



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

UNIDAD PROFESIONAL TECAMACHALCO

SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

“LA CALIDAD ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA”

**EL AMBIENTE ACÚSTICO EN EDIFICIOS ESCOLARES DE NIVEL
SUPERIOR.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ARQUITECTURA

P R E S E N T A:

AYDE MEDINA VALDEZ



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

UNIDAD PROFESIONAL TECAMACHALCO

SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

“LA CALIDAD ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA”

**EL AMBIENTE ACÚSTICO EN EDIFICIOS ESCOLARES DE NIVEL
SUPERIOR.**

POR:

AYDE MEDINA VALDEZ

REGISTRO SIP-IPN:

A050790

COMITÉ TUTORAL:

Director. - Dr. Raymundo Mayorga Cervantes.

Codirector. Dr. Alfonso Rodríguez López.

Asesor 1. - Dr. Joel Audefroy

Asesor 2. - Dr. Gerardo Torres Zárate.

Asesor 3. - MC. Héctor A. Cervantes Nila.



Foto No.1- Dirección de Administración de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACION DE DIRECTOR DE TESIS

México, D.F. a 10 de marzo 2009

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIA-Tecamachalco en su sesión Ordinaria No. 08/07 celebrada el día 20 del mes de agosto conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

MEDINA VALDEZ ÁYDE
Apellido paterno materno nombre

Con registro:

A	0	5	0	7	9	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ARQUITECTURA

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulada:
"La calidad acústica arquitectónica"

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos: La calidad acústica, para la ambientación en edificios escolares

2.- Se designa como Director de Tesis al C. Profesor: DR. JUAN RAYMUNDO MAYORGA CERVANTES

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en: SEPI ESIA TECAMACHALCO

Que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por La Comisión Revisora correspondiente:

El Director de Tesis

DR. JUAN RAYMUNDO MAYORGA
CERVANTES

El Aspirante

ÁYDE MEDINA VALDEZ

El Presidente del Colegio

DR. RICARDO ANTONIO PEÑA CHALCO
NÚÑEZ

ARQUITECTURA
E.S.I.A.
ESCUELA SUPERIOR DE
INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de MÉXICO siendo las 18:30 horas del día 28 del mes de enero del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIA-Tecamachalco para examinar la tesis de titulada:
"La calidad acústica arquitectónica"

Presentada por el alumno:

MEDINA
Apellido paterno

VALDEZ
materno

ÁYDE
nombre(s)

Con registro:

A	0	5	0	7	9	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ARQUITECTURA**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis

DR. JUAN RAYMUNDO MAYORGA CERVANTES

CO-DIRECTOR

DR. ALFONSO RODRIGUEZ LÓPEZ

ASESOR 2

DR. JOEL AUDEFROY

ASESOR 3

DR. GERARDO TOMEZ ZARATE

ASESOR 4

MTR. HÉCTOR ALEJANDRO CERVANTES NILA



EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RICARDO ANTONIO TENA NUÑEZ



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
COORDINACIÓN GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **México** el día **27** del Mes de **Febrero** del Año **2009**, la (el) que suscribe **Ayde Medina Valdez** alumna (o) de la **Maestría en Ciencias en Arquitectura** con número de registro **A050790** adscrita a la **Sección de Estudios de Posgrado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de **DR. J. RAYMUNDO MAYORGA CERVANTES** y cede los derechos del trabajo intitulado **La Calidad Acústica Arquitectónica**, al **Instituto Politécnico Nacional** para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la investigación no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección, **meva_2305@yahoo.com.mx** si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ayde Medina Valdez

Agradecimientos.

A la **Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional, Unidad profesional tecamachalco**, por ser parte esencial en mi formación Profesional y por ser Casa Abierta para la investigación.

A la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

Por Permitirme lograr la culminación de esta Tesis y obtener el grado de Maestría en Ciencias en Arquitectura.

A el Dr. Raymundo Mayorga Cervantes, Dr. Alfonso Rodríguez López, Dr. Joel Audefroy, Dr. Gerardo Torres Zárate y al MC. Héctor A. Cervantes Nila, por su apoyo y dedicación sin ellos esto no hubiese sido posible.

A Mis Padres por su apoyo y cariño, por enseñarme que todo lo que comienzo lo debo de culminar por muy difícil que sea.

A Mi Esposo por su gran amor y paciencia, por sus desvelos y esmero en hacerme el camino más fácil, este triunfo también es tuyo.

PALABRAS CLAVE.

Área: Arquitectura.

Sub área: Acústica arquitectónica.

Tema: La calidad acústica arquitectónica.

Subtema: El ambiente acústico en edificios escolares de nivel superior.

Caso de estudio: La calidad acústica arquitectónica en el interior de aulas escolares del estado de México.

Resumen.

La acústica es la ciencia que estudia el sonido incluyendo su producción, transmisión y efectos (Pierce, 1989). La investigación se centra exclusivamente en la Acústica Arquitectónica en términos de su calidad en las aulas escolares de nivel superior., por lo cual se ha observado que la ausencia de una calidad acústica óptima en el interior de las aulas escolares se manifiesta en forma de ecos y de ruidos, los cuales afectan la transmisión del sonido que emite la voz del docente. Por lo que las variables que intervienen son: el ser humano y el espacio arquitectónico, el trabajo explica la relación directa entre el ser humano y el espacio arquitectónico con la calidad acústica mediante el modelo matemático de Sabine y Eyring, en donde se determino que tanto el espacio arquitectónico y el ser humano generan un ambiente acústico y en conjunto determinan la calidad acústica del ambiente en aulas escolares. El caso de estudio consistió en la medición y validación estadística de las variables antes citadas, a través de tres planteles: Tecnológico de Estudios Superiores, Universidad Estatal del Valle de Ecatepec y la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN.

Concluyendo que el ser humano es una parte fundamental en la obtención de una calidad acústica, entendiéndose como calidad aquella característica que considera el grado en que un recinto es acústicamente adecuado o no para alguna actividad específica, atendiendo a la teoría de Sabine, las aulas escolares deben de tener un tiempo de reverberación de 0.5-0.9 segundos., lo que nos permite dar a conocer que al destinar los espacios para determinadas actividades, no se esta tomando en cuenta que como ocupantes somos factores absorbentes y generadores de sonidos, permitiendo afirmar que es importante adoptar acciones correctivas y normativas para mejorar la calidad acústica actual de los recintos y se provea una legislación acorde para futuras construcciones.

Abstract.

Acoustics is the science devoted to the study of sounds including its production, transmission and effects (Pierce 1989). This research exclusively focuses on Acoustics on Architecture regarding college classrooms in which there has been learned the lack of good acoustics inside the rooms present in echoes and noise that affect the transmission of the sounds emitted by the Professor. The reasons for these are: Human being and the architectonic space. The paper explains the direct relationship between the Human being and the architectonic space with the quality of Acoustics through Sabine and Airing's mathematics model which determines that both Human being and the architectonic space decide the acoustic quality classrooms are to have. The case study was to measure and valid the statistics of the aforementioned variables through three Colleges which are Tecnológico de Estudios Superiores, Universidad Estatal del Valle de México and Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura from IPN.

Concluding that the Human being is a key element in getting good quality in acoustics meaning by quality that feature that determines whether a enclosure is properly acoustic for any purposes based on Sabine theory which reads that classrooms ought to have a reverberation form 0.5 to 0.9 sec which allows us to learn that by designating spaces to certain activities we as occupants are not being considered as both absorbing and generators of sound. Establishing that it is important to start corrective and regulatory actions to improve the enclosures through legislation according to upcoming constructions.

Agradecimientos	I
Palabras clave	II
Resumen	III
Abstract	IV
Índice	V
Introducción	VIII

Capítulo I.-Calidad y Ambiente Acústico Arquitectónico.

1.1.-Concepción y Percepción del Ambiente Acústico Arquitectónico.....	13
I.2.- Conceptualización del ambiente acústico en espacios arquitectónicos.....	21
I.3.-El sonido; Materiales y Elementos utilizados en el Acondicionamiento Acústico de Recintos	22
I.4.- Estado del Arte de los Modelos de Análisis Acústicos	31
1.4.1.-A Nivel Internacional.....	31
1.4.1.2.-Aplicaciones del los Fenómenos Acústicos.....	37
1.4.1.3.-A Nivel Nacional.....	38
I.5.- Normatividad entorno al Fenómeno Acústico.....	40

Capítulo 2.-Características del Fenómeno Acústico desde el enfoque de la Física Ambiental.

2.1.- Descripción del Fenómeno Acústico en los edificios.....	45
2.2.- Principios físicos del fenómeno acústico.....	47
2.2.1.- Parámetros del comportamiento físico acústico en aulas escolares.....	49
2.2.1.1-Reverberación.....	49
2.2.1.2-Reflexión.....	51
2.2.1.3-Absorción.....	53

2.3.- Instrumentos de Medición de los fenómenos acústicos.....	55
--	----

Capítulo 3.-Elementos Determinantes de la Calidad Acústica.

3.1.- Definición de variables	57
3.2.- Características del caso de estudio	59
3.2.1-Diseño del Método de Investigación	66
3.2.2-Absorción de los materiales y características auditivas	75
3.2.2.1. Audiometría	78
3.3.- Sistemas de evaluación del Ambiente Acústico en las aulas escolares	81

Capítulo 4.-Análisis e identificación estadística en aulas escolares.

4.1.-Valoración auditiva.....	87
4.2.-Determinantes de una calidad acústica optima.....	94
4.3.-Interpretación de los datos estadísticos.....	95
Conclusiones del estudio.....	101
Recomendaciones a incorporar dentro del proceso de diseño a partir de las Conclusiones del estudio.....	105
Líneas de investigación y propuestas para futuros trabajos para el aula escolar, desde el punto de vista acústico.	107

Bibliografía	109
Tesis y Publicaciones.....	112
Mediografía.....	113
Relación de Imágenes.....	115
Relación de Figuras.....	115

Relación de Fotografías	116
Relación de Tablas.....	118
Relación de graficas.....	121
Anexos	
A.1 Cedula de evaluación auditiva	123
A.2 Diseño Metodológico.....	124
A.3 Calculo del Tiempo de reverberación.....	127

Introducción.

En el presente documento se abordan temas relacionados al ambiente acústico, como los problema de diseño arquitectónico, mismo que se documenta de acuerdo a las investigaciones realizadas por (Wallace Clement Sabine, Francis W. Sears, Mark W. Zemansky y Hung D. Young, Apfel, hidaka y eyring) y de las cuales se retoman los conceptos para explicar de manera más concisa que se entiende como Calidad Acústica y ambiente acústico, qué han hecho y de qué manera han abordado este tema así como que aportaron los precursores.

Las investigaciones citadas anteriormente permiten aseverar que las malas condiciones acústicas afectan la atención y el rendimiento académico de los alumnos. También el ruido torna poco confortable el ambiente laboral de los docentes, convirtiéndose en un factor negativo para su trabajo.

Que las aulas poseen elementos y características típicas de dos naturalezas:

- a) Fijas, tales como: paredes, ventanas, cielos rasos, puertas y pisos.
- b) Móviles, como: muebles y elementos didácticos, los cuales pueden ser cambiados de lugar para una gran diversidad de actividades de mayor o menor duración, también los modelos de enseñanza y aprendizaje son dinámicos.

Distintos docentes pueden utilizar un mismo espacio de diferente manera en un mismo día. Entre las posibles causas de un ambiente acústico inapropiado en las instalaciones educativas, pueden citarse:

- Mal diseño de las aulas (cuadradas o rectangulares con grandes superficies de paredes paralelas, paredes duras, etc.) lo que conduce a tiempos de reverberación altos.
- Ruido invasivo proveniente de aulas adyacentes y otros ambientes (corredores, patios, etc.) de equipos de aire acondicionado, gimnasios, etc.
- Ruido interno generado por los propios alumnos.
- Ruido invasivo proveniente del exterior: tránsito vehicular, industrias, comercios, etc.

Entre los principales problemas originados por el ruido, deben evaluarse:

- Interferencia en la conversación: se dificulta oír la voz del docente. La situación empeora para alumnos con hipoacusias.
- Fatiga en los docentes, que deben alzar su voz por el encima del ruido de fondo para ser oídos causándoles depresión, angustia, jaquecas, etc.
- Contribuye en gran medida al bajo rendimiento académico de los alumnos.

Por lo que la acústica arquitectónica tiene que ver ante todo con el hecho de establecer las condiciones óptimas del espacio arquitectónico en el diseño acústico, en este caso en los planteles educativos. Por este motivo la calidad del ambiente acústico necesaria para obtener una audición determinada, depende del empleo de los recintos y de las condiciones físicas en que se encuentra el aula escolar; bajo la condición de locales acústicamente aislados, lo cual obliga a la atenuación de los ruidos exteriores.

Lo anterior sugiere el estudio de la combinación de los factores como variables en relación efecto-causa, en forma tal que contribuyan a explicar como se da la calidad acústica de un recinto destinado para una actividad determinada. Fenómeno que se estudiara a través del análisis de un conjunto representativo de espacios tipo, como son las aulas didácticas, con el propósito de definir metas de diseño acústico para asegurar un ambiente acústico y eficiente para la audición de los escolares, de esta manera se plantea la siguiente hipótesis:

El espacio arquitectónico y el ser humano en relación efecto-causa, determinan la calidad acústica del ambiente en el interior de las aulas escolares.

Entre los cuales se tiene como variables del confort:

Dependiente: la calidad del ambiente acústico y como independientes: el espacio arquitectónico y ser humano.

Entendiéndose como componentes a analizar de estas variables independientes los siguientes:

Ser humano

- 1.-Numero de personas.
- 2.-La condición auditiva del ser humano estudiado.

Espacio arquitectónico

- 3.-Materiales constructivos del espacio arquitectónico.
- 4.-Dimensiones del aula escolar.
- 5.-Tipo de material del mobiliario del aula escolar.

En donde el objetivo de la investigación; Es el de explicar mediante un modelo matemático la obtención de una calidad acústica en donde se incluya al ser humano.

Y como objetivos particulares:

1. El describir que condición es la que permite que el Tiempo de Reverberación se realice en un plazo corto o en su caso por que no tiene ese efecto en la transmisión del sonido.
2. Describir de qué manera el ser humano es participe en la obtención de un ambiente acústico óptimo.

Para este tipo de investigación el método a utilizar es deductivo; entendiéndose así la descripción del fenómeno hasta llegar al análisis del tiempo de reverberación óptimo para la propagación del sonido, tomando en cuenta que la investigación es de tipo básica, Expost facto; misma que se desarrollara en los siguientes capítulos:

En el capítulo 1- se plantea el marco teórico metodológico a través de los antecedentes y fundamentos que llevaron a cabo los investigadores sobre la acústica arquitectónica a nivel nacional e internacional.

En el capítulo 2- se describe el contexto actual e histórico del problema.

En el capítulo 3- se expone el análisis y metodología del caso de estudio-factores, variables y condiciones que intervienen para la obtención de una calidad acústica.

Y por ultimo en el capitulo 4- se da a conocer los resultados parciales y globales, conclusiones generales y especificas del tema a sí como el planteamiento de trabajos futuros y factores a considerar.

Capitulo I.

Calidad y Ambiente Acústico Arquitectónico.

1.1.-Concepción y Percepción del Ambiente Acústico Arquitectónico.

La acústica arquitectónica es una de las ciencias clásicas relativamente nuevas, (100 años); la primera referencia escrita donde se conjugan criterios acústicos y arquitectónicos corresponde al romano Vitruvio Polión en el siglo I a.c. En su opinión, “la geometría de los teatros griegos (en forma de abanico) y de los romanos (la clásica “arena”) estaba basada en una definición previa de la acústica más adecuada en cada caso”.

A finales del siglo XIX y concretamente en 1877, el físico inglés lord Rayleigh publicó un tratado con el título de *Theory of Sound*, que contenía los fundamentos teóricos de esta ciencia y que aún hoy en día sirve de referencia. Con todo, las explicaciones allí vertidas sobre acústica de salas se limitaban a generalidades del siguiente tipo: “En relación con la acústica de edificios públicos, hay varios puntos que permanecen oscuros. A fin de evitar la reverberación a menudo se hace necesario colocar moquetas o cortinas para absorber el sonido. En algunos casos la presencia de la audiencia es ya suficiente para conseguir el efecto deseado.”¹



Imagen No.1- Teatro de Epidauro (Grecia), construido alrededor del año 300 a.c., (Carrión Isbert A., 1998, p.170).

¹ Carrión Isbert A. (1998) *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*, México, Edicions UPC, alfaomega.

En la historia de la arquitectura prehispánica de México se puede nombrar a la cultura Teotihuacana, que en la construcción de sus pirámides manejaban la acústica, en donde el ambiente exterior no era transmitido al interior. Si hay algo que destacar de las construcciones prehispánicas; es la amplia comprensión que tuvieron del espacio del tiempo, del sitio y de la sociedad en la que estaban viviendo, otro ejemplo es la civilización Azteca (1325d.c-1521).²

En 1895, Wallace Clement Sabine empezó su trabajo pionero encaminado a la aplicación de la acústica en la arquitectura. W.C. Sabine, profesor asociado del departamento de Física de la Universidad de Harvard, descubrió que la reverberación de un recinto era inversamente proporcional a la cantidad de absorción del mismo. Había nacido la célebre ecuación de reverberación de Sabine, utilizada universalmente hasta nuestros días como parámetro primordial para la caracterización acústica de una sala.

En 1898 Wallace Sabine propuso la primera ecuación que permitía calcular el tiempo de reverberación (T) en un recinto.³

La cantidad de energía absorbida por una superficie depende de su tamaño y del material del que esta construida. Estas dos características se combinan en una cantidad denominada área de absorción efectiva, que se define como el producto de su área real por el coeficiente de absorción. El coeficiente de absorción de los materiales depende de la frecuencia, por lo que el tiempo de reverberación también.

Por lo que la acústica se consolidó como una nueva ciencia a partir de los años 30, con posterioridad a la prematura muerte de Sabine, en 1919, fundamentalmente por el

² Torres García (2001) *Arquitectura: Los Orígenes, Revista Trimestral Esencia- Espacio*, No.14, ESIA. TEC

³ Wallace Clement Sabine es considerado el padre de la acústica arquitectónica.

desarrollo de la tecnología de micrófonos, amplificadores a válvulas, altavoces, y su utilización como herramienta habitual en trabajos de campo. Posteriormente con la evolución de los equipos electrónicos de medición, ha sido posible relacionar una serie de parámetros subjetivos tales como: inteligibilidad de la palabra, claridad musical, reverberación y la envolvente espacial del sonido o intimidad acústica con otros parámetros objetivos obtenidos directamente a partir de mediciones efectuadas “in situ”.

La otra cantidad que afecta al decrecimiento del sonido es la rapidez con la que la energía sonora llega hasta las paredes antes de ser reflejada o absorbida. Esto depende de la intensidad del sonido ambiente, que a su vez depende del volumen de la sala.

$$T=0.16/A$$

La ecuación de Sabine sobrestima el valor de T, cuando la absorción es alta. Hacia 1930, Eyring y Norris desarrollaron independientemente una ecuación para este caso: $T=0.16/(-\ln(1-\alpha))$, con posterioridad han sido propuestas muchas otras ecuaciones y teorías para calcular el tiempo de reverberación, todas ellas presentan limitaciones en su aplicación.

En 1949, 1955 y 1964, Sears F. Weston, Mark W. Zemansky y Hugh D. Young investigadores y autores del libro Física Universitaria; Introducción a los cálculos y problemas de los fenómenos acústicos, tales como las ondas sonoras, el nivel de intensidad, sonoridad y el efecto Doppler entre otros. Han aportado datos para medir el nivel de acondicionamiento acústico y siendo esto uno de los principios acústicos.

Por lo cual se puede decir que el tiempo que tarda en hacerse inaudible el sonido en una sala depende de su intensidad. Para poder hacer comparaciones entre sonidos diferentes, es necesario definir una magnitud que no dependa de su intensidad inicial.

Se define el tiempo de reverberación como el tiempo necesario para que la intensidad de un sonido disminuya a la millonésima parte de su valor inicial o, lo que es lo mismo, que el nivel de intensidad acústica disminuya 60 decibelios por debajo del valor inicial del sonido.

Por ejemplo: el tiempo de reverberación del teatro de la Escala de Milán es de 1.2 s y el de la Catedral de Colonia es de 13 s; asiendo alusión a este concepto se define como:

El efecto Doppler en ondas sonoras se define como el cambio de frecuencia que sufren las ondas, cuando la fuente emisora de ondas y/o el observador se encuentran en movimiento relativo al medio. La frecuencia aumenta cuando la fuente y el receptor se acercan y disminuye cuando se alejan.

Louis I. Kahn decía que “el espacio es el principio de la arquitectura”. El espacio limitado físicamente por superficies de cualquier índole y forma, puede ser abierto o cerrado. Estas superficies cuando se refieren a espacios cerrados, conforman un recinto que es el lugar donde podrán llevarse acabo actividades relacionadas con el ser humano. (Lobell. J. 1979).

Se identifican generalmente los espacios por sus características formales ya que tradicionalmente sea ligado a la arquitectura con la percepción visual. Cuando se habla de percepción del espacio casi invariablemente se refieren a los aspectos visuales y pocas veces se refieren al uso de los otros sentidos.

Por otro lado Kahn también hace referencia a la necesidad de pensar en los elementos que se pueden emplear en un espacio, para hacer que un ambiente (para aprender, para vivir o para trabajar) forme parte del concepto relacionado con las condiciones de confort y

bienestar en los espacios arquitectónicos, condiciones que generalmente se generan por la influencia de los factores naturales del medio ambiente.

Hidaka (1995) menciona que la calidad acústica se puede ver afectada negativamente por el ruido, los ecos y la distorsión tonal, esta última causada por resonancias, focalizaciones y efectos irritantes del sonido.⁴

Para Apfel (1998) existían condiciones que les son comunes a los espacios acústicos, cuando de calidad acústica se trata:⁵

- a. El sonido debe de ser lo suficiente intenso en cualquier sitio.
- b. El sonido debe de estar bien distribuido.
- c. Debe de haber una claridad adecuada.
- d. El espacio debe de estar libre de ecos.

Para Ando que ha estudiado las funciones cerebrales auditivas, en 1998 en su teoría de la preferencia subjetiva individual. La percepción subjetiva individual se da en la forma en que los factores acústicos del recinto afectan a cada uno de los hemisferios cerebrales. Estos estudios le han llevado a resultados que indican que el hemisferio cerebral izquierdo está asociado con los factores temporales, y el derecho con los factores espaciales, además han conducido a definir el nivel promedio de preferencia para cada asiento en una sala de conciertos, para satisfacer su preferencia auditiva individual.

Daumal (1998) habla de la personalidad acústica del espacio y afirma que todos tienen un comportamiento acústico y por lo tanto un carácter, el cual puede llegar a ser muy

⁴ Hidaka Takayuki. (1995) *Frequency sound levels as measures of acoustical quality in concert hall*, Acoust. Soc. Am.

⁵ Apfel Robert E. (1998) *Deaf architects & blind acousticians*, Apple Enterprise.

dominante, como el caso del silencio. Para ello Daumal define parámetros antagónicos en tres grupos: según el efecto espacial, según la actividad y según el acento, dichos parámetros son:

- Reverberante y anecoico.
- Tonal y atonal.
- Silencio y ruidoso.
- Expuesto y aislado.
- Propio y ajeno.
- Indiferente y subjetivo.
- Neutro e informativo.
- Concentrado y difuso.
- Enmascarado y transparente.
- Individual y colectivo.

Siebein (1999) presenta un resumen de estudios recientes, donde destaca los resultados que se han obtenido en los últimos años, con respecto a los análisis que se han efectuado tanto en campo como en laboratorio, para determinar e identificar las cualidades asociadas con la buena acústica.⁶

El tiempo de reverberación aplicado en distintos tipos de manifestaciones musicales y otras actividades acústicas y las enumera y clasifica de la siguiente manera:

1. Combinación de decaimientos sonoros cortos y largos.
2. Estudio del tiempo de arribo de las reflexiones posteriores al sonido directo.
3. Estudio de los umbrales del tiempo de retardo, amplitud.

⁶ Sieben Gary. W. & Kinzey B. Y. (1999) Architectural acoustics, J. Wiley & Sons Inc.

4. Estudios del tiempo de arribo de la reflexión.
5. Estudio de la influencia de las diferencias en la percepción.
6. Difusión de los campos sonoros.
7. Investigaciones en los campos sonoros.

Cualidades primarias

- Claridad
- Sonoridad
- Reverberación
- Especialidad
- Localización

Cualidades secundarias.

- Amplitud de la fuente
- Intimidad
- Difusión
- Ruido de fondo

Dodd (2001) publica los resultados de una encuesta realizada a lo largo de 11 años sobre los hábitos de las personas para escuchar, muestra que los oyentes prefieren escuchar fuentes sonoras reales, que el sonido reproducido o amplificado por medios electroacústicos, por lo que concluye que se prefiere escuchar por métodos pasivos y mecánicos, que por métodos activos y electrónicos; por lo cual, el espacio arquitectónico juega un papel crucial.⁷

⁷ Dodd G. (2001) *Listener Habits and choices; journal of sound and vibration*, vol. 239 (4), Performance Venus.

En todo caso cabe mencionar que los éxitos en el diseño desde un punto de vista acústico eran el fruto de una combinación de intuición y experiencia, en la definición de las formas y en la elección de los materiales constructivos.

I.2.- Conceptualización del Ambiente Acústico en Espacios Arquitectónicos.

La acústica arquitectónica es el punto de encuentro de un conjunto de disciplinas, que se ubican dentro de las ciencias, la tecnología y el arte, esto aplica con mayor énfasis cuando se habla de espacios que tienen que ver con la apreciación de la música o la palabra.

Por lo cual se entiende que la **Acústica Arquitectónica** estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto.

Según Rodríguez (1998) la calidad acústica es el estado de satisfacción o de bienestar físico y mental del ser humano en su percepción auditiva, en un momento dado y en un ambiente específico. Es aquel en el que el carácter y la magnitud de los sonidos ajenos no interfieren con la actividad que se vaya a desarrollar en el recinto. En donde el eco es la clara repetición de un sonido, reflejado desde una superficie distante y puesto que se encima a los siguientes sonidos y provoca confusión.⁸

Un ambiente acústico satisfactorio se define como aquel en el cual el carácter y magnitud de todos los sonidos son compatibles con el uso del espacio.

⁸ Rodríguez Manzo. F. (2001) *Análisis y balance acústico de los espacios arquitectónicos; Tesis de Maestría en Diseño, México*, UAM-Azcapotzalco.

Retomando lo propuesto por Rodríguez se define que un ambiente confortable es aquel donde no existe distracción o molestia, de tal manera que las tareas o las actividades puedan realizarse sin perturbaciones físicas y mentales.

Para Knudsen (1978) en la acústica de los recintos existen diversos aspectos que tienen que ver con la reflexión, absorción y difusión del sonido al interactuar con las superficies que los limitan. Dichas superficies elevan la reverberación y la resonancia que son propiedades de extraordinaria importancia para el control acústico de cualquier espacio.⁹

Una difusión suficiente asegura una distribución adecuada del sonido y da a la audiencia la sensación de estar inmersa en el sonido. Sin embargo, estas dos características pueden encontrarse e inferir una con la otra, creando a si ambientes acústicamente inadecuados.

I.3.- El sonido; Materiales y Elementos utilizados en el Acondicionamiento Acústico de Recintos.

La acústica es la ciencia que estudia el sonido, incluyendo su producción, transmisión y efectos. (D. Pierce A.1989).

De acuerdo a lo mencionado se tiene que el **Sonido** es la vibración de un medio elástico, bien sea gaseoso, líquido o sólido que se propaga en forma de ondas. Cuando nos referimos al sonido audible por el oído humano, estamos hablando de la sensación detectada por nuestro oído, que producen las rápidas variaciones de presión en el aire por

⁹ Knudsen Vern O. & Harris Cyril M. (1978) Acoustical designing in architecture, AIP-ASA.

encima y por debajo de un valor estático. Este valor estático nos lo da la presión atmosférica (alrededor de 100,000 pázcala) en el espectro de frecuencias audibles, varía según cada persona, edad etc. Sin embargo, normalmente se aceptan intervalos entre 20 Hz y 20 kHz. o bien 20,000Hz; medida que corresponde a la frecuencia, la cual representa el número de ondas producidas en un segundo (Giancoli, 1994).

Según Beranek (1971) desde que una fuente sonora emite un sonido hasta que dicho sonido se convierte en sensación sonora para la persona que escucha, se produce un conjunto de fenómenos divididos en dos fases: la transmisión del sonido desde la fuente hasta el oído y la audición de las ondas sonoras.¹⁰

La Acústica Arquitectónica es una parte de la Física que estudia lo que acontece con las ondas sonoras desde que salen del foco hasta que llegan a la audiencia: [fenómenos de reflexión y absorción](#).

El proceso de reflexión puede ser definido como el retorno de todo o parte de un sonido emitido por dos medios de comunicación al llegar a un límite. La más importante regla de la reflexión es que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión; en donde ambos ángulos son medidos relativamente por una línea imaginaria que representa el límite de la reflexión, la cual es cuantificada en términos de su coeficiente "R". El cual es definido como el ratio de reflexión y de las amplitudes incidentes:

$$R = a_r / a_i$$

El tiempo de Reverberación. Según Zemansky, es el número de segundos o fracciones de segundo, que un sonido permanece audible en una habitación, después de que la fuente

¹⁰ Beranek Leo L. (1971) *Noise and Vibration Control*, New York, McGraw-Hill Company.

sonora lo ha emitido, es el recorrido de una onda para que un sonido tenga una pérdida en nivel de intensidad de 60 decibeles. El tiempo de reverberación varía con el volumen de la habitación y con la capacidad de absorción total de ella, siendo para calcularlo la sig. Expresión matemática. $T=0.05v/a$. (Sabine, 2004).

En otras palabras el concepto de tiempo de reverberación, T , técnicamente definido como el tiempo que demora el sonido en bajar 60 dB por debajo de su nivel inicial (se ha elegido 60 dB, porque con esa caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente). En algunas publicaciones se suele representar también este valor con el símbolo $RT60$, formado por la sigla en inglés de reverberación time (tiempo de reverberación), seguida por la referencia a los 60 dB. La propiedad anterior se puede expresar por medio de una fórmula

Fórmula de Sabine, en honor al físico norteamericano que la obtuvo a principios de este siglo. Según dicha fórmula el tiempo de reverberación T puede calcularse como:

$$T=0.161. V/ a$$

Por lo que cabe mencionar que Graham Bell dedujo que un decibel es una expresión logarítmica que equivale a la décima parte de un Bel, la cual representa la medida de la intensidad del sonido, concepto conocido como el volumen que depende de la amplitud de onda y varía en forma inversamente proporcional al 2 de la distancia.

Por lo cual se puede citar que el tiempo que tarda en hacerse inaudible el sonido en una sala depende de su intensidad. Para poder hacer comparaciones entre sonidos diferentes, es necesario definir una magnitud que no dependa de su intensidad inicial.

A la fecha se tienen materiales cuya capacidad de absorción es de un 90% con lo cual se logra reducir el área de superficies tratadas. Las superficies de un recinto reflejan sólo parcialmente el sonido que incide sobre ellas., el resto es absorbido. Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, ésta podrá absorber más o menos el sonido, lo cual lleva a definir el **coeficiente de absorción sonora**, abreviado con la letra griega a (alfa), como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente $\alpha_s = \alpha_i$

Bien, cuando una onda sonora llega a una pared rígida (ideal) se refleja totalmente ya que la pared no se mueve y no absorbe energía de la onda. Las paredes reales no son nunca completamente rígidas, por lo que pueden absorber parte de la energía de las ondas incidentes. El coeficiente de absorción tiene una gran importancia para el comportamiento Acústico de un ambiente, por esa razón se han medido y tabulado los coeficientes de absorción para varios materiales y objetos. En general, los materiales duros, como el hormigón o el mármol, son muy reflectores y por lo tanto poco absorbentes del sonido, y en cambio los materiales blandos y porosos, como la lana de vidrio, son poco reflectores y por consiguiente muy absorbentes.

Material	Coeficiente de absorción “a” para las siguientes frecuencias					
	128	256	512	1024	2048	4096
Cortina de terciopelo	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65
Butaca forrada gruesa c/g	0.20	0.37	0.33	0.36	0.40	0.45
Muros y techos						
Mármol		0.01	0.01	0.01	0.01	
Yeso solo		0.02	0.03	0.04	0.04	
Yeso pintado		0.01	0.02	0.03	0.04	
Puerta de madera tradicional		0.11	0.10	0.09	0.08	
Vidrios sobre marcos		0.25	0.18	0.12	0.07	

Silla		0.02	0.03	0.04	0.04	
Persona sentada.		0.25	0.31	0.35	0.33	
Adulto de pie		0.33	0.40	0.5	0.60	

Tabla No.1- Coeficientes De absorción según frecuencia de los materiales, (Beranek Leo L., 1971).

El sonido como energía que es al llegar a una superficie, parte de su energía es reflejada, parte la absorbe la misma superficie y parte se trasmite a través de esa superficie.

	Concreto	fibra de vidrio
Reflexión	99%	0 %
Absorción	1%	85%
Transmisión	0%	15%

El sonido también se ve afectado por la reflexión, y cumple la ley fundamental de que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Un eco es el resultado de la reflexión del sonido.

Cualidad Acústica	Característica Arquitectónica	Evento Acústico	Indicador Acústico
Claridad	Plafón reflejante, suspendido, muros de plateas.	Reflexiones sonoras que llegan pronto después del sonido directo.	Índice de claridad (C_1^{22}) relación de la energía temprana y tardía.
Reverberación	Volumen grande del recinto, materiales reflejantes, forma de paralelepipedo, pantallas acústicas, y cámaras reverberantes.	Prolongación del sonido en el recinto.	Tiempo de reverberación T_{60} o RT^{24}

Sonoridad	Tamaño del recinto, proximidad a la fuente y a los rayos de audición.	Reflexiones sonoras prontas provenientes del plafón y de las paredes después del sonido directo.	Nivel sonoro L^{25} O fuerza relativa G^{26} .
Cualidad Acústica	Característica Arquitectónica	Evento Acústico	Indicador Acústico
Intimidad	La fuente en el mismo volumen del recinto que la audiencia.	Arribó pronto de la primera reflexión sonora de una superficie del recinto después del sonido directo.	Lapso inicial de decaimiento ITDG 27.
Calidez	Materiales de construcción pesados y masivos.	Persistencia del sonido en frecuencia bajas.	Relación de bajos.
Brillantez	Materiales de construcción pesados y masivos.	Persistencia del sonido en frecuencias altas.	Relación de agudos.
Especialidad	Superficies texturizadas y materiales difusores del sonido., gran volumen del recinto	Energía sonora tardía arribando lateralmente.	Correlación interaural cruzada IACC26
Localización del sonido	Líneas claras de visión y sonido entre el oyente y la fuente	Fuerza del sonido directo relativa a las fuerzas subsecuentes.	Nivel temprano de sonoridad.
Conjunto	Superficies reflejantes del sonido en el escenario	Reflexiones sonoras que ayudan a los ejecutantes a escucharse.	Soporte.
Envolvimiento y amplitud de la fuente	Espacios estrechos de 20 a 25 m.	Reflexiones sonoras tempranas arribando al oyente lateralmente.	Fracción lateral de energía (Llef 22)

Tabla No.2- Características Acústicas y Propiedades Físicas, (Rodríguez Manzo F., 2001).

Absorción del público y de las sillas

El grado de reverberación asociado a un recinto cualquiera, viene principalmente determinado por los materiales absorbentes utilizados como revestimientos de sus superficies, así como de formas muy notorias, por la absorción producida por el público y las sillas existentes.

En tal caso, la absorción total del público A_p es: $A_p = N A_{pp}$ (en sabines) donde:

N = número de personas

A_{pp} = absorción de una persona, de pie o sentada (en sabins)

La absorción total A_{tot} del recinto considerado se obtiene sumando este término con la absorción producida por sus superficies límite:

$$A_{tot} = \sum S_i \alpha_i + A_p$$

Para Kosten y Beranek (1965) la absorción de las sillas (vacías u ocupadas) aumenta en proporción directa a la superficie que ocupan, casi con total independencia del número de las mismas existentes en dicha superficie. Esta afirmación es válida siempre y cuando el espacio ocupado por cada silla oscile entre 0,45 y 0,79 m² (situación habitual en la práctica).

La absorción total de las sillas A_s se calcula de la siguiente forma:

$$A_s = S A_s \alpha_s \text{ (en sabins)}$$

Donde:

$S A_s$ = superficie acústica efectiva ocupada por las sillas (en m²): formada por la superficie real. S_s ocupada por las mismas + la superficie total de las bandas perimetrales de 0,5 m de

anchura que bordean los diferentes bloques de sillas (exceptuando las zonas contiguas a una pared).

α_s = coeficiente de absorción unitario de las sillas, vacías u ocupadas.

En la figura 1. Se muestra un ejemplo de cómo calcular SA.

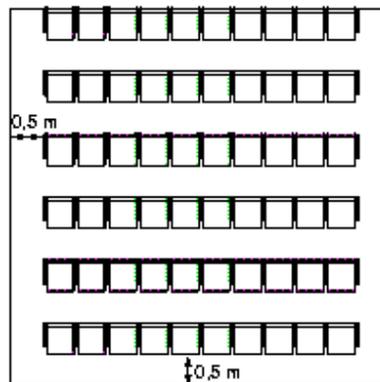


Fig. 1- Superficie acústica efectiva SA ocupada por las sillas, calculada a partir de la superficie real S_s y de la banda perimetral de anchura 0,5 m., (Carrión Isbert A., 1998, p.110).

Recientemente, Beranek (1996) ha publicado nuevos valores de coeficientes de absorción, que ha determinado a partir de mediciones realizadas en una serie de salas existentes. Los nuevos datos corresponden a tres tipos de sillas, en función del grado de tapizado. Los valores correspondientes a las sillas difieren ostensiblemente de los publicados con anterioridad y son de gran valor a la hora de plantear el diseño de nuevos recintos.

Los tres tipos de sillas considerados son:

- Sillas con un alto porcentaje de superficie tapizada.
- Sillas con un porcentaje medio de superficie tapizada.
- Sillas con un bajo porcentaje de superficie tapizada.

Los nuevos coeficientes de absorción propuestos, tanto en el caso de silla vacía como ocupada; se puede apreciar en las tablas No. 3 y 4 respectivamente:

FRECUENCIA (HZ)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Sillas con un alto porcentaje de superficie tapizada.	0,72	0,79	0,83	0,84	0,83	0,79
Sillas con un porcentaje medio de superficie tapizada.	0,56	0,64	0,70	0,72	0,68	0,62
Sillas con un bajo porcentaje de superficie tapizada.	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55

Tabla No.3- Coeficientes de absorción de sillas vacías (Beranek Leo L., 1996).

FRECUENCIA (HZ)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Sillas con un alto porcentaje de superficie tapizada.	0,76	0,83	0,88	0,91	0,91	0,89
Sillas con un porcentaje medio de superficie tapizada.	0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86
Sillas con un bajo porcentaje de superficie tapizada.	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86

Tabla No.4- Coeficientes de absorción de sillas ocupadas (Beranek Leo L., 1996).

I.4.- Estado del Arte de los Modelos de Análisis Acústicos.

1.4.1.-A Nivel Internacional.

El Laboratorio de Acústica y Electroacústica funciona en la [Escuela de Ingeniería Electrónica](#) de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA), Universidad Nacional de Rosario (UNR). Tiene por finalidad canalizar diversas actividades académicas y de extensión a la comunidad que tengan relación con la Acústica, la Electroacústica, la Psicoacústica y el Control de Ruido, entre otras disciplinas.

En la actualidad se llevan adelante tareas de docencia en colaboración con la [Escuela de Postgrado y Educación Continua](#) de la FCEIA (cursos sobre Acústica y Psicoacústica, Control de Ruido, y Sistemas de Sonido), de investigación, en cooperación con la Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño de la UNR, la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña, España y la Asociación de Logopedia, Foniatría y Audiología del Litoral (sobre ruido urbano, mapas de ruido, simulación del ruido del tránsito y educación para la higiene sonora), y de extensión al medio (proyectos de Control de Ruido, trabajos de medición y monitoreo acústico, etc.).

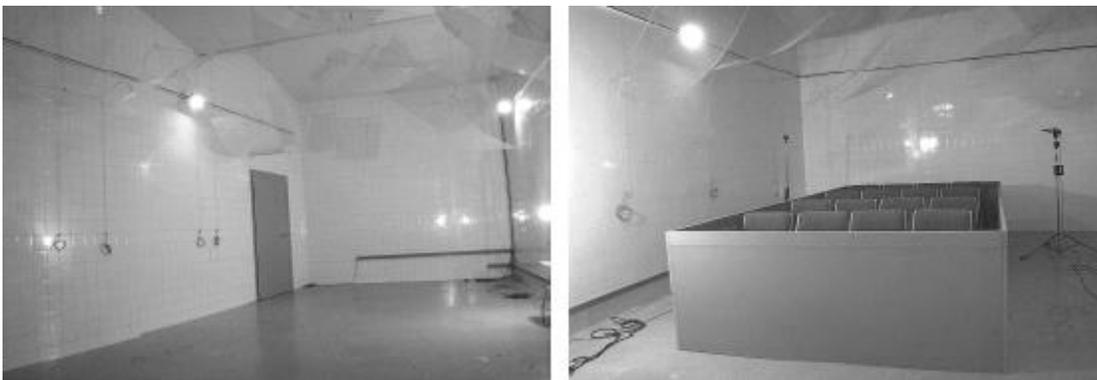


Imagen No.2-Cámara reverberante del laboratorio de acústica del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España) y montaje típico de un conjunto de sillas para la medida de sus coeficientes de absorción, (Carrión Isbert A., 1998, p.72).

Tiene representación ante el Instituto Argentino de Normalización (IRAM), y funciona bajo su administración una lista de discusión de correo electrónico sobre ruido urbano. En 1987 recibió del Honorable Concejo Municipal de la Ciudad de Rosario la Distinción "Rosario Ecológico".

Ars Acústica Internacional es un grupo que fue constituido en 1989 en la EBU. Radio Dram en Florencia y produciendo a Europa, América y Australia hasta el 2002 los temas acústicos y propagándose poco a poca a las diferentes ciudades. (Ars acústica I.com.mx)

Según los antecedentes y hasta 1992 Carrión Isbert A., retoma las investigaciones antes hechas y apoyándose en ellas, edita un libro el cual lleva como tema Arquitectura Acústica dentro del cual nos menciona, que a través de su experiencia y sobre todo en su faceta de investigador y profesor como ingeniero, del área de proyectos de sonido del Comité Organizador Olímpico de Barcelona 92, como director de la empresa Audiescan y del curso de especialización titulado Acondicionamiento Acústico de Espacios Arquitectónicos, organizado por la fundación politécnica de Cataluña.

Lo llevaron a estructurar su investigación en siete capítulos dentro de los cuales trata como objetivo general el proporcionar criterios para el diseño acústico, de un amplio conjunto de espacios tipo, y en su ultimo capitulo expone la metodología necesaria para establecer una diagnosis acústica de recintos.

En el año 2000, Mastroizzi Jorge Alberto y la Universidad Argentina John F. Kennedy. Gabinete de Investigación y Vinculación Tecnológica, Desarrollaron un documento y propuestas de pautas, para que su difusión sirva fundamentalmente para

concientizar a usuarios de edificios de la educación y profesionales de la construcción, sobre la imperiosa necesidad ineludible de lograr la calidad acústica.

Para este Programa de Becas de Investigación 24/11/99-24/11/00, seleccionado y aprobado por la Universidad Argentina John F. Kennedy, se estudiaron 3 escuelas de nivel primario, construidas una a principios de siglo, otra en la década del 40 y otra en la década del 70, cada una con tipologías diferenciadas que sirvieron para comparación de sus condiciones acústicas.

Investigación en la que se concluyó que las aulas (como cualquier local) son cajas acústicas y los docentes deben superar en 10 o 15 decibeles los ruidos de fondo, que dependen de ruidos interiores y exteriores, y de condiciones reflejantes de las aulas, para ser oídos con claridad y que la falta de control de ruidos, condiciones incorrectas de audibilidad e inteligibilidad (discomfort acústico) genera distracciones y problemas de aprendizaje, llegando en algunos casos, al deterioro auditivo de alumnos e inconvenientes foniatrícos a los docentes.

En las últimas décadas y en el campo de la simulación acústica, se han venido utilizando mayoritariamente dos sistemas complementarios diferentes: las maquetas y los programas informáticos.

Las maquetas son modelos del recinto construidos a escala que permiten estudiar el comportamiento de las ondas sonoras en su interior. A partir de una serie de medidas y siguiendo un proceso de extrapolación, es posible obtener resultados orientados al comportamiento acústico del local. Sin embargo, el espacio requerido para su ubicación, el costo y el tiempo de construcción, han hecho que su utilización actual quede prácticamente circunscrita a proyectos de gran prestigio y envergadura.

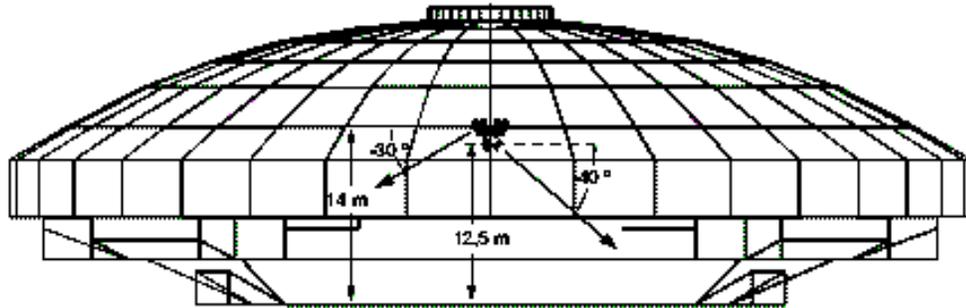


Fig. 2- Pabellón Polideportivo de Zurbano: ubicación y orientación de las cajas acústicas, vista en alzado, (Carrión Isbert A., 1998, p.163).

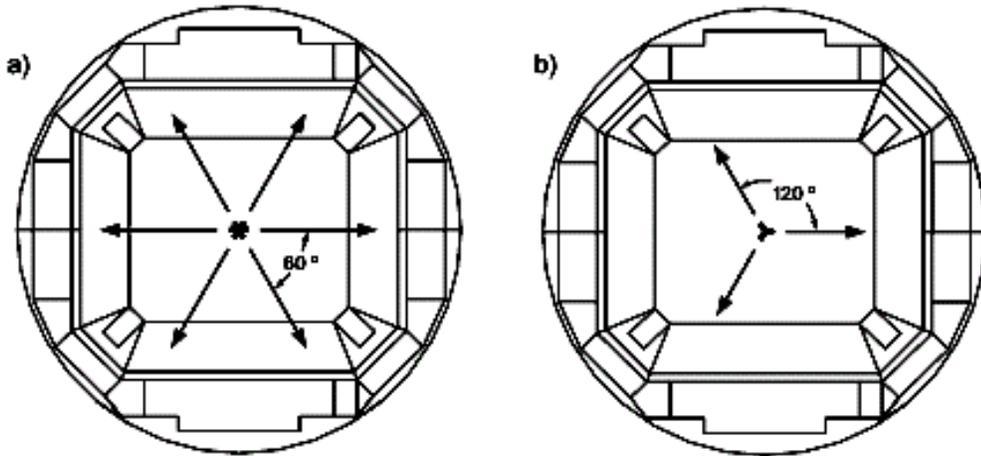


Fig. 3- Pabellón Polideportivo de Zurbano: orientación de las cajas acústicas destinadas a sonorizar: a) las zonas de público; b) la pista de juego, vista en planta, (Carrión Isbert A., 1998, p.163).

El advenimiento de los programas de simulación acústica, al inicio de la década de los 80, supuso un salto cualitativo importante en la mejora de las previsiones efectuadas en relación con los resultados finales, con el recinto construido; Las cuales consistían en un cálculo en cuanto tiempo y dinero respecto al empleo de maquetas.

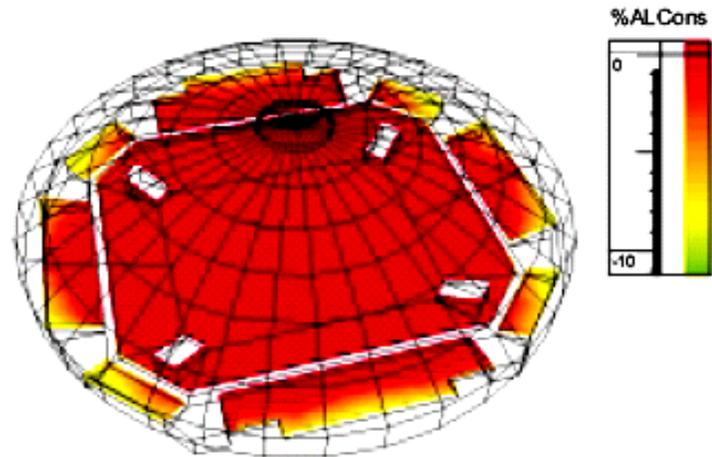


Fig. 4- Pabellón Polideportivo de Zurbano: mapa de valores de %ALCons, recinto ocupado, (Carrión Isbert A., 1998, p.165).

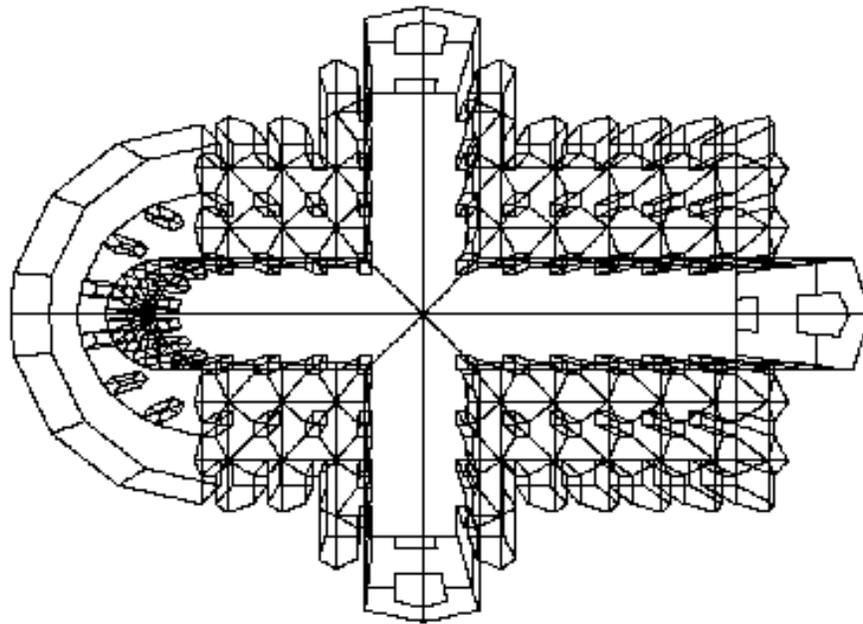


Fig. 5- Catedral de Vitoria (España): modelo informático elaborado para la posterior simulación electroacústica y ubicación de las cajas acústicas propuestas, vista en planta, (Carrión Isbert A., 1998, p.166).

Como complemento a ambos sistemas en la década de los 90, los denominados sistemas de creación de sonido virtual lo que llamaron “aurilización” (proceso en el cual es posible realizar una escucha desde cualquier punto de un recinto) la simulación forma parte de la fase del diseño constituyendo una herramienta extremadamente útil, al facilitar la toma de decisiones en cuanto a formas y revestimientos interiores óptimos del recinto. (Martínez Mora J. A., 1998).

En el año del 2003 se realizó un curso en la ciudad de Cataluña, el cual tuvo como objetivo el aportar y dar a conocer como se propaga el sonido en locales cerrados y las formas en que se puede obtener un ambiente acústico adecuado en interiores, en exteriores de un recinto así como el tiempo de reverberación y cualidades acústicas.

Ejemplos y Simulaciones

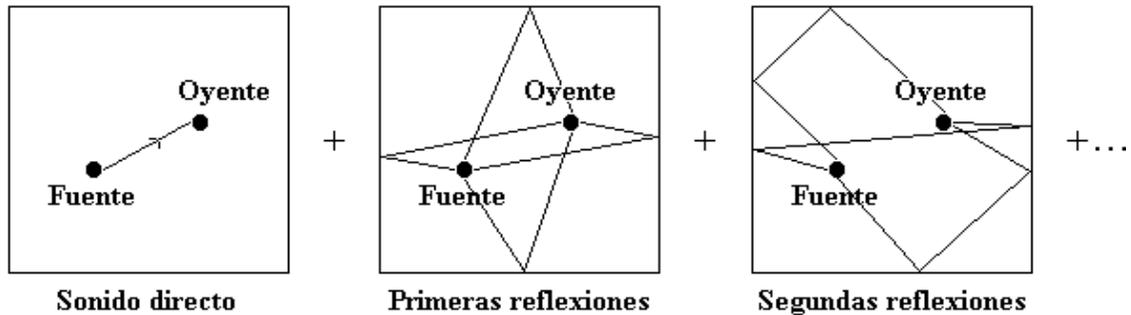


Fig.6- Esquema de proyección grafica de cómo se produce la reverberación.

1.4.1.2.-Aplicaciones de los Fenómenos Acústicos.

Según William J. La importancia de los principios de la acústica no se limita exclusivamente al sonido y la audición. El análisis de las ondas mecánicas; es un importante instrumento de investigación en una gran variedad de campos, como son la música, en la psicología en la medicina y en los instrumentos de detección como los micrófonos, amplificadores y dispositivos para presentar las señales reflejadas, sin olvidar dentro de la rama de medio ambiente ya que este produce una contaminación auditiva.

Se han presentado herramientas e indicadores para definir diversos ambientes acústicos ya sean estados estrictamente descriptivos, límite de bienestar o estados acústicos recomendables para diversas actividades o funciones.

Estas herramientas e indicadores sean combinados para poder realizar una propuesta de clasificación del confort acústico, basada en actividades o tareas auditivas y en funciones específicas del espacio arquitectónico.

Para una clasificación del confort acústico, uno de los primeros pasos que dieron fue el definir grandes grupos de ambientes acústicos posibles, a partir de ahí se han abierto en forma de árbol, usos y tipologías arquitectónicas aplicables y características de cada ambiente específico. De las cuales se deriva una clasificación de los tipos de actividades auditivas, basados en las recomendaciones para ambientes sonoros de fondo y los tiempos de reverberación aceptables.

De la misma manera se clasificaron por tipos de espacios y usos para determinar el grado de confort acústico requerido:

TIPO DE ESPACIO	criterio/NC	dBa
Aulas generales, bibliotecas	60-70	65-75
Aulas escolares	Calidad corto	Tens=0.4-0.6
MATERIALES	STC	
Vidrio	26	
Tabique	0.05	
Pisos	0.00	
AMBIENTE Y FUENTE SONORA		
En exteriores	nivel /dBA	
Césped	86	
Calle tranquila	106	

Tabla No.5- Características Acústicas del aula escolar, materiales y espacios que la componen, (Rodríguez Manzo F., 2001).

1.4.1.3.-A Nivel Nacional.

Según lo obtenido en la investigación sobre “Confort Acústico en aulas de música de los institutos de educación secundaria”, de Paloma Pérez Castillo, estas carecen por lo general de características acústicas adecuadas. Es frecuente la falta de aislamiento acústico respecto al exterior; carencias que afectan a la comunicación oral y musical.

Apoyándose en esta información planteó el análisis de 4 aulas representativas de 4 centros: la Escuela Hermanos D’Elhuyar, Escultor Danielo, Batalla Calvito y el Duque de Nájera; consistiendo en la audición, inteligibilidad, sensación de reverberación, colorido

sonoro, calidez, mediante un test de inteligibilidad y diferentes juicios de calidad y cualidad.

Un soporte de los juicios perceptivos que se llevo a cabo fue según el texto mediante medidas físicas y pruebas audiométricas, mediciones físico-acústicas por medio de un analizador de fourier (tipo 2034 de la Bruel & Kjaer y el 2800 de la Larson Davis con las terminales adecuadas). Que determinaran tiempos de decaimiento primario (EDT) de reverberación, de elevación y de claridad, así como respuesta de nivel sonoro y procedimientos Rasti.

Concluyendo mediante la anterior evaluación, que un alumno entiende mejor unos fonemas que otros y que el coeficiente de correlación de las cuatro aulas en función de la media obtenida oscila entre 0'87 y 0'97. Esto da como resultado los parámetros acústicos medibles objetivamente y que determinan un control de causa - efecto para mejorar las características de las aulas.

En el desarrollo del proyecto de investigación de Paloma Pérez, se presento una amplia problemática sobre el comportamiento de las señales acústicas en los recintos, así como aspectos relativos a la percepción de señales.

Ello conlleva a una indagación que permitiera solucionar problemas pertenecientes a las ciencias físicas y psicológicas; estas soluciones tienen como objetivo el solucionar notablemente el aumento en la efectividad de la comunicación oral y musical dentro del aula didácticas de música.

Las definiciones e indicadores de la calidad del espacio arquitectónico sean enfocado en su mayoría al diagnostico de las salas de concierto y espacios similares, por lo que es

necesario desarrollar estudios que ayuden a determinar los indicadores del carácter acústico de los espacios arquitectónicos en general, ya sea en un ambiente natural o alterado.

A nivel nacional también se puede nombrar que existen laboratorios especializados en acústica, así como el instituto mexicano de acústica (IMA) dirigido por el Ing. José de Jesús Villalobos, el laboratorio de la UNAM a cargo de Fausto Rodríguez, el cual trata aspectos acústicos en su anuario de Arquitectura Bioclimática; el laboratorio de la ESIME y la UAM Azcapotzalco; dedicados a los fenómenos acústicos y bioclimáticos.

I.5.-Normatividad entorno al Fenómeno Acústico.

Una adecuada normatividad en torno a un marco acústico depende de las condiciones naturales y sociales de una comunidad, espacio y región para ordenar su desarrollo y planeación; Por lo que uno de los criterios centrales, es que no quede solamente en documento de carácter restrictivo, sino que se convierta en una herramienta con el propósito de normar los criterios de actuación más racionales, que faciliten o limiten el desarrollo de la investigación.

De acuerdo a la norma internacional **ISO-140**. Que trata de las “medidas del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos constructivos”. Se debe conocer en que medida el aislamiento acústico depende de las propiedades físicas de los materiales y de las características del ruido.

La (**NBE-ca-81, 82,88**) hace referencias a las condiciones acústicas que deben tener las aulas o cualquier otro recinto escolar.

El **INIFED** provee normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones de los diferentes niveles educativos, como Asesor Técnico de la SEP, en lo relacionado al Fondo de Desastres Naturales; participa, apoya y coordina con las autoridades educativas estatales y federales, en la evaluación y validación de la Infraestructura Física Educativa dañada por el impacto de los fenómenos naturales, así como, en la verificación física y documental de la rehabilitación de la misma, una vez autorizados los recursos por el FONDEN. ¹¹

Dentro de sus jurisdicciones establece normas que deberán cumplir los estudios y proyectos que se elaboran para las construcciones escolares, precisa la información básica requerida para la planeación, programación y evaluación; las recomendaciones sobre dimensiones y ubicación de los terrenos, los espacios educativos y los modelos de programas arquitectónicos para los distintos niveles escolares, mismos que plantea en su manual titulado Normas y Especificaciones para Estudios Proyectos, Construcción e Instalaciones Educativas en el volumen II. Estudios preliminares CAPITULO 2.2 correspondiente a acústica que a la letra dice el Organismo responsable determinara en que caso se requiere de un estudio de Acústica para lograr una difusión uniforme del sonido, un nivel de ruido recomendable y una reverberación óptima dentro de un local destinado a la educación.

Contempla como mínimo los alcances siguientes.

- a) Calculo de los tiempos de reverberación
- b) Reflexiones
- c) Aislamiento acústico
- d) Puertas y ventanas acústicas

¹¹ INIFED antes CAPFCE, Normas y Especificaciones para Estudios de Proyectos, Construcción e Instalaciones (en proceso de revisión y actualización octubre, 2008)

- e) Medición del tiempo de reverberación (T60)
- f) Evaluación en el cumplimiento de la normatividad vigente
- g) Elaboración de planos
- h) Previsión de cableado de audio
- i) Propuesta de materiales aislantes y acabados evitando el uso de materiales de importación.

El **INIFED** en el apartado C.05.f. al apartado C.05.f.24 determina parámetros para la obtención del confort acústico. Considera que un local escolar cuenta con un confort acústico, cuando permite al orador hacerse comprender y al auditorio captar con claridad las palabras; en el apartado C.05.f.01. hace mención a la sensibilidad y percepción óptima del oído humano, el cual comprende entre los 600 a los 6000hertz factor que abarca de los 30 -75 decibeles.

C.05.f.11-13. reflexión, transmisión y/o absorción del sonido que incide en los materiales.

C.05.f.16. referente a la geometría interior, las proporciones y la función a la que se destinara el local, para la obtención de una reverberación óptima determinada en un rango de 0.4-0.8segundos.

Finalmente en su apartado C.05.f.09 hace mención al instrumento de medición, el cual recibe el nombre de Sonómetro mediante el cual se registra una sensibilidad igual cualquiera que sea la frecuencia. El sonómetro posee filtros que producen sensiblemente las curvas de interpretación del oído humano.

- La Organización Mundial de la Salud (OMS, 1983) establece los siguientes Rangos de percepción auditiva:
- Criterio rango de intensidad
- Muy silencioso 0-25db
- Silencioso 25-35
- Moderado 35-45
- Ruidoso 45-55

Otro de los organismos que normalizan y administran la construcción de escuelas, así como el estudio sustentable de cada una de ellas es el Programa Federal de Construcción de Escuelas, dentro de sus Art.1 de la administración, construcción y equipamiento, así como en su Art.3 relativo al desarrollo de actividades. Organismo que se apoya con la Ley de Educación, el cual menciona en su Art. 25, el Ejecutivo Federal y el gobierno de cada entidad federativa, con sujeción a las disposiciones de ingresos y gasto público correspondientes que resulten aplicables, concurrirán al financiamiento de la educación pública y de los servicios educativos.

El monto anual que el Estado -Federación, entidades federativas y municipios, destine al gasto en la educación pública y en los servicios educativos; no podrá ser menor a ocho por ciento del producto interno bruto del país, destinado de este monto, al menos el 1% del producto interno bruto a la investigación científica y al desarrollo tecnológico en las Instituciones de Educación Superior Públicas.

Capitulo 2.

Características del Fenómeno Acústico.

2.1.- Descripción del Fenómeno Acústico en los edificios.

El papel que el sonido tiene en un recinto es tan importante como el papel que el recinto tiene sobre el sonido, sin embargo la acústica de los recintos ha sido el factor que mas ha tardado en comprenderse a lo largo de la historia de la arquitectura, el cual lleva un poco mas de 100 años desde que Sabine desarrollo su teoría de reverberación, (Rodríguez Manzo F., 2001).

El ser humano es conciente del medio que lo rodea en gran parte debido a los sonidos que se emiten o por la necesidad de comunicarse, a la respuesta sonora de ese ámbito; una parte importante del ambiente natural de los recintos es el sonido, siendo este elemento capaz de actuar sobre nuestras sensaciones e inclusive sobre el bienestar personal.

Una parte importante del fenómeno acústico es la absorción, la cual se realiza cuando una onda sonora llega a una pared rígida (ideal), se refleja totalmente ya que la pared no se mueve y no absorbe energía de la onda. Las paredes reales no son nunca completamente rígidas, por lo que pueden absorber parte de la energía de las ondas incidentes.

Aunado a esto la intensidad de una onda que se propaga y se define como la cantidad media de energía transportada por la onda por unidad de superficie y por unidad de tiempo.

El ruido es otro de los factores ambientales que inciden directamente en la concentración, comunicación y estado de ánimo: sonidos agudos arriba de 90 decibeles aumentan las tensiones y más de 110 pueden producir sordera y síntomas de inestabilidad, sensación de peligro, dispersando la atención sobre la tarea a realizar.

La reverberación y la difusión son los conceptos dominantes en la acústica de los recintos; Dentro de los cuales la mayoría de los espacios arquitectónicos pueden dividirse en dos categorías, desde el punto de vista de la acústica:

A) Aquellos en los que el objetivo es realizar y controlar el sonido reflejado o reverberante como son los teatros, conferencias, y aulas de escolares.

B) Aquellos en los que las metas es minimizar la energía sonora reverberante, como: espacios de oficinas industriales, hospitales y bibliotecas etc.

La reverberación describe los aspectos temporales de la propagación sonora en el espacio, la difusión y sus cualidades espaciales.

Por esto se entiende que los espacios no adecuados propician los conflictos interpersonales, provocando malestares físicos y en ocasiones graves e irremediables. Por lo que es cuestionable: ¿Si la combinación de los factores espacio arquitectónico y el ser humano determinan la calidad acústica del ambiente en las aulas didácticas y en que manera lo afectan?

Cabe mencionar que en la actualidad las clases escolares impartidas en los planteles educativos de nivel superior, son activas, interactivas y existen discusiones grupales de exploración de respuestas, lo que redundará en clases naturalmente ruidosas. Oír bien, es obtener un buen aprendizaje en cualquier nivel de enseñanza, por lo tanto los dañados son los alumnos, al no existir una óptima audición.

La calidad acústica es la característica que permite considerar el grado en que un recinto es acústicamente adecuado o no para una actividad específica.

Cuando se habla de calidad acústica en arquitectura, generalmente nos referimos a espacios donde escuchar bien es importante. (Apfel.1998).

2.2.- Principios físicos del fenómeno acústico.

Cuando un espacio arquitectónico esta destinado a ser utilizado por (x) individuos, debería adaptarse en medida a sus necesidades; por lo que el fenómeno de estudio es la ausencia de una calidad acústica optima.

Entendiéndose como calidad acústica: la característica que permite considerar el grado en que un recinto es acústicamente adecuado o no para alguna actividad especifica, cualidad que tiene que ver en la forma con que el espacio arquitectónico influye en el sonido.

Misma que abarca la geometría interior, las proporciones y la función a la que se destina el local, para obtener una reverberación optima, en este caso los tiempos de reverberación recomendados en función del uso del local son:

TIEMPO DE REVERBERACIÓN OPTIMO EN AULAS ESCOLARES	
AUTOR	TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN (S.)
Kinsler	0,8
INIFED	0,4 – 0,7
Sabine	0,5 – 0,9

Tabla No.6- Tiempos de reverberación óptimos según cada autor, determinados para el interior de un aula escolar.

El tiempo óptimo para una clase normal se sitúa entre 0,4 y 0,8 segundos, muy lejos de los valores establecidos en muchas normativas, donde se aceptan tiempos tan elevados como 1,5 segundos. Como son los países de Italia, Francia, Reino Unido, USA. Por ejemplo algunos datos obtenidos son:

DATOS DE REVERBERACIÓN EN AULAS DE ESPAÑA				
	Máximo	Mínimo	Medio	Recomendado
T60	2.00	0.75	1.4	0.6
EDT	2.75	0.8	1.7	0.6
RASTI	0.73	0.34	0.54	>0.7
Volumen (m ³)	530	121	326	
Superficie (m ²)	169	44	107	

Tabla No.7

DATOS DE REVERBERACIÓN EN AULAS DE (GAA)				
	Máximo	Mínimo	Medio	Recomendado
T60	2.79	0.36	1.64	0.6
EDT			1.69	0.6
RASTI			0.51	>0.7
Volumen (m ³)	354	57	205	
Superficie (m ²)				

Tabla No.7 Y 8- A. Durá, J. Vera y M.Yebra, Análisis y Valoración de los Factores que Intervienen en la Acústica de Salas de Uso Docente; Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante.

2.2.1.-Parámetros del Comportamiento Físico Acústico en Aulas Escolares.

2.2.1.1-Reverberación

El tiempo de reverberación se define como el lapso que tarda un local dado en amortiguar la energía de un sonido hasta un millonésimo de su valor original; es decir, el tiempo que tarda en amortiguar la energía de un sonido de 60 decibeles. A mayor volumen interior de un local, mayor será el tiempo de reverberación; y para un volumen dado a mayor superficie de absorción la reverberación será menor.

Con el fin de poder cuantificar la reverberación de un recinto, se define el tiempo de reverberación (de forma abreviada RT) a una frecuencia determinada como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que el foco emisor, se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora SPL cae 60 dB con respecto a su valor inicial.

Un recinto con un RT grande se denomina “vivo” (nave industrial, iglesia, etc.), mientras que si el RT es pequeño recibe el nombre de recinto “apagado” o “sordo” (locutorio, estudio de grabación, etc.). Ambas denominaciones coinciden con las del apartado anterior, lo cual es lógico habida cuenta de que el nivel de campo reverberante aumenta con el tiempo de reverberación.

Por lo general, el RT varía con la frecuencia, tendiendo a disminuir a medida que ésta aumenta, es debido en parte a las características de mayor absorción, con la frecuencia de los materiales comúnmente empleados como revestimientos, así como a la absorción del aire, especialmente manifiesta en recintos grandes y a altas frecuencias.

A partir de aquí se busco métodos para calcular el tiempo de reverberación el cual siempre será aproximado, debido a que todos los cálculos presentan limitaciones en su aplicación.

Si bien existe un gran número de fórmulas para el cálculo teórico del RT; la fórmula clásica por excelencia, aceptada como de referencia a nivel internacional por su sencillez de cálculo, es la denominada fórmula de Sabine, formulas que se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

MÉTODOS DE CALCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN		
AUTOR	EXPRECION MATEMATICA	NOMENCLATURA
Ecuación de Eyring	$TR = 0.162 \frac{V}{S_{total} \ln(1-\alpha_m)}$	TR =Tiempo de reverberación V = Volumen del local en m ³ S =Superficie interior del local en m ²
Ecuación de Sabine	$TR = 0.161 \frac{V}{\sum S\alpha}$	α =Coeficiente de absorción de cada superficie. αm =Coeficiente de absorción medio ponderado.
Ecuación de Eyring - Norris	$T = \frac{0.16}{-\ln(1-\alpha)}$	
Ecuación Empírica	$T = m V^n - A$	m =0.42(125Hz)0.69(500Hz)0.46(2,000Hz) n =0.2(125Hz) 0.1(500Hz) 0.12(2,000Hz) A =0

Tabla No.9- Métodos de Calculo para determinar el Tiempo de Reverberación, (datos sustraídos del libro de Serra Florensa R., 2005).

Según se observa, el RT calculado a cada frecuencia de interés mediante dicha fórmula no tiene en cuenta la ubicación del receptor, es decir, es único para cada recinto.

Ello es consecuencia de que la misma surge exclusivamente de la aplicación de la acústica estadística.

Por otra parte es preciso comentar, que a pesar de la utilización universal de esta fórmula, su validez se circunscribe al caso de recintos con las siguientes características:

- Decaimiento energético exponencial asociado a un campo sonoro perfectamente difuso (la energía se propaga con la misma probabilidad en todas las direcciones).
- Geometría regular de la sala.
- Coeficiente medio de absorción $-\alpha$ inferior a, aproximadamente, 0.4.

El RT resulta ser un parámetro fundamental en el diseño acústico de recintos. Ahora bien, en la práctica se utilizan una serie de parámetros complementarios, que por estar fundamentados en la acústica geométrica dependen de la situación del receptor.

2.2.1.2-Reflexión

La energía radiada por una fuente sonora en un recinto cerrado llega a un oyente, ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), es decir, como si fuente y receptor estuviesen en el espacio libre, mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado), al ir asociada a las sucesivas reflexiones que sufre la onda sonora cuando incide sobre las diferentes superficies del recinto.

En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies implicadas.

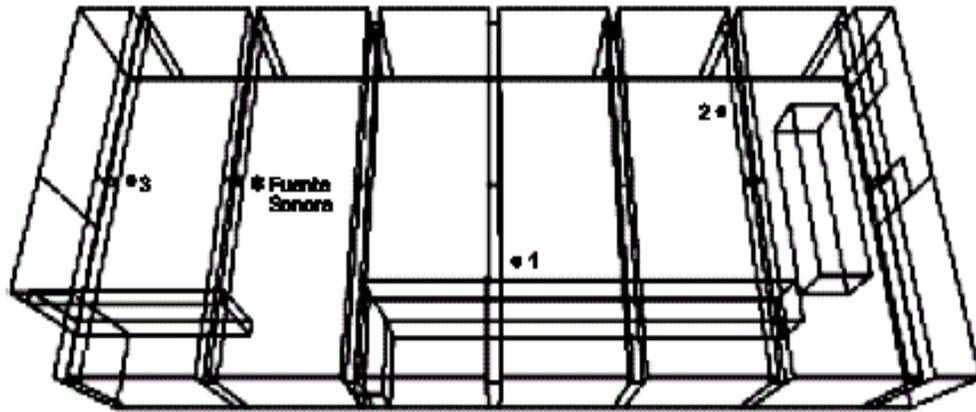


Figura No.7- Se muestran las ubicaciones de los 3 puntos de medida, así como la situación de la fuente sonora en un aula escolar, (Carrión Isbert A., 1998, p.152).

Lógicamente, cuanto mayor sea la distancia recorrida y más absorbentes sean los materiales empleados, menor será la energía asociada tanto al sonido directo como a las sucesivas reflexiones.

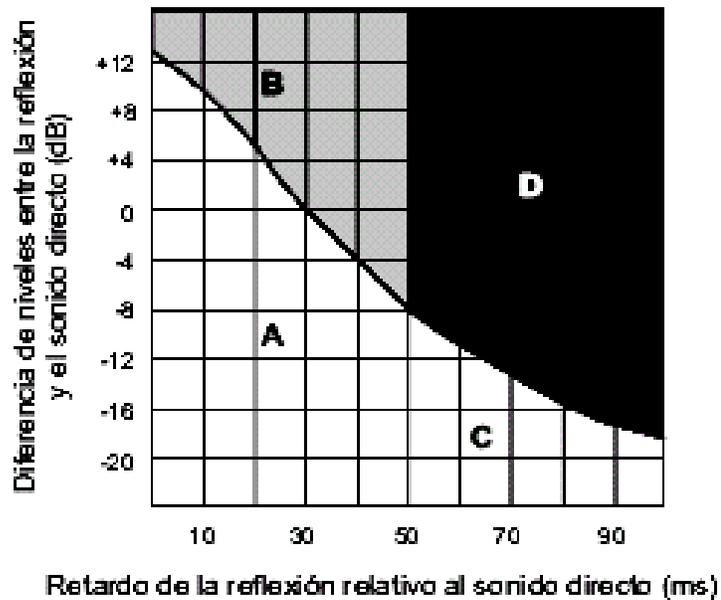


Figura No.8- Relación entre sonido retardado e inteligibilidad de la palabra, zonas características, (Carrión Isbert A., 1998, p.54).

Cuando el sonido emitido es un mensaje oral, tales reflexiones contribuyen a mejorar la inteligibilidad o comprensión del mensaje, al mismo tiempo producen un aumento de sonoridad (o sensación de amplitud del sonido).

2.2.1.3-Absorción

En cualquier recinto la reducción de energía, en orden de mayor a menor importancia, es debida a una absorción producida por:

- El público y las sillas.

- Los materiales absorbentes y/o los absorbentes selectivos (resonadores), expresamente colocados sobre determinadas zonas a modo de revestimientos del recinto.
- Los materiales rígidos y no porosos utilizados en la construcción de las paredes y techo del recinto (como por ejemplo: el hormigón). Materiales que al aumentar su porosidad también aumenta la absorción.

El coeficiente de absorción de un material, es la relación entre la energía absorbida por el material y la energía reflejada por el mismo; Dada esta formulación su valor siempre esta comprendido entre 0 y 1.

El máximo coeficiente de absorción esta determinado por un valor de 1, donde toda la energía que incide en el material es absorbida por el mismo, el mínimo es 0 donde toda la energía es reflejada.

$$\alpha = \text{Energía absorbida} / \text{Energía incidente}$$

2.3.- Instrumentos de Medición de los fenómenos acústicos.

Debido a la complejidad del funcionamiento del oído humano, hasta el momento actual no ha sido posible diseñar un aparato de medida objetiva del sonido, que sea capaz de dar unos resultados del todo equivalentes, para cualquier tipo de sonido con valoraciones subjetivas asociadas al mismo.

Sin embargo, resulta evidente la necesidad de disponer de un instrumento electrónico que permita medir sonidos, de manera que los resultados obtenidos sean siempre objetivos y repetitivos; Dicho aparato recibe el nombre de sonómetro el cual consta de un indicador del nivel de intensidad del sonido.

Instrumento que se utilizó en la presente investigación para determinar el grupo muestra, sirviendo como controlador del sonido emitido para evaluar el nivel auditivo de los alumnos.

Capítulo 3.
Elementos Determinantes de la Calidad
Acústica.

3.1.-Definición de Variables

Tomando en cuenta cada una de las variables que intervienen en el presente estudio, se estableció los alcances siguientes, para el cálculo y medición del tiempo de reverberación y nivel auditivo de los alumnos, concentrando las características y datos en la tabla siguiente:

VARIABLE	DEFINICIÓN	UNIDAD DE MEDICION	PARÁMETROS
La calidad del ambiente acústico	Característica del espacio arquitectónico, en donde se pretende generar un estado de satisfacción o bienestar físico y mental del ser humano en su percepción auditiva.	dB	MODERADO C/INTELIGIBLE CORTO-MEDIO 30-42Db 1 dB: mínimo cambio de nivel sonoro perceptible 5 dB: cambio de nivel claramente percibido 10 dB: incremento asociado a una sonoridad doble. (Serra Florensa R., 2005)
El ser humano	el cual se estudiara a través de las siguientes variables: Número de Personas dentro del aula escolar: número de alumnos por grupo.		Según INIFED en su apartado D.03 Los requisitos dimensionales mínimos son de 42 alumnos x aula un total de 3000alumnos x plantel.
la condición auditiva del ser humano (estudiantes):	Según el nivel de percepción y sensibilidad del oído humano.	Hertz	En el caso de la audición humana, la banda de frecuencias audibles para una persona joven y sana se extiende, aproximadamente, de 600 Hz a 6000 Hz (30-75Db).según INIFED.

VARIABLE	DEFINICIÓN	UNIDAD DE MEDICION	PARÁMETROS
Espacio arquitectónico	En este caso el aula escolar; el cual se estudiara mediante las siguientes variables: Materiales constructivos: según su capacidad de absorción de los materiales propios del aula escolar.	Volumen: M³ Absorción: $\alpha = \text{Energía absorbida} / \text{Energía incidente}$	Las dimensiones mínimas para el aula según los reglamentos de INIFED es de: 129.6M ³
Dimensiones del aula escolar	Superficie dada en metros cuadrados y volumen del espacio arquitectónico	M²	Las dimensiones mínimas para el aula según los reglamentos de INIFED es de: 48M ²
Tipo de material del mobiliario	Capacidad de absorción de los materiales (plástico, madera o tapiz) de las bancas, mesas, sillas.	Absorción: $\alpha = \text{Energía absorbida} / \text{Energía incidente}$	Frecuencia y coeficiente de absorción, esta dado por la normatividad del INIFED en su apartado c.05.f10 el cual a su vez esta basada en la norma ISO1999 , estableciendo los rangos medios que van de: 125-500-2000HZ.
Tiempo de reverberación	Definido como el tiempo que tarda en decaer una señal estacionaria, sesenta decibelios una vez cesada la fuente, o bien el tiempo que tarda en desaparecer un sonido.	SEGUNDOS	Según Sabine el Rango que va de: 0.5 – 0.9 segundos; es un tiempo optimo para que desaparezca el sonido en una aula escolar.

Tabla No.10- Definición, unidades de medida y parámetros de Variables que determinan el Ambiente Acústico de un Aula Escolar.

3.2.- Características del Caso de Estudio.

La investigación se realiza en dos planteles ubicados en el municipio de Ecatepec; los cuales tienen como características:

- Aislamiento acústico exterior
- El hecho de ser edificios de reciente creación.
- Circulación vehicular interna
- Y del pertenecer al sector público.

El punto de comparación de la investigación estará ubicado en el Municipio de Naucalpan, Estado de México, debido a que carece de las características antes mencionadas, pero que pertenece al sector público.

Reseña Histórica

El 15 de agosto de 1990, la Secretaría de Educación Pública del Gobierno Federal y el Gobierno del Estado de México firmaron un Convenio de Coordinación para la Creación, Operación y Apoyo Financiero del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, con el propósito de contribuir al impulso y consolidación del desarrollo de la educación superior tecnológica en la entidad.¹²

¹² Gaceta del Gobierno (1990) *Plan del Centro de Población de México de Ecatepec de Morelos*, Edo. de México.

Mediante decreto No. 138, el día 6 de septiembre del 1990 la Ley que crea el Organismo Público Descentralizado de Carácter Estatal denominado Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

1-Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

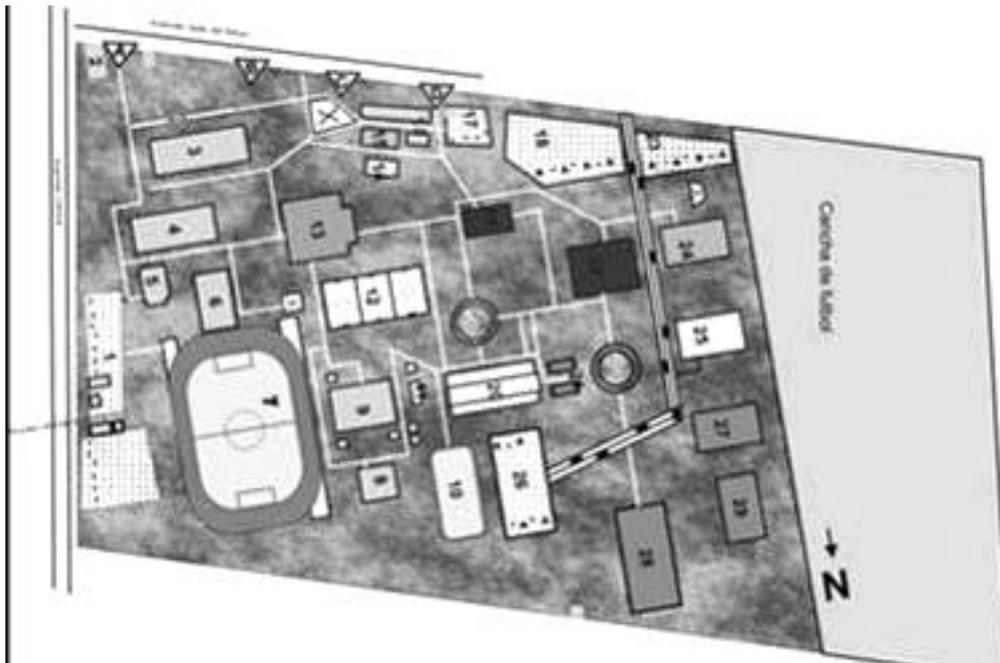


Imagen 3. Muestra la planta de conjunto y localización de cada uno de los edificios
Pertencientes al T.E.S.E (<http://www.tese.edu.mx>).

Mismo que cuenta con 60 aulas de las cuales 3 grupos de 20 aulas varían en cuanto al material con que están construidas en acabados, o en el inmobiliario.



Foto. No.2. Estructura y diseño acústico hacia el exterior del edificio

El primer edificio está constituido por 20 aulas, las cuales son de planta rectangular de 6 x 7.45m y de 2.50m de alto, con un volumen de 111.75m³, dispone de 42 sillas y está constituida de los siguientes materiales: plafón de yeso, muros de concreto acabado liso, una de las paredes esta revestida de material vidriado, ventanales de 3x2m, mobiliario de madera con plástico y pisos de cerámica.



Foto. No.3. Estructura y diseño acústico hacia el exterior del edificio de contaduría.

Otro conjunto, dispone de 8 a 16 sillas y está constituida por muros divisorios de aluminio y muros de concreto acabado liso, piso de cerámica, ventanearía 1x1m y plafón de yeso.

2-Universidad Estatal del Valle de Ecatepec.

Antecedentes Históricos

Al detectarse un alto déficit de servicios educativos y de salud, la disminución de las oportunidades de empleo, ante la reconversión tecnológica en la rama económica-industrial consolidada y la sobre-oferta de profesionistas egresados de carreras tradicionales, así como el deterioro del nivel ocupacional y de ingresos, se propuso la creación de la Universidad Estatal del Valle de Ecatepec (UNEVE), para formar profesionistas calificados en nuevas actividades de servicios, orientados a otros núcleos de actividades que compitan en el desarrollo económico regional y del país, para atender sectores del área de servicios no abarcados o considerados hasta el momento.

La zona de Ecatepec requirió del establecimiento de una institución de educación superior que contara con carreras innovadoras de alto nivel de preparación teórico-práctica, adecuadas a las condiciones regionales, que permitan elevar el nivel educativo de la sociedad en su conjunto, así como el avance cultural de la propia región y del Estado.

Para dar respuesta a las solicitudes de incrementar los servicios de educación del nivel superior, se consideraron opciones educativas que garantizaran la formación integral de los alumnos a través de planes y programas de estudio, capaces de incorporar oportunamente los descubrimientos e innovaciones científicas y tecnológicas, así como las transformaciones y nuevas necesidades de su entorno.

La Universidad Estatal del Valle de Ecatepec fue creada mediante decreto del ejecutivo estatal el 22 de diciembre del dos mil, como Organismo Público Descentralizado de carácter estatal, publicado en “Gaceta de Gobierno” el 11 de enero de 2001, con la construcción de dos edificios académicos, sus instalaciones fueron inauguradas el día 17 de septiembre de 2003 por el Gobernador del Estado de México



Foto No. 4. Edificio de aulas (Acupuntura médica, Ingeniería en comunicación multimedia, Licenciatura en quiropráctica) muestra tanto el diseño y acabados, los cuales son muy similares a los del T.E.S.E.

Plantel que cuenta con dos edificios haciendo un conjunto de 38 aulas escolares, con un promedio de 35 alumnos por aula.



Foto No.5. Muestra el área de localización del edificio y de la misma manera el porqué de su acondicionamiento acústico, hacia el exterior de los edificios con que cuenta este plantel.

3.-Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del I.P.N.

Antecedentes Históricos

Al fundarse el Instituto Politécnico Nacional en 1936, estaba formado por un grupo de planteles entre los que se encontraba la Escuela Superior de Construcción, este centro de estudios fue antecedente directo de la actual Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, anterior a la Escuela Superior de Construcción; se le conoció como Escuela Técnica de Maestros Constructores, fundada en 1922; tuvo varios domicilios de los cuales en 1959, fue trasladada a la Unidad Profesional Zacatenco.

En 1971 se implementa el plan de estudios semestral, el cual se ha actualizado constantemente; su principal modificación fue en el año de 1976, al crearse los 7º y 8º semestres del taller de aplicación formado por tres áreas: de Teoría, de Diseño y de Edificación, como preámbulo al taller integral de 9º y 10º semestre.

Durante 1974, la escuela se amplió y en noviembre de ese año el área de arquitectura se trasladó a Tecamachalco.

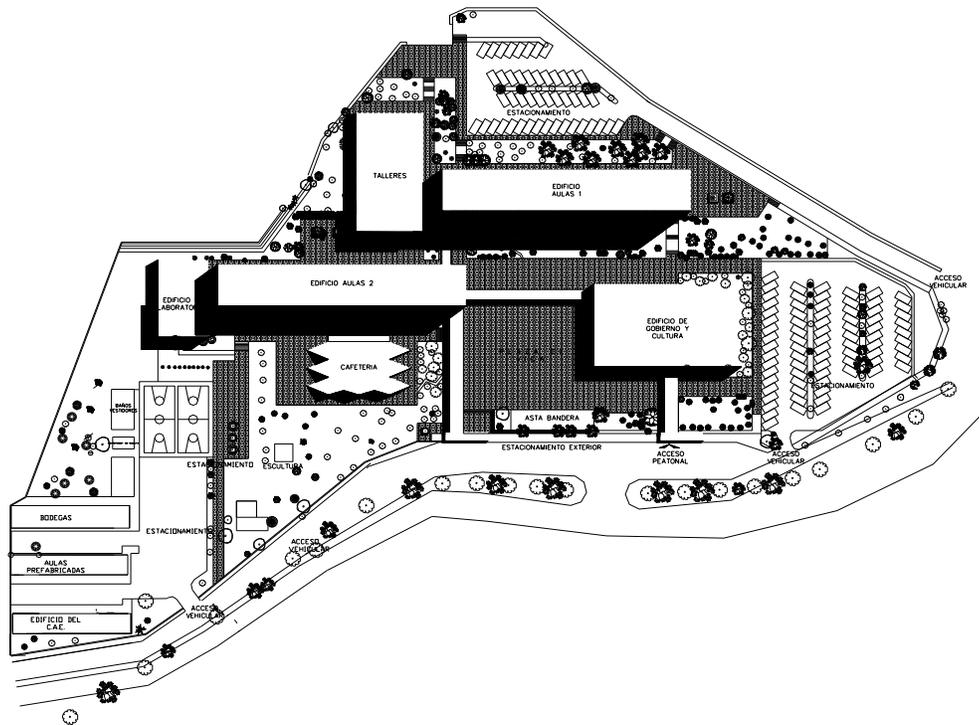


Imagen 4. Muestra la planta de conjunto y localización de cada uno de los edificios pertenecientes a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

La escuela cuenta con dos edificios de 3 niveles para la impartición de clases, en donde el objeto de estudio se llevara a cabo en este plantel, consiste en tomar la planta baja del edificio 2 y el nivel 1 del edificio 1; en donde el promedio de alumnos varía de 35 a 45 alumnos por aula.



Foto No.6 y 7. Muestra los edificios 1 y 2 en donde se realizó el levantamiento de materiales y dimensiones de las aulas.

3.2.1-Diseño del Método de Investigación.

Tipo de Estudio: Expost facto.

Introducción.

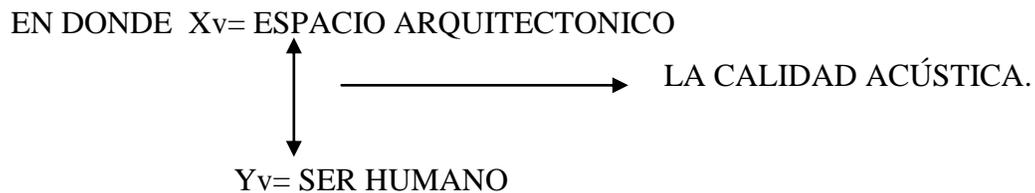
El método a utilizar es deductivo, ya que el estudio va de lo general a lo particular, entendiéndose así la descripción del fenómeno basado en un modelo matemático, para el cálculo y análisis del tiempo de reverberación optimo para la propagación del sonido, tomando en cuenta que la investigación es de tipo básica, Expost facto.

Diseño Expost-Facto.

Dunham (1980), Los sujetos son elegidos por sus características después del hecho de haberlas adquirido; esto resulta conveniente en ciertos estudios que requieren ciertas características en los sujetos, las cuales de ser manipuladas conducirían a la violación de reglas éticas.

Por lo anterior el diseño Expost-Facto aplicado a la investigación, partió de seleccionar un grupo de personas al azar, aulas escolares por plantel de nivel superior, con diferentes valores de la variable independiente y luego compararlos en la variable dependiente; Se puede probar la covariación entre las dos variables, también se puede asegurar la ante cesión de la variable independiente con respecto a la dependiente, pero no se puede descartar explicaciones alternativas.

POR LO QUE SI $\rightarrow X_v + Y_v = C$



Fundamentándose en este diseño, se determinó la siguiente Metodología a través de la cual se toman en cuenta las aulas de los planteles citados, el manejo de variables: elementos constructivos, dimensiones y número de alumnos, para determinar la variable de la calidad acústica.

Consistiendo en el manejo de una de las variables según cada caso es decir:

Como primer paso se concentro los datos de un aula escolar elegida al azar, de cada plantel en donde se considero como elemento variable, al tipo de material con que está construida el aula escolar, con las mismas dimensiones y mismo número de personas.



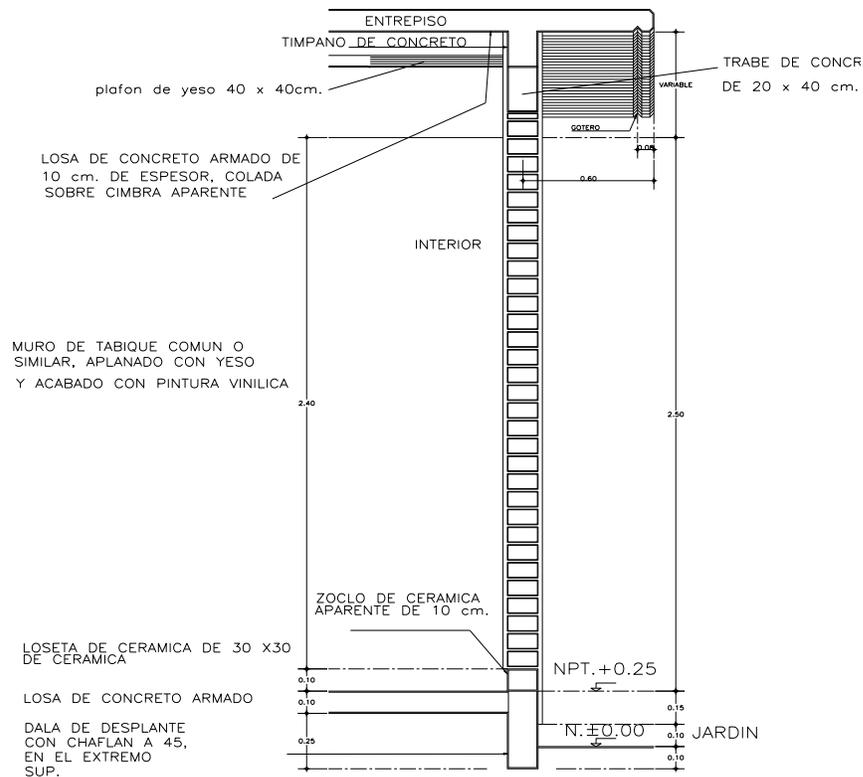
Foto No.8. Muestra el aula escolar del Tecnológico de Estudios Superiores.

Parámetros que nos sirvieron para efectuar el cálculo del tiempo de reverberación, que existe en el interior de cada una de las aulas que tienen estas características, que se describen en forma detallada en la siguiente tabla:

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

<p>MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario. (Elemento variable)</p>	<p>Número de Personas: 42</p>
<p>Plafón de yeso Muro de 10cm, con placa de yeso de 13mm en cada lado. Acabado con pintura vinílica. Piso de cerámica Ventanearía 1x1.50m y de 1.50 x .30 Mobiliario /Asiento plástico (0,8 m2/asiento) Puerta de madera</p>	<p>Dimensiones del Local de Estudio: Ancho: 6.76 mts. Largo: 9.76 mts. Altura: 2.70 mts.</p>

Tabla No.11. Manejo de la variable (material) por plantel y por aula.

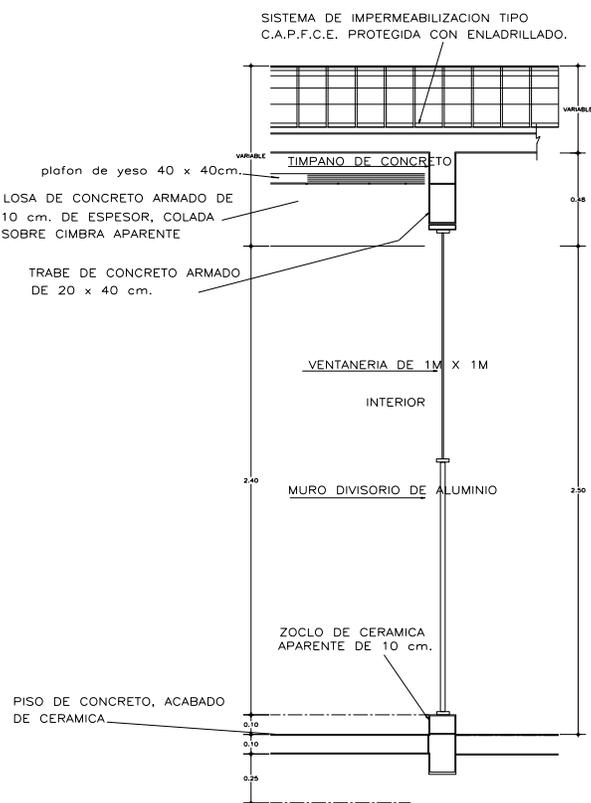


CORTE POR FACHADA 1

Universidad del Valle de Ecatepec

MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario (Elemento variable)	Número de Personas: 42
Plafón de yeso. Muro divisorios de aluminio. Muros de concreto acabado liso con pintura vinílica Piso de cerámica. Ventanearía 1x1m Mobiliario /Asiento tapizado grueso (0,8 m ² /asiento). Puerta de madera.	Dimensiones del Local de Estudio: Ancho: 6.76 mts. Largo: 9.76 mts. Altura: 2.70 mts.

Tabla No.12. Manejo de la variable (material) por plantel y por aula.

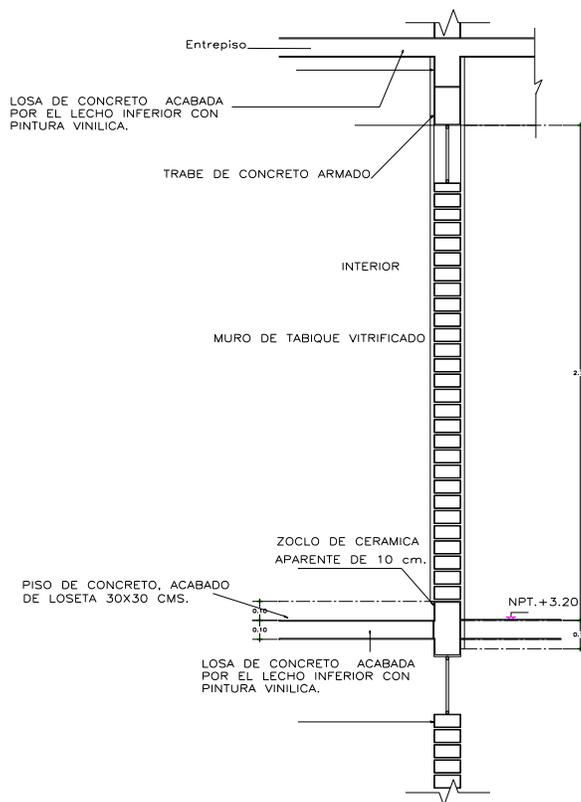


CORTE POR FACHADA 2

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario (Elemento variable)	Número de Personas: 42
Losas de concreto. Muro de concreto 10cm, acabado pintura acrílica. Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado. Piso de loseta. Ventanearía. Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento). Puerta de madera.	Dimensiones del Local de Estudio: Ancho: 6.76 mts. Largo: 9.76 mts. Altura: 2.70 mts.

Tabla No.13. Manejo de la variable (material) por plantel y por aula.



CORTE POR FACHADA 3

Como segundo paso se concentro los datos de un aula escolar elegida al azar, de cada plantel en donde se considero como elemento variable el número de personas, con las mismas dimensiones y mismo material.

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

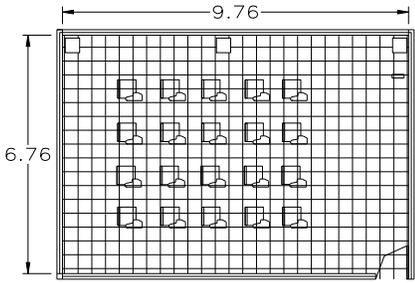
MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario	Número de Personas: 20 (Elemento variable)	
Losas de concreto. Muro de concreto 10cm, acabado pintura acrílica. Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado. Piso de loseta Ventanearía Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) Puerta de madera	DIMENSIONES DEL LOCAL DE ESTUDIO: Ancho: 6.76 mts. Largo: 9.76 mts. Altura: 2.70 mts.	

Tabla No.14 y 15. Manejo de la variable (número de personas) por plantel y por aula.

Universidad del Valle de Ecatepec

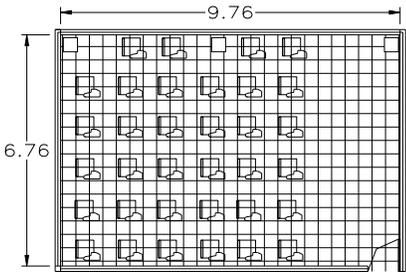
MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario	Número de Personas: 34 (Elemento variable)	
Losas de concreto Muro de concreto 10cm, acabado pintura acrílica. Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado. Piso de loseta Ventanearía Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) Puerta de madera	Dimensiones del Local de Estudio: Ancho: 6.76 mts. Largo: 9.76 mts. Altura: 2.70 mts.	

Tabla No.16. Manejo de la variable (número de personas) por plantel y por aula.

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

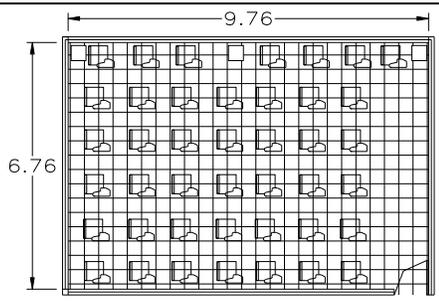
MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario	Número de Personas: 42 (Elemento variable)	
Losas de concreto Muro de concreto 10cm, acabado pintura acrílica. Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado Piso de loseta Ventanearía Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) Puerta de madera	Dimensiones del Local de Estudio Ancho: 6.76 mts. Largo: 9.76 mts. Altura: 2.70 mts	

Tabla No.17. Manejo de la variable (número de personas) por plantel y por aula.

Como tercer paso se concentro los datos de tres aulas de clases elegidas al azar de cada plantel, en donde se considero como elemento variable las dimensiones del aula, con los mismos materiales y mismo número de personas.

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

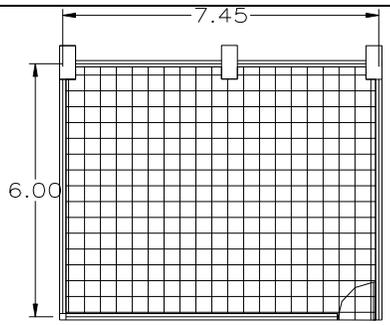
MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario	Número de Personas: 42	
Losas de concreto. Muro de concreto 10cm, acabado pintura acrílica. Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado. Piso de loseta Ventanearía Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) Puerta de madera	Dimensiones del Local de Estudio (Elemento variable) Ancho: 6 mts. Largo: 7.45 mts. Altura: 2.50 mts.	

Tabla No.18. Manejo de la variable (dimensiones) por plantel y por aula.

Universidad del Valle de Ecatepec

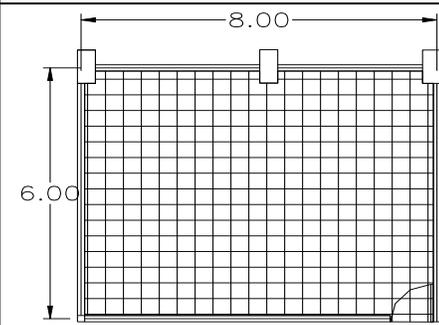
MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario	Número de Personas: 42	
Losas de concreto Muro de concreto 10cm, acabado pintura acrílica. Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado. Piso de loseta Ventanearía Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) Puerta de madera	Dimensiones del Local de Estudio (Elemento variable) Ancho: 6 mts. Largo: 8.00 mts. Altura: 2.70 mts.	

Tabla No.19. Manejo de la variable (dimensiones) por plantel y por aula.

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

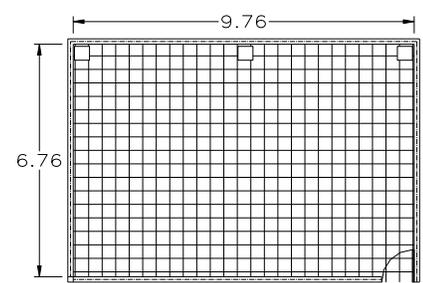
MATERIAL: Muros, Pisos, Plafones y Mobiliario	Número de Personas: 42	
Losas de concreto Muro de concreto 10cm, acabado pintura acrílica. Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado. Piso de loseta Ventanearía Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) Puerta de madera	Dimensiones del Local de Estudio (Elemento variable) Ancho: 6.76 mts. Largo: 9.76 mts. Altura: 2.70 mts.	

Tabla No.20. Manejo de la variable (dimensiones) por plantel y por aula.

3.2.2-Absorción de los Materiales y Características Auditivas

Por medio de la siguiente cedula se capturo cada una de las condiciones y características con las que cuenta cada una de las aulas, tanto vacías como ocupadas y de esa manera se confrontaron los datos obtenidos, calculados a través del modelo matemático de Sabine y Eyrin que posteriormente se plantea.

CONDICIONES PARA CONFORT ACUSTICO					
ESPACIO AULA/m3	TIEMPO DE REVERBERACIÓN. EN SEGUNDOS.	ACTIVIDAD AUDITIVA GENÉRICA	SONIDO AMBIENTE Db	CALIDAD ACÚSTICA	
129.6	0.5-0.9	ATENCIÓN- LENGUAJE	30-45	MODERADO C /INTELIGIBLE CORTO-MEDIO	
M2	MATERIAL	NCR ABSORCIÓN	Frecuencia en Hertz		
			125	500	2000
	PLAFÓN DE YESO	0.02		45db	
	Muro de 10cm, con placa de yeso de 13mm en cada lado.	0.05		30 db	
	PISO DE CERÁMICA	0		0db	
	PERSONAS	0.25		0.44db	
	VENTANA	0.25		0.04db	
	MOBILIARIO/ Asiento de madera (0,8 m2/asiento)	0.2		0.30db	
	PUERTA DE MADERA	0.11		26db	

Tabla No.21. Cedula de levantamiento sobre las características arquitectónicas que debe de tener un aula escolar.

El coeficiente de reflexión, transmisión y /o absorción del sonido que incide en los materiales esta dado por la energía acústica que reflejada, transmitida y/o absorbida y la incidente por lo que la capacidad de aislamiento de un material será en función de su modulo de elasticidad, espesor y porosidad; debido a esto se decidió tomar el coeficiente de absorción de los siguientes materiales eligiendo solo los coeficientes de la frecuencia de **500 Hertz** para realizar el cálculo del tiempo de reverberación:

Tabla de Absorción de los Materiales			
Descripción	Frecuencia en Hertz		
	125	500	2000
Elementos constructivos	125	500	2000
Tabique expuesto sin vidriar y sin pintar	0.03	0.03	0.05
Mármol o recubrimiento vidriado	0.01	0.015	0.02
Aplanado yeso o cal; liso sobre bloque de concreto	0.12	0.07	0.05
Bancas de madera, ocupadas por unidad de área de piso (m ²)	0.37	0.67	0.80
Vidrio grueso	0.18	0.04	0.02
Vidrio común	0.35	0.12	0.07
Butacas acolchonadas por unidad de área de piso (m ²)	0.19	0.56	0.61
Aislamiento acústico	db		
Losas de concreto encase tonada, capa de compresión de 4 cm. con plafón falso		45	
Muro de 10cm con placa de yeso de 13mm en cada lado.		30	
Muro de tabique de 14cm de espesor		40	
Asiento de madera (0,8 m2/asiento)	0.01	0.30	0.60
Asiento tapizado grueso(0,8 m2/asiento)	0.44	0.44	0.44
Personas en asiento de madera (0,8 m2/persona)	0.34	0.44	0.56
Personas de pie (0,8 m2/persona)	0,25	0.59	0.62
Personas en asiento tapizado (0,8 m2/persona)	0.53	0.51	0.56

Tabla No.22. INIFED. Normas y especificaciones, Coeficientes de Absorción.

Pérdida de transmisión de diversos materiales

Las propiedades acústicas de las aulas tienen una gran incidencia en el nivel de ruido, en el cual se encuentran sometidos alumnos y docentes; En primer lugar tenemos el aislamiento acústico y en segundo la falta de este, es decir la capacidad de las paredes, aberturas y tabiques para impedir la trascendencia de los sonidos exteriores hacia el interior del aula o viceversa.



Foto No.9- Muestra las características Arquitectónicas y los elementos por los cuales se pierde el aislamiento acústico, de un aula escolar perteneciente a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

El aislamiento depende fundamentalmente del espesor de las paredes y del cuidado de un perfecto ajuste de las aberturas. En efecto, los huecos debajo de una puerta o en el perímetro de una ventana.

Descripción	Frecuencia en Hertz		
	125	500	2000
Puertas	125	500	2000
Puerta madera maciza (24 kg/m ²)	19	26	23
Puerta madera maciza con burlete	22	29	26
Puerta de madera maciza (24 kg/m ²) + aire (230 mm) + Puerta acero chapa # 18 hueca (26 kg/m ²) + burlete magnético en el marco	35	48	54

Tabla No.23. Acústica Arquitectónica Rodríguez Manzo F., 2001, Coeficientes de Absorción.

3.2.2.1. Audiometría

Todos los ruidos, están constituidos por una unión más o menos compleja de sonidos puros; siendo éste un gas, un líquido o un sólido, lo que significa que es una oscilación de partículas materiales alrededor de su posición normal de equilibrio o reposo. Este movimiento oscilante es elástico y comparable al de la superficie del agua, debido a sus choques regulares, se trata pues, de una onda sinusoidal que se traduce groseramente en el plano fisiológico, en dos cualidades sensoriales importantes.

La altura, que traduce la presencia de las vibraciones (ciclos / segundo o Hertz), la sonoridad, (intensidad, sensación) que está en función de la intensidad física, es decir la amplitud de las vibraciones.

Los fenómenos, auditivos como otras sensaciones están regidos por la famosa ley psicofísica de Weber y Fechner: "La sensación crece en progresión aritmética, cuando la excitación lo hace en progresión geométrica." Dicho de otra manera, la sensación crece como el logaritmo de la excitación medida en unidad física.

Para objetivar mejor los crecimientos de sensación auditiva en altura e intensidad se han elegido las siguientes unidades:

- La octava para las frecuencias.
- El decibelio para la intensidad.

Por lo que el audiómetro consiste básicamente en:

- Un generador de distintas frecuencias de sonido; este instrumento emite tonos puros, sonidos que el ser humano no está acostumbrado a escuchar, ya que no existen como tal en la vida diaria.

Las frecuencias estudiadas son: 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 3000 - 4000 - 6000 y 8000 ciclos / segundo o hertz.

Promedios de cada frecuencia en cada oído

Audiometría Convencional			Audiometría Altas Frecuencias		
KiloHertz	Oído Der. dB	Oído Izq. dB	KiloHertz	Oído Der. dB	Oído Izq. dB
.125	10.2	9.6	8	12	13
.25	8	9.6	9	12.9	14.6
.5	10.2	13	10	10.2	13
1	8.6	12.3	11	11.3	14.6
2	7.6	7	12	13.3	12
4	12	14	13	13.6	12.3
8	14	16	14	9	12.3
			15	11.3	17.3
			16	16.6	22.3
			17	22.6	24.6
			18	29.6	27.6

Por lo que utilizando como referencia este tipo de estudios se realizo un examen audio métrico, el cual tiene por objeto cifrar las alteraciones de la audición en relación con los estímulos acústicos, resultados que se anotan en un gráfico denominado audiograma.

El cual se puede considerar como un método auxiliar de diagnostico más preciso para la detección temprana de trastornos en la audición, debido a la exposición al ruido, déficit auditivo el cual tiene hasta 25dB en las frecuencias de 8 a 17 KHz y en la frecuencia de 18 KHz.

Este método sirvió para detectar el déficit auditivo de los alumnos y seleccionar el grupo muestra que se utilizo para la aplicación de la Prueba Piloto.

Desde el punto de vista del confort acústico los locales escolares, deberán tener en cuenta tanto la sensibilidad y percepción optima del oído humano, la cual está situada entre los 600 los 6000 Hertz y dentro de la gama de intensidad que va de los 30 a 75 decibeles.

Por lo que una de las técnicas utilizadas para controlar la variable auditiva es el sondeo a través de encuestas, que nos permite valuar el nivel auditivo de los estudiantes de una manera subjetiva.

3.3.- Sistemas de evaluación del Ambiente Acústico en las aulas escolares.

Prueba Piloto.

Introducción.

Se han realizado diversos estudios para medir la intensidad del ruido de fondo en las aulas. Los resultados de estos estudios ponen de manifiesto que en una situación normal, el ruido de fondo es de 60 decibelios (dB), equivalente al nivel de ruido que producen varias máquinas de escribir en una oficina, para que pueda llegar la voz del profesor al alumno, la señal de la voz debe ser 15-20 dB más intensa que el ruido de fondo; Esto es lo que en audiología se conoce como una relación señal/ruido de 15-20 dB.

La relación señal/ruido se determina midiendo la intensidad de la señal (voz del profesor) y el ruido de fondo del aula, la diferencia entre estos dos valores es la relación señal/ruido; En una situación normal la voz del profesor tiene una intensidad de 65 dB, mientras que el ruido de fondo asciende a 60 dB. Por consiguiente, la relación señal/ruido es de solamente 5 dE (65 dE -60 dB). Puesto que una relación señal/ruido de 15-20 dB es la deseable, una clase típica con una relación señal/ruido de 5 dB.

El segundo obstáculo para la comprensión de la palabra es la distancia entre el alumno y el profesor.

En un aula normal el profesor está a 1 ó 2 metros de los alumnos de la primera fila. Supongamos que está a 2 metros de los alumnos, la voz del profesor puede emitirse a 65 dB y el ruido ambiente puede ser de una intensidad de 60 dB. Si consideramos el caso de los alumnos sentados en la tercera o cuarta fila, hay que añadir una distancia de otros 2 metros; Desde esta situación, la intensidad de la voz del profesor se escuchará a 59 dB (al doblar la

distancia hay una disminución del nivel de sonido de 6 dB), por lo tanto el ruido de fondo es 1 dB, que es superior al nivel de la voz del profesor.

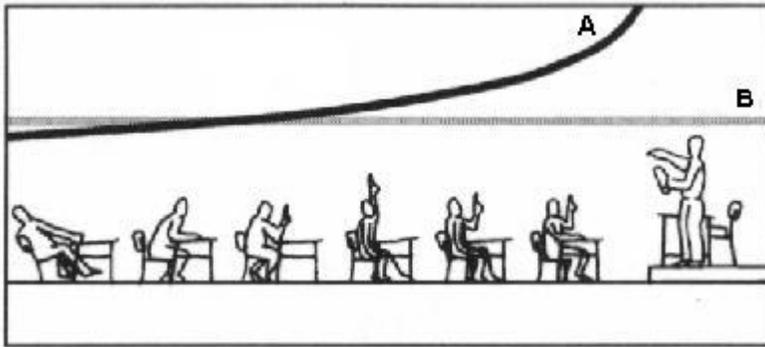


Figura No.9- Sistema FM. En el aula (1998). *Fundación Canaria para la prevención de la* (<http://www.otoclinic.com>).

Motivo por el cual se aplicó las encuestas en el Tecnológico de Ecatepec a un grupo de 42 alumnos mediante el siguiente proceso:

Como Primer paso se descargó los sonidos de la página: <http://recursos.cnice>; que correspondían a 3, 5, 10, 20db; a una frecuencia de 500herz, se seleccionó el sonido del rumor de las hojas de un árbol manteniendo los mismos db antes mencionados; con una duración de 1 segundo y procedió a grabar en un CD.

Posteriormente este mismo que se reprodujo por medio de un lector de CD/DVD; tomando en cuenta que la intensidad o volumen de la fuente emisora es variable se utilizó un sonómetro para el control de esta misma y de la frecuencia (500herz).

Finalmente se les entrego a los alumnos una encuesta de evaluación del nivel auditivo, para que se llenara al emitir el sonido a diferentes intensidades, antes mencionadas y en ella fueran registrando la respuesta a estas emisiones obteniendo como resultados:

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.					
Aula No. : 2		Edificio 1.		Turno: Matutino	
Cantidad de Bancos: 42			Cantidad de Alumnos: 42		
NIVEL AUDITIVO					No. Fila:1 Distancia:1.50
RANGO DEL CAMBIO	RESPUESTA SUBJETIVA				
3 db	nulo	*perceptible	distinguible	intenso	
5db	nulo	*perceptible	distinguible	intenso	
10db	nulo	perceptible	*distinguible	intenso	
20db	nulo	perceptible	distinguible	*intenso	
Comentario El sonido emitido lo relaciona con una imagen o recuerdo del mar	Fecha / hora 14/05/07---12:00am		Tipo de ropa Mezclilla y blusa o camisa de algodón.		
En el caso de la audición humana, la banda de frecuencias audibles para una persona Joven y sana se extiende, aproximadamente, de 600 Hz a 6000 Hz (30-75Db).según INIFED. Aplicando una prueba audio métrica la escala considerada es de 0 y decrece de 10 en 10 hasta llegar a 100 db; lo que significaría una sordera total. Por lo que los rangos de 3 a 20db que se muestran en la tabla hacen que el levantamiento no solo sea subjetivo si no también objetivo.					

Tabla No.24. Formato de encuesta de valoración subjetiva del nivel auditivo de los alumnos

Proceso del cual se obtuvieron las siguientes encuestas:

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.					
Aula No. : 2		Edificio 1.		Turno: Matutino	
Cantidad de Bancos: 42			Cantidad de Alumnos: 42		
NIVEL AUDITIVO					No. Fila:3 Distancia:2.30
RANGO DEL CAMBIO	RESPUESTA SUBJETIVA				
3 db	*nulo	perceptible	distinguible	intenso	
5db	nulo	perceptible	*distinguible	intenso	
10db	nulo	perceptible	distinguible	*intenso	
20db	nulo	perceptible	distinguible	*intenso	
Comentario El sonido emitido lo relaciona con una imagen o recuerdo de una brizna	Fecha / hora 14/05/07---12:00am		Tipo de ropa Mezclilla y blusa o camisa de algodón.		

Tabla No.25. Formato de encuesta de valoración subjetiva del nivel auditivo de los alumnos.

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.					
Aula No. : 2		Edificio 1.		Turno: Matutino	
Cantidad de Bancos: 42			Cantidad de Alumnos: 42		
NIVEL AUDITIVO					No. Fila:7
					Distancia: 7.10
RANGO DEL CAMBIO	RESPUESTA SUBJETIVA				
3 db	*nulo	perceptible	distinguible	intenso	
5db	* nulo	perceptible	distinguible	intenso	
10db	nulo	*perceptible	distinguible	intenso	
20db	nulo	perceptible	*distinguible	intenso	
Comentario	Fecha / hora		Tipo de ropa		
	14/05/07---12:00am		Mezclilla y blusa o camisa de algodón.		

Tabla No.26. Formato de encuesta de valoración subjetiva del nivel auditivo de los alumnos.

Capitulo 4.
Análisis e identificación estadística en
aulas escolares.

4.1.-Valoración Auditiva.

Existen varias clases diferentes de decibeles, el primero se refiere a la intensidad física con abstracción del fenómeno de la percepción. El segundo, tiene en cuenta que el oído humano es menos sensible a los tonos muy graves (muy baja frecuencia) y a los muy agudos (muy alta frecuencia), siendo más sensible a las frecuencias intermedias.

Normalmente los sonidos más débiles que se pueden escuchar oscilan entre los 0 dBA y los 10 dBA, dependiendo del estado de la audición del individuo.



Foto No.10- Muestra el número de alumnos que ocupan un aula escolar a si como la distribución de esta.

Por lo que a continuación se muestra los resultados obtenidos de las encuestas realizadas, que se utilizaron para determinar la valoración auditiva del grupo muestra, realizada a un grupo de 42 alumnos y que nos permite visualizar que tan normal son los rangos auditivos, a través de su percepción como puede observarse en la tabla 27.

Tabla de concentración de resultados Obtenidos de las encuestas realizadas a los alumnos del T.E.S.E.

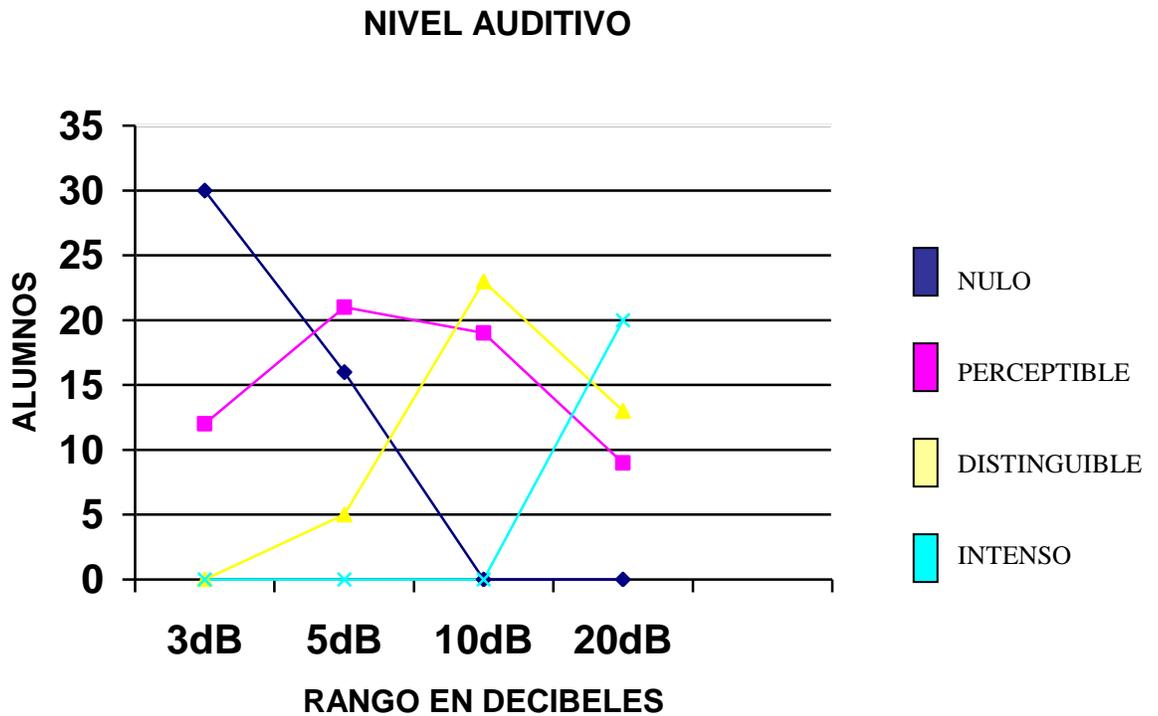
NIVEL AUDITIVO	RANGO 3 db	ALUMNOS		
Fila 1	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	2	4	X	X
	5db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	1	4	1	X
	10db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	X	1	5	X
	20db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	X	X	X	6
Fila 2	3db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	2	4	X	X
	5db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	2	4	X	X
	10db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	X	1	5	X
	20db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso

Fila 3	X	X	1	5
	3db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	3	3	X	X
	5db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	X	2	4	X
	10db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	X	1	5	X
	20db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
X	X	2	4	
Fila 4	3db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	5	1	X	X
	5db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	1	5	X	X
	10db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	X	4	2	X
	20db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	X	1	3	2

	3db			
	nulo	perceptible	distinguable	intenso
Fila 5	6	X	X	X
	5db			
	nulo	perceptible	distinguable	intenso
	3	3	X	X
	10db			
	nulo	perceptible	distinguable	intenso
	X	4	2	X
	20db			
	nulo	perceptible	distinguable	intenso
	X	2	2	2
Fila 6	3db			
	nulo	perceptible	distinguable	intenso
	6	X	X	X
	5db			
	nulo	perceptible	distinguable	intenso
	4	2	X	X
	10db			
	nulo	perceptible	distinguable	intenso
	X	3	3	
	20db			
	nulo	perceptible	distinguable	intenso
	X	3	2	1
	3db			

Fila 7	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	6	X	X	X
	5db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
	5	1	X	X
	10db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
		5	1	
	20db			
	nulo	perceptible	distinguible	intenso
		3	3	

Tabla No.27- Concentración de respuestas de percepción auditiva a través del cambio de decibeles.



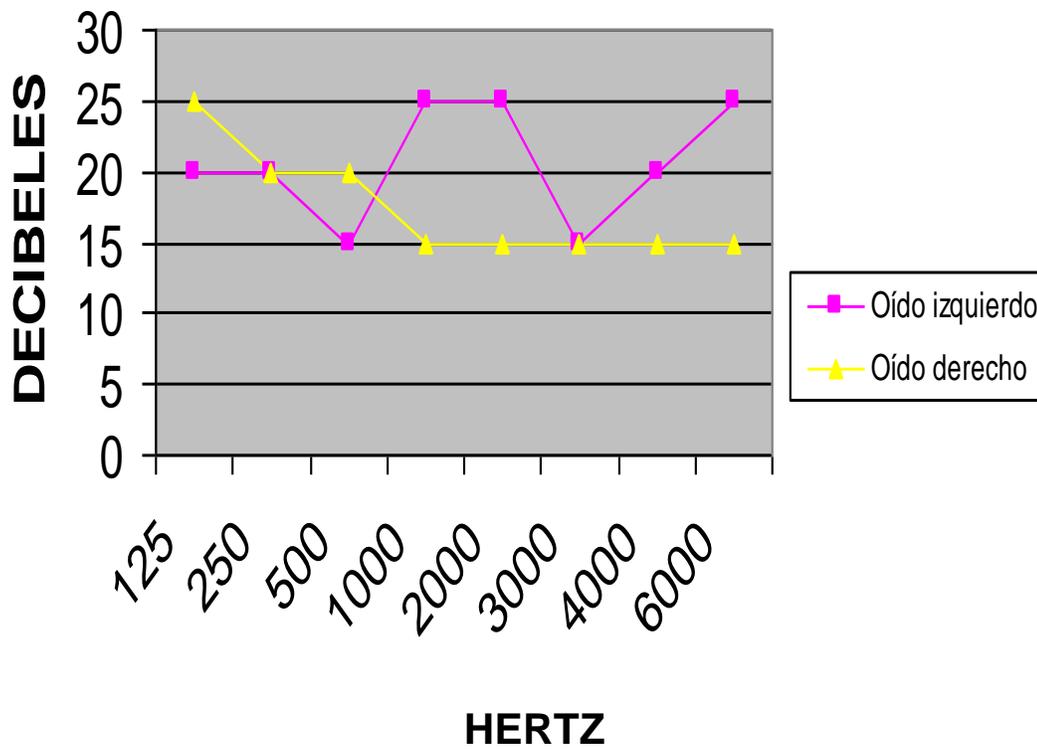
Grafica No. 1- Rangos obtenidos de las encuestas para determinar el nivel auditivo de los alumnos.

De lo cual según los datos obtenidos en la encuesta y graficados en la tabla; el grupo de alumnos seleccionados presenta un nivel auditivo aceptable, el cual va relacionado con la distancia que existe entre la voz emisora y la del receptor (alumno), teniendo en cuenta que la distancia que debe y existe es de 1mts a 2mts. A la primera fila, y que dentro de los 42 alumnos, el 35 de ellos escuchan los sonidos emitidos, por lo cual se determinaría que el grupo muestra a elegir serian los 35 alumnos, sin embargo si se toma en cuenta que el tipo de análisis no es 100% preciso, se procedió a complementar con un examen audiométrico para determinar el nivel auditivo de los alumnos, de lo cual se obtuvo la siguiente tabla en donde los 42 alumnos elegidos se encuentran auditivamente sanos.

Resultados Audiometría, rangos normales

Hertz	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
Oído izquierdo	20	20	15	25	25	15	20	25
Oído derecho	25	20	20	15	15	15	15	15

Tabla No.28- Resultados de la prueba Audio métrica en donde se muestran los rangos normales que determinan que una persona está sana auditivamente.



Grafica No. 2- Rangos normales obtenidos del grupo muestra.

4.2.-Determinantes de una calidad acústica optima.

Empleando la formula de Sabine y Eyrin principalmente, y tomando en cuenta que el tiempo de reverberación varia en rangos de 0.5-0.9. A lo cual se pretende determinar un parámetro optimo, a través del las condiciones del aula escolar y la influencia del ser humano, mediante el desarrollo del diseño del método expos-facto.



Foto No.11- salón de clases perteneciente al TESE.

Método por el cual se realizo el siguiente cálculo:

Tabla de absorción por superficie de elemento			
elemento	metros cuadrados	coef. De absorción	en sabines
PLAFÓN DE YESO	48	0.02	0.96
MUROS	73.71	0.05	3.6855
PISO DE CERÁMICA	48	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANA	6	0.25	1.5
MOBILIARIO	12.6	0.2	2.52
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	19.3734

Tabla No.29- Cálculo del tiempo de reverberación.

Análisis del resultado.

Aplicando la formula de Sabine para la obtención del tiempo de reverberación, en un aula ocupada y calculando el coeficiente de absorción del número de alumnos:

$$T_{60} = 0.16 \text{ V/A.}$$

Se obtiene como resultado:

$$TR. = \underline{1.07 \text{ s.}}$$

De acuerdo a los parámetros establecidos se debería de tener un rango de 0.5 a 0.9 tiempo óptimo. Se observo que otro de los puntos que se debe de considerar es: La perdida de transmisión de las puertas y considerando la variación entre los alumnos que asisten, y para cuantos fue diseñado el espacio.

4.3.-Interpretación de los datos estadísticos

Siguiendo la metodología planteada y a través de los cálculos realizados se registro la comparación que existe entre un aula vacía y una ocupada, con el fin de demostrar que dentro de un aula no solo es determinante los materiales y las propiedades arquitectónicas del espacio, si no que también el ser humano; es un elemento que no se puede descartar y que se debe considerar tanto como ocupante como un factor de absorción mas, que interactúa dentro de un aula escolar, que a mayor número de alumnos mayor será la absorción registrada, que mediará el tiempo de reverberación adecuado, si el espacio arquitectónico y el número de alumnos son los calculados para obtener una Calidad Acústica en el Interior de las Aulas Escolares como se puede ver en las tablas 29, 30 y 31.

Resultados de los tiempos de reverberación en un aulas vacías y ocupadas por plantel.

Aula/Plantel	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Alumnos	Material	Tiempo de Reverberación. (500Hz)	
					Ocupada	Vacía
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec	65.98	178.14	42	1-Plafón de yeso 2-Muro de 10cm, con placa de yeso de 13mm en cada lado. 3.-Acabado con pintura vinílica. 4-Piso de cerámica 5-Ventanearía 1x1.50m y de 1.50 x .30 6-Mobiliario /Asiento plástico (0,8 m2/asiento) 7-Puerta de madera	1.45	3.11
Universidad del Valle de Ecatepec	65.98	178.14	42	1.-Plafón de yeso. 2.-Muro divisorios de aluminio 3.-Muros de concreto acabado liso con pintura vinílica 4.-Piso de cerámica, Ventanearía 1x1m 5.-Mobiliario /Asiento tapizado grueso(0,8 m2/asiento) 6.-Puerta de madera	0.79	1.13
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura	65.98	178.14	42	1.-Losas de concreto 2.-Muro de 10cm, y pintura acrílica. 3.-Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado 4.-Piso de loseta Ventanearía 5.-Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) 6.-Puerta de madera	0.54	0.67

Tabla No.30- Tiempo de Reverberación obtenidos en un aula vacía y ocupada teniendo como variante el tipo de material

De acuerdo a los resultados obtenidos, se tiene como promedio para una aula ocupada un tiempo de reverberación de 0.93 segundos y para una aula vacía un valor promedio de 1.79 segundos, lo que arroja un diferencia 0.86 segundos.

Resultados de los tiempos de reverberación en un aulas vacías y ocupadas por plantel.

Aula/Plantel	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Alumnos	Material	Tiempo de Reverberación. (500Hz)	
					Ocupada	Vacía
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec	65.98	178.14	20	1-Plafón de yeso 2-Muro de 10cm, con placa de yeso de 13mm en cada lado. 3.-Acabado con pintura vinílica. 4-Piso de cerámica 5-Ventanearía 1x1.50m y de 1.50 x .30 6-Mobiliario /Asiento plástico (0,8 m2/asiento) 7-Puerta de madera	0.59	0.66
Universidad del Valle de Ecatepec	65.98	178.14	34	1.-Plafón de yeso. 2.-Muro divisorios de aluminio 3.-Muros de concreto acabado liso con pintura vinílica 4.-Piso de cerámica, Ventanearía 1x1m 5.-Mobiliario /Asiento tapizado grueso(0,8 m2/asiento) 6.-Puerta de madera	0.55	0.66
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura	65.98	178.14	42	1.-Losas de concreto 2.-Muro de 10cm, y pintura acrílica. 3.-Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado	0.53	0.66

				4.-Piso de loseta Ventanearía 5.-Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) 6.-Puerta de madera		
--	--	--	--	---	--	--

Tabla No.31- Tiempo de Reverberación obtenidos en un aula vacía y ocupada, teniendo como variante el número de alumnos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se tiene como promedio para una aula ocupada un tiempo de reverberación de 0.56 segundos y para una aula vacía un valor promedio de 0.66 segundos, lo que arroja un diferencia 0.10 segundos.

Resultados de los tiempos de reverberación en un aulas vacías y ocupadas por plantel.

Aula/Plantel	Área (m ²)	Vol. (m ³)	Alumnos	Material	TR. (500HRZ)	
					Ocupada	Vacía
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec	44.7	111.75	42	1-Plafón de yeso 2-Muro de 10cm, con placa de yeso de 13mm en cada lado. 3.-Acabado con pintura vinílica. 4-Piso de cerámica 5-Ventanearía 1x1.50m y de 1.50 x .30 6-Mobiliario /Asiento plástico (0,8 m2/asiento) 7-Puerta de madera	0.40 s.	0.53 s.
Universidad del Valle de Ecatepec	48	129.6	42	1.-Plafón de yeso. 2.-Muro divisorios de aluminio 3.-Muros de concreto acabado liso con pintura vinílica 4.-Piso de cerámica, Ventanearía 1x1m 5.-Mobiliario /Asiento tapizado grueso(0,8 m2/asiento) 6.-Puerta de madera	0.43 s.	0.55 s.

<p style="text-align: center;">Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura</p>	65.98	178.14	42	1.-Losas de concreto 2.-Muro de 10cm, y pintura acrílica. 3.-Muro de 10cm, acabado tabique vitrificado 4.-Piso de loseta Ventanearía 5.-Mobiliario/ asiento de metal (0,8 m2/asiento) 6.-Puerta de madera	0.54 s.	0.67 s.
---	-------	--------	----	--	---------	---------

Tabla No.32- Tiempo de Reverberación obtenidos en un aula vacía y ocupada, teniendo como variante las dimensiones del aula.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se tiene como promedio para una aula ocupada un tiempo de reverberación de 0.46 segundos, para una aula vacía un valor promedio de 0.58 segundos lo que arroja un diferencia 0.12 segundos.

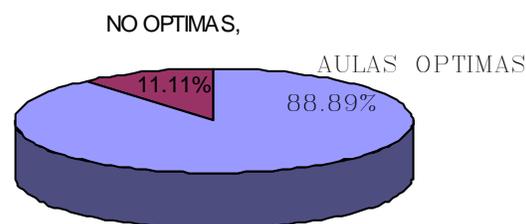
Determinando en cada caso que independientemente de las variaciones en cuanto a las características del aula escolar, el tiempo de reverberación es mayor en un aula vacía que en una ocupada, debido a que el ser humano interactúa dentro del espacio arquitectónico como un elemento absorbente de sonido, interpretando los resultados por cada plantel se tiene que:

Para las aulas del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, el tiempo de reverberación promedio es de 0.81segundos, en las aulas ocupadas y para las aulas vacías el tiempo de reverberación sería de 1.43segundos.

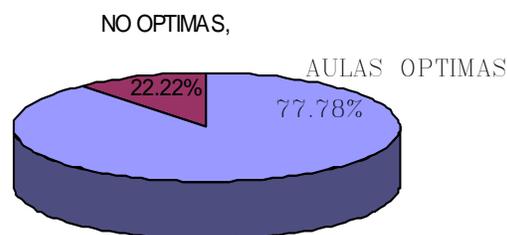
Para las aulas de la Universidad del Valle de Ecatepec, el tiempo de reverberación promedio es de 0.59segundos, en las aulas ocupadas y para las aulas vacías el tiempo de reverberación sería de 0.78segundos.

Para las aulas de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del I.PN., el tiempo de reverberación promedio es de 0.54 segundos, en las aulas ocupadas y para las aulas vacías el tiempo de reverberación sería de 0.67 segundos.

Basándonos en la teoría de Sabine, en donde el rango de tiempo de reverberación óptimo va de los 0.5-0.9 segundos, nos permite determinar que el 88.89% de estas aulas considerándolas ocupadas, están acústicamente adecuadas y que cuentan con una óptima cálida acústica, ya que si nos basáramos en los planteamientos de los estudios de INIFED, este rango tendría que estar dentro de los 0.4-0.7 segundos, por lo que el 77.78% de las aulas serían apropiadas acústicamente siempre y cuando se considere un promedio de 33 alumnos, si este rango fuera menor las aulas de estos planteles serían inapropiadas acústicamente por lo que carecerían de calidad acústica, ya que el sonido no sería escuchado nítidamente por el alumno además de dar paso a la formación de ecos y ruidos de fondo.



Rango de 0.5 – 0.9 según Sabine



Rango de 0.4 – 0.7 según INIFED

Grafica No. 3 y 4- Porcentajes promedio de aulas optimas y no optimas según Sabine e INIFED.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.

Una vez interpretado los resultados a través de los principios teóricos sobre la calidad acústica de un espacio arquitectónico y su relación con el ser humano y de acuerdo a lo obtenido se puede afirmar que el espacio arquitectónico y el ser humano en relación efecto-causa determinan la calidad acústica del ambiente en el interior de las aulas escolares.

El espacio arquitectónico como tal genera un ambiente acústico pero al ser ocupado este ambiente es modificado ya sea de una manera positiva o negativa, generando una relación directa y este es reflejado mediante el tiempo de reverberación, ya que si bien el tiempo de reverberación promedio obtenido a través del estudio realizado en tres planteles pertenecientes al sector público como son, el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Universidad del Valle de Ecatepec y la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, fue de 0.86-0.10 segundos, entre un aula vacía y una ocupada.

Entendiéndose que independientemente de las características propias del espacio arquitectónico, el tiempo de reverberación es mayor en un aula vacía que en una ocupada.

Las aulas escolares deben de tener un tiempo de reverberación de 0.5-0.9 segundos, lo que nos permite dar a conocer que al destinar los espacios para determinadas actividades, no se esta tomando en cuenta que como ocupantes somos factores absorbentes y generadores de sonidos.

Considerando que el 88.89% de estas aulas están diseñadas acústicamente y que cuentan con una óptima calidad acústica el otro 11.11% esta fuera de los rangos óptimos,

las aulas de estos planteles son inapropiadas acústicamente por lo que carecen de calidad acústica, ya que el sonido no es escuchado nítidamente por el alumno además de dar paso a la formación de ecos y ruidos de fondo.

Provocando problemas en cuanto al tiempo de reverberación existente en el espacio arquitectónico y la relación con el ser humano, principalmente si se considera que la distancia a la primer fila es de 1 a 2 metros y de 0.50 entre cada fila, el mensaje que el catedrático emite se ira haciendo mas difícil de comprender por los alumnos mas alejados del emisor.

La ausencia de reverberación indica exceso de material absorbente y un ambiente acústico que provoca opresión en los asistentes, mientras que el exceso de reverberación hace que el sonido retumbe y pierda claridad.

Entre otros puntos o factores que afectaron las condiciones acústicas en las aulas escolares y que representaron un parámetro limitante en el estudio de esta problemática fueron:

1. La existencia de elementos transmisores de sonido hasta niveles de generar ruido como lo son los audífonos, bocinas, aipods y el nivel contaminante acústico que se vive a diario en la ciudad, propicia que no se considere que una persona esta sana auditivamente.
2. El tipo de material constructivo y acabados con que cuentan las aulas escolares ya que aun perteneciendo a un mismo plantel existe variación entre estos.

3. El tipo de mobiliario con que cuenta cada aula, mientras para un plantel el mobiliario son sillas y mesas de plástico para otras son bancas metálicas, lo que dificulta tener un coeficiente de absorción único para este tipo de mobiliario ya que no se puede obtener de un solo autor y se tiende a tener datos aproximados, debido a que los estudios realizados prácticamente son para espacios como los son auditorios, salas de cine entre otros, en donde las bancas son elementos con tela o sin tela.
4. El aislamiento acústico exterior, los planteles están rodeados por vialidades a demás de contar con estacionamiento interno, motivo por el cual dos de los planteles estudiados están diseñados acústicamente, uno de ellos no, obteniéndose una variable en cuanto a la pérdida o ganancia de sonidos exteriores.
5. Las dimensiones de las aulas escolares ya que en los planteles no todas las aulas son de del mismo tamaño, ni la misma altura.

Obteniéndose los factores que afectan las condiciones acústicas en las aulas escolares:

1. El silencio, o un bajo nivel del ruido ajeno a la audición.
2. Los sonidos que se produzcan en el interior deberán tener un adecuado nivel de intensidad (35 45 db).

3. Los sonidos deberán distribuirse uniformemente en todo el espacio arquitectónico y se deben evitar los ecos, concentraciones de sonido o islas con baja intensidad sonora.
4. el tiempo del sonido debe de ser de 0.5 a 0.9 segundos para producir una adecuada mezcla y separación de los sucesivos sonidos, pero sin provocar confusión y sobreposición de los mismos.

Dentro de este proceso no se consideró el estudio de las diferentes líneas de investigación, debido a la variabilidad existente sin embargo se esta dando pauta mediante el aporte de principios básicos físicos, fisiológicos y psicológicos como son, la geometría acústica en donde trata la reflexión y la absorción del sonido, la repercusión acústica, ya que esta relacionado con los materiales que se emplean en la construcción de un edificio con el objetivo de lograr un aislamiento exterior, el confort acústico el cual se obtiene a través de lograr una calidad acústica óptima, y el diseño arquitectónico de los espacios, la percepción auditiva, debido a que dependen de factores subjetivos, como son la personalidad y la educación de los individuos pero intervienen en el desarrollo de cualquier estudio realizado, en nuestro caso las personas relacionaban la emisión de un sonido con una imagen lo cual modificaba o disfrazaba la intensidad del sonido que se esta percibiendo.

En estas circunstancias, tiene sentido estudiar los sistemas naturales de control ambiental desde un enfoque acústico arquitectónico, es decir la relación que existe entre el ambiente interior y el diseño arquitectónico de un espacio.

Sin embargo el trabajo esta realizado para dar a conocer además de un conjunto de fundamentos teóricos, las herramientas e indicadores para lograr la concientización y reflexión sobre la importancia de corregir errores en el diseño acústico de los espacios

educativos en donde el ser humano es el factor principal y determinante de cualquier espacio arquitectónico.

Recomendaciones a incorporar dentro del proceso de diseño a partir de las conclusiones del estudio.

Para lograr la calidad acústica en el interior de las aulas escolares y evitar un ambiente acústico inapropiado en las instalaciones educativas se plantea en primera instancia recomendaciones que deberán aplicarse durante el proceso arquitectónico de los espacios educativos:

- Tomar en cuenta la capacidad del aula escolar para el que fue diseñada.
- Debe calcularse el tiempo de reverberación, considerando el número de alumnos o personas que la van a ocupar.
- Considerar que los materiales absorbentes son aquellos elementos porosos, y que los reflejantes son aquellos materiales lisos, ya que dentro de un espacio debe de existir ambos.
- Modificar el espacio arquitectónico a través de elementos absorbentes como lo son las cortinas, el tipo de mobiliario con vestidura de tela o la utilización de tal forma que se obtenga un rango óptimo de reverberación para los espacios educativos, ya que si bien el espacio por si solo genera un ambiente acústico propio, pero si añadimos que este va ha ser ocupado por determinado número de personas los cálculos acústicos realizados para las aulas ya no serian los apropiados.

- El aislar el espacio arquitectónico, sin llegar a convertir el espacio arquitectónico en una caja hermética, por que con ello se lograría encerrar los sonidos internos en el espacio arquitectónico aislado.
- Determinar factores acústicos adecuados a la ubicación geográfica y los materiales actuales que emplean los centros educativos, ya que la normatividad establecida por el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, los establece en forma general.

Cabe mencionar que es urgente adoptar acciones correctivas y normativas que permitan mejorar la calidad acústica, que presentan actualmente las aulas y provean una legislación acorde para futuras construcciones.

A través del control del sonido en las construcciones, mediante la reducción del sonido en la fuente que lo origina por medio de un cambio de diseño arquitectónico, una modificación en el equipo o evitando la vibración que produzca el ruido, colocando una barrera en la fuente sonora para aislarla o por la selección y aplicación de materiales absorbentes del sonido (materiales acústicos), haciendo uso de muros, puertas y ductos de ventilación con el aislamiento adecuado, el plafón de un espacio arquitectónico deberá ser reflejante del sonido, la utilización de vidrio doble en ventanas.

Es importante destacar que la acústica arquitectónica, abarca todas las condiciones del confort auditivo, es decir, lograr adecuados niveles sonoros para una adecuada recepción por parte de los oyentes, sin interferencias que enmascaran la información y que provoquen estrés, incomodidad auditiva, fatiga (por el esfuerzo en oír), llegando en algunos casos a transformarse en irreparables riesgos auditivos.

Líneas de Investigación y propuestas para futuros trabajos para el aula escolar, desde el punto de vista acústico.

El conseguir un buen aislamiento acústico no implica mejorar la calidad constructiva de ciertos elementos, por lo que se debe tener en cuenta al ser humano no solo como ocupante si no también como factores de absorción, teniendo en cuenta el número de ocupantes para el que fue diseñado el espacio. De esa manera se podrá lograr no solo el acondicionamiento acústico del aula sino la interacción de los ocupantes, de una manera no estresante que permitan alcanzar una buena relación Señal/Ruido.

Atendiendo a lo antes mencionado se relaciona una serie de recomendaciones y propuestas que en el trabajo realizado no se alcanzo a plantear, con el fin de que estas mismas sean retomadas en futuras investigaciones.

- Considerar la intensidad del sonido emitido en el interior de las aulas, el cual obligaría a tener especial cuidado con el potencial acústico contaminante, que usualmente se produce en el interior del propio edificio.
- Considerar las ecuaciones de Sabine y las de sus precursores para generar un modelo matemático para la ciudad de México, que permita calcular el tiempo de reverberación tomando en cuenta al ser humano, debido a que los modelos matemáticos de Eyring, Norris por mencionar algunos, no consideran a este como un elemento importante para modificar el tiempo de reverberación que se genera, dentro de un espacio arquitectónico como lo son la vivienda o como en este caso los espacios educativos.

- Emplear el uso de la cámara reverberante, para simular un ambiente escolar para determinar la intensidad del sonido, mediante la obtención de rangos óptimos a diferentes frecuencias de acuerdo con la norma ISO (1999), que van desde los 125-2000Hz., con y sin personas con el objetivo de lograr un confort acústico,
- En el diseño de espacios educativos se tendrá que considerar materiales tanto absorbentes como reflejantes, lo que daría pauta a realizar diseños geométricos como son las proyecciones del sonido.
- Realizar investigaciones enfocadas a las repercusiones del ruido en el ser humano (hipoacusia o disminución de la audición), y su relación con la forma geométrica del espacio arquitectónico.
- Estudios sobre confort acústico dentro de un espacio arquitectónico, a través de aspectos fisiológicos del usuario.
- Realizar diseños experimentales a través de la utilización materiales u elementos absorbentes de sonido, en espacios en donde la intensidad del sonido sea mayor a los rangos permitidos en un espacio, el cual corresponde a los 30-42Db, y si se trata de un espacio educativo este rango sería considerado de los 30-75db.

Bibliografía

- Ando Yoichi (1998) *Architectural Acoustics*, New York, Springer Verlag.
- Apfel Robert E. (1998) *Deaf architects & blind acousticians*, Apple Enterprise.
- Beranek Leo L. (1971) *Noise and Vibration Control*, New York, McGraw-Hill Company.
- Beranek Leo L. (1996) *Concert and Opera Halls*, Acoustical Society of America, New York, McGraw-Hill Company.
- Carrión Isbert A. (1998) *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*, México, Edicions UPC, alfaomega.
- Cázares Hernández L. (2003) *Técnicas Actuales de Investigación Documental*, 3ra ed., México, Trillas.
- Cohen Josef (1973) *Sensación y Percepción Auditiva y de los Sentidos Menores*, México, Trillas.
- Cowan James P. (1994) *Handbook of environmental acoustics*, New York, Van Nostrand Reinhold.
- Daumal Doménech F. (1998) *Arquitectura Acústica*, Barcelona, España, Edicions UPC, Els autors.

- D. Pierce A. (1981) *Acoustics An Introduction to Its Physical, Principles and Applications*, (ASA reprint 1989), New York, McGraw-Hill Company.
- Dodd G. (2001) *Listener Habits and choices; journal of sound and vibration*, vol. 239 (4), Performance Venus.
- Hidaka Takayuki (1995) *Frequency sound levels as measures of acoustical quality in concert hall*, Acoust. Soc.Am.
- Kinsler Lawrence E. (1999) *Fundamentos de Acústica*, México, Limusa.
- Kinsler Lawrence E. (1988) *Fundamentos de Acústica*, México, Limusa.
- Kosten C. W. & Beranek Leo L. (1971) *New method for the calculation of the reverberation time of halls for public assembly, acoustic*, vol 16, New York, McGraw-Hill Company.
- Knudsen Vern O. & Harris Cyril M. (1978) *Acoustical designing in architecture*, AIP-ASA.
- Fishman Lobell J. (1979) *Between Silence and Light*, Shambhala.
- Martínez Mora J. A. (1999) *Problemas de Acústica*, Edicions UPC, Colab.
- Pérez Montiel H. (2003) *Física y Tecnología 3*, México, Cultura.

- Recuero López M. (1999), *Acústica Arquitectónica Aplicada*, México, Paraninfo.
- Recuero López M. (1991), *Estudios y Controles para Grabación Sonora*, México, Paraninfo.
- Recuero López M. (1992), *Acústica Arquitectónica: Soluciones Prácticas*, Madrid, Paraninfo.
- Rivera Procura M. A. (2003) *Prácticas de Física IV*, 3ª ed., México, Exodo.
- Rodríguez Manzo F. (1998) *Confort Acústico, un Problema Arquitectónico v Congreso Mexicano de Acústica*, UAM- Azcapotzalco.
- Rodríguez Manzo F. (2001) *Análisis y balance acústico de los espacios arquitectónicos; Tesis de Maestría en Diseño*, México, UAM-Azcapotzalco.
- Rodríguez Viqueira M. (2001) *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, México D.F., Limusa.
- Savioli Carlos U. (1992) *Acústica Práctica*, Buenos Aires, AISINA.
- Hernández Sampieri R. & Coautores (1998) *Metodología de la Investigación*, 2ª ed., Mc. Graw Hill.
- Sears Francis W. (2004) *Física Universitaria*, México, Pearson.

- Sears Francis W. (1981) *Física General*, 5ª.ed., España, Addison-Wesley Iberoamericana.
- Sears Francis W. (1898) *Física Universitaria con Física Moderna*, 11ª.ed., México, Pearson.
- Serra Florensa R. & Coch Roura E. (2005) *Arquitectura y Energía Natural*, México, Alfaomega.
- Siebein Gary W. & Kinsey B. Y. (1999) *Recent Innovations in Acoustical Research*, Architectural Acoustics, J. Wiley & Sons Inc.

Tesis y Publicaciones.

- Bertin Díaz B. (2001) *Diseño Arquitectónico con enfoque Bioclimático*, Tesis Maestría en Arquitectura., IPN. ESIA. TEC.
- Gaceta del Gobierno Del Estado de México (1990) *Plan del Centro de Población de México de Ecatepec de Morelos*, Edo. de México, Palacio Nacional de Ecatepec.
- Torres García (2001) *Arquitectura: Los Orígenes*, Revista Trimestral *Esencia-Espacio*, No.14, ESIA. TEC
- Pérez García P. (2004) *Las Condiciones Acústicas en las Aulas de Música*, Revista de Psicodidáctica, No. 17, Universidad Autónoma del Estado de México.

- Dura Doménech A., Vera Guarinos G. Y Yebra Calleja M. S. (2005) *Análisis y valoración de los factores que intervienen en la acústica de salas de uso docente*, Departamento de física, ingeniería de sistemas y teoría de la señal, Escuela Politécnica Superior ,Universidad de Alicante, , Revista de Psicodidáctica, No. 17, Universidad Autónoma del Estado de México.

Mediografía.

- Acústica general (2008). *Guía de acústica* [internet] disponible de: <<http://www.armstrong.es/assets/global/commclgeu/files/Literature/Acoustical%20guide%20General%20ES%202007.pdf>> [Accessed el 01 de Septiembre de 2008].
- ASA. Acoustical Society of América (2002). *Room acoustic of large spaces* [internet] disponible de: <<http://www.nonoise.org/quietnet/tcaa/>> [Accessed el 15 de Noviembre de 2005].
- Curso de acústica (2003). *Acondicionamiento acústico* [internet] disponible de: <<http://www.ehu.es/acústica/español/ruido/ruido.html>> [Accessed el 21 de Febrero de 2007].
- Estimación del riesgo auditivo (2000). *Norma Internacional Iso 1999* [internet] disponible de:<<http://norma iso1999>> [Accessed el 23 Noviembre de 2006].
- INIFED(2008). *Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalaciones. Volumen 2. Estudios preliminares Tomo II* [internet] disponible de: <<http://www.inifed>> [Accessed el 01 de Diciembre de 2008].

- Lily M. (2005). *Wang Technical Committee on Architectural Acoustics (TCAA) of the Acoustical Society of America (ASA)* [internet] disponible de: <<http://asa.aip.org/tech-council.html>> [Accessed el 14 de Noviembre de 2005].
- Mastroizzi Jorge Alberto (2006). *Estudio y pautas para el acondicionamiento acústico de aulas de edificios para la educación* [internet] disponible de: <http://www.sea-acustica.es/publicaciones/4355gx051.pdf> [accessed el 18 de Mayo de 2006].
- Professional acoustical/lighting consultation (2005). *Noise control* [internet] disponible de: < [http://www.architectural acoustics and lighting.htm](http://www.architectural-acoustics-and-lighting.com) > [Accessed el 27 de Mayo de 2005].
- Sistema FM. en el aula (1998). *Fundación Canaria para la prevención de la sordera* [internet] disponible de: < <http://www.otoclinic.com>> [Accessed el 22 de Mayo 2008].
- Tecnológico de Estudios superiores (2007) *planta de conjunto* [internet] disponible de: <http://www.tese.edu.mx> [Accessed el 20 de Noviembre 2008].
- Fotos. Ayde Medina Valdez

Relación de Imágenes

Imagen No.1- Teatro de Epidauro (Grecia), construido alrededor del año 300 a.c. y actualmente conservado en buen estado, el asiento más alejado se hallaba a 70 m del escenario y la inteligibilidad en dicho punto era sorprendentemente buena, (Carrión Isbert A., 1998, p.110).

Imagen No.2-Cámara reverberante del laboratorio de acústica del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España) y montaje típico de un conjunto de sillas para la medida de sus coeficientes de absorción, (Carrión Isbert A., 1998, p.72).

Imagen 3. Muestra la planta de conjunto y localización de cada uno de los edificios pertenecientes al T.E.S.E (<http://www.tese.edu.mx>).

Imagen 4. Muestra la planta de conjunto y localización de cada uno de los edificios pertenecientes a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

Relación de Figuras

Fig. 1- Superficie acústica efectiva SA ocupada por las sillas, calculada a partir de la superficie real S_s y de la banda perimetral de anchura 0,5 m, (Carrión Isbert A., 1998, p.110).

Fig. 2- Pabellón Polideportivo de Zurbano: ubicación y orientación de las cajas acústicas, vista en alzado, (Carrión Isbert A., 1998, p.163).

Fig. 3- Pabellón Polideportivo de Zurbano: orientación de las cajas acústicas destinadas a sonorizar: a) las zonas de público; b) la pista de juego, vista en planta, (Carrión Isbert A., 1998, p.163).

Fig. 4- Pabellón Polideportivo de Zurbano: mapa de valores de %ALCons, recinto ocupado, (Carrión Isbert A., 1998, p.165).

Fig. 5- Catedral de Vitoria (España): modelo informático elaborado para la posterior simulación electroacústica y ubicación de las cajas acústicas propuestas, vista en planta, (Carrión Isbert A., 1998, p.166).

Fig.6- Esquema de proyección grafica de cómo se produce la reverberación.

Figura No.7- Se muestran las ubicaciones de los 3 puntos de medida, así como la situación de la fuente sonora en un aula escolar, (Carrión Isbert A., 1998, p.152).

Figura No.8- Relación entre sonido retardado e inteligibilidad de la palabra, zonas características, (Carrión Isbert A., 1998, p.54).

Figura No.9- Sistema FM. en el aula (1998). *Fundación Canaria para la prevención de la sordera* (<http://www.otoclinic.com>).

Relación de Fotografías

Foto No. 1. Dirección De Administración de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco.

Foto. No.2. Estructura y diseño acústico hacia el exterior del edificio

Foto. No.3. Estructura y diseño acústico hacia el exterior del edificio de contaduría.

Foto No. 4. Edificio de aulas (Acupuntura médica, Ingeniería en comunicación multimedia, Licenciatura en quiropráctica) muestra tanto el diseño y acabados, los cuales son muy similares a los del T.E.S.E.

Foto No.5. Muestra el área de localización del edificio y de la misma manera el porqué de su acondicionamiento acústico hacia el exterior de los edificios con que cuenta este plantel.

Foto No.6 y 7. Muestra los edificios 1 y 2 en donde se realizo el levantamiento de materiales y dimensiones de las aulas.

Foto No.8. Muestra el aula escolar muestra tomada del Tecnológico de Estudios Superiores.

Foto No.9- Muestra las características arquitectónicas y los elementos por los cuales se pierde el aislamiento acústico de un aula escolar perteneciente a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

Foto No.10- Muestra el número de alumnos que ocupan un aula escolar a si como la distribución de esta.

Foto No.11- salón de clases perteneciente al TESE.

Relación de Tablas

Tabla No.1- Coeficientes de absorción según frecuencia de los materiales, (Beranek Leo L., 1996).

Tabla No.2- Características acústicas y propiedades físicas, (Rodríguez Manzo F., 2001).

Tabla No.3- Coeficientes de absorción de sillas vacías, (Beranek Leo L., 1996).

Tabla No.4- Coeficientes de absorción de sillas ocupadas, (Beranek Leo L., 1996).

Tabla No.5- Características acústicas del aula escolar, materiales y espacios que la componen, (Rodríguez Manzo F., 2001).

Tabla No.6- Tiempos de reverberación óptimos según cada autor, determinados para el Interior de un aula escolar.

Tabla No.7 Y 8- A.Durá, J. Vera y M. Yebra, análisis y valoración de los factores que intervienen en la acústica de salas de uso docente; Departamento de física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante.

Tabla No.9- Métodos de cálculo para determinar el tiempo de reverberación, (datos sustraídos del libro de Serra Florensa R., 2005).

Tabla No.10- Definición, unidades de medida y parámetros de variables que determinan el ambiente acústico de un aula escolar.

Tabla No.11. Manejo de la variable (material) por plantel y por aula.

Tabla No.12. Manejo de la variable (material) por plantel y por aula.

Tabla No.13. Manejo de la variable (material) por plantel y por aula.

Tabla No.14 y 15. Manejo de la variable (número de personas) por plantel y por aula.

Tabla No.16. Manejo de la variable (número de personas) por plantel y por aula.

Tabla No.17. Manejo de la variable (número de personas) por plantel y por aula.

Tabla No.18. Manejo de la variable (dimensiones) por plantel y por aula.

Tabla No.19. Manejo de la variable (dimensiones) por plantel y por aula.

Tabla No.20. Manejo de la variable (dimensiones) por plantel y por aula.

Tabla No.21. Cedula de levantamiento sobre las características arquitectónicas que debe de tener un aula escolar.

Tabla No.22. INIFED. Normas y especificaciones, coeficientes de absorción.

Tabla No.23. Acústica arquitectónica, coeficientes de absorción, (Rodríguez Manzo F., 2001).

Tabla No.24. Formato de encuesta de valoración subjetiva del nivel auditivo de los alumnos.

Tabla No.25. Formato de encuesta de valoración subjetiva del nivel auditivo de los alumnos.

Tabla No.26. Formato de encuesta de valoración subjetiva del nivel auditivo de los alumnos.

Tabla No.27- Concentración de respuestas de percepción auditiva a través del cambio de decibeles.

Tabla No.28- Resultados de la prueba audio métrica en donde se muestran los rangos normales que determinan que una persona está sana auditivamente.

Tabla No.29- Cálculo del tiempo de reverberación.

Tabla No.30- Tiempo de Reverberación obtenidos en un aula vacía y ocupada teniendo como variante el tipo de material.

Tabla No.31- Tiempo de Reverberación obtenidos en un aula vacía y ocupada, teniendo como variante el número de alumnos.

Tabla No.32- Tiempo de Reverberación obtenidos en un aula vacía y ocupada, teniendo como variante las dimensiones del aula.

Relación de graficas

Grafica No. 1- Rangos obtenidos de las encuestas para determinar el nivel auditivo de los alumnos.

Grafica No. 2- Rangos normales obtenidos del grupo muestra.

Grafica No. 3 y 4- Porcentajes promedio de aulas optimas y no optimas según Sabine e INIFED.

A n e x o s

A n e x o s

A n e x o 1

Formato de encuesta de valoración subjetiva del nivel auditivo de los alumnos

Institución:					
Aula No. :		Edificio:		Turno: Matutino	
Cantidad de Bancos:			Cantidad de Alumnos:		
NIVEL AUDITIVO					No. Fila:
					Distancia:
RANGO DEL CAMBIO	RESPUESTA SUBJETIVA				
3 db	*nulo	perceptible	distinguible	intenso	
5db	* nulo	perceptible	distinguible	intenso	
10db	nulo	*perceptible	distinguible	intenso	
20db	nulo	perceptible	*distinguible	intenso	
Comentario		Fecha / hora		Tipo de ropa	
<ul style="list-style-type: none"> • Nulo: corresponde a no escuchar nada • Perceptible: corresponde a detectar el sonido • Distinguible: corresponde a llegar a reconocer con facilidad el sonido que se emite. • Intenso: el sonido es molesto pero no llega a ser ruidoso. 					

A n e x o 2

DISEÑO METODOLOGICO.

tema: calidad acústica

sub: escuelas de nivel superior

1-etapa realizar un sondeo a través de respuestas subjetivas sobre el cambio de nivel son.

rango del cambio respuesta subjetiva

3db

5db

10db

2-levantamiento físico de los datos del inmueble

3- llenado de la cedula

4-sondeo a través del sonómetro

5-análisis y gráficos tiempo de reverberación y frecuencia (sala vacía y sala ocupada)

6-conclusión y critica

CEDULA DE REGISTRO						
TIPO DE CALIDAD ESPACIO			T_{60} EN SEGUNDOS.	ACTIVIDAD AUDITIVA GENÉRICA	CONDICIONES PARA CONFORT ACÚSTICO	
				SONIDO	calidad acústica	
				AMBIENTE	dBA	
AULA	CORTO	0.5-0.9	ATENCIÓN- LENGUAJE	30-45	MODERADO C	
					/INTELIGIBLE	
					CORTO-MEDIO	
CEDULA DE REGISTRO (sonómetro)						
TIPO DE CALIDAD ESPACIO			T_{60} EN SEGUNDOS.	ACTIVIDAD AUDITIVA GENÉRICA	CONDICIONES PARA CONFORT ACÚSTICO	
				SONIDO	calidad acústica	
				AMBIENTE	dBA	
AULA	CORTO		ATENCIÓN- LENGUAJE		MODERADO C	
					/INTELIGIBLE	
					CORTO-MEDIO	
VOLUMEN						
M3	MATERIAL		NCR- ABSORCIÓN		frecuencia Hz	

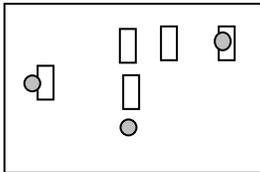
			125	500	2000
129.6	PLAFÓN DE YESO	0.02			
	MUROS	0.05			
	PISO DE CERÁMICA	0			
	PERSONAS	0.25			
	VENTANA	0.25			
	MOBILIARIO	0.2			
	PUERTA DE MADERA	0.11			

Calculo del tiempo de reverberación previo. Del aula escolar.

T_{60} = Tiempo de reverberación (s.)

V= Volumen del espacio del recinto en m^3

A= Absorción total presente en el espacio en sabines (m^2)



$$T_{60} = 0.16 \frac{V}{A}$$

1.070334

$$A = S_t \ln(1 - \alpha)$$

S_t superficie total interior en m^2

α =coeficiente de absorción media = $\frac{\sum s_i \alpha_i}{S_t}$

De acuerdo a los parámetros establecidos se debería de tener un rango de 0.5 a 0.9 tiempo optimo

tabla de absorción por superficie de elemento				Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción		en sabines
PLAFÓN DE YESO	48	0.02		0.96
MUROS	73.71	0.05		3.6855
PISO DE CERÁMICA	48	0		0
PERSONAS	42	0.25		10.5
VENTANA	6	0.25		1.5
MOBILIARIO	12.6	0.2		2.52
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11		0.2079
		total		19.3734

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabines
PLAFÓN DE YESO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS	77.406	0.05	3.8703
PISO DE CERÁMICA	65.9776	0	0
PERSONAS			
VENTANA	4.95	0.25	1.2375
MOBILIARIO	12.6	0.2	2.52
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	9.155252

$$T_{60} = 0.16 \text{ V/A}$$

Ancho: 6.76 mts.

Largo: 9.76 mts.

Altura: 240 mts.

OCUPADA	1.289022752
VACIA	2.767389025

Anexo 3

A n e x o 3

calculo del tiempo de reverberación . Del aula escolar, según plantel y variables.

T_{60} = TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN SEG.

V= VOLUMEN DEL ESPACIO DEL RECINTO EN M3

A= ABSORCIÓN TOTAL PRESENTE EN EL ESPACIO EN SABINES(M2)

$$T_{60} = 0.16 \frac{V}{A}$$

1.070334

$$A = S_i \ln(1-\alpha)$$

S_i superficie total interior en m2

α =coeficiente de absorcion media = $\sum s_i a_i / S_i$

Deacuerdo a los parámetros establecidos se debería de tener un rango de 0.5 a 0.9 tiempo optimo

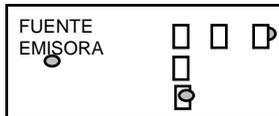


Tabla 1. Materiales (Variable), Tecnológico de Estudios Superiores de Ectepec

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabines
PLAFÓN DE YESO	48	0.02	0.96
MUROS	73.71	0.05	3.6855
PISO DE CERÁMICA	48	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANA	6	0.25	1.5
MOBILIARIO	12.6	0.2	2.52
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	19.3734

+

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabines
PLAFÓN DE YESO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS	87.318	0.05	4.3659
PISO DE CERÁMICA	65.9776	0	0
PERSONAS			
VENTANA	4.95	0.25	1.2375
MOBILIARIO	12.6	0.2	2.52
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	9.650852

Ancho: 6.76 mts.

Largo: 9.76 mts.

Altura: 2.70 mts.

$T_{60} = 0.16 \frac{V}{A}$

OCUPADA

1.45012007

VACIA

3.113247116

Universidad del Estatal del Valle de Ecatepec

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabinos
PLAFÓN DE YESO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	89.208	0.05	4.4604
MUROS DIVISORIO DE ALUMINIO	31.314	0.55	17.2227
PISO DE CERÁMICA	65.9776	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANA	2	0.25	0.5
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
total			38.368552

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabinos
PLAFÓN DE YESO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	89.208	0.05	4.4604
MUROS DIVISORIO DE ALUMINIO	31.314	0.55	17.2227
PISO DE CERÁMICA	65.9776	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANA	2	0.25	0.5
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
total			27.868552

Ancho: 6.76 mts.

Largo: 9.76 mts.

Altura: 2.70 mts.

$T_{60} = 0.16 \text{ V/A}$

OCUPADA

VACIA

0.79968352

1.13365232

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabinos
PLAFÓN DE YESO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	89.208	0.05	4.4604
MUROS DIVISORIO DE ALUMINIO	31.314	0.55	17.2227
PISO DE CERÁMICA	65.9776	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANA	2	0.25	0.5
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
total			38.368552

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabinos
LOSA DE CONCRETO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	11.712	0.05	0.5856
MUROS VITRIFICADOS	60.966	0.55	33.5313
PISO DE LOSETA	65.9776	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANERIA	11.712	0.25	2.928
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
total			53.230352

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabines
LOSA DE CONCRETO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	11.712	0.05	0.5856
MUROS VITRIFICADOS	60.966	0.55	33.5313
PISO DE LOSETA	65.9776	0	0
PERSONAS			0
VENTANERIA	11.712	0.25	2.928
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	42.730352

Ancho: 6.76 mts.

Largo: 9.76 mts.

Altura: 2.70 mts.

$T_{60} = 0.16 V/A$

OCUPADA

0.535452465

VACIA

0.667027578

Tabla. 2. Numero de Alumnos (Variable), TESE, UEVE Y ESIA

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabines
LOSA DE CONCRETO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	11.712	0.05	0.5856
MUROS VITRIFICADOS	60.966	0.55	33.5313
PISO DE LOSETA	65.9776	0	0
PERSONAS	20	0.25	5
VENTANERIA	11.712	0.25	2.928
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	47.730352

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabines
LOSA DE CONCRETO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	11.712	0.05	0.5856
MUROS VITRIFICADOS	60.966	0.55	33.5313
PISO DE LOSETA	65.9776	0	0
PERSONAS			0
VENTANERIA	11.712	0.25	2.928
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	42.730352

Ancho: 6.76 mts.

Largo: 9.76 mts.

Altura: 2.70 mts.

$T_{60} = 0.16 V/A$

OCUPADA*20

0.597153007

OCUPADA*34

0.556356185

OCUPADA*42

0.535452465

VACIA

0.667027578

Tabla 3. Dimensiones (Variable) - Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabinos
LOSA DE CONCRETO	44.7	0.02	0.894
MUROS CONCRETO	8.94	0.05	0.447
MUROS VITRIFICADOS	46.735	0.55	25.70425
PISO DE LOSETA	44.7	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANERIA	9.685	0.25	2.42125
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	44.3324

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabinos
LOSA DE CONCRETO	44.7	0.02	0.894
MUROS CONCRETO	8.94	0.05	0.447
MUROS VITRIFICADOS	46.735	0.55	25.70425
PISO DE LOSETA	44.7	0	0
PERSONAS			0
VENTANERIA	9.685	0.25	2.42125
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	33.8324

Ancho: 6.76 mts.

Largo: 9.76 mts.

Altura: 2.50 mts.

$T_{60} = 0.16 \text{ V/A}$

OCUPADA 0.403316762

VACIA 0.528487485

Universidad Estatal del Valle de Ecatepec

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabinos
LOSA DE CONCRETO	48	0.02	0.96
MUROS CONCRETO	9.6	0.05	0.48
MUROS VITRIFICADOS	52.11	0.55	28.6605
PISO DE LOSETA	48	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANERIA	12	0.25	3
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	47.9664

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabinos
LOSA DE CONCRETO	48	0.02	0.96
MUROS CONCRETO	9.6	0.05	0.48
MUROS VITRIFICADOS	52.11	0.55	28.6605
PISO DE LOSETA	48	0	0
PERSONAS			0
VENTANERIA	12	0.25	3
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	37.4664

Ancho: 6.76 mts.

Largo: 9.76 mts.

Altura: 2.70 mts.

$T_{60} = 0.16 \text{ V/A}$

OCUPADA 0.432302612

VACIA 0.553455896

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabines
LOSA DE CONCRETO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	11.712	0.05	0.5856
MUROS VITRIFICADOS	60.966	0.55	33.5313
PISO DE LOSETA	65.9776	0	0
PERSONAS	42	0.25	10.5
VENTANERIA	11.712	0.25	2.928
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	53.230352

tabla de absorción por superficie de elemento			Unidades
elemento	metros cuadrados	coef.de absorción	en sabines
LOSA DE CONCRETO	65.9776	0.02	1.319552
MUROS CONCRETO	11.712	0.05	0.5856
MUROS VITRIFICADOS	60.966	0.55	33.5313
PISO DE LOSETA	65.9776	0	0
PERSONAS			0
VENTANERIA	11.712	0.25	2.928
MOBILIARIO	12.6	0.33	4.158
PUERTA DE MADERA	1.89	0.11	0.2079
		total	42.730352

Ancho: 6.76 mts.

Largo: 9.76 mts.

Altura: 2.70 mts.

$T_{60} = 0.16 V/A$

OCUPADA | 0.535452465

VACIA | 0.667027578