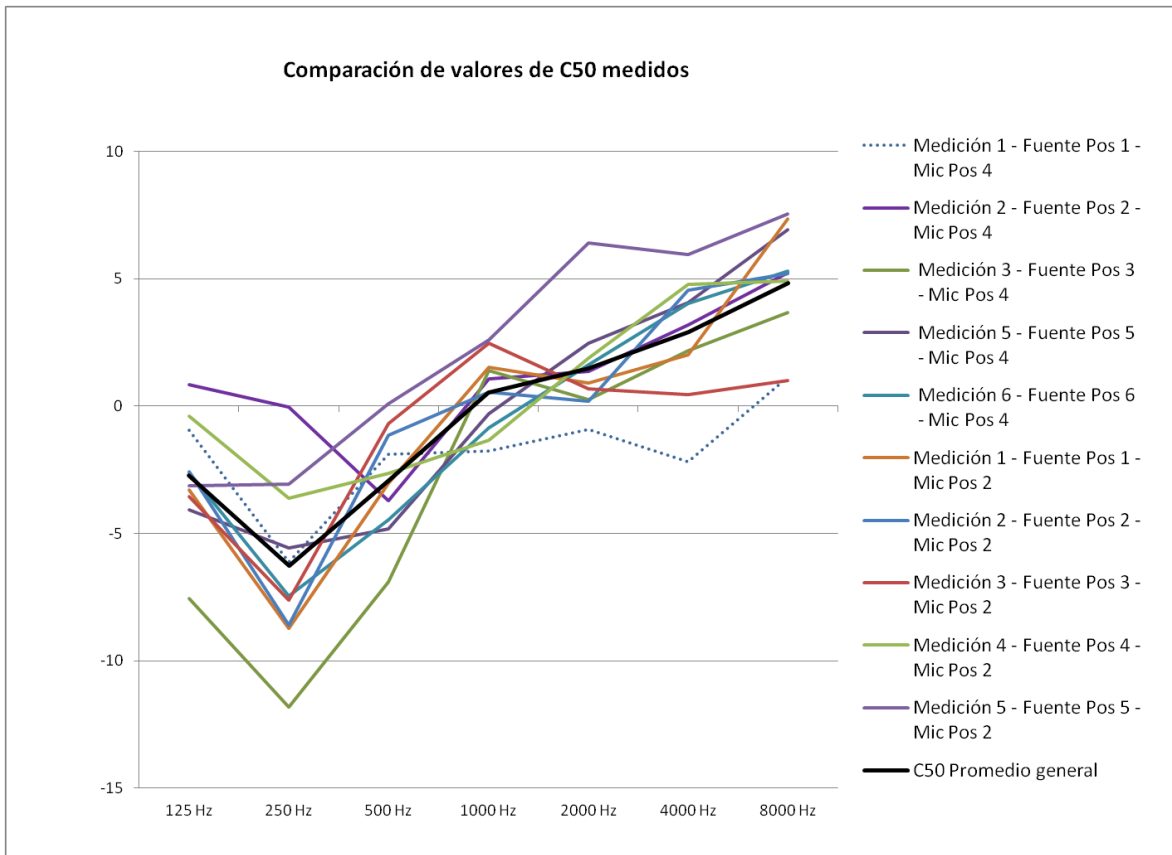
2.1. Tiempo de reverberación - TR 30

Frecuencia [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Medición 1 - Fuente Pos 1 - Mic Pos 4	3.77	2.75	2.15	1.97	2.18	2.24	
Medición 2 - Fuente Pos 2 - Mic Pos 4	3.7	2.74	2.08	2.02	2.25	2.14	2.94
Medición 3 - Fuente Pos 3 - Mic Pos 4	2.68	2.7	2.16	1.83	2.12	2.26	
Medición 5 - Fuente Pos 5 - Mic Pos 4	4.34	3.27	2.28	1.96	2.06	1.74	1.2
Medición 6 - Fuente Pos 6 - Mic Pos 4	2.87	2.99	2.05	2.11	2.18	1.93	
Medición 1 - Fuente Pos 1 - Mic Pos 2	3.4	3.01	2.21	1.92	2.31	2.67	1.26
Medición 2 - Fuente Pos 2 - Mic Pos 2	3.22	2.9	2.09	2.07	2.34	1.86	1.2
Medición 3 - Fuente Pos 3 - Mic Pos 2	3.43	3.02	2.14	1.8	2.18	1.79	1.22
Medición 4 - Fuente Pos 4 - Mic Pos 2	3.09	2.78	2.14	2.06	2.24	1.87	1.18
Medición 5 - Fuente Pos 5 - Mic Pos 2	4.42	3.83	1.99	1.54	1.62	1.45	0.87
T30 Promedio general	3.49	3.00	2.13	1.93	2.15	2.00	1.41



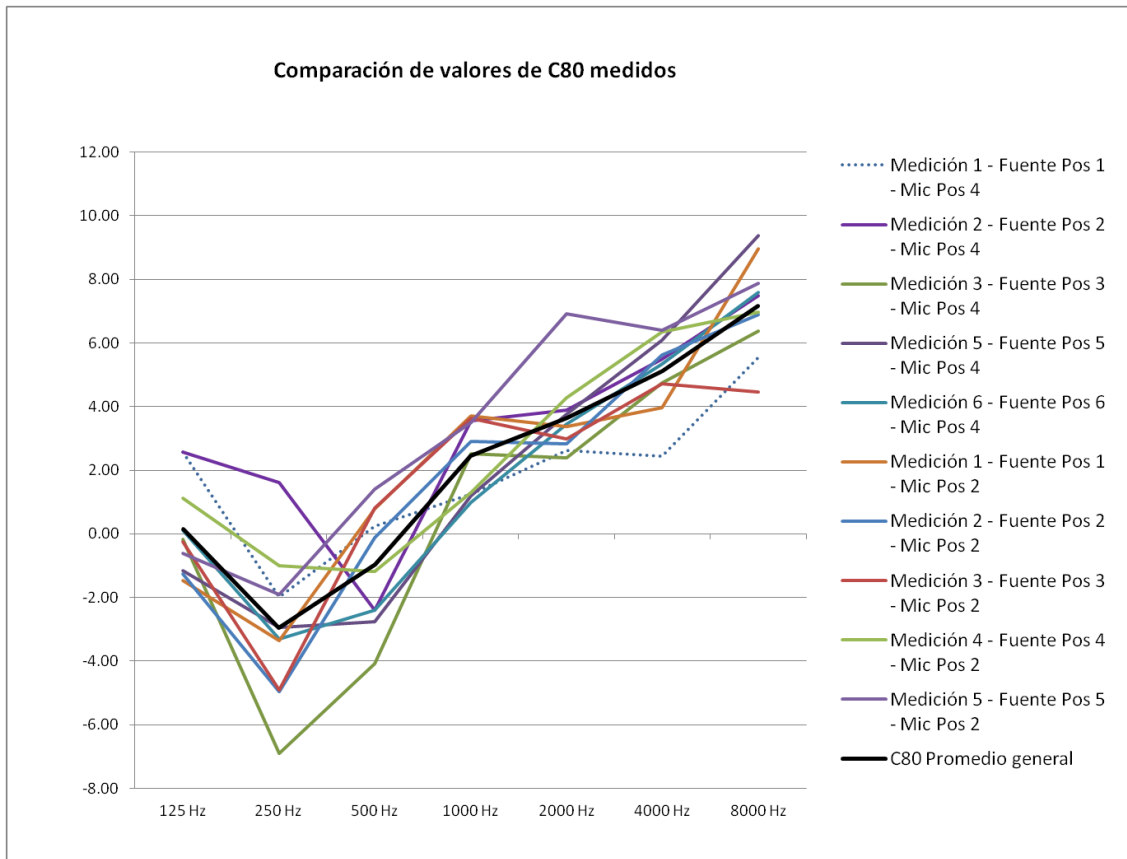
2.2. Claridad a 50 ms - C50

Frecuencia [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Medición 1 - Fuente Pos 1 - Mic Pos 4	-0.96	-6.12	-1.89	-1.76	-0.91	-2.17	1.13
Medición 2 - Fuente Pos 2 - Mic Pos 4	0.84	-0.04	-3.71	1.06	1.37	3.2	5.25
Medición 3 - Fuente Pos 3 - Mic Pos 4	-7.55	-11.83	-6.91	1.4	0.27	2.19	3.68
Medición 5 - Fuente Pos 5 - Mic Pos 4	-4.08	-5.58	-4.81	-0.28	2.46	4.08	6.94
Medición 6 - Fuente Pos 6 - Mic Pos 4	-2.61	-7.45	-4.46	-0.85	1.61	4.02	5.32
Medición 1 - Fuente Pos 1 - Mic Pos 2	-3.29	-8.73	-3.03	1.54	0.91	2.01	7.36
Medición 2 - Fuente Pos 2 - Mic Pos 2	-2.58	-8.59	-1.15	0.56	0.2	4.54	5.19
Medición 3 - Fuente Pos 3 - Mic Pos 2	-3.55	-7.62	-0.69	2.48	0.68	0.47	1.02
Medición 4 - Fuente Pos 4 - Mic Pos 2	-0.39	-3.63	-2.65	-1.35	1.88	4.78	4.9
Medición 5 - Fuente Pos 5 - Mic Pos 2	-3.12	-3.07	0.11	2.61	6.4	5.97	7.56
C50 Promedio general	-2.729	-6.266	-2.919	0.541	1.487	2.909	4.835



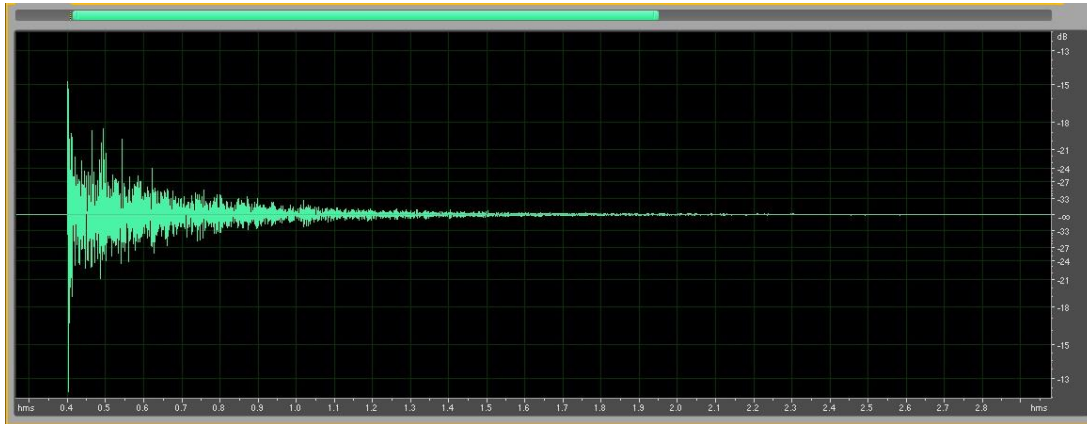
2.3. Claridad a 80 ms - C80

Frecuencia [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Medición 1 - Fuente Pos 1 - Mic Pos 4	2.56	-1.98	0.25	1.24	2.61	2.44	5.54
Medición 2 - Fuente Pos 2 - Mic Pos 4	2.56	1.62	-2.40	3.54	3.88	5.50	7.49
Medición 3 - Fuente Pos 3 - Mic Pos 4	-0.17	-6.89	-4.07	2.51	2.38	4.73	6.38
Medición 5 - Fuente Pos 5 - Mic Pos 4	-1.15	-2.94	-2.76	1.20	3.75	6.09	9.37
Medición 6 - Fuente Pos 6 - Mic Pos 4	0.10	-3.31	-2.40	0.99	3.44	5.34	7.58
Medición 1 - Fuente Pos 1 - Mic Pos 2	-1.47	-3.35	0.79	3.71	3.38	3.97	8.97
Medición 2 - Fuente Pos 2 - Mic Pos 2	-1.25	-4.95	-0.11	2.91	2.84	5.61	6.89
Medición 3 - Fuente Pos 3 - Mic Pos 2	-0.25	-4.9	0.81	3.62	2.98	4.71	4.47
Medición 4 - Fuente Pos 4 - Mic Pos 2	1.13	-0.99	-1.17	1.3	4.28	6.35	6.98
Medición 5 - Fuente Pos 5 - Mic Pos 2	-0.61	-1.91	1.41	3.5	6.91	6.39	7.88
C80 Promedio general	0.15	-2.96	-0.97	2.45	3.65	5.11	7.16

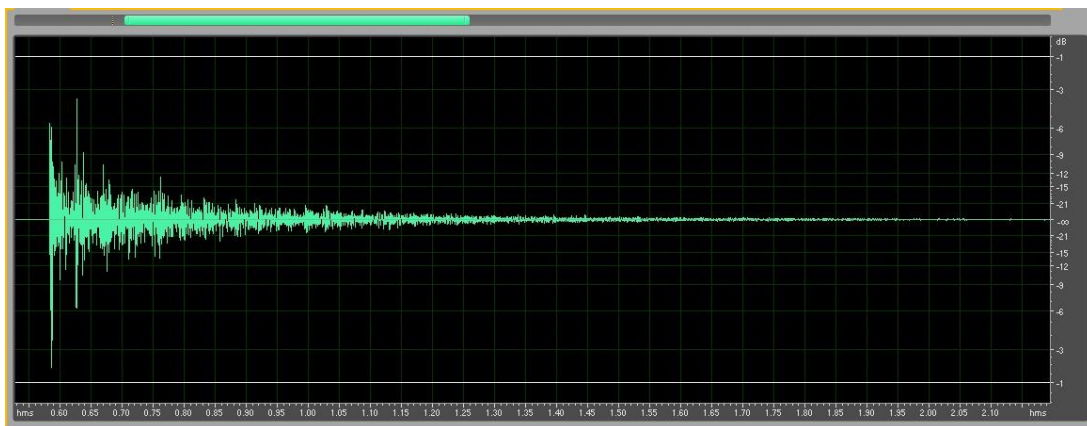


2.4. Análisis de las señales de audio

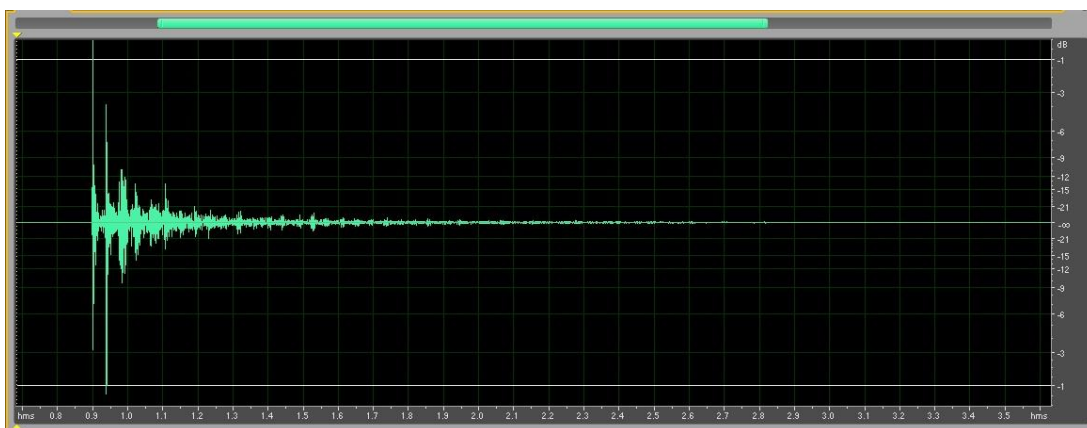
Punto de medición 2. Fuente en 3. Ecos repetitivos más notorios en el decaimiento de la señal



Punto de medición 2. Fuente en 4. Ecos repetitivos



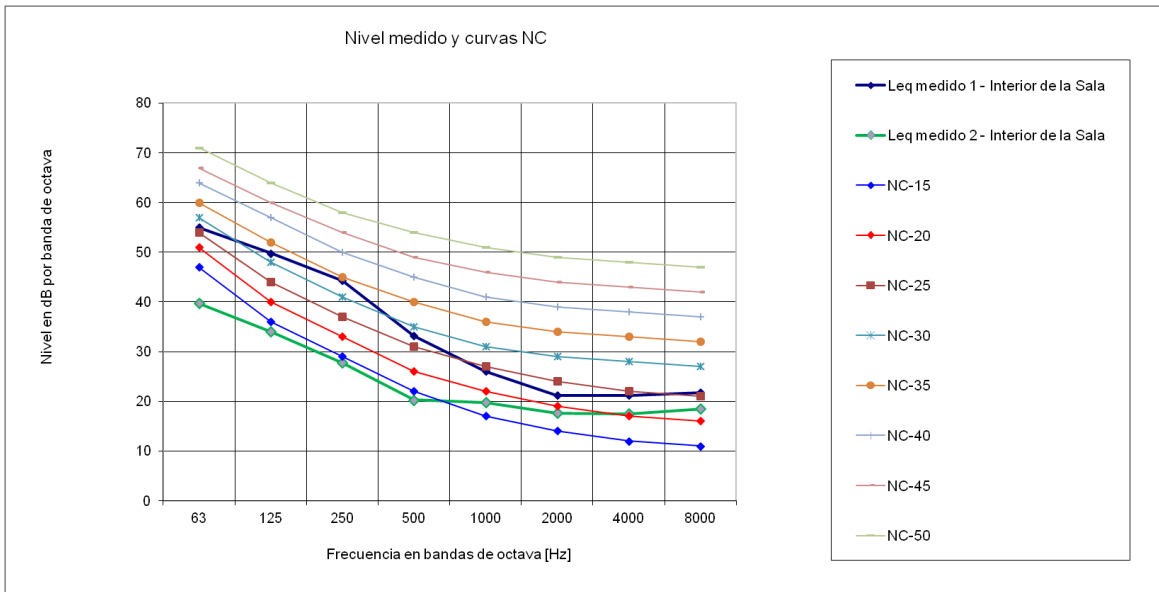
Punto de medición 2. Fuente en 5. Ecos repetitivos



2.5. Medición de niveles de ruido

Resultados obtenidos por bandas de octava.

Frecuencia	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NC medido	Observaciones
Leq medido 1 Interior de la Sala	54.91	49.77	44.31	33.17	26.04	21.16	21.18	21.7	33	Medición con 2 AA y reflectores 3 y 5
Leq medido 2 Interior de la Sala	39.74	33.99	27.69	20.26	19.74	17.57	17.53	18.51	22	Medición con solo luz decorativa



2.6. Modos de la sala

Se realizaron varios barridos sinusoidales de los que se pudo obtener los modos más sobresalientes del espectro de frecuencia: 58.6 Hz, 82.7 Hz, 88.2 Hz, 105 Hz, 125 Hz y 219 Hz.

3. Fotografías de las mediciones



4. Conclusiones

En relación al campo interior el tiempo de reverberación, definido como el tiempo que le toma al sonido decaer 60 dB una vez después que la fuente ha cesado, posee una curva de caída muy pronunciada en el espectro (en 125 Hz, el TR promedio es 3.49 s y en 8 kHz es 1,41 s). Además, dichos valores son muy elevados tanto para representaciones musicales como para palabra.

Otro parámetro evaluado fue la Claridad a 50 ms y 80 ms. Este parámetro compara la energía presente en la primera parte de la señal (50 ms y 80 ms respectivamente) con la existente en el resto del proceso de decaimiento del campo sonoro. A nivel perceptual se lo asocia con la definición de los sonidos. Los valores de este parámetro son muy dispares en el espectro. Las ubicaciones evaluadas presentan valores negativos de Claridad en la zona del espectro que pertenece a las fundamentales de la música y la palabra. Los valores negativos indican que la mayor cantidad de energía no está en el inicio de las señales, lo cual señala una baja definición de los sonidos en general y una mala inteligibilidad.

Se detectaron ecos repetitivos de gran intensidad.

Se discriminaron varias frecuencias que se perciben con mayor intensidad que el resto producto de la interacción entre las fuentes acústicas y el recinto.

Para evaluar los niveles de ruido en el interior de la Sala se midió el nivel de ruido en el interior con el sistema de climatización encendido. Los datos obtenidos en el interior del espacio con el sistema de climatización en funcionamiento corresponden a la curva de criterio de ruido NC 33. Una sala para música no amplificada debería cumplir con el criterio de ruido NC 20/25. Para los casos de utilización de sistemas de amplificación el criterio debería ser NC 25/30.

Dra. María Andrea Farina

Ing. Gustavo Basso

ANEXO I: Datos técnicos del instrumental utilizado

Notebook

Marca y modelo: Lenovo T460
Producto: 20FN002SUS
Serie: PC0BHYCR
Cantidad: 1

Procesador: Intel® Core™ i5-6200U CPU @ 2.30 GHz
Memoria: 16 GB

Marca y modelo: MacBook Pro
Serie: YD9350PH5L9
Cantidad: 1

Procesador: Intel® Core 2 Duo, 1,4 GHz
Memoria de Caché: 3 MB, nivel 2
Memoria: 2 GB de SDRAM DDR3 a 1.066 MHz

Medidores de nivel sonoro

Marca y modelo: Rion NL-05
Serie: 203689
Cantidad: 1

Clase 2 según UNE-EN 60651: 1996 y UNE-EN 60651/A1: 1997.
Tipo 2 según UNE-EN 60804: 1996 y UNE-EN 60804/A2: 1997.

Rangos de medida:
Ponderación A: 30-130 dB.
Ponderación C: 35-130 dB.
Ponderación Lineal: 40-130 dB.

Nivel de ruido de fondo típico: 22 dB (A) RMS.
Rango de linealidad: 70 dB.
Rango de impulsos: 73 dB.

Rango de frecuencia:
20-8.000 Hz (con micrófono).
10-20.000 Hz (eléctricamente).

Ponderación frecuencial: A, C y Lineal.
Ponderación temporal: S y F.
Detectores: RMS.
Resolución: 0,1 dB.

Condiciones de referencia:
Tipo de campo sonoro: Campo libre.

Dirección de referencia: Frontal, perpendicular a la membrana del micrófono.
 Nivel de presión acústica de referencia: 85 dB.
 Frecuencia de referencia: 1 kHz.
 Rango de referencia: 50-110 dB.
 Tiempo de precalentamiento: 1 s.
 Temperatura de funcionamiento: - 10 a + 50 °C.
 Humedad relativa de funcionamiento: Entre 30 % y 90 %.

Marca y modelo: Rion NL-27
 Serie: 612718
 Cantidad: 1

IEC 61672-1:2002 Clase 2

Rango de medición:
 A-weighting: 30dB to 130dB
 C-weighting: 36dB to 130dB

Funciones de medición: Lp, Leq, LE, Lmax

Standard compliance	General-Purpose Sound Level Meter according to Japan Measurement Law JIS C 1509-1: 2005 Class 2, IEC 61672-1: 2002 Class 2 CE mark (EMC Directive 2004/108/EC), WEEE Directive
Measurement functions Processing functions (normal mode)	Sound pressure level L_p , equivalent continuous sound pressure level L_{eq} , sound exposure level L_E , maximum sound pressure level L_{max} , peak sound level L_{Cpeak} (only when peak range was selected)
Measurement time settings	1 min, 5 min, 10 min, 1 h
Microphone	1/2 inch electret condenser microphone Model: UC-52, sensitivity level: -33 dB \pm 3 dB (1 V/Pa = 0 dB)
Measurement level range (normal mode)	A-weighting: 30 dB to 130 dB, C-weighting: 36 dB to 130 dB
Linear operation range (A-weighting, 1 kHz)	30 dB to 137 dB
Peak sound level measurement range	65 dB to 140 dB
Residual noise level	A-weighting: max. 24 dB, C-weighting: max. 30 dB
Measurement frequency range	20 Hz to 8 kHz
Reference frequency, reference sound pressure level	Reference frequency: 1 kHz, reference sound pressure level: 94.0 dB
Frequency weighting characteristics	A-weighting, C-weighting
Time weighting characteristics	F (Fast), S (Slow)
Level range	Wide range: 30 dB to 130 dB, peak range*: 65 dB to 130 dB * Peak range is used for peak sound level measurements
RMS detection method	Digital processing
Processing	Digital sampling cycle: 30.3 μ s (L_p , L_{eq} , L_E , L_{max} , L_{peak})

Calibration	Calibration frequency: 1 kHz, Calibration sound pressure level: 94 dB Japan Measurement Law: electrical calibration with internal signal source; JIS, IEC: acoustic calibration using NC-74
Windscreen	Unit is compliant with JIS C 1509-1 Class 2 and IEC 61672-1 Class 2 with and without windscreen
Display (TN positive display, reflective)	Numeric display: 0.1 dB resolution Bar graph: Scale range 100 dB, 5 dB resolution (update frequency 0.1 s) Warning indicators: Over (Overload) appears at 137.4 dB (1 kHz) Under (Underload) appears from -0.6 dB of lower scale limit Battery capacity 3-stage indicator for remaining capacity
Store function (processing results saved in internal memory, using manual store)	Number of data: 199 Stored data can be checked on recall screen
DC output connector	DC output: 3 V (full scale), 25 mV/dB, output impedance: 50 Ω Load impedance: 10 k Ω or more
AC monitor output connector	AC output: 1 Vrms +600 -400 mVrms (at 110 dB), overload: +2 dB Output impedance: 600 Ω , load impedance: 10 k Ω or more, frequency weighting: Z-weighting
USB connector	For transfer of stored data to a computer, using optional USB adapter cable
Power requirements (size AAA [IEC R03] battery x 2 Normal temperature)	Current consumption: approx. 80 mA (3 V operation) Battery life: approx. 9 hours (with alkaline batteries), (Wide range) approx. 3 hours (with manganese batteries)
Temperature / humidity range for operation	-10 °C to +50 °C, 10 % to 90 % RH (no condensation)
Dimensions, weight	Approx. 120 mm (H) x 63 (W) x 23.5 mm (D), approx. 105 g (including batteries)
Supplied accessories	Windscreen x 1, Windscreen fall prevention rubber x 1, Silicon cover x 1, strap x 1, AAA [IEC R03] alkaline battery x 2

Grabador digital

Marca y modelo: Zoom H4n
Serie: 230144
Cantidad: 1

Conversión A/D 24 bits Sobremuestreo 128x
Conversión D/A 24 bits Sobremuestreo 128x

Tipo de datos: Formato .WAV

Cuantización: 16 bits (Modos stereo, 4-track), 24 bits (Modo stereo)

Frecuencia de muestreo: 44.1 kHz (Modos stereo, 4-track), 48 kHz, 96 kHz (Modo stereo)

Entradas: conector combinado XLR -entrada balanceada- y phone standard -no balanceada-

Impedancia de entrada -usando la entrada balanceada-: 1 kilohmio balanceado, punta 2 activa, y 480 kilohmios no balanceados -usando la entrada no balanceada-

Nivel de entrada (interruptor INPUT 1 y 2): -usando la entrada balanceada-

L -20 dBm (para mic), M -30 dBm (para mic), H -40 dBm (para mic) -usando la entrada no balanceada-

L -10 dBm - entrada de guitarra, bajo, línea-

M -30 dBm (para mic)

H -40 dBm (para mic)

Micrófono estéreo interno: unidireccional de condensador

Ganancia (interruptor del micrófono)

L +6 dB
M +20 dB
H +30 dB

Alimentación fantasma: 48V, 24V, OFF

En el artículo: “Idoneidad de un grabador digital comercial para su empleo en mediciones acústicas” (Miyara, F., et al., 2010) se presentan los resultados de las pruebas realizadas para determinar la pertinencia de incluir este grabador en un sistema de medición, el mismo fue evaluado en términos de la respuesta en frecuencia, el ruido, la distorsión y la respuesta transitoria a distintas tasas de muestreo. Los parámetros evaluados demuestran que el modelo de grabador digital es adecuado para grabar señales para mediciones.

La respuesta en frecuencia (Figura 3) es adecuada ya que se encuentra por debajo de los límites de tolerancia establecidos en la Norma Internacional IEC 61672-1 para un instrumento clase 1.

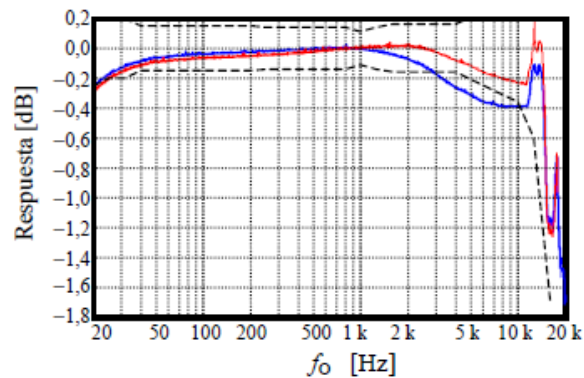


Fig. 3. Respuesta en frecuencia de dos grabadores digitales Zoom H4. Las líneas de trazos muestran 1/10 de los límites de tolerancia inferior y superior mencionados en la IEC 61672-1. [1]

Respecto a la respuesta transitoria se encontró una cota superior del tiempo de establecimiento del 5%. Las respuestas son oscilantes sólo para la tasa de muestreo de 44,1 kHz

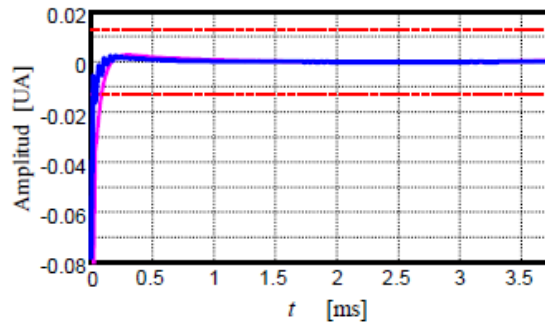


Fig. 5. Respuesta al escalón para 44,1 kHz (azul) y 96 kHz (magenta). Límite del 5% (rojo). [1]

Bibliografía

[1] Miyara, F., Accolti, E., *et al.* (2010). "Idoneidad de un grabador digital comercial para su empleo en mediciones acústicas", *Segundo Congreso Internacional de Acústica UNTREF*, Buenos Aires, Argentina.

[2] Manual de instrucciones: Handy Recorder H4 Zoom.

Conversores A/D y D/A

Marca y modelo: Maya EX5
 Serie: EST041100200
 Cantidad: 1

2 channel analog line inputs, 3.5 mm jack, -10dBV unbalanced level
 6 channel analog line outputs, 3.5 mm jack, -10dBV unbalanced level
 Microphone preamplifier, +40dB fixed gain, 10K ohm
 Resolution: 16-bit - digital I/O with coaxial input, coaxial output, mini optical output connector
 Digital I/O format: 16-bit, 48 kHz, S/PDIF (IEC-958)
 A/D converter: 91dB (a) dynamic range, frequency response: 20 Hz ~ 20 kHz, 18-bit resolution
 D/A converter: 88 dB (a) dynamic range, frequency response: 20 Hz ~ 20 kHz, 18-bit resolution

Anexo II: Glosario

Tiempo de reverberación (TR o RT60)

Es el tiempo, en segundos, que tarda la energía acústica de una sala en caer a 10^{-6} (-60 dB) del valor existente al interrumpirse la fuente de señal. Fue desarrollado por W. Sabine a principios del siglo XX. Es común describir el TR en función de la frecuencia (en bandas de octava o de 1/3 de octava) considerándose el correspondiente a 1.000 Hz como el de referencia cuando se consigna un solo valor. La fórmula de Sabine para calcular el TR es:

$$TR = 0,16 V/A [s]$$

En esta expresión, V es el volumen cúbico del recinto [m^3] y A la absorción acústica total en *sabinios métricos* [m^2].¹

T30, T20 y T10

Análogo al TR, pero se mide el tiempo de caída entre -5 a -35 dB dB, -5 a -25 dB dB y -5 a -15 dB dB y se lo multiplica por dos, tres o seis respectivamente. Es un valor comparable al TR.

Claridad a 80 ms y a 50 ms (Reichardt, 1974)

$$C_{80} = 10 \log \frac{\left[\int_0^{0,08} h^2(t) dt \right]}{\left[\int_{0,08}^{\infty} h^2(t) dt \right]} dB$$

$$C_{50} = 10 \log \frac{\left[\int_0^{0,05} h^2(t) dt \right]}{\left[\int_{0,05}^{\infty} h^2(t) dt \right]} dB$$

Considera la relación entre los primeros 50/80 ms de la señal y el resto de la señal en decibeles. El tiempo de corte a 80 ms se emplea para analizar señales musicales y el de 50 ms para palabra.

¹ La anterior es la fórmula de Sabine para calcular la reverberación. Existen otras fórmulas diferentes, entre las que se destacan las de Eyring, Millington, Fitzroy y Poujoule.