

## MEDICIÓN Y SIMULACIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN Y ÓTROS PARÁMETROS ACÚSTICOS DE AULAS

**Gabriel A. Cravero<sup>a</sup>, Sebastián P. Ferreyra<sup>a</sup>, Mario D. Flores<sup>a</sup>, Leopoldo Budde<sup>a</sup>, Hugo  
C. Longoni<sup>a</sup>, Oscar A. Ramos<sup>a,b</sup> y Fabián C. Tommasini<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada al CONICET  
Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Maestro López esq. Av. Cruz Roja  
Argentina. CP 5016ZAA, Córdoba, Rep. Argentina. e-mail: gacravero@gmail.com,  
<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra/>*

<sup>b</sup> *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Av. Rivadavia 1917,  
CP: C1033AAJ, CABA, Rep. Argentina. <http://www.conicet.gob.ar>*

**Palabras clave:** tiempo de reverberación, respuesta impulsiva, inteligibilidad de la palabra

**Resumen.** Un importante factor a considerar en el estudio del proceso enseñanza-aprendizaje basado en la comunicación oral es el campo sonoro. Por lo general, las aulas y pequeños auditorios destinados a dicho proceso han sido construidos sin considerar criterios acústicos, prevaleciendo en su interior superficies con altos coeficientes de reflexión sonora. Esto último produce elevados valores de tiempo de reverberación lo cual disminuye la inteligibilidad de la palabra. Por otra parte, durante los últimos 30 años se han desarrollado modelos matemáticos que permiten caracterizar el campo sonoro y sintetizar la respuesta impulsiva del recinto constituyéndose en una poderosa herramienta para el análisis y diseño acústico. En este trabajo, se presentan resultados de mediciones de tiempo de reverberación y otros parámetros acústicos de aulas mediante el método de la respuesta integrada según IRAM 4109-2. Además, se comparan los valores medidos y simulados mediante una herramienta de cálculo computacional que combina el método de fuentes imágenes y redes de retardo realimentadas para la síntesis de la respuesta impulsiva, desarrollada por el grupo. Finalmente, se contrastan los valores medidos con los recomendados en la norma ANSI S12.60 y bibliografía internacional.

## 1 INTRODUCCIÓN

Diversos estudios científicos demuestran que la *inteligibilidad de la palabra* está vinculada con la correcta percepción de las consonantes. Elevados valores de *tiempo de reverberación* ( $T$ ) pueden degradarla significativamente provocando el enmascaramiento de las consonantes (Hodgson 1999, Carrión Isbert, 2001). Es por esto que el  $T$  es un parámetro crítico en recintos destinados al proceso de enseñanza-aprendizaje basados en la palabra hablada. Por lo general, la construcción de este tipo de recintos en la República Argentina no considera criterios acústicos, utilizándose materiales con bajos coeficientes de absorción sonora.

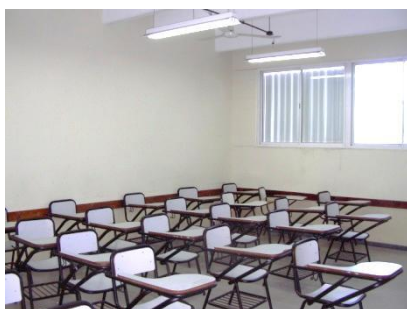
En la actualidad el  $T$  y otros parámetros acústicos de recintos se obtienen a partir de la medición de la Respuesta Impulsiva del Recinto (RIR), siendo la norma IRAM 4109-2 “*Tiempo de reverberación de recintos comunes*” el documento de referencia que establece las recomendaciones para realizar dicha medición. En este trabajo, se presentan resultados de mediciones de  $T$  y otros parámetros acústicos para 6 aulas de la Facultad Regional Córdoba (FRC), Universidad Tecnológica Nacional (UTN). En segundo lugar, se compararon y evaluaron los  $T$  medidos con los recomendados como óptimos en la bibliografía internacional.

Finalmente, se realizó la simulación computacional de la RIR de un aula con elevado  $T$ , proponiendo una solución acústica a dicho problema y evaluando los resultados mediante la utilización de un software para sintetizar la RIR desarrollado por el grupo.

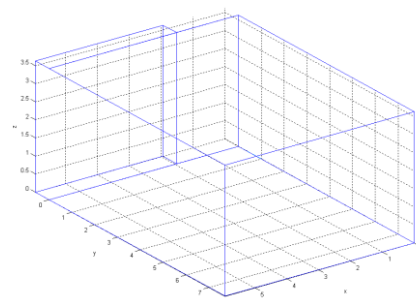
## 2 AULAS

El criterio de selección de las aulas considero características acústicas arquitectónicas y el entorno próximo. Se seleccionó una muestra de 6 aulas representativa respecto a dimensiones y características constructivas, sobre un total de 78. Las mismas se encuentran distribuidas en 3 edificios de la FRC, UTN.

**2.1 Aula 608:** de base rectangular y con un volumen de  $179,46 \text{ m}^3$ , localizada en el edificio Ingeniero Soro, presenta muros longitudinales de 8,30 m, transversales de 5,94 m y una altura media de 3,64 m. Las paredes están construidas con diversos materiales, siendo una de las transversales de hormigón y el resto de tabique doble de placa roca yeso (12,5 mm espesor c/u rellena con fieltro liviano de lana de vidrio 50 mm de espesor). Presenta ventanas con aberturas de carpintería de aluminio y paños de vidrio de 4 mm de espesor. El techo, está construido con vigas de hormigón premoldeado, ver Figura 1.



a)



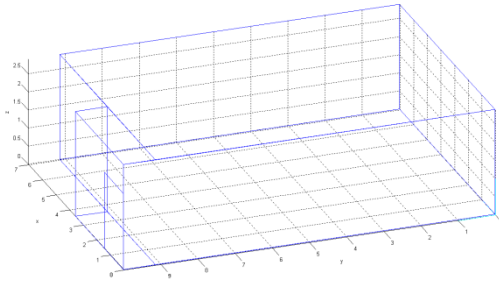
b)

Figura 1: Aula 608 a) fotografía del interior del recinto; b) modelo computacional.

**2.2 Aula 015:** de base rectangular y con un volumen de  $194,25 \text{ m}^3$ , ubicada en planta baja del Edificio Central, presenta muros longitudinales de 10,00 m, transversales de 7,00 m y una altura media de 2,90 m. Las paredes estan construidas con ladrillo hueco revocado, pintado con látex. Posee una puerta placa de madera tipo doble hoja y ventanas de carpintería de aluminio con paños de vidrio de 4 mm de espesor. Estas últimas estan equipadas con una cortina liviana. El techo está construido con vigas de hormigón, cubierto por un cielorraso de placa de roca yeso de 9 mm de espesor. El piso es de baldosas cerámicas de granito (20 cm x 20 cm), ver Figura 2.



a)



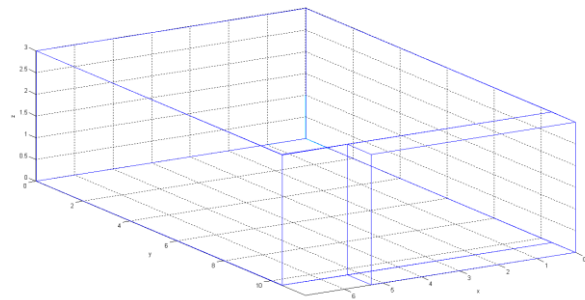
b)

Figura 2: Aula 015 a) fotografía del interior del recinto; b) modelo computacional.

**2.3 Aula 225:** de base rectangular y con un volumen de  $240,45 \text{ m}^3$ , ubicada en el segundo piso del Edificio Central, posee muros longitudinales de 11,45 m, transversales de 7,00 m y una altura de 3,00 m. Las paredes estan construidas con ladrillo hueco revocado y terminado con pintura látex. Posee una puerta placa de madera tipo doble hoja y ventanas de carpintería de aluminio con paños de vidrio de 4 mm de espesor. El techo es de chapa de acero galvanizada y posee un cielorraso de placa rígida de lana de vidrio de 20 mm de espesor, a una distancia de 1 m respecto de la chapa, ver Figura 3.



a)



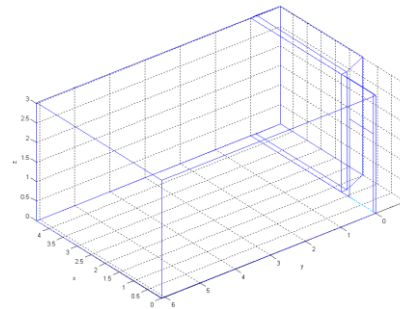
b)

Figura 3: Aula 225 a) fotografía del interior del recinto; b) modelo computacional.

**2.4 Aula 011:** de base rectangular y volumen de  $93,45 \text{ m}^3$ , ubicada en el edificio Malvinas, posee muros longitudinales de 7,00 m, transversales de 4,45 m y la altura es de 3,00 m. Las paredes estan construidas con ladrillo macizo de barro cocido de 0,30 m de espesor, con revoque cementicio de 2 cm de espesor. Posee una puerta placa de madera tipo doble hoja y ventanas de carpintería de aluminio con paños de vidrio de 4 mm de espesor. El techo, está construido con losa de hormigón, cubierto con un cielorraso de placas de yeso de 9 mm de espesor, ver Figura 4.



a)



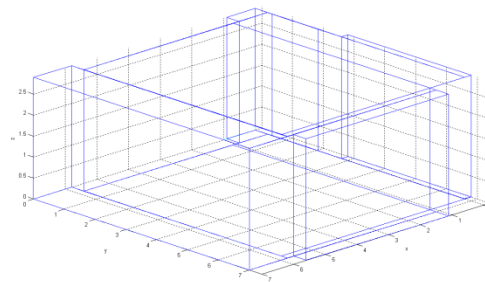
b)

Figura 4: Aula 011 a) fotografía del interior del recinto; b) modelo computacional.

**2.5 Aula 154:** de base rectangular con un volumen de  $143,32 \text{ m}^3$ , ubicada en el primer piso del edificio Central, posee muros longitudinales de 7,00 m, transversales de 7,00 m y una altura media de 2,90 m. Las paredes estan construidas con ladrillo hueco revocado pintado con látex, puerta placa de madera tipo doble hoja y ventanas de carpintería de aluminio con paños de vidrio de 4 mm de espesor. El techo, presenta losa de hormigón armado revocado. Posee ademas un cielorraso de paneles rígidos de lana de vidrio de 20 mm de espesor, a una distancia de 1 m respecto de la losa, ver Figura 5.



a)



b)

Figura 5: Aula 154 a) fotografía del interior del recinto; b) modelo computacional.

**2.6 Aula 708:** de base rectangular con un volumen de  $318,82 \text{ m}^3$ , ubicada en el primer piso del edificio Ingeniero Soro, posee muros longitudinales de 12,17 m, transversales de 7,66 m y una media de 3,42 m. Tres paredes estan construidas con tabique doble de placa de roca yeso de 12,5 mm de espesor, mientras que la restante es de hormigón. Posee una puerta placa de madera tipo doble hoja y ventanas de carpintería de aluminio con paños de vidrio de 4 mm de espesor. El techo, está construido con vigas tipo doble T de hormigón premoldeado, ver Figura 6.

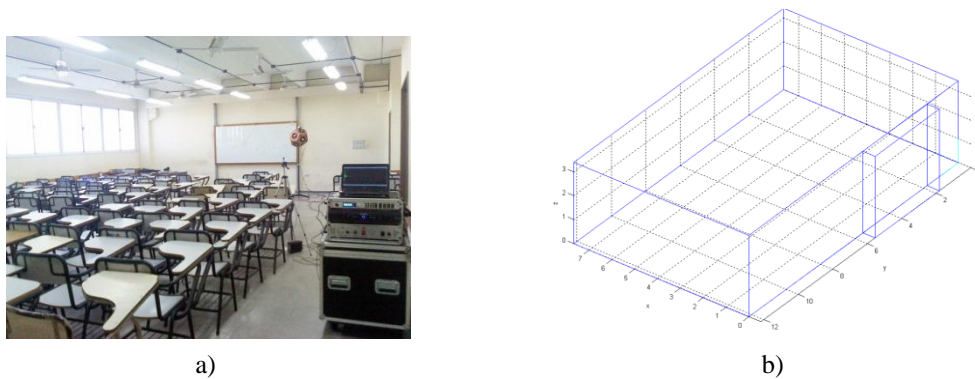


Figura 6: Aula 708 a) fotografía del interior del recinto; b) modelo computacional.

### 3 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Las mediciones de RIR se realizaron siguiendo las recomendaciones de la norma [IRAM 4109-2:2011](#) (compatible con [ISO 3382-2:2008](#)), sin presencia de alumnos (sala vacía). La RIR fue obtenida aplicando la técnica de deconvolución de señales determinísticas. Como señal de excitación se utilizó un barrido de frecuencia de variación exponencial, debido a las ventajas que esta presenta ([Farina, 2000](#)). La cantidad de puntos seleccionados corresponde al método de precisión especificado en la norma, registrándose un total de 12 respuestas impulsivas correspondientes a 6 posiciones de micrófono y 2 posiciones de fuente. La cadena de medición utilizada se detalla en la Tabla 1.

Descripción	Marca, Modelo
Micrófono de medición	Brüel & Kjær, type 4133/4134
Placa de adquisición de sonido	Presonus, Audio box 44VSL
Fuente sonora omnidireccional (dodecaedro)	Cintra, FSO
Sistema de gestión de altavoces	dBx, Drive Rack PA+
Pre-amplificador para micrófono, 200V	Brüel & Kjær, type 2804
Amplificador de audio	Samson, Servo 300
Distanciómetro Laser	Leica, D5
Auriculares	Senheiser, HD280 PRO
PC Notebook	Bangho, Intel i3, RAM 4 GB

Tabla 1: Cadena de medición utilizada para la medición de RIR

#### 3.1 Resultados

En Tablas 2 a 7 se presentan los resultados de Tiempo de Decrecimiento Temprano (Early Decay Time: EDT) y  $T$  ( $T_{10}$ ,  $T_{20}$ ,  $T_{30}$ ), para valor lineal y por bandas de octava entre 31,5 y 16000 Hz. Estos resultados fueron obtenidos a partir de la media energética del conjunto de las 12 RIR medidas cumplimentando lo recomendado IRAM 4109-2.

En la Tabla 8 se presentan los resultados de otros parámetros acústicos definidos a partir del  $T$ . La calidez acústica (Bass Ratio: BR) se define como la razón de la sumatoria de  $T_{125}$  y  $T_{250}$  respecto de  $T_{mid}$ . Por otra parte, Brillo (Brilliance: Br) se obtiene a partir la razón de la sumatoria de  $T_{2000}$  y  $T_{4000}$  respecto de  $T_{mid}$ . Siendo el tiempo de reverberación para frecuencias medias ( $T_{mid}$ ), el valor medio de  $T_{500}$  y  $T_{1000}$ . En este caso, los valores numéricos de los subíndices representan la frecuencia central de la banda de octava.

f[Hz]	EDT[s]	T <sub>10</sub> [s]	T <sub>20</sub> [s]	T <sub>30</sub> [s]
31,5	0,646	0,762	0,645	0,636
63	0,857	1,383	1,028	0,808
125	1,133	1,315	1,119	1,205
250	0,778	1,039	1,354	1,354
500	0,621	0,561	0,569	0,615
1000	0,498	0,611	0,591	0,609
2000	0,630	0,677	0,736	0,793
4000	0,735	0,924	0,907	0,913
8000	0,737	0,784	0,79	0,796
16000	0,501	0,561	0,582	0,601
Lineal	0,714	0,862	0,832	0,833

Tabla 2: *T* promedio Aula 225

f[Hz]	EDT [s]	T <sub>10</sub> [s]	T <sub>20</sub> [s]	T <sub>30</sub> [s]
31,5	2,654	2,869	3,077	3,350
63	2,505	2,584	2,619	2,682
125	1,643	1,330	1,984	2,027
250	1,009	1,112	0,980	1,038
500	0,500	0,595	0,570	0,597
1000	0,410	0,499	0,574	0,529
2000	0,488	0,514	0,501	0,518
4000	0,435	0,469	0,473	0,480
8000	0,366	0,388	0,402	0,411
16000	0,254	0,304	0,313	0,319
Lineal	1,026	1,066	1,149	1,195

Tabla 3: *T* promedio Aula 011

f[Hz]	EDT [s]	T <sub>10</sub> [s]	T <sub>20</sub> [s]	T <sub>30</sub> [s]
31,5	1,663	1,665	2,186	2,200
63	1,012	1,229	1,033	0,976
125	1,113	1,127	0,973	0,972
250	0,833	0,829	0,997	0,961
500	0,421	0,622	0,675	0,717
1000	0,393	0,490	0,473	0,502
2000	0,440	0,372	0,467	0,503
4000	0,400	0,440	0,440	0,470
8000	0,318	0,352	0,350	0,361
16000	0,224	0,240	0,248	0,257
Lineal	0,682	0,737	0,784	0,792

Tabla 4: *T* promedio Aula 154

f [Hz]	EDT [s]	T <sub>10</sub> [s]	T <sub>20</sub> [s]	T <sub>30</sub> [s]
31,5	2,242	2,165	2,301	2,432
63	1,791	1,795	1,733	1,764
125	1,517	2,277	2,661	2,576
250	2,554	2,721	2,81	2,797
500	2,472	2,350	2,328	2,35
1000	2,144	1,959	2,036	2,073
2000	1,900	1,817	1,787	1,748
4000	1,573	1,553	1,498	1,482
8000	1,012	1,032	1,063	1,099
16000	0,538	0,585	0,638	0,671
Lineal	1,774	1,825	1,886	1,899

Tabla 5: *T* promedio Aula 608

f [Hz]	EDT [s]	T <sub>10</sub> [s]	T <sub>20</sub> [s]	T <sub>30</sub> [s]
31,5	1,697	2,56	2,015	2,029
63	2,424	2,12	2,291	2,404
125	1,972	2,262	2,565	2,692
250	3,226	3,094	3,342	3,329
500	3,088	2,517	2,813	2,863
1000	2,437	2,351	2,465	2,424
2000	1,902	1,976	1,976	1,991
4000	1,517	1,570	1,543	1,551
8000	0,931	0,978	1,053	1,09
16000	0,491	0,581	0,593	0,652
Lineal	1,969	2,001	2,066	2,103

Tabla 6: *T* promedio Aula 708

f [Hz]	EDT[s]	T <sub>10</sub> [s]	T <sub>20</sub> [s]	T <sub>30</sub> [s]
31,5	1,612	2,667	2,209	1,882
63	2,016	2,254	2,014	2,056
125	2,284	2,709	2,256	2,038
250	1,755	1,794	1,948	1,981
500	1,562	1,787	1,824	1,851
1000	1,577	1,663	1,660	1,674
2000	1,496	1,607	1,470	1,518
4000	1,210	1,234	1,220	1,221
8000	0,898	0,942	0,947	0,957
16000	0,602	0,622	0,660	0,690
Lineal	1,501	1,728	1,621	1,587

Tabla 7: *T* promedio Aula 015

Recinto	BR	Br	T <sub>mid</sub>
Aula 225	2,091	1,394	0,612
Aula 011	2,722	0,886	0,563
Aula 154	1,586	0,798	0,610
Aula 608	1,215	0,730	2,212
Aula 708	1,139	0,670	2,644
Aula 015	1,140	0,777	1,763

Tabla 8: Parámetros acústicos derivados del *T*

#### 4 TIEMPOS DE REVERBERACIÓN ÓPTIMOS PARA AULAS

Actualmente existen diversos criterios internacionales que especifican el  $T$  óptimo ( $T_{opt}$ ) para espacios destinados al proceso de enseñanza-aprendizaje (aulas, auditorios, salón de usos múltiples, entre otros). En la Tabla 9, se resumen los valores recomendados de  $T_{opt}$  para aulas. En la Tabla 10, se presenta la evaluación del tiempo de reverberación medido para diferentes criterios de  $T_{opt}$ .

Criterio	Volumen, V [m <sup>3</sup> ]	Frecuencia [Hz]		
		500	1000	2000
ANSI 12.60	$V \leq 283$	0,6	0,6	0,6
ANSI 12.60	$283 \leq V \leq 566$	0,7	0,7	0,7
NBR 12179	$150 \leq V \leq 300$	0,5 - 0,7	0,5 - 0,7	0,5 - 0,7
WHO 2001	$V \leq 250$	0,4 - 0,7	0,4 - 0,7	0,4 - 0,7
WHO 2001	$V > 250$	0,6 - 1,2	0,6 - 1,2	0,6 - 1,2
Carrión, 2001	$100 \leq V \leq 10.000$	0,8 - 1,0	0,8 - 1,0	

Tabla 9: Tiempo de reverberación recomendados para aulas.

Aula	Volumen [m <sup>3</sup> ]	ANSI 12.60	NBR 12179	WHO 2001	Carrión, 2001
225	245,45	No Califica	No Califica	No Califica	Califica*
011	93,45	Califica	Califica	Califica	Califica*
154	143,2	No Califica	No Califica	No Califica	Califica*
608	179,46	No Califica	No Califica	No Califica	No Califica
708	318,82	No Califica	No Califica	No Califica	No Califica
015	194,25	No Califica	No Califica	No Califica	No Califica

(\*): Valores por debajo de lo recomendado

Tabla 10: Evaluación del  $T_{mid}$  medido.

#### 5 SIMULACIÓN DE LA RIR

La RIR engloba la característica de transmisión de las ondas sonoras dentro de un recinto, considerando a éste como un sistema lineal e invariante en el tiempo (Ferreyra et al, 2008). Esta se compone del sonido directo, las reflexiones tempranas (especulares y difusas) y las reflexiones tardías (cola reverberante de la RIR). Tommasini et al (2008), plantea un modelo eficiente para sintetizar la RIR mediante un método híbrido. Para modelar las reflexiones tempranas utiliza el *método de fuente-imagen* (ISM), este permite establecer con precisión la dirección con la que los rayos sonoros llegan al receptor. Para las reflexiones tardías o cola de reverberación se utiliza una *red de retardo realimentada* (FDN) (Tomasinni et al, 2007). El punto de empalme entre las reflexiones tempranas y tardías se resolvió aplicando el criterio de Jot, (1997), quien define este punto temporal como tiempo de mezcla ( $t_{mixing}$ ) siendo aproximadamente igual a la raíz cuadrada del volumen del recinto (en m<sup>3</sup>), expresado en milisegundos. La principal ventaja del modelo híbrido implementado radica en la reducción de costo computacional, comparándolo con la utilización de otros métodos basados como por ejemplo en elementos finitos (FEM).

## 5.1 Condiciones de simulación

Se seleccionó el aula 015 debido a la uniformidad de materiales y disponibilidad información de los coeficientes de absorción sonora de los mismos. La Figura 2.b muestra el modelo computacional utilizado para la simulación.

La RIR es única para cada par fuente-receptor (Kuttruff, H., 1991; Rindel, J., 2004), por lo que es necesario determinar con exactitud las posiciones de fuente y receptor en las mediciones para su posterior comparación con la simulación. En la Figura 7 se presentan las coordenadas espaciales de la combinación fuente-micrófono seleccionada para la simulación. Donde la fuente sonora omnidireccional está representada por FSO2 y el micrófono por M05.

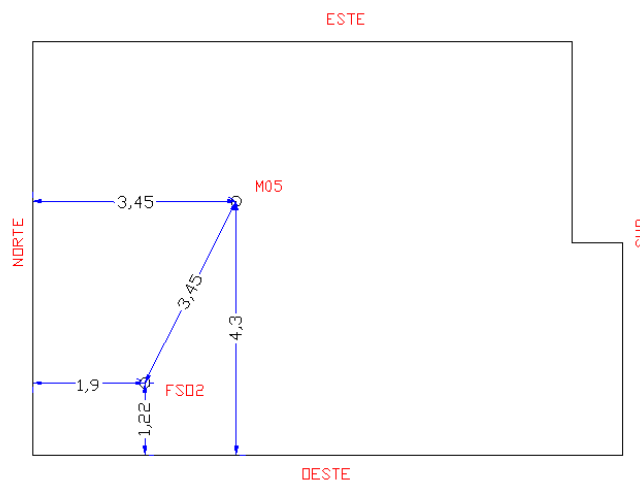


Figura 7: Coordenadas espaciales de fuente y micrófono

El software de simulación se configuró para generar fuentes imágenes de 3<sup>er</sup> orden, lo cual indica que la onda sonora sufrió tres reflexiones antes de alcanzar el punto de recepción. En la simulación resultaron un total de 51 fuentes imágenes. El  $t_{mixing}$  calculado es igual a 13,937 ms.

Los *coeficientes de absorción sonora* ( $\alpha$ ) de los materiales seleccionados para la simulación se presentan en la Tabla 11.

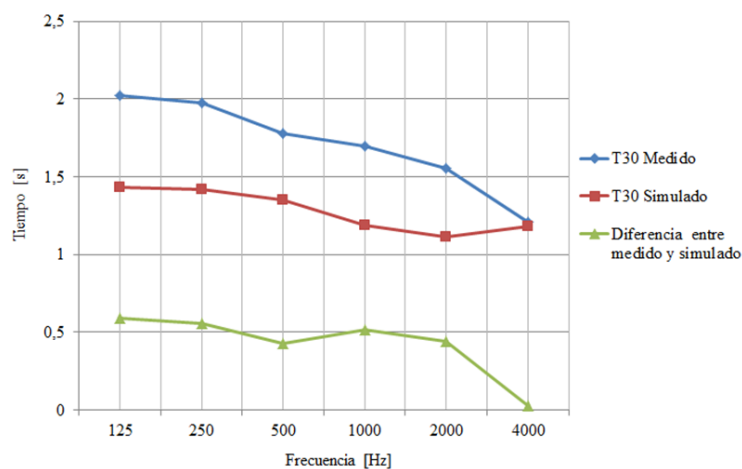
Material	Coeficiente de absorción sonora por banda de octava [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Pared revocada	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Puerta de madera solida	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10
Cielo Razo Placas de yeso 13mm + espacio de aire	0,12	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
Pupitre y silla de madera	0,24	0,30	0,39	0,41	0,43	0,50
Baldosas de cerámica con superficie lisa	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Vidrio	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02

Tabla 11: Coeficientes de absorción sonora ( $\alpha$ ), utilizados en la simulación.

## 5.2 Análisis y comparación del $T$ medido y simulado

En la Figura 8 se compararan los resultados del  $T$  medido y simulado. El ancho de banda válido para la simulación es el comprendido entre 125 y 8000 Hz, por ser el espectro de frecuencias típico de  $\alpha$  publicados en la bibliografía.



Figura 8:  $T_{30}$  medido y simulado.

La diferencia existente entre los valores de  $T_{30}$  medidos y simulados se debe principalmente a los valores de  $\alpha$  seleccionados y utilizados en la simulación. Realizando numerosas simulaciones con diferentes materiales, se determinó que pequeñas variaciones de  $\alpha$  provocan desvíos significativos en los resultados de la simulación. Por lo cual, para alcanzar resultados satisfactorios es imprescindible conocer con exactitud los valores reales de todos los elementos que contribuyen a la real absorción del sonido. Si bien en la actualidad existen bases de datos de dominio público sobre coeficientes de absorción sonora de diversos materiales, estas por lo general son incompletas, en términos de especificación técnica del material, densidad, espesor, métodos de ensayo y fuente de datos. Esto último hace que las mismas se vuelvan poco confiables, más aun cuando se evidencian diferencias significativas de  $\alpha$  para un mismo material.

Con respecto al programa de simulación computacional utilizado es importante destacar que a pesar de modelar la atenuación con la distancia y la atenuación introducida por el aire entre otras cosas, el mismo no resuelve el efecto introducido por los modos propios de vibración, provocando desviaciones en la simulación por debajo de la frecuencia de corte o Schroeder (Schroeder, 1996, Ferreyra et al, 2012).

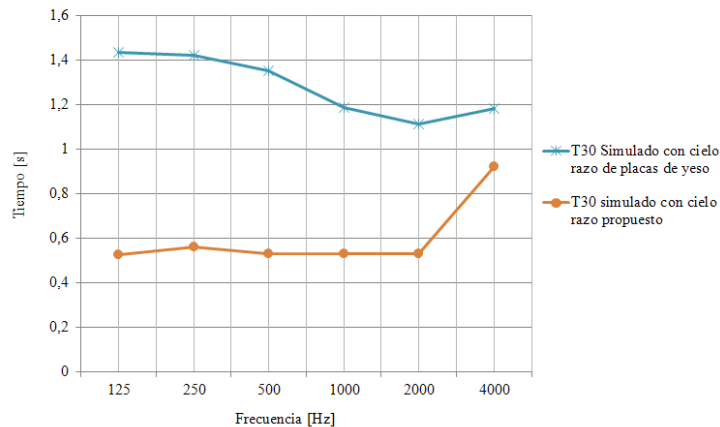
### 5.3 Acondicionamiento acústico y simulación computacional.

Actualmente, la principal aplicación de la simulación acústica computacional está dirigida al diseño y acondicionamiento acústico de recintos. Posibilitando aplicar diversos criterios de diseño, modificar materiales y evaluar posibles resultados sin la necesidad de realizarlo físicamente.

En esta sección se plantea a modo de ejemplo una solución básica a la excesiva reverberación que presenta el campo sonoro medido en el aula 015 de la FRC. Se propone la introducción de  $70 \text{ m}^2$  de material fonoabsorbente localizado en el cielorraso del recinto mediante la instalación de placa rígida de lana de vidrio de 20 mm de espesor con revestimiento de PVC. En la Tabla 12 se presentan los valores de  $\alpha$  publicados por el fabricante. En la Figura 9 resultados de la simulación en esta nueva condición.

Material	Coeficiente de absorción sonora por banda de octava [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Panel rígido de lana de vidrio 20 mm con revestimiento de PVC	0,68	0,64	0,61	0,81	0,66	0,39

Tabla 12: Coeficientes de absorción sonora.

Figura 9:  $T_{30}$  simulado para condición original y solución propuesta.

## 6 CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

En primer lugar, se concluye que las aulas evaluadas de la FRC, UTN presentan elevados valores de  $T$  (lineal y por banda de octavas) lo cual evidencia la falta de un criterio acústico durante la etapa de diseño. En algunos casos el  $T$  medido triplica los valores recomendados en la bibliografía internacional. Pudiendo afirmarse que el campo sonoro existente resulta altamente inapropiado para el proceso de enseñanza-aprendizaje para cualquier nivel educativo.

En segundo lugar, solo un recinto califica con los valores de  $T_{opt}$  según diferentes criterios. Esto se debe a que dicho recinto (aula 011), utilizada únicamente en el nivel de posgrado, ha sido acondicionada recientemente considerando aspectos acústicos, térmicos y lumínicos.

En tercer lugar cabe destacar que numerosas investigaciones evidencian que el  $T$  no es el único parámetro acústico relevante para la evaluación de la inteligibilidad de la palabra. Debiendo considerarse parámetros como nivel de ruido de fondo, claridad de la palabra ( $C_{50}$ ), Fuerza sonora ( $G$ ), entre otros.

Por último el programa de simulación computacional para realizar la síntesis de la RIR fue una herramienta simple y eficaz a la hora de evaluar posibles acondicionamientos acústicos, simular el campo sonoro existente y predecir valores de diversos parámetros acústicos de recintos.

El trabajo a futuro contempla la evaluación de los mismos recintos para diferentes grados de ocupación, la medición del ruido de fondo y su valoración según diferentes criterios y la caracterización acústica de diferentes fuentes de ruido interiores y exteriores (sistema de ventilación e iluminación, tráfico vehicular, etc.).

## 7 AGRADECIMIENTOS

A la Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional. Al Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada al CONICET, de la Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional.

## 8 REFERENCIAS

- ANSI S12.60:2002, Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools.
- Carrión Isbert, A. Diseño acústico de espacios acústicos arquitectónicos. Alfaomega, 2001
- Farina, A., Simultaneous measurements of impulse response and distortion with a swept-sine technique. *Proc. 108<sup>th</sup> Convention of Audio Engineering Society*, Paris, Francia, 2000
- Ferreira S. P., Cravero G. A., Ramos Oscar A., Tommasini Fabian C., Araneda Mariano. Identificación y análisis de modos propios de recintos a partir de sus respuestas impulsivas. *Mecánica Computacional* Vol. XXXI, págs. 3969-3989. Actas del 10<sup>mo</sup> Congreso Argentino de Mecánica Computacional Mecom 2012. Salta. República Argentina. 13 al 16 Noviembre de 2012.
- Ferreira, S. P., Ramos, O. A. Análisis físico-acústico-espacial de respuestas impulsivas binaurales (BRIR) obtenidas por métodos indirectos. *Mecánica Computacional*, pp 407-421. Procedimientos del 27to Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (ENIEF 2008), San Luis, Argentina, 10-13 de Noviembre, 2008.
- Hodgson M., Nosal E.. Experimental investigation of the acoustical characteristics of university classrooms. *Journal Acoustical Society of America* Vol.106, pág. 1810, 1999
- IRAM 4109-2:2011 Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2 – Tiempo de reverberación de recintos comunes.
- ISO 3382-2:2008, Acoustics — Measurements of room acoustics parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. 2008.
- Jot, J. M., Cerveau, L., y Warusfel, O. Analysis and synthesis of room reverberation based on a statistical time-frequency model. NY Preprints of the Audio Engineering Society 103<sup>rd</sup> Convention:4629, 1997
- Kuttruff, H. Room Acoustics, 3th edition, Elsevier Applied Science Publishers, 1991
- Meeting of the Acoustical Society of America, paper n°: 1pAA1, San Diego, California, 15-18 Noviembre, 2004
- NBR 12179:1992, Tratamiento acústico em recintos fechados
- Rindel, J., Evaluation of room acoustic qualities and defects by use of auralization. 148th
- Schroeder M., New method of measuring reverberation time, *Journal Acoustical Society of America*, 37:409-412, 1965
- Schroeder M., The Schroeder frequency revisited. *Journal Acoustical Society of America*, 99 (5) pp. 3240, 1996.
- Tommasini, F.C.; Ramos, O.A. Algoritmos de reverberación artificial utilizando redes de retardo realimentadas En VI Jornadas de Acústica, Electroacústica y Áreas Vinculadas. Organizadas por CADA (Cámara Argentina de Acústica, Electroacústica y Áreas Vinculadas) y la UADE (Universidad Argentina de la Empresa). Buenos Aires, Argentina. Octubre de 2007.
- Tommasini, F.C.; Ramos, O.A. Modelo basado en evidencias perceptuales para simular respuestas impulsivas de recintos. En Anales de la XXXIV Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI2008). Centro Latinoamericano de Estudios en Informática (CLEI), p. 1100-1109. ISBN: 978-950-9770-02-7. Santa Fe, Argentina. 8-12 de Septiembre de 2008.

World Health Organization, Noise in schools, Geneva, 2001.