



Instituto Profesional Santo Tomás

Cátedra Diseño e Instalación de Sistemas de Sonido

## **Informe N°2**

### ***“Modelo implementado en software de simulación acústica de salas”***

*Integrantes:*

*Jimmy Díaz*

*Jorge Jiménez*

*Sony Oyarzún*

*Boris Parraguez*

*Docente:*

*Ing. Civil en Sonido y Acústica Andrés Barrera A.*

***Santiago, miércoles 29 de junio de 2011***

# Índice

Capítulos	Páginas
1: Introducción y objetivos generales.....	2
2: Desarrollo	
2.1 Dibujo del modelo.....	3 - 4
2.2 Calibración del modelo.....	5 - 7
2.3 Resultados del tiempo de reverberación simulado en CATT-Acoustic.....	7
2.4 Gráfico comparativo de T30 medido y T30 entregado por CATT-Acoustic.....	8
3: Conclusión y discusión.....	9
4: Anexos.....	10 - 11
5: Bibliografía y referencias.....	12

## Capítulo 1: Introducción y objetivos generales

El siguiente informe nº 2 aborda la manera de modelar el comportamiento acústico de un recinto de cualquier tipo en un software de simulación acústica de salas. El recinto a modelar es el salón de alumnos del Instituto Nacional, ubicado en el centro histórico de Santiago.

Lo anterior se logrará, primero dibujando y modelando el recinto en dos y/o tres dimensiones a través del software **Auto CAD 2010**, y luego se exportará este archivo al software de simulación acústica **CATT-Acoustic**.

Una vez realizado esto, se comienza la calibración del recinto declarando los materiales de construcción del recinto, sus coeficientes de absorción sonora, las posiciones de fuente y micrófonos de la medición en terreno del tiempo de reverberación (T30) de la sala; todo esto con el objetivo de obtener un comportamiento acústico muy cercano al obtenido en la medición real, para así posteriormente en un tercer y final informe, modelar la sala acústica y electroacústicamente para un correcto funcionamiento y acondicionamiento según lo requiera su uso, y lo más importante, sin necesidad de hacerlo físicamente en terreno, sino que a través de un software de simulación de parámetros acústicos de una sala como lo es CATT-Acoustic.

## Capítulo 2: Desarrollo

### 2.1 Dibujo del modelo

Para desarrollar la simulación en CATT-Acoustic, antes se realizó el diseño del recinto en el software de diseño para dos y tres dimensiones: “Auto CAD”, versión 2010. Para ello se utilizaron datos y medidas obtenidas de un anterior informe, se diseñó cuidadosamente y se separó por capas para un trabajo más fácil y menos engorroso. (Ver fig. 2.1.1)

Una vez terminada la estructura, se procedió a dibujar en 3D faces, las cuales son necesarias para poder exportar el diseño a CATT. Para hacer la exportación se utilizó el método “Autolisp”, a través de comandos específicos como “PUT”, “SET CATT SCALE” y finalmente “EXP”. Estos comandos permiten agregar los planos y materiales de absorción al documento MASTER.GEO, y finalmente exportarlo para su posterior utilización y edición en el software de simulación acústica CATT-Acoustic. (Ver fig. 2.1.2)

Una vez exportado se verifica que cada plano esté correcto y por su respectivo lado, ya que si una cara está inversa, la absorción propuesta no será válida. (Ver fig. 2.1.3).

Una vez realizado lo anterior se le da ubicación a las fuentes y receptores, creando archivos con extensión .LOC.

Cabe mencionar que todos los documentos antes mencionados (fuentes, receptores, planos, esquinas, etc.) se editan a través de un simple editor de texto.

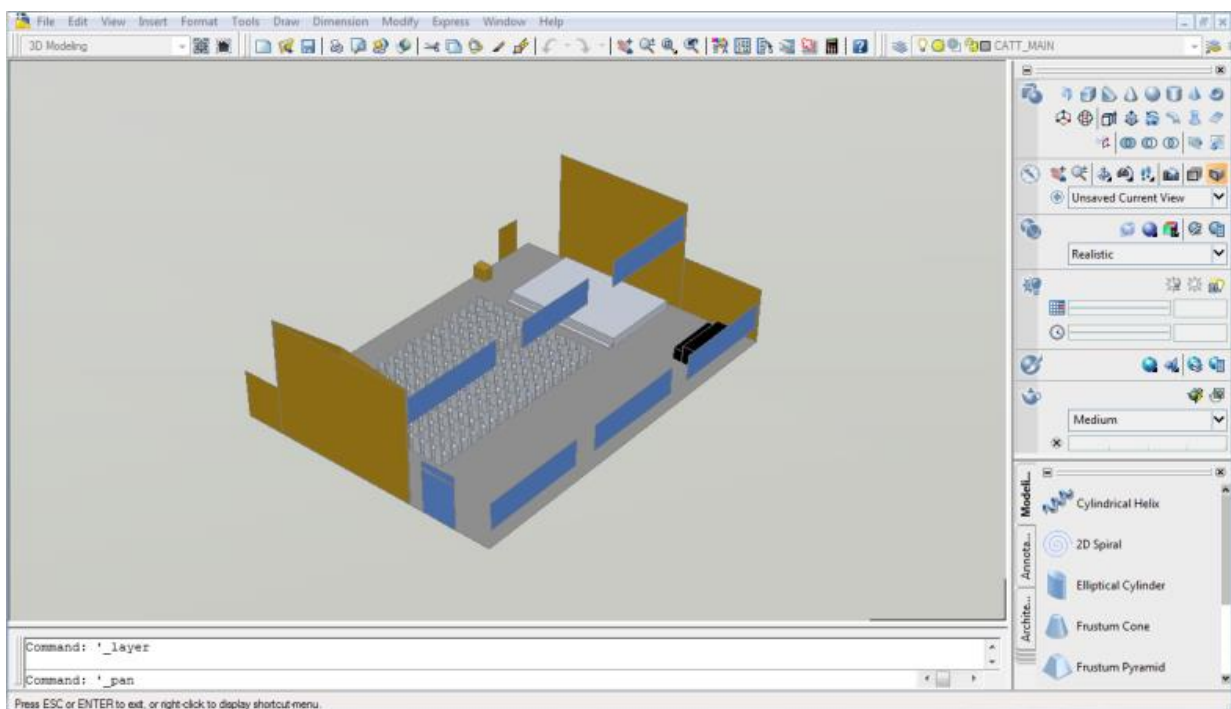


Figura nº 2.1.1: Dibujo por capas en Auto CAD.

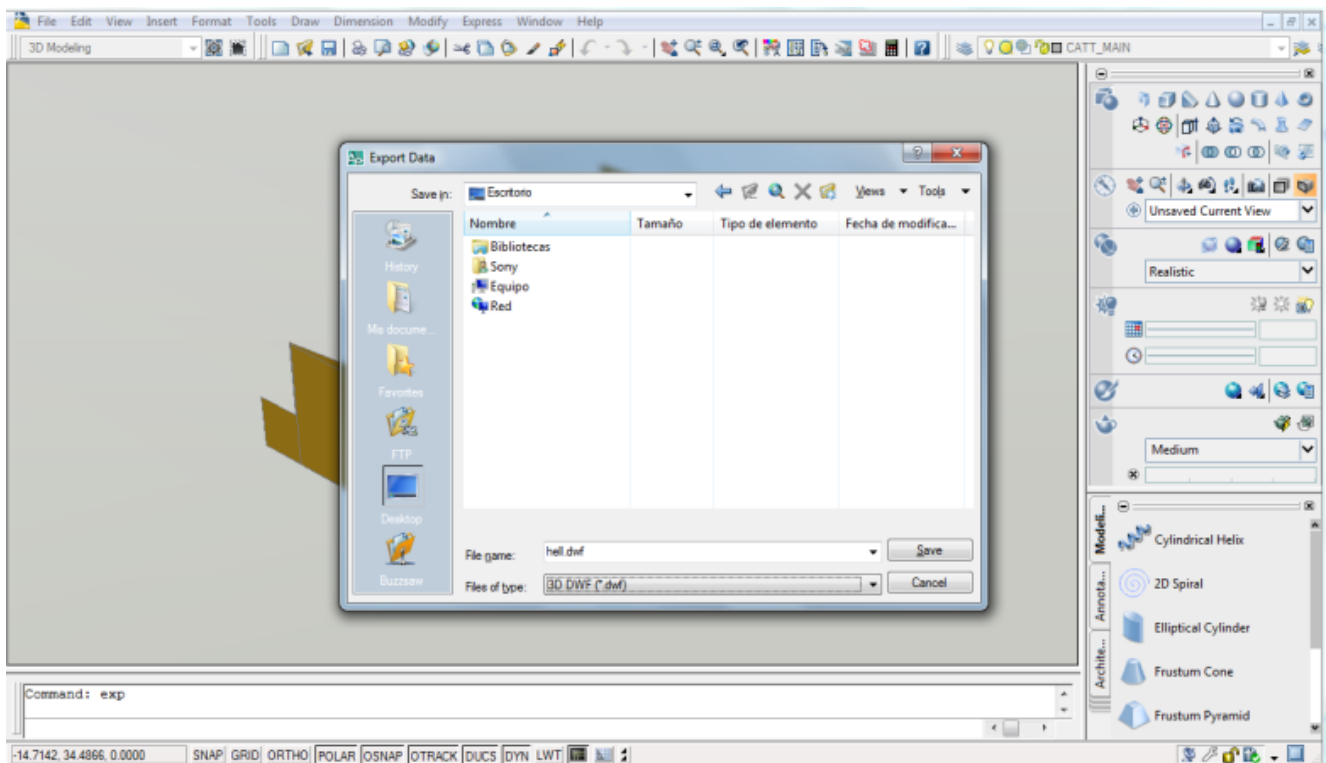


Figura nº 2.1.2: Utilización de comandos para exportar a CATT-Acoustic.

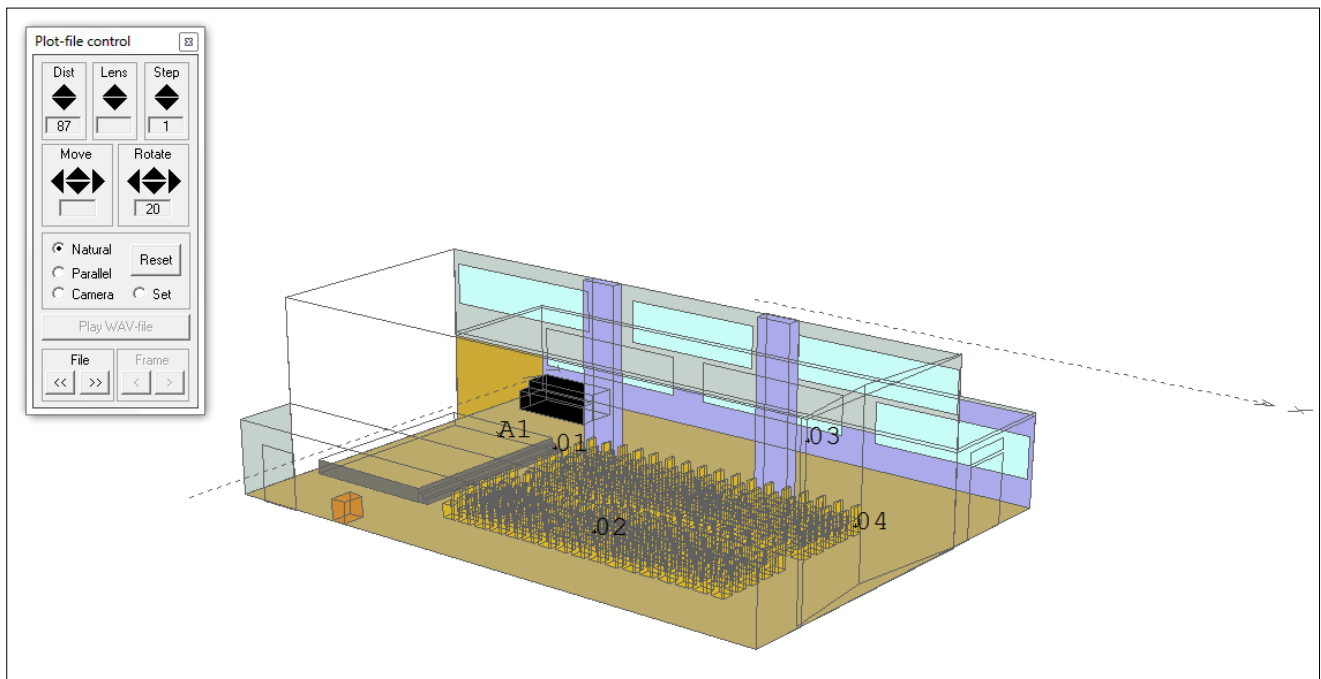


Figura nº 2.1.3: Dibujo exportado a CATT-Acoustic con planos Volteados.

## 2.2 Calibración del modelo

Este paso consiste en hacer concordar el tiempo de reverberación con caída en 30 decibeles (T 30) medido físicamente en el Salón de Alumnos, con el tiempo que predice CATT-Acoustic. Para esto, el procedimiento principal constó en dar con los materiales de construcción con los que consta el salón, y a continuación escoger los coeficientes de absorción sonora de Sabine adecuados para que la absorción de los materiales que simula el software CATT, sea lo más cercana posible a la absorción real de los materiales con los que está hecho el salón. Una vez que se da con los materiales y sus coeficientes de absorción sonora, estos se introducen nuevamente en el archivo de texto principal: MASTER.GEO.

Cabe señalar que para declarar los coeficientes de absorción sonora adecuados, estos se investigaron en distintos libros, papers, tablas de materiales, etc. Este paso fue muy demoroso, ya que fue una experiencia de ensayo y error, en el que se hicieron muchas predicciones que resultaron erróneas, antes de dar con un tiempo de reverberación T30 muy similar al del medido físicamente.

Una vez que se declararon los datos de absorción sonora, se introdujeron los coeficientes de difusión sonora en los lugares que fueron necesarios. Las únicas superficies que entregaban una difusión sonora considerable fueron las sillas del recinto. Estas ocupan la función de audiencia dentro de la sala, por lo que los coeficientes de difusión que se declararon fueron los recomendados para audiencia: dentro del rango del 30 al 80 %. Para todos los demás planos se le asignó la difusión sonora por defecto (10%) que ofrece CATT-Acoustic. (Ver fig. 2.2.1)

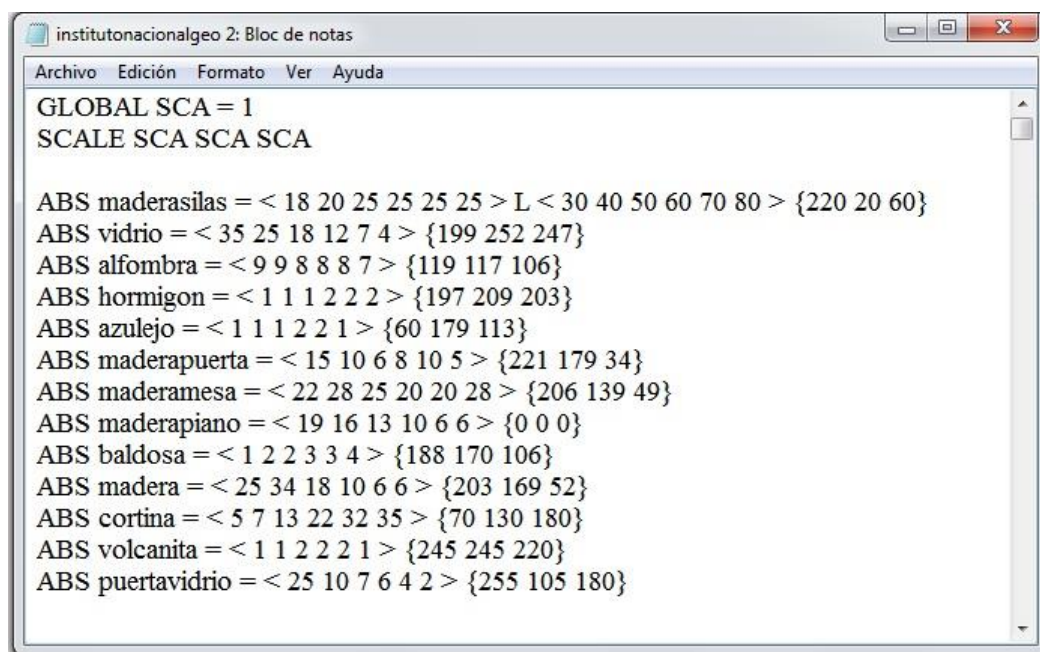


Figura nº 2.2.1: Declaración de materiales y sus coeficientes de absorción y difusión sonora.

A continuación se re ajustó la información declarada en los archivos de fuentes y receptores, ya que se deben definir las fuentes y las posiciones de micrófonos de la medición física del T30 del salón. Además, se le asignó la direccionalidad correcta de las fuentes, aún cuando estas se declaran como OMNI. Se hace esto debido a que si no se declara hacia donde miran las fuentes, el software CATT se cae. (Ver fig. 2.2.2 y 2.2.3)

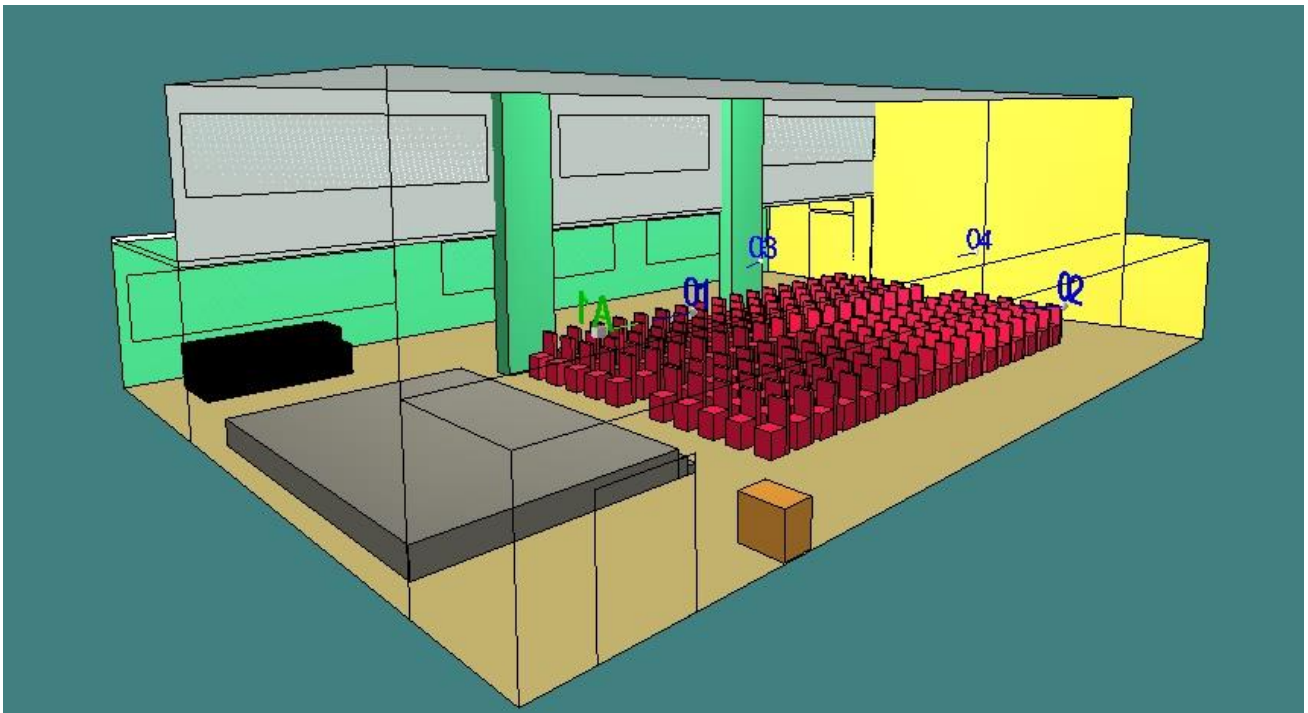


Figura nº 2.2.2: Vista 3D de Fuente 1 y sus receptores en CATT-Acoustic.

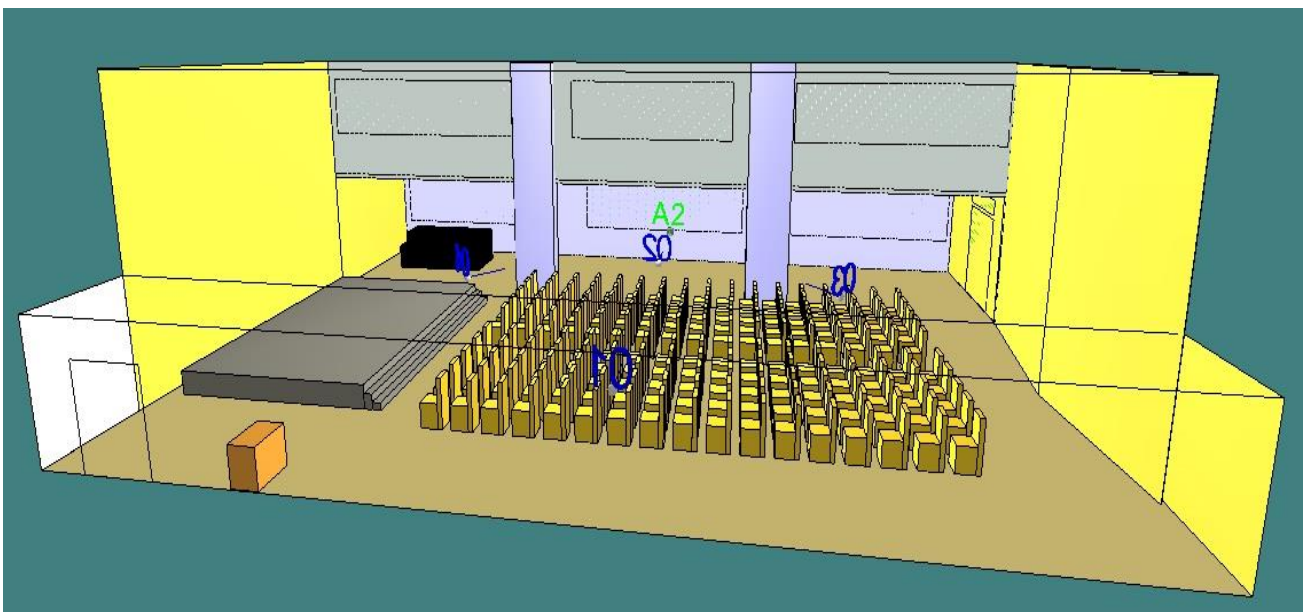


Figura nº 2.2.3: Vista 3D de Fuente 2 y sus receptores en CATT-Acoustic.

El siguiente paso fue ajustar el “cálculo full detallado” de la ventana de predicción de CATT. Se escogió la opción automática para el número de rayos por octava, y en el tiempo de truncado de rayos se le asignó el valor de 3,5 segundos, que es un valor mayor o igual al máximo T30 de la sala. Son opciones que se deben escoger, ya que de lo contrario el software puede entregar un cálculo defectuoso o no entregarlo simplemente.

Finalmente, se guardaron las configuraciones y se empezó el cálculo de los parámetros acústicos del salón, lo cual demoró un tiempo considerable.

### **2.3 Resultados del tiempo de reverberación simulado en CATT-Acoustic.**

Antes de entregar los resultados del T30, es necesario aclarar que se predijo el cálculo de la simulación acústica 2 veces, una por cada fuente y sus receptores. La razón de esto fue que en la medición física del tiempo de reverberación de la sala se establecieron diferentes posiciones de micrófono por fuente, esto para tener el comportamiento de la sala en distintas posiciones. Por lo tanto, se decidió hacer el cálculo por separado para que CATT no calculara el T30 en base a combinaciones de fuente-receptor que no existieron en la medición en terreno del T30.

Además, para hacer coincidir los T30 medidos y los simulados por CATT-Acoustic, se permite un margen de error del 10% del T30 que entrega CATT con respecto al real medido. (Ver Anexos: Tablas 4.2, 4.3 y 4.4)

Teniendo en cuenta estas consideraciones, a continuación se entrega el T30 entregado por CATT-Acoustic, y en seguida el T30 medido en terreno para su comparación.

<b>CALCULO T30 EN CATT-ACOUSTIC</b>						
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>T 30 Posición de Fuente 1 (seg)</b>	2,53	2,16	2,5	2,54	2,53	1,95
<b>T 30 Posición de Fuente 2 (seg)</b>	2,53	2,19	2,52	2,58	2,55	1,96
<b>Promedio Total T 30 (seg)</b>	<b>2,53</b>	<b>2,18</b>	<b>2,51</b>	<b>2,56</b>	<b>2,54</b>	<b>1,96</b>

Tabla nº 2.3.1: Resultados de la simulación del T30 del salón de alumnos del Instituto Nacional por software de simulación acústica CATT-Acoustic.

<b>T30 MEDIDO EN TERRENO</b>						
<b>Frecuencia (Hertz)</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Promedio Total T 30 (seg)</b>	<b>2,42</b>	<b>2,17</b>	<b>2,54</b>	<b>2,61</b>	<b>2,68</b>	<b>2,05</b>

Tabla nº 2.3.2: Resultados de la medición del T30 del salón de alumnos del Instituto Nacional en terreno.



## 2.4 Gráfico comparativo de T30 medido y T30 entregado por CATT-Acoustic.

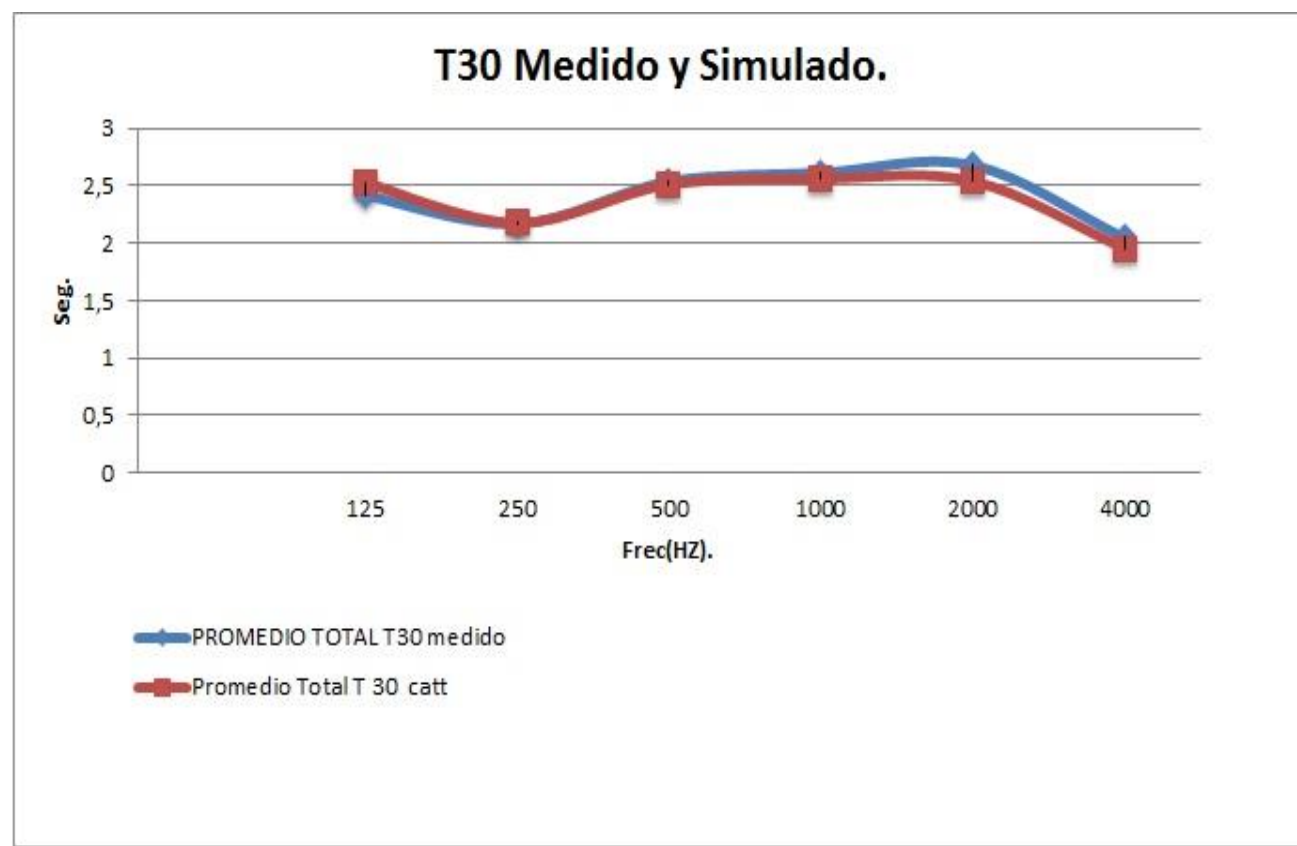


Figura nº .2.4.1: Comparación final entre T30 medido y T30 calculado en CATT-Acoustic.

### Capítulo 3: Conclusión y discusión

En conclusión, como se puede apreciar en el gráfico de la página anterior, el T30 simulado por CATT resultó ser muy similar al real medido. Esto se logró después de una ardua búsqueda de los materiales y de los coeficientes de absorción sonora que permitieran lograr la calibración del modelo de la sala implementada en Auto CAD y posteriormente en CATT-Acoustic.

A finalizar la simulación acústica y obtener los resultados, es importante percatarse que para una óptima calibración del recinto se deben tener en cuenta el mayor número de obstáculos que puedan surgir e impedir el cálculo de los parámetros acústicos. Por ejemplo, asegurarse que no hayan pérdidas considerables al momento de trazar los rayos de energía desde las fuentes (ojalá lograr pérdidas nulas o muy cercanas a cero en su defecto), asegurarse de tener datos de materiales y de absorción sonora de fuentes fiables, además de tomar en cuenta cierto margen de error con respecto a que no siempre se da con los datos del material exacto, en estas circunstancias, se deberá elegir un material de similares características físicas, tomando en cuenta si este contiene cámaras de aire, es poroso o muy rígido. Además un típico error que se presenta al simular el T30 de una sala, es que el mayor T30 que entrega el software es mayor al especificado en el tiempo de truncado de rayos. Es por esto que se recomienda, primero escoger un tiempo alto para asegurarse de que CATT no lance errores, y luego con respecto al valor del T30 más alto que entregue bajarle el tiempo de truncado y calcular de nuevo.

Otro factor que puede incidir en los resultados es la declaración de posición de las fuentes y receptores virtuales, además de sus demás parámetros. Estas deben declararse como lo más cercanas al mundo físico, ya que de lo contrario la calibración será errónea. Otro error muy común es el dejar las caras de los planos en sentido inverso. Si esto ocurre, la declaración de absorción sonora que se haga, no verán ningún efecto en las ondas sonoras simuladas por CATT.

Por último, en contadas circunstancias el software suele lanzar errores haciendo escapar rayos por paredes cerradas. Esto se soluciona rehaciendo la pared en el archivo MASTER.GEO asignando coordenadas en el documento de texto.

Si todos estos factores se toman en cuenta, la simulación acústica de una sala no debiera resultar con errores considerables.

## Capítulo 4: Anexos

Nombre del material	Frecuencia					
	125	250	500	1000	2000	4000
Sillas de colegio	0,18	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25
Ventana de Vidrio	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Alfombra delgada sobre tarima	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07
Azulejos	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Baldosa	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Madera de 0,3cm con 5cm de cámara	0,25	0,34	0,18	0,1	0,06	0,06
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Vulcanita	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
Cortinas, tejido mediano	0,05	0,07	0,13	0,22	0,32	0,35
Piano	0,19	0,16	0,13	0,1	0,06	0,06
Mesa de madera	0,22	0,28	0,25	0,2	0,2	0,28
Puerta de vidrio grueso	0,25	0,1	0,07	0,06	0,04	0,02
Puerta de madera	0,15	0,1	0,06	0,08	0,1	0,05

Tabla nº 4.1: Especificación de materiales del salón y los coeficientes de absorción sonora que se ocuparon para simular T30 en CATT-Acoustic.

Fuente 1							
Frec (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000
T 30 (seg)	Pos mic 1	2,369	2,067	2,015	2,341	2,554	1,999
T 30 (seg)	Pos mic 2	2,527	2,078	2,451	2,709	2,666	2,007
T 30 (seg)	Pos mic 3	2,617	2,129	2,202	2,708	2,608	2,023
T 30 (seg)	Pos mic 4	2,25	2,111	2,923	2,431	2,704	2,08
PROMEDIO T 30		2,44	2,10	2,40	2,55	2,63	2,03
MÍNIMO PERMITIDO		2,20	1,89	2,16	2,29	2,37	1,82
MÁXIMO PERMITIDO		2,68	2,31	2,64	2,80	2,90	2,23

Tabla nº 4.2: T30 medidos en terreno para fuente 1: por posición de micrófono, promedio total, y valores mínimos y máximos que podía alcanzar la simulación en CATT-Acoustic.

Fuente 2							
Frec (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000
T 30 (seg)	Pos mic 1	2,671	2,1	2,335	2,395	2,547	2,059
T 30 (seg)	Pos mic 2	2,379	2,547	3,555	2,855	2,809	2,083
T 30 (seg)	Pos mic 3	2,291	2,129	2,359	2,596	2,77	2,064
T 30 (seg)	Pos mic 4	2,261	2,175	2,454	2,862	2,774	2,065
PROMEDIO T 30		2,40	2,24	2,68	2,68	2,73	2,07
MÍNIMO PERMITIDO		2,16	2,01	2,41	2,41	2,45	1,86
MÁXIMO PERMITIDO		2,64	2,46	2,94	2,94	3,00	2,27

Tabla nº 4.3: T30 medidos en terreno para fuente 2: por posición de micrófono, promedio total, y valores mínimos y máximos que podía alcanzar la simulación en CATT-Acoustic.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN REAL DE SALÓN DE ALUMNOS INSTITUTO NACIONAL						
Frecuencia (Hertz)	125	250	500	1000	2000	4000
PROMEDIO TOTAL T 30	2,42	2,17	2,54	2,61	2,68	2,05
MÍNIMO PERMITIDO	2,18	1,95	2,28	2,35	2,41	1,84
MÁXIMO PERMITIDO	2,66	2,38	2,79	2,87	2,95	2,25

Tabla nº 4.4: Total de T30 medido en terreno, y valores mínimos y máximos que podía alcanzar la simulación en CATT-Acoustic.

## Bibliografía y referencias

- Carrión Isbert, Antoni; “Diseño acústico de espacios arquitectónicos”; Editorial Alfaomega; México D.F. (2001).
- Recuero López, Manuel; “Acústica arquitectónica aplicada”; Editorial Paraninfo; España (1999).
- Beranek, Leo; “Acústica”, Versión castellana por Adolfo Di Marco; Editorial Hispano Americana; Buenos Aires (1969).
- Apuntes y Guías académicas.
- Diversos Papers, Artículos, Tablas de absorción sonora, manuales, entre otros, encontrados en Internet.

Algunos disponibles en:

<http://www.farq.edu.uy/joomla/images/stories/acustico/Tablas/Tablas%20de%20Absorcion.pdf>

[http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(9\)%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(9)%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm)

<http://www.elruido.com/divulgacion/curso/acondicionamiento/TABLA41.htm>

<http://www.eumus.edu.uy/eme/cursos/acustica/apuntes/acuarq/acuarq.html>

<http://acusticarquitectoniciaymedioambiental.blogspot.com/2010/05/coeficientes-de-absorcion-sonora.html>

<http://sonidistas.wordpress.com/2008/05/15/coeficientes-de-absorcion-de-materiales/>