

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE ARQUITECTURA

DISEÑO DE UN LOCAL PARA USOS ACUSTICOS MULTIPLES”

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Arquitectura de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

POR

RODOLFO JONATHAN GIRON MENDEZ

Al Otorgársele el Título de

ARQUITECTO

GUATEMALA, AGOSTO DE 1982.



DL
02
T(242)

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

DECANO: ARQ. MARCELINO GONZALEZ CANO.
VOCAL PRIMERO: ARQ. MIGUEL ANGEL SANTA CRUZ.
VOCAL SEGUNDO:
VOCAL TERCERO: ARQ. ROBERTO CARCAMO S.
VOCAL CUARTO: BR. OSCAR MALDONADO
VOCAL QUINTO: BR. CARLOS ROMERO Z.
SECRETARIO: ARQ. ROLANDO MARROQUIN.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO: ARQ. MARCELINO GONZALEZ CANO.
EXAMINADOR: ARQ. MAGALY SOTO.
EXAMINADOR: ING. MARCO TULLIO VENTURA ROLDAN.
EXAMINADOR: ARQ. EDUARDO SOSA.
SECRETARIO: ARQ. ROLANDO MARROQUIN.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

CUMPLIENDO CON LO ESTABLECIDO POR LAS LEYES Y REGLA
GLAMENTOS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE -
GUATEMALA, SOMETO A VUESTRA CONSIDERACION EL PRE--
SENTE TRABAJO DE TESIS, TITULADO:

"DISEÑO PARA UN LOCAL DE USOS ACUSTICOS MULTIPLES"

TEMA QUE ME FUERA ASIGNADO POR LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS: Fuente de la Sabiduría.
A MIS PADRES: Jorge Girón Galindo
Amada Méndez de Girón.
A MI ESPOSA: Alma Celada de Girón.
A MIS HIJOS: Rudy, Marta, Carolina y Karla.
A MIS HERMANOS: Thelma, Hugo, Luty, Jorge, Lester,
Alan y Johny.

A LA FACULTAD DE ARQUITECTURA.

AGRADECIMIENTO

A MI AMIGA Y HERMANA EN LA FE, OLGA GONZALES POR SU VALIOSO
TRABAJO EN MECANOGRAFIAR EL MANUSCRITO DE ESTE TRABAJO.

C O N T E N I D O

	Pág. No.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
GENERALIDADES	3
1.1 CORRECCION ACUSTICA O SONIDO INTERIOR	3
1.2 ALGUNOS DATOS IMPORTANTES	6
CAPITULO II	11
CONDICIONANTES ACUSTICOS DE DISEÑO	11
11.1 CONDICIONANTES ACUSTICOS	11
11.2 CONDICIONANTES ARQUITECTONICOS	12
CAPITULO III	16
DISEÑO ACUSTICO	16
111.1 CALCULAR VOLUMEN ESTIMADO PARA LA SALA, EN BASE A ESTANDARES Y T ASUMIDO	18
111.2 EN BASE AL VOLUMEN ESTIMADO PRINCIPIAR DISEÑO ARQUITECTONICO	25
111.3 DETERMINAR VOLUMEN REAL DE LA SALA	27
111.4 DETERMINAR MATERIALES A USARSE	28
111.5 CALCULAR ABSORCION TOTAL DE LA SALA	30
111.6 CALCULAR CON LOS DATOS ANTERIORES EL "T" PARA FRECUENCIAS MEDIAS RESULTANTE DEL DISEÑO	36

C O N T E N I D O

	Pág. No.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
GENERALIDADES	3
1.1 CORRECCION ACUSTICA O SONIDO INTERIOR	3
1.2 ALGUNOS DATOS IMPORTANTES	6
CAPITULO II	11
CONDICIONANTES ACUSTICOS DE DISEÑO	11
11.1 CONDICIONANTES ACUSTICOS	11
11.2 CONDICIONANTES ARQUITECTONICOS	12
CAPITULO III	16
DISEÑO ACUSTICO	16
111.1 CALCULAR VOLUMEN ESTIMADO PARA LA SALA, EN BASE A ESTANDARES Y T ASUMIDO	18
111.2 EN BASE AL VOLUMEN ESTIMADO PRINCIPIAR DISEÑO ARQUITECTONICO	25
111.3 DETERMINAR VOLUMEN REAL DE LA SALA	27
111.4 DETERMINAR MATERIALES A USARSE	28
111.5 CALCULAR ABSORCION TOTAL DE LA SALA	30
111.6 CALCULAR CON LOS DATOS ANTERIORES EL "T" PARA FRECUENCIAS MEDIAS RESULTANTE DEL DISEÑO	36

III.7	ANALIZAR LAS OTRAS 7 LEYES O CONSTANTES ACUSTICAS QUE NORMARAN EL DISEÑO	42
III.7.1	DIFERENCIA ENTRE EL SONIDO DIRECTO Y EL PRIMER REFLEJADO T_1	42
III.7.2	TIEMPO DE REVERBERACION DE LAS FRECUENCIAS BAJAS (125 Y - 250 C.P.S.)	51
III.7.3	INTENSIDAD DEL SONIDO REVERBERANTE	63
III.7.4	INTENSIDAD DEL SONIDO DIRECTO	65
III.7.5	TEXTURA	70
III.7.6	ECO	70
III.7.7	EL SONIDO EXTERIOR NO DEBE LLEGAR A LA SALA (VER CAPITULO V)	72
CAPITULO IV		75
ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA OCUPACION PARCIAL DE LA SALA		75
IV.1	MODIFICAR EL VOLUMEN Y AUMENTAR LA ABSORCION	77
IV.1.1	PRIMER CASO	77
IV.1.2	SEGUNDO CASO	81
IV.2	AUMENTAR ABSORCION DE LOS MATERIALES	84
IV.2.1	PRIMER CASO	85
IV.2.2	SEGUNDO CASO	90
CAPITULO V		94
AISLAMIENTO ACUSTICO DEL PROYECTO		94
V.1	GENERALIDADES	94

V.2	SOLUCIONES DEL AISLAMIENTO ACUSTICO	97
V.2.1	MUROS	97
V.2.2	PUERTAS	98
V.2.3	TECHOS	100
V.2.4	VENTANAS	101
V.2.5	INSTALACIONES SANITARIAS	102
V.2.6	PISOS	103
V.2.7	SISTEMA DE VENTILACION	103
V.3	ESTUDIAR DOS CASOS CRITICOS DE AISLAMIENTO	104
	CONCLUSIONES	108
	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

El estudio de la acústica como ciencia es relativamente nuevo: aunque sus aplicaciones y prácticas se remonta a través de la historia de las artes escénicas y musicales de la antigüedad. La aplicación moderna de esta ciencia está siendo cada día más necesaria a las diferentes actividades humanas, en la fábrica, en el hogar, en la oficina, en el salón de conferencia y a niveles más sofisticados en el diseño de grandes salas de espectáculos.

A nivel de grandes salas de espectáculos se han realizado estudios serios y existen diferentes teorías sobre las cuales se basan los proyectos modernos de diseños acústico. La teoría que servirá de base al presente estudio es la de Beranek que tiene como elemento clave el estudio de 18 leyes acústicas que definen la cualidad de un buen local.

El presente trabajo tratará de esbozar el análisis y proceso del diseño acústico de una sala para culto evangélico protestante. Es particularidad de este tipo de culto un acercamiento entre el Ministrante (predicador, conferencista, artista, etc) y el público oyente; lo cual en el diseño espacial dará como consecuencia la integración entre la escena (plataforma así llamada en la terminología evangélica) y la sala principal.

Por tratarse de un auditorio de usos acústicos múltiples, a saber, actividades artísticas populares como canto en sus diferentes ramas de expresión, oratoria, declamación, ejecución instrumental diversa, etc., implica un alto grado de dificultad en el desarrollo de un diseño acústico. Siendo como se dijo un auditorio de esta naturaleza no contamos con datos específicos ya que las grandes salas de espectáculos son diseñadas con uso definido: Opera, música sinfónica y otros. Usaremos por lo tanto elementos de ambos tipos de locales como una base para nuestro estudio.

Es necesario mencionar que no se cuenta en nuestro medio con materiales adecuados como libros, laboratorios y equipos con los cuales poder realizar dichos estudios ya que su costo es muy elevado; por lo cual hemos utilizado análisis y datos de otros estudios realizados y especialmente del estudio y diseño acústico del Teatro Nacional realizado por el Dr. W. Jordán de Dinamarca y el Ing. Efraín Recinos, basado en el análisis de 40 auditorios famosos del mundo entre los que cuentan las mejores óperas y auditorios de música.

El presente estudio se ha trazado los objetivos básicos siguientes:

- a) Proveer un estudio y análisis fácil de comprender por aquellos que se interesen por el diseño acústico y sus principios fundamentales.

- b) Satisfacer una necesidad de conocer las características acústicas que rigen en el diseño de salas para liturgia evangélica protestante que noche a noche son utilizadas por miles de personas en nuestro país.
- c) Llenar una necesidad en el autor por conocer más de la maravillosa, fascinante y tan intrincada ciencia de la acústica.

Capítulo I

CONSIDERACIONES GENERALES

El diseño acústico se divide en dos grandes incisos:

- 1) Corrección acústica o sonido interior
- 2) Aislamiento acústico

Los capítulos I al IV tratarán lo referente a corrección acústica, el capítulo V trata de aislamiento acústico o nivel de recomendaciones.

1.1 CORRECCION ACUSTICA O SONIDO INTERIOR

La corrección acústica hace referencia al análisis del comportamiento de los sonidos producidos por una fuente emisora y la percepción de estos mismos sonidos por una persona o personas, lo anterior en un espacio interior. Estos sonidos producidos son condicionados por sus características físicas (intensidad, nivel de potencia, etc.) y por la conformación arquitectónica del espacio. Referente a esto la reflexión del sonido en los diferentes elementos se rige por leyes geométricas similares a las de la reflexión de la ley.

Beranik, analiza los grandes auditorios de música a través de 18 constantes o leyes acústicas, las cuales aparecen descritas en orden del 1.1.1 al 1.1.18. Para nuestro local se analizarán los primeros seis y las últimas dos, ya que son las que fundamentalmente condicionan la acústica interior de un local cualquiera; las otras tienen que ver con salas de música u ópera y rigen el diseño del foso para orquesta o bien son resultado de combinar entre sí algunas de las seis primeras.

A continuación serán enumeradas estas leyes y luego se analizarán más ampliamente en el capítulo 3.

1.1.1 Diferencia entre el sonido directo y el 1er. reflejado "T₁"

Se denomina así a la diferencia de tiempo entre el sonido directo que llega al oyente y el primero que le llega inmediatamente después proveniente de cualquiera de las superficies reflejantes de la sala o local, Este tiempo se cuantifica en milésimas de segundos o milisegundos. El oído humano es capaz de detectar diferencias mínimas de 5 milisegundos.

De una apreciación subjetiva del oyente al aplicar correctamente esta ley resultará la "intimidad" o "presencia" de un local.

1.1.2 Tiempo de reverberación para las frecuencias medias y altas del sonido: "T", en segundos

Se denomina así al tiempo que un sonido persiste después que la fuente sonora se ha interrumpido.

El tiempo que el sonido necesita para decaer 60 decibeles (db).

El sonido llega a perderse, después de ser reflejado muchas veces en un segundo por los objetos reflejantes de la sala, al perder su energía, dependiendo de la mayor o menor absorción de las superficies con que choca.

La fórmula más simplificada para cuantificar el "T" (tiempo de reverberación) de un local es la de Wallace C. Sabine (1913).

$$T = \frac{0.049V}{a} \quad (\text{Ver III. 1.3, explicación de esta fórmula})$$

La buena reverberación de un local de acuerdo a su uso se entiende subjetivamente como la "vida del mismo. Explicado de otra manera la buena reverberación producirá claridad en la percepción de los sonidos.

1.1.3 Tiempo de Reverberación para las frecuencias bajas. (125 c.p.s y 250 c.p.s)*

Usualmente es un poco mayor que el período de reverberación "T" de frecuencias medias y altas, y se emplea generalmente la relación entre ambas. (Ver III.7.2).

La impresión subjetiva en el oyente para este tiempo de reverberación, cuando es adecuado, se conoce como "riqueza sonora" del local.

1.1.4 Intensidad del sonido directo

Depende de la distancia entre la fuente sonora y el oyente, así como la naturaleza de los materiales cerca de la misma y la presencia de obstáculos.

La percepción subjetiva es de "fuerza" o "debilidad" del sonido.

* C.P.S. = Ciclos por segundo.

1.1.5 Intensidad del sonido reverberante

Se trata específicamente de la relación entre la intensidad total de un local, con el volúmen, la reverberación y la energía del sonido. Esta constante y la anterior contribuyen a la intensidad total en un local.

Para efectos prácticos se sabe que el valor de "L" (intensidad reverberante), oscila entre 25 y 35, siendo L la relación entre tiempo de reverberación de las frecuencias medias "T" (en segundos) y el volúmen "V" (en pié cúbicos). El valor de "L" es adimensional.

$$L = \frac{T}{V} \times 1,000,000 \quad (\text{ver III.7.3})$$

1.1.6 Textura

Hace referencia a la diferencia de tiempo entre el primer sonido reflejado y el segundo, entre éste y el tercero y así sucesivamente.

Las 12 siguientes, exceptuando las últimas dos a las cuales se asigna un análisis específico; se enumeran solamente ya que son algunas de ellas resultado de la interrelación de las 6 primeras y cuya aplicación práctica es útil más en auditorios grandes de música u ópera.

Son a saber:

1.1.7 Difusión (Depende de factores arquitectónicos)

1.1.8 Calidad Tonal (Ausencia de distorsión en los sonidos)

1.1.9 Uniformidad (Depende de factores arquitectónicos)

1.1.10 Ataque (tiene que ver con el sonido reflejado que llega al ejecutante)

1.1.11 Escala dinámica (Percepción de niveles sonoros extremos)

1.1.12 Brillantez (Riqueza de reverberación para sonidos de frecuencias altas)

- 1.1.13 Claridad (Correlación de otras anteriormente enumeradas)
- 1.1.14 Balance (Específicamente se refiere a la relación entre el diseño de la escena y el foso de la orquesta la cual producirá un balance adecuado entre cantantes y orquesta).
- 1.1.15 Mezcla (Idem 8)
- 1.1.16 Conjunto (Similar a 8 pero más específicamente a la ejecución al unísono entre instrumentos)
- 1.1.17 Eco (Cualidad negativa en un local)
- 1.1.18 El ruido exterior no debe llegar a la sala (Hace referencia al segundo aspecto en orden de importancia en el diseño acústico, el aislamiento acústico, del cual existe mucho material y se tratará en este estudio más a nivel de recomendaciones prácticas para solucionarlo)

1.2 OTROS DATOS IMPORTANTES

1.2.1 Las frecuencias se clasifican en tres grandes bandas que se denominan octavas (intervalo entre dos sonidos puros cuyas frecuencias están entre sí en la relación 2 a 1). Un ejemplo de octavas se da entre frecuencias de 125 a 250, entre 250 a 500, etc.

También pueden ser analizadas en tercios de octavas, la cual como su nombre indica es la división de la octava en 3 partes iguales.

Las frecuencias graves comprenden las bandas de tercios de octava centradas sobre 100, 125, 160, 200, 315 Hz, o lo que es lo mismo en cuanto a las frecuencias utilizadas, las bandas de octava centradas sobre 125 y 250 Hz (Gráfica F.I.1 inciso A.)

Las frecuencias medias están definidas por las bandas de tercios de octava 400, 500, 640, 800, 1000, 1250 Hz. o por las bandas de octavas 500 y 1000 Hz (Gráfica F.I.1, inciso B)

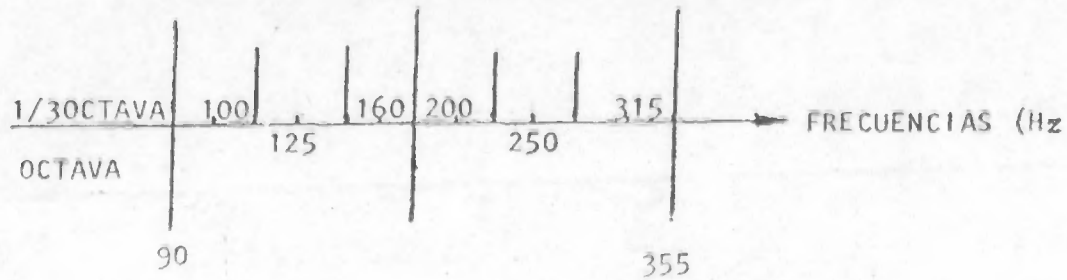
Para frecuencias agudas se definen en tercios de octavas las centradas entre 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000 Hz. o por las bandas de octavas centradas en 2000 y 4000 Hz. (Gráfica F.I.1, inciso C).

En la gráfica F.I.1 los valores extremos de cada banda de frecuencias representan los límites máximos o mínimos de cada banda, es decir, 90 es el límite mínimo de la banda de frecuencia bajas medidas en tercios de octava; el tercio de banda por debajo de 100 sería 80 por lo cual 90 es el medio entre ambas frecuencias.

El límite máximo para esta banda de frecuencias bajas es 355 intermedio entre los tercios de octava puros 315 y 400 Hz. El análisis es similar para las otras frecuencias.

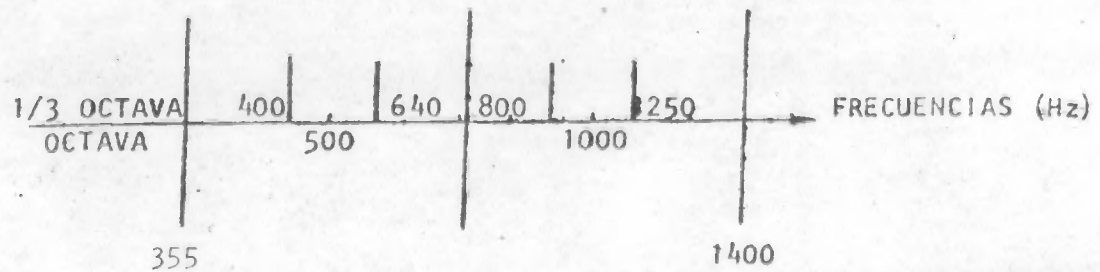
Es necesario aclarar que por debajo de 90 Hz y por encima de 5600 Hz. existen más frecuencias pero que para fines de medida y análisis en construcción se utilizan las frecuencias comprendidas en estas 3 bandas: Graves, medias y agudas.

A) FRECUENCIAS BAJAS (GRAVLS)

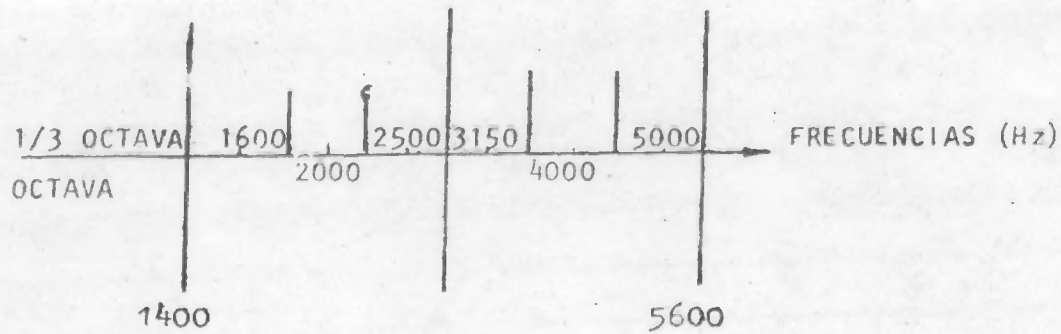


B) FRECUENCIAS MEDIAS.

GRAFICA F.I.1.



C) FRECUENCIAS ALTAS (AGUDOS)



NOTA:

HERTZ = número de períodos u oscilaciones por segundo.

Datos y gráficas obtenidos - en: "Acústica de los Edificios" Páginas 13 al 18. (Nº 3 en bibliografía)

1.2.2 Velocidad de propagación de las ondas vibratorias de un sonidos

MATERIAL	VELOCIDAD EN MTS/SEG.
ACERO	5000
CONCRETO	3000
MADERA DURA	1500
AGUA	1000
AIRE*	340

* A una temperatura promedio de 20°centígrados .

La velocidad de propagación varía según la temperatura de los materiales, a mayor temperatura, menor velocidad para los fines de nuestro estudio nos interesa solamente la velocidad del sonido en el aire a una temperatura media.

1.2.3 Coefficiente de absorción " α "

Nos auxiliamos para definir el coeficiente de absorción de la explicación que M. Meiser nos da en su libro acústica de los edificios (pág. 44).

"Todos los materiales absorben la energía sonora en mayor o menor escala" "a la relación que existe entre la energía acústica absorbida por un material dado y la energía acústica reflejada, se le llama coeficiente de absorción".

Este coeficiente es adimensional y expresa una relación porcentual.

Por ejemplo, un material tiene un factor de absorción $\alpha = 0.50$ para 2000 Hz, esto equivale a decir que 1 M² de este material es equivalente a 0.50 M² de superficie perfectamente absorbente.

Un material dado no absorbe de la misma forma los sonidos graves, medios y agudos (como ejemplo ver cuadro C.III.7). Es necesario conocer el α para cada banda de frecuencias medias: 125,250,500, 1000, - 2000, 4000 Hz., etc.

La medida del coeficiente de absorción es por métodos experimentales, por medio de una cámara reverberante; relacionando estas medidas con la ecuación de Sabine (Ver III.1.3) Esta medida no da valores

absolutos ya que se ha determinado experimentalmente que un mismo material para una misma frecuencia va
ría su absorción dependiendo del tamaño de la sala o de la cantidad de material utilizado.

Para fines de estudio y diseño se utilizan interpolaciones de tipo lineal en los valores de α .

Este metodo de interpolación es usado en la tesis de Ing. E. Recinos en el diseño acústico del Teatro
Nacional.

Lo anterior nos muestra que el resaltado teórico de nuestros cálculos se asemejarán a la realidad -
pero en todos los casos será necesario al construirse la obra hacer un chequeo y análisis para determinar
los resultados reales del diseño acuático.

Capítulo II

CONDICIONANTES DE DISEÑO

- ACUSTICOS
- ARQUITECTONICOS

II.1 CONDICIONANTES ACUSTICOS

Nuestro diseño como se dijo anteriormente es de un local de usos múltiples por lo cual no contamos con datos precisos ya que no es común éste tipo de locales, sin embargo trazaremos nuestras deducciones y datos en locales con un uso específico que se asemejan en tamaño y características al nuestro (salas de ópera y auditoriums de música).

II.1.1 Período de reverberación para las frecuencias medias "T"

Partiremos asumiendo un período de reverberación T entre 1.4 seg. (ideal para ópera) y 1.6 seg. -- (ideal para recital de piano u orquesta de cámara) para luego comprobarlo de acuerdo al volumen y los ma teriales a usarse en la sala.

T asumido = 1.4 - 1.6 seg.

II.1.2 Usos predominantes de la sala

Por ser un templo evangélico sus usos serán más para expresiones cercanas al público y alejándose de las grandes expresiones musicales o escénicas como ópera y música sinfónica, etc.

Los usos posibles son:

- a) Palabra hablada (Predicación, charlas, conferencias)
- b) Música de cámara (Orquesta pequeña de vientos o mixta)
- c) Expresiones del canto (Solistas, cuartetos, coros). Generalmente música popular contemporánea y -- excepcionalmente música litúrgica antigua.
- d) Solistas instrumentales (Piano, órgano, etc.)

e) Ocasionalmente música electrónica amplificada.

La música religiosa protestante es sumamente variada por lo cual se incluyen las expresiones más representativas pero que en la realidad será mucho mayor el tipo de expresiones que se presenten.

Para la palabra hablada se hará necesario el uso de amplificación de sonido, debido especialmente a las diferentes intensidades de voz y a las dimensiones que la sala necesitará.

II.1.3 Ocupación de la sala principal

Se acondicionará para albergar 1004 personas sentadas.

II.2 CONDICIONES ARQUITECTONICOS

Un programa típico para un templo evangélico protestante pentecostal en nuestro medio, da mayor prioridad al salón o templo de reuniones. Puede delinearse brevemente así:

A) AREA DE SERVICIO RELIGIOSO

1. TEMPLO PRINCIPAL (EN NUESTRO CASO PARA 1000 PERSONAS)

- a) AREA DEL PUBLICO (PLATEA Y BALCON)
- b) PLATAFORMA
 - a) PULPITO PRINCIPAL Y SECUNDARIO
 - b) BAUTISTERIO
 - c) VESTIDORES
 - d) AREA PARA COROS
 - e) RECLINATORIO Y AREA DE ORACION

2. SALONES DE ESCUELA DOMINICAL (PARA ENSEÑANZA POR GRUPOS).

3. VESTIBULO PRINCIPAL

B) AREA DE SERVICIOS ANEXOS

1. SALON DE USOS MULTIPLES (REUNIONES SOCIALES Y OTROS)

2. OFICINAS
 - a) PASTORAL
 - b) SECRETARIA
 - c) DIACONOS
 - d) SESIONES
 - e) DEPARTAMENTOS
3. SERVICIOS SANITARIOS (HOMBRES Y MUJERES)
4. SALA CUNA
5. BIBLIOTECA
6. SERVICIOS DE MANTENIMIENTO
7. CABINA PARA CONTROLES DE SONIDO Y GRABACIONES
8. AREAS VERDES Y CAMINAMIENTOS
9. PARQUEO

El objetivo de este estudio es concentrarse en el diseño acústico de la sala principal y tomar en cuenta las repercusiones que puedan tener los otros ambientes del edificio sobre la sala principal en lo referente a sonido interior o aislamiento acústico.

11.2.1 Áreas mínimas para espacios del templo principal (1000 personal)

CUADRO (C.11.1)

ESPACIO	AREA/PERSONA	AREA TOTAL
VESTIBULO TEMPLO	0.09 - 0.13 M ²	90 M ² - 130 M ²
AREA DEL PUBLICO	0.65 M ²	650 M ²
AREA COROS	0.46 M ²	25 M ² *
PLATAFORMA		75 M ²

*PARA UN CORO DE 60 PERSONAS

El ancho de pasillos entre bancos, según H. R. Sleeper en su libro "Planeación de edificios y modelos de diseño" (Iglesias y templos pág. 5) Es: 0.91 M. mínimo (0.038 por cada 1.50 de longitud del pasillo); lo cual es aplicable a nuestro medio.

11.2.2 Dimensiones y forma de la sala

La forma predominante de una sala de ópera es de herradura. La de un auditorio de música es rectangular (ver plano P.11.1) Nuestro caso mezclará ambas formas.

Por conocer datos sobre este tipo de auditorios los tomamos como referencia, aunque nuestro local sea una solución intermedia.

DIMENSIONES DE LAS CUATRO MEJORES
OPERAS (ACUSTICAMENTE)

CUADRO (C.11.2)

OPERA	LARGO	ANCHO	ALTURA
MILAN, LA SCALA	30	26	19.50
PARIS, TEATRO DE OPERA	28	31	22
VIENA, STAATSOPER	30	30	20
FILADELFIA, A. DE MUSICA	32	27	21

Nota: Dimensiones en metros

Del cuadro anterior deducimos:

Largo máximo mejores óperas	32.00 M.
Ancho máximo " "	31.00 M.
Altura máxima " "	22.00 M.

RELACIONES DE LAS DIFERENTES DIMENSIONES
DE LAS CUATRO MEJORES OPERAS

Cuadro (C.11.3)

OPERA	ANCHO A LARGO	ALTURA A LARGO
MILAN, LA SCALA	86%	65%
PARIS, TEATRO DE OPERA	84%	79%
VIENA, STAATSOPER	100%	67%
FILADELFIA, A. DE MUSICA	110%	66%

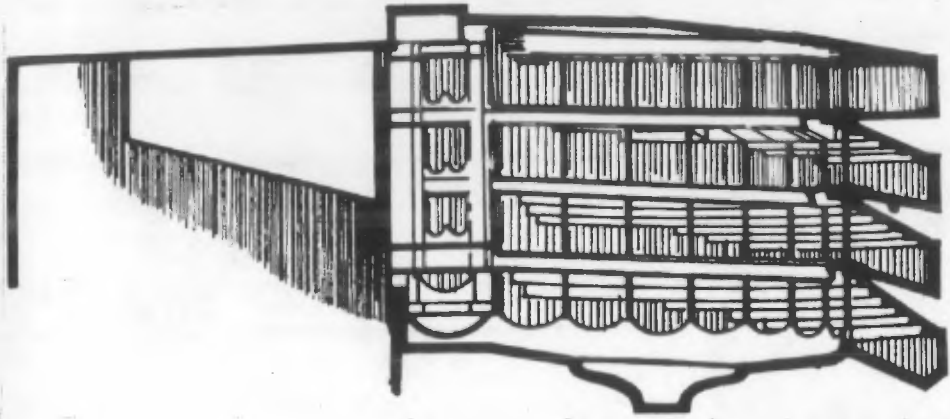
De las relaciones anteriores podemos partir para dimensionar nuestro local, lo cual se hará en el capítulo siguiente después de determinar el volumen necesario.

Será conveniente crear superficies reflejantes para ayudar a la difusión del sonido en la sala. Puede lograrse a través de un diseño especial de ventanas, a través de las lámparas, o del juego de los muros en diferentes planos.

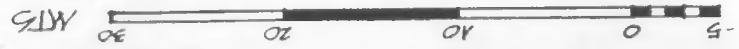
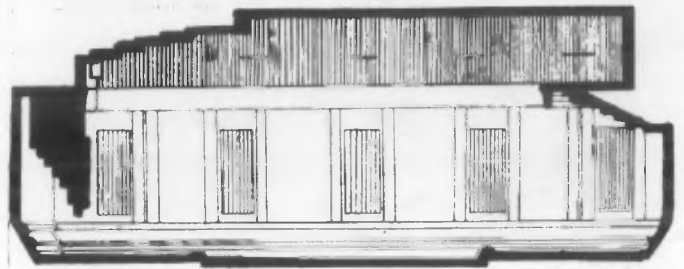
Por último diremos que la clase de material a usarse será determinante tanto arquitectónica como acústicamente por lo cual deberá seleccionarse cuidadosamente.

PLANO P.II.1

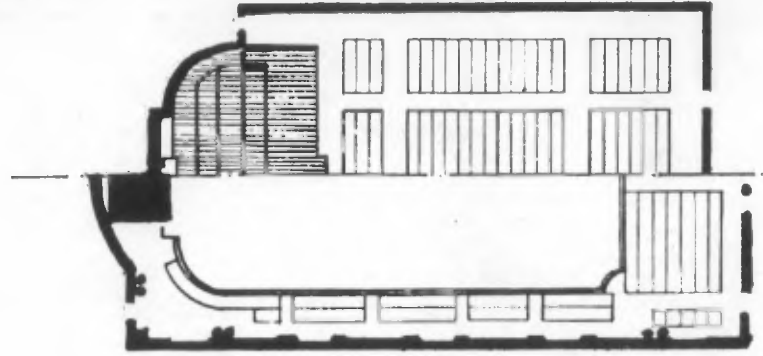
"ACADEMIA DE MUSICA" MADRID, U.S.A.
(C.4, "I-7", TESIS ING. E. RECINOS)



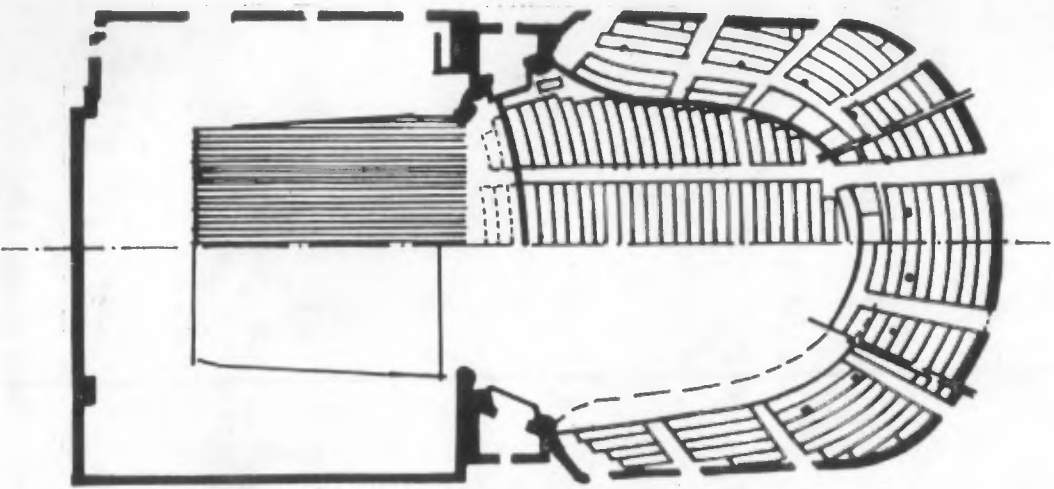
"STADT CASINO" BASEL, SUIZA
(C.4, "I-7", TESIS ING. E. RECINOS)



AUDITORIUM DE MUSICA



SALA DE OPERA



Capítulo III

DISEÑO ACUSTICO

Con las premisas enunciadas en los primeros capítulos estamos en disposición de empezar nuestro diseño acústico.

Definiremos una mecánica elemental para regir nuestro trabajo y normar el proceso de diseño.

Pasos a seguir:

1. Calcular volumen estimado para la sala en base a estandares y "T" asumido (para frecuencia medias, 500-1000 CPS.).
2. En base a volumen estimado principiar diseño arquitectónico tomando en cuenta estandares y áreas - mínimas requeridas:
 - a) Planta arquitectónica
 - b) Dos cortes o secciones principales
3. Determinar volumen real de la sala diseñada según planos a escala 1:50 ó 1:25 (en pie³)*
4. Determinar materiales a usarse en los diferentes elementos de la sala.
5. Cálculo de la absorción total de la sala (público y materiales)
6. Con los datos anteriores el "T" para frecuencias medias resultante del diseño. Utilizar fórmula de Sabine (2a. constante acústica, Capítulo I).
7. Analizar las otras 7 leyes o constantes acústicas que normarán nuestro diseño.

*Ver III.1.3. Dimensionales fórmula de Sabine.

III.1 CALCULAR VOLUMEN ESTIMADO PARA LA SALA EN BASE A ESTANDARES Y T ASUMIDO

Tomemos como premisas:

- a) T asumido = 1.4 seg.
- b) Area tributaria por persona 0.65 M^2
- c) Area tributaria por miembro del coro 0.46 M^2
- d) Cálculo para 1000 asistentes

III.1.1 Area de absorción (St)

- a) Para público:

$$0.65 \text{ M}^2 \text{ (área trib/persona)} \times 1000 \text{ personas} = 650 \text{ M}^2 \text{ St (público)} = 650 \text{ M}^2$$

- b) Para coro:

$$0.46 \text{ M}^2 \text{ (área trib/miembro)} \times 60 \text{ miembros} = 27.6 \text{ M}^2 \text{ St (coro)} = 27.6 \text{ M}^2$$

III.1.2 Coefficiente de absorción de la sala (Ver 1.2.3)

Elemento que nos sirve para relacionar las variables, volumen, capacidad y reverberación.

El cuadro C.III.1 nos da datos sobre los diferentes valores de diferentes condiciones de la sala.

CUADRO C.III.1

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN PARA SALAS LLENAS O VACIAS SEGUN CONDICIONES ESPECIALES

DESCRIPCION SALA	F R E C U E N C I A (c.p.s.)*							
	67	125	250	500	1000	2000	4000	6000
1. Ocupada: Audiencia, orquesta, coro.	0.34	0.52	0.68	0.85	0.97	0.93	0.85	0.80
2. Salas vacías, butacas bien forradas y absorbentes (asientos perforados abajo y atrás).	0.28	0.44	0.60	0.77	0.89	0.82	0.70	0.64
3. Salas vacías, butacas de cuero.	--	0.40	0.50	0.58	0.61	0.58	0.50	0.46
4. Salas con presencia de paneles delgados, (sin apoyo sólido atrás)	--	0.42	0.21	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04
5. Salas con yeso bien colocado en apoyos sólidos o madera gruesa en las mismas condiciones (se incluye absorción de puertas, parrillas de ventilación).	0.19	0.14	0.10	0.06	0.045	0.04	0.04	0.04

* c.p.s = Ciclos por segundo.

Del cuadro anterior obtenemos que el coeficiente de absorción promedio para sala ocupada (audiencia, orquesta, coro) es para frecuencias de 500 y 1000 c.p.s.

$$\alpha \text{ prom.} = 0.91$$

III.1.3 Valor tentativo del volumen de la sala

Utilizaremos la fórmula de Sabine

$$T = \frac{0.049 V}{St \alpha + 4 m V}$$

Donde:

T = Período o tiempo de reverberación en segundos.

V = Volumen de la sala en pié³

St = Area de absorción (ocupada) por público, coro y orquesta (cuando exista)

= Coeficiente de absorción de esta área.

m = Coeficiente de absorción del aire a cierto grado de humedad (se toma como 0, para frecuencias por debajo de 1500 c.p.s.)

0.049 = Constante para intensidad estándar.

Consecuentemente tendremos:

$$T \text{ (500 -1000 c.p.s.)} = \frac{0.049 V}{St \alpha}$$

Absorción total del público $a = St \alpha$

El volumen en pié³ derivado de esta fórmula será:

$$V = \frac{T St \alpha}{0.049}$$

Es necesario aclarar que para trabajar esta fórmula debemos utilizar dimensiones de área y volumen en pies ya que la fórmula original fue calculada con estas dimensionales, cualquier dato para áreas dado en M² se convertirá a pié² multiplicando por 10.76 que es el equivalente en pié² de 1 M². Los valores para volumen dado en M³ se convertirán para trabajar en la fórmula multiplicándolos por 35.2875 que es el equivalente en pié³ de 1 M³.

Los dimensionales de cada componente de la fórmula no se determinan por operar los dimensionales en la fórmula sino que los valores se utilizan en la en ella como valores adimensionales, esto debido al carácter experimental de la misma.

Nuestros valores son:

$$T = 1.4 \text{ seg.}; St (\text{público y coro}) = 678 \text{ M}^2, \alpha = 0.91; 1 \text{ M}^2 = 10.76 \text{ pies}^2$$

$$V = \frac{1.4 \times 678 \times 10.76 \times 0.91}{0.049}$$

$$V = 189,677.27 \text{ pie}^3$$

El volumen anterior ha tomado en cuenta la abosorción del público. Necesitamos obtener un volumen donde se tome en cuenta la absorción total, es decir, absorción de público y materiales de la sala.

Absorción "a" de público es:

$$a = St \alpha$$

$$a = 678 \times 10.76 \times 0.91 = 6639 \text{ Sabines} *$$

Pa fines de cálculo el Ing. E. Recinos en su tesis establece que la absorción de los materiales de la sala en techos, paredes, pisos, puertas, etc., es el 30% de la absorción total de las personas.

$$a (\text{materiales}) = a (\text{público}) \times 30\%$$

$$a (\text{materiales}) = 6639 \times 30\% = 1992 \text{ Sabines}$$

$$a \text{ total} = 6639 + 1992 = 8631 \text{ Sabines}$$

(*) Llamase así en honor al inventor de la fórmula para calcular el "T", podemos decir que 1 Sabine es la superficie equivalente perfectamente absorbente de 1 pié² de cualquier material. (Ver 1.2.3).

Utilizando de nuevo la fórmula de Sabine, con el valor total de la absorción tendremos el volumen tentativo que nos servirá para fines de diseño:

$$V = \frac{T a}{0.049}$$

$$V = \frac{1.4 \times 8631}{0.049}$$

$$V = 246,600 \text{ pie}^3$$

El volumen anterior es el estimado para cuando el local estuviese lleno, es decir, se considera un α estando ocupado la sala.

Las condiciones acústicas varían al estar vacía la sala. La absorción total disminuye que no se usarán, por razones económicas, butacas forradas de algún material especial, sino bancas con respaldos rígidos de madera, teniendo forro de tela sobre esponja en el sentadero y respaldo.

Debido a lo anterior vale la pena analizar otro valor posible para el volumen, cuando la sala está vacía tomando en cuenta un α para sala vacía con yeso bien colocado en apoyos sólidos o madera gruesa en las mismas condiciones (es lo más probable para nuestro diseño). Se incluye la absorción de puertas. (Ver cuadro C.III.1)

Para las condiciones tenemos un coeficiente promedio:

$$\alpha = 0.053$$

Aplicando nuevamente la fórmula de Sabine tenemos:

$$V = \frac{T St \alpha}{0.049}$$

$$T = 1.14, St = 678 \text{ M}^2 \times 10.76, \alpha = 0.053$$

$$V = \frac{1.4 \times 678 \times 10.76 \times 0.053}{0.049}$$

$$V = 11,047.14 \text{ pie}^3$$

La absorción del público aquí es:

$$A = 678 \times 10.76 \times 0.053 = 387 \text{ Sabines}$$

Como se mencionó el 30% de esta absorción será la absorción de los materiales.

$$a \text{ materiales} = 387 \times 30\% = 116 \text{ Sabines}$$

$$a \text{ total} = 387 + 116 = 503 \text{ Sabines}$$

$$V \text{ total} = \frac{1.4 \times 503}{0.049}$$

$$V \text{ total} = 14,371.43 \text{ pié}^3$$

Como se observa el valor que obtenemos con $\alpha = 0.053$ es demasiado pequeño; supondría un local insuficiente para dar cupo a 1000 personas. Se nota también la importancia que la absorción del público representa en el diseño acústico.

Con el volumen obtenido con un $\alpha = 0.91$ tendríamos un local cuya altura aproximada sería de 16 - mts.; resultando demasiado grande ya que no se usarán palcos, ni doble balcón. Además tendería a producir un efecto subjetivo desfavorable en el público evangélico acostumbrado a un culto más íntimo y que definitivamente es condicionado por el factor altura. Necesitamos por lo tanto un valor intermedio entre los 2 calculados que ayuden a mantenerse nuestro T asumido y que llene los fines de confort subjetivo acorde al fin con que se diseña la sala.

Los valores anteriores para V son:

$$\text{Con } \alpha = 0.91 \text{ tenemos } V_1 = 246,600 \text{ pié}^3$$

$$\text{Con } \alpha = 0.053 \text{ tenemos } V_2 = 14371.43 \text{ pié}^3$$

$$V \text{ intermedio} = \frac{246,600 + 14,371.43}{2}$$

$$V \text{ intermedio} = 130,486 \text{ pié}^3$$

Este valor de V presupone un coeficiente de absorción diferente.

$$\alpha = \frac{0.049 V}{T \cdot St}$$

$$\alpha = \frac{0.049 \times 130,486}{1.4 \times 678 \times 10.76}$$

$$\alpha = 0.626$$

Este $\alpha = 0.626$ de acuerdo al cuadro C.III.1 se asemeja mucho al promedio para salas vacías con butacas de cuero, lo cual resulta demasiado caro para nuestro caso.

La solución posible será adoptar este volumen promedio y solucionar el problema de la sala vacía con algún material o mecanismo móvil para mantener la absorción necesaria. Este aspecto se tratará en el capítulo IV donde se sugiere un sistema determinado.

Por ser un local de usos múltiples es difícil determinar, como ya se dijo, un período de reverberación exacto ya que las actividades que se incluyen son variadas y más que nada muy particulares de la liturgia evangélica. Pero para fines de estudio compararemos con algunas actividades que tienen similitud a las realizadas en un templo evangélico y de las cuales se conoce su período de reverberación "T", óptimo.

CUADRO C.III.2

ACTIVIDAD	TIEMPO OPTIMO DE REVERBERACION
Cine, conferencia, charlas, o cualquier actividad que hace uso de amplificador de sonido.	0.6 - 1.2 seg.
Drama (se puede comparar a la voz hablada sin amplificación)	1.0 - 1.4 seg.
Recital de piano	1.2 - 1.6 seg.
Recital de voz y violín, cuarteto de cuerda, orquesta de cámara.	1.4 - 1.8 seg.
Música litúrgica coral, órgano	1.8 - 3.0 seg.

Del cuadro anterior deducimos que nuestro $T = 1.4$ asumido tentativamente es un promedio aceptable - para actividades de la voz hablada y algunas actividades musicales. Sin embargo, vale la pena considerar un T mayor previendo un uso para música coral y orquesta de cámara, etc. Un T adecuado sería 1.6

Con este T calcular un nuevo volumen promedio como en el caso anterior y de los 2 valores de V con $T=14$ y 16 seg. obtendremos un promedio aceptable para principiar a dimensionar nuestra sala.

Datos existentes:

$$\text{Area tributaria del público } S_t = 678 \text{ M}^2$$

$$\text{Nuevo T asumido } T = 1.6 \text{ seg.}$$

$$\text{Coeficiente de absorción } \alpha = 0.626$$

que es el valor promedio que se obtuvo del análisis anterior

$$V = \frac{1.6 \times 678 \times 10.76 \times 0.626}{0.049}$$

$$V \text{ promedio} = 149,121 \text{ pié}^3$$

Estamos ahora en disposición de determinar un valor medio del volumen entre los 2 valores de T asumidos.

$$\text{Para } T = 1.4 \text{ volumen } V = 130,486 \text{ pié}^3$$

$$\text{Para } T = 1.6 \text{ volumen } V = 149,121 \text{ pié}^3$$

$$V \text{ definitivo} = \frac{130,486 + 149,121}{2}$$

$$V = 139,804 \text{ pié}^3$$

Transformaremos este valor a metros cúbicos para que nos sirva de base en el dimensionamiento de nuestro local.

$$V = 3963 \text{ M}^3$$

Este valor es el que asumiremos para fines de diseño. Ya con el diseño realizado calcularemos el volumen real que tendrá nuestra sala.

Con este valor de volumen obtenido, dimensionaremos nuestro local, de acuerdo a los requerimientos de espacio, a las proporciones de auditorios semejantes y a las normas arquitectónicas para el caso.

III.2 DISEÑO ARQUITECTÓNICO. (PLANTA Y SECCIONES)

Necesitamos un área para público y coro de 678 M^2 ; según estándares norteamericanos ($0.65 \text{ M}^2/\text{persona}$ $0.46 \text{ M}^2/\text{miembro de coro}$). En nuestro medio son lo más aceptables. Se incluirá además, un área para plataforma de 40 M^2 .

$$\text{AREA TOTAL} = 678 + 40 = 718 \text{ M}^2$$

El área necesaria para público es de 650 M^2 . Usualmente en auditorios de ópera se deja aproximadamente de un 40% a 50% de personas en palco y balcones, el resto en platea. En auditorios de música hasta un 60%. En nuestro caso nos interesa un mayor porcentaje en platea para ser consecuente con el tipo de actividad en la cual los fieles tienen participación dentro de la liturgia.

Tomaremos inicialmente la siguiente distribución:

Platea un 66%, balcón un 35%

Nuestras áreas quedarán así:

$$\begin{aligned} \text{Platea} &= 650 \text{ M}^2 \times 66\% = 429 \text{ M}^2 \\ \text{Balcón} &= 650 \text{ M}^2 \times 34\% = 221 \text{ M}^2 \end{aligned}$$

Podemos decir que el área de platea nos sirve para definir las dimensiones básicas de nuestro local.

Usualmente los templos evangélicos grandes y pequeños guardan dos tipos de proporción:

- a) Rectangulares: Ofrece desventajas pues al ser muy largos el público en la parte de atrás oye y ve mal.
- b) Cuadrados (Tipo Tabernáculo): Sus dimensiones (largo x ancho) son muy similares. En este tipo se resuelve la desventaja anterior, pero se tiene que hacer una plataforma muy grande y generalmente las personas que están en los costados tienen que esforzarse viendo lateralmente, lo cual, a la larga, resulta molesto.

Adoptaremos para tratar de corregir estos defectos una forma compuesta que permita ver y oír sin mayor esfuerzo.

De lo enunciado en el cuadro C.II.3 diríamos que una relación entre largo y ancho de 81% es bastante aceptable.

Podemos asumir entonces para nuestro local un largo de 21.00 M (dentro de un límite aceptable para oír bien el sonido directo), y un ancho de 17.00 M (que es el 81% de 21). Obtendremos de esto un área de 357 M². Sumamos a esta área el área del coro y de la plataforma y tendremos:

$$\text{Área total para platea} = 357 + 28 + 40 = 425 \text{ M}^2$$

Definiremos ahora nuestra altura, tomando como base el volumen calculado en III.1.3 que es:

$$V = 3963 \text{ M}^3 \text{ y el área de platea } 425 \text{ M}^2$$

$$\text{Altura } h = \frac{3963}{425} = 9.33 \text{ mts.}$$

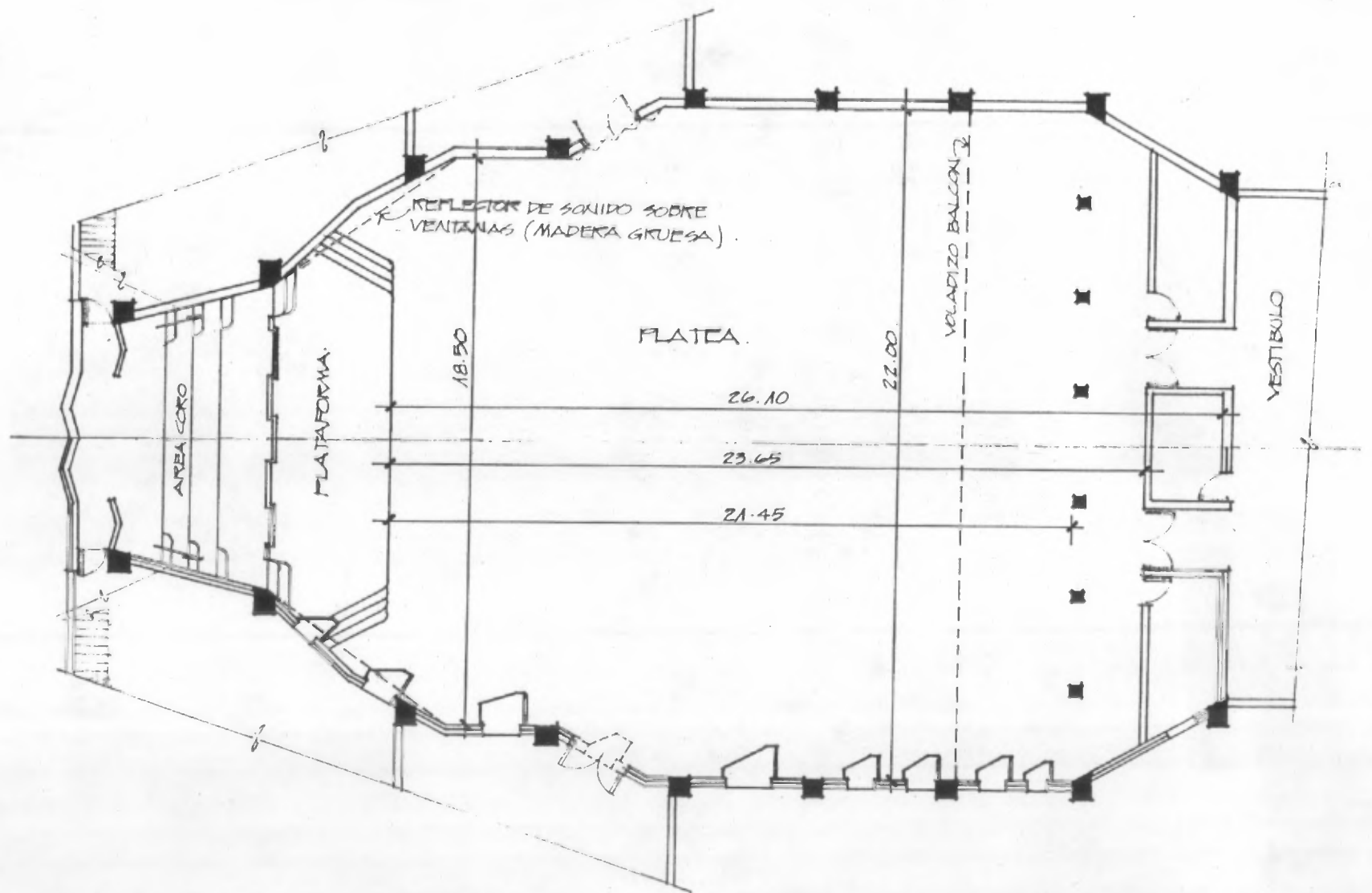
Esta altura está por debajo del promedio de auditorios grandes, pero por otro lado llenará la sensación de intimidad arquitectónica y psicológica que como apuntamos son necesarias para la liturgia protestante evangélica.

Estamos ahora en disposición de diseñar nuestro local tomando como base las dimensiones obtenidas. Necesitamos un diseño que sea consecuente con las necesidades acústicas que determinan las formas arquitectónicas a usar.

Es importante hacer notar que en nuestro diseño cada elemento, sea este estructural o decorativo debe desempeñar alguna función dentro del acondicionamiento acústico. El diseño deberá guardar también un estilo dentro de la concepción arquitectónica contemporánea.

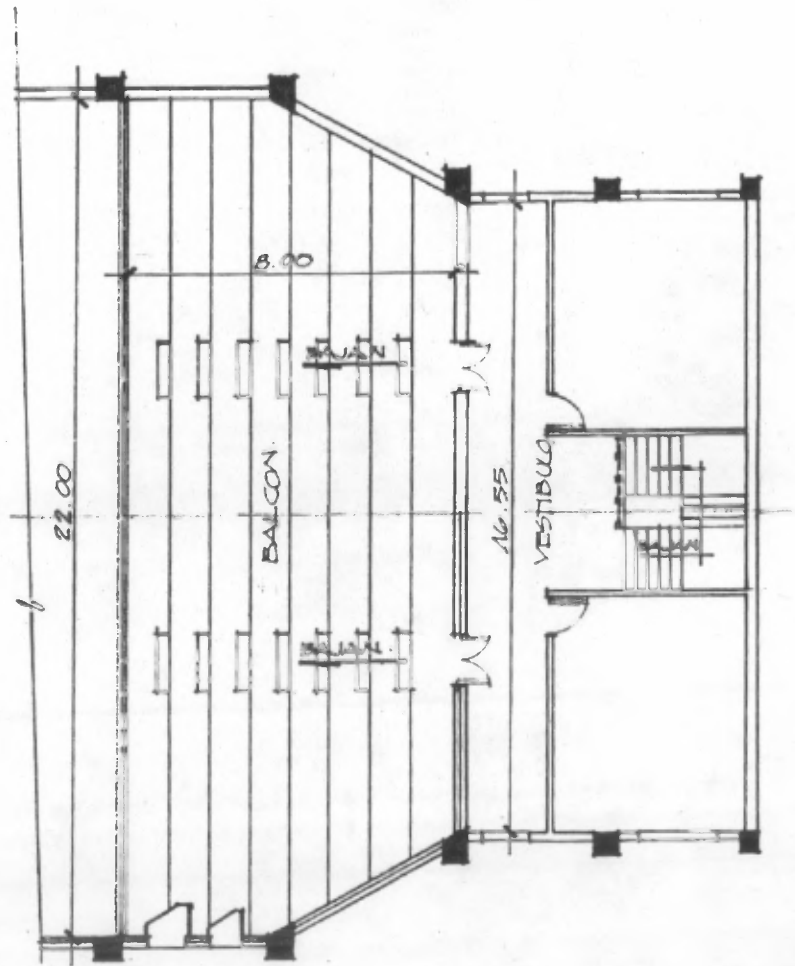
Un elemento básico será el uso de reflectores de sonido convenientemente colocados para ayudar a la difusión y a lograr el T deseado. Esto se hará tanto en muros, como también en el cielo falso, combinando planos rectos con planos en ángulos de 30° y 45°.

Después de realizar el diseño en planta y secciones, analizando diferentes opciones y soluciones se llegó al diseño mostrado en los planos siguientes.



PLANTA SALA PRINCIPAL
 E - 1:200

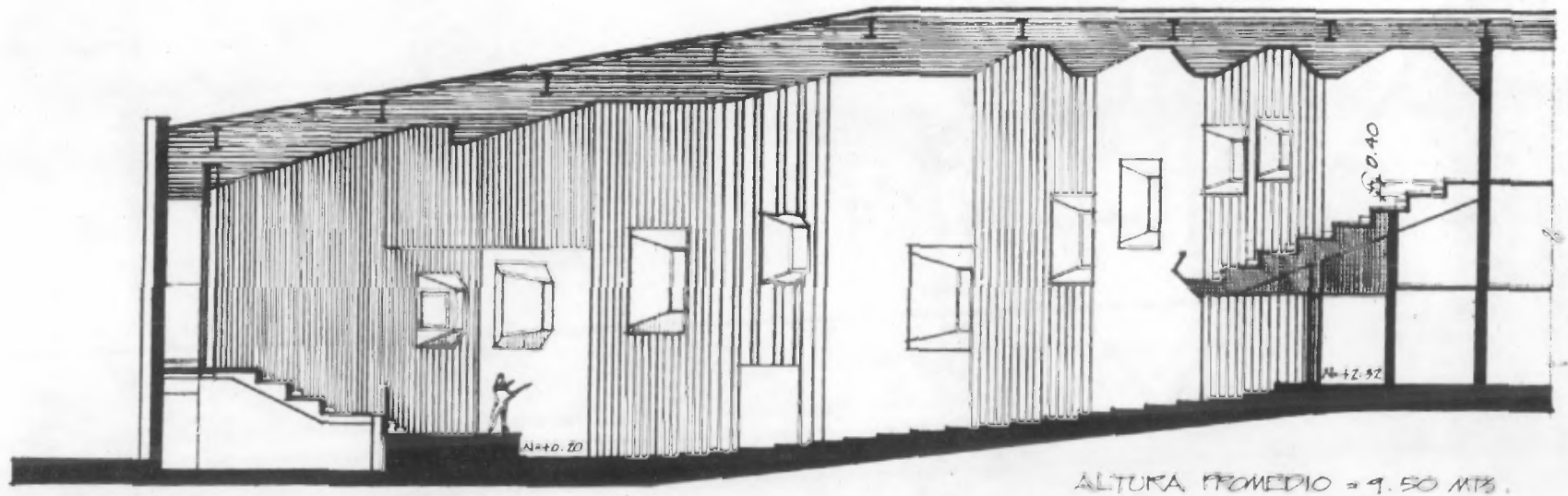
PLANO P.III.1.



PLANTA BALCON

E: 1:200

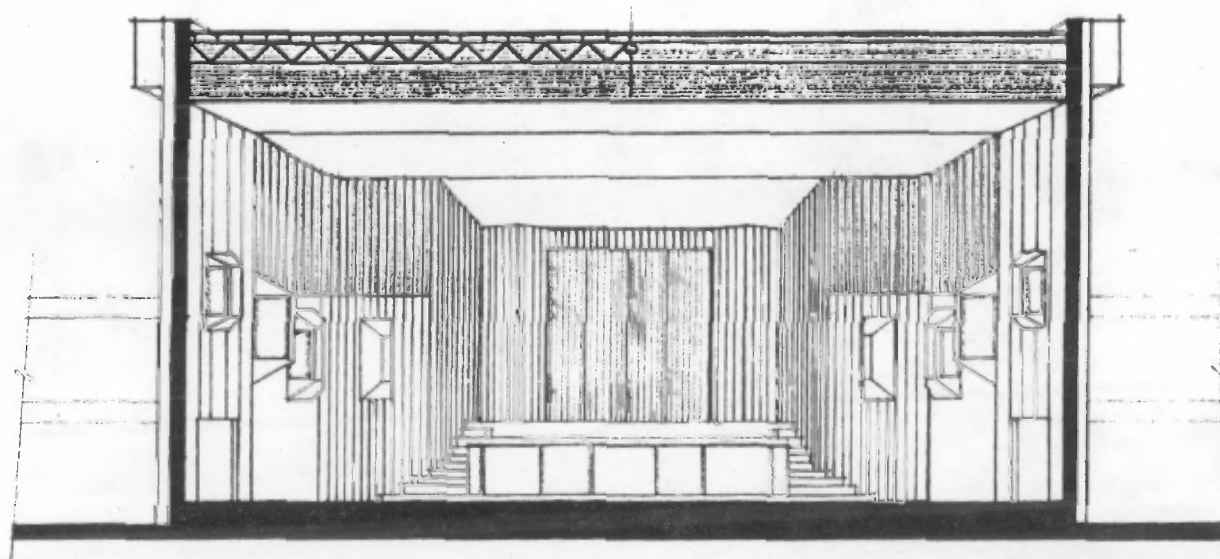
PLANO P. III. 2.



SECCION LONGITUDINAL

E = 1:200

PLANO P.III. 3.



SECCION TRANSVERSAL

E-A: 200

PLANO P. III. 4.

Debido a las necesidades arquitectónicas y espaciales fue necesario variar nuestro diseño de un cuadrado o rectángulo, a una forma abierta que centra la atención sobre la plataforma tanto en planta como en corte. Las dimensiones del ancho van de 10 hasta 22 metros que nos dan un promedio de 16 mts. muy parecido al estimado. La longitud entre el borde de la plataforma y la parte posterior de platea es de 23.70 mts. que se asemeja bastante al estimado. En cuanto a la altura tiene un promedio de 9.50 mts. similar al estimado.

Es de hacer notar que las medidas obtenidas previamente sirven solamente como una base para empezar el diseño; ya en el proceso de diseño se racionaliza el espacio para acomodar al número de personas que se tiene previsto.

Necesitamos ahora conocer el nuevo volumen que este diseño nos dará y chequear el T resultante y las otras características acústicas del mismo.

III.3 DETERMINAR VOLUMEN REAL DE LA SALA DISEÑADA

Utilizando planos a escala 1.50 determinaremos el volumen total de la sala, el cual nos servirá de base para encontrar nuestro T resultante.

Es de hacer notar que en este cálculo se incluyen todas las áreas del templo, es decir, área del público, área del coro, área de la plataforma, área de balcones; todos estos ambientes se integrarán en una unidad espacial y funcional. Lo contrario que ocurre en auditorios de espectáculos donde la escena marca una división entre el público y el artista. En nuestro caso el artista es público y el público es artista también.

En el cálculo se tomarán entonces todos los ambientes de la sala.

Al sumar los diferentes espacios obtenemos un volumen teórico para nuestra sala.

$$V = 5413 \text{ M}^3$$

En pié cúbicos tenemos:

$$V = 190,971 \text{ pié}^3$$

III.4 DETERMINAR MATERIALES A USARSE

El paso siguiente en nuestro estudio es determinar los materiales que se usarán en los diferentes elementos de la sala.

- 1) Techos
- 2) Cielo falso
- 3) Paredes
- 4) Pisos
- 5) Puertas
- 6) Ventanas
- 7) Asientos

Nos interesa en este inciso más que nada el acabado final de dichos elementos para analizar su absorción dentro de la sala. En el capítulo final sobre aislamiento se analizarán otras características que tienen que ver con dimensiones, características aislantes y cuidados en la colocación.

III.4.1 Techos

Será compuesto por una loza de 12 cms. de espesor soportada por vigas de metal tipo armadura, diseñados especialmente por el Ing. Luis Rivera de Aceros Arquitectónicos. Esta estructura sustentante servirá también como soporte del cielo falso. El techo no tiene importancia como reflector de sonido ya que el cielo falso hará este trabajo. Si el factor económico dificultara el uso de una loza será conveniente colocar por lo menos lámina Duralita gruesa (Ondalita) que es buen aislante.

III.4.2 Cielo Falso

Estará suspendido de las vigas del techo y compuesto de playwood de 3/4" y entranquillados de madera. Es el cielo falso el que nos define en corte el volumen de la sala. El entranquillado para sustentar el playwood será lo más rígido posible y en marcos pequeños para evitar que los paneles absorban los sonidos graves al entrar en resonancia con estos. El cielo falso es usado como reflector de sonido por lo cual se diseñó con ángulos de 15° y 30° y en algunos casos curvos convexos que reflejen sonido en una gran diversidad de ángulos. El playwood será barnizado para ayudar a ser reflejante.

III.4.3 Paredes

Se tendrán dos acabados principales que irán alternándose empezando del área del coro y plataforma

hasta llegar a la parte posterior de la sala, esto en los muros laterales.

- a) Madera. Se usará cenicero barnizado o conacaste, dependiendo de la factibilidad de obtenerlos; ambos tienen un coeficiente de absorción similar. La colocación será sobre entranquillado grueso (2" mínimo). No se usarán vacíos rellenos con lana mineral pues aumentaría la absorción y su colocación es difícil y onerosa.
- b) Acabado a base de cal y cemento. Alternamente con la madera en tramos definidos se usará blanqueado para estos muros. Posteriormente se pintará. El muro anterior llevará acabado de madera en las mismas condiciones que en los laterales. En el muro posterior se utilizará madera colocada en condiciones similares a los otros muros pero en planos quebrados por ángulos de 15° como se muestra en el Diagrama D.III.1 para evitar el eco que podría producirse al reflejarse los sonidos que llegan al muro posterior.

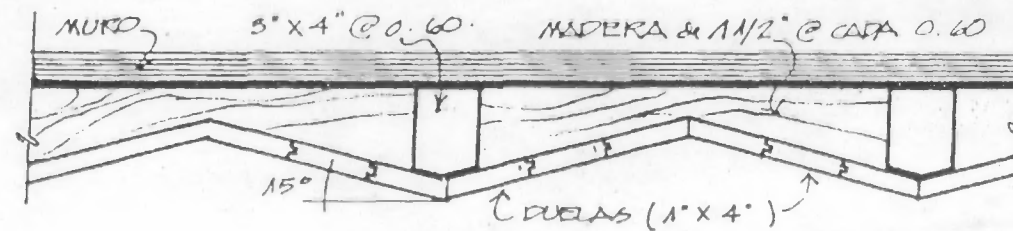


DIAGRAMA D.III.1

III.4.4 Pisos

Todo el templo llevará piso de granito de mármol fundidos in situ, pulido. Por aislamiento a ruidos de impacto producidos por pasos se usará alfombra sobre esponja en el pasillo principal y en la parte frontal a la plataforma, además en el pasillo trasero. Analizaremos su conveniencia y su repercusión en la absorción total de los materiales.

III.4.5 Ventanas

Debido al factor económico se imposibilita el uso de aire acondicionado. Necesariamente pensaremos en un sistema combinado de extractores de aire y ventanas tipo sifón con diseño especial para evitar que se conviertan en aberturas para el sonido pues se está pensando en muro doble aislante, que sería inútil

si las ventanas dejaran pasar sonido. en el capítulo de aislamiento en el V.2.4 se detalla el tipo de ventana a usar. (Espesor min. de vidrio 6 mm.; máximo 8 mm.)

III.4.6 Puertas

Serán de cedro, con 2 tableros de diferente espesor, la cara interior que da hacia la sala llevará terciopelo sobre la madera, esto para evitar reflexiones indeseadas que afectarán nuestro local, especial^lmente en la parte posterior. En el capítulo de aislamiento inciso V.2.2 se habla del cuidado al construir las puertas para asegurar su aislamiento.

III.4.7 Bancas (Asientos)

Serán de cedro grueso (1 3/4") para mayor duración y resistencia. Al usar madera gruesa evitamos - también la absorción desmedida de las frecuencias graves. De estar en las posibilidades económicas se -- agregará un forro de tela con esponja por dentro en el respaldo y sentadero. Esto ayudará especialmente - cuando la sala esté vacía, y además, aumenta el confort de la sala.

III.5 CALCULAR ABSORCION TOTAL DE LA SALA (PUBLICO Y MATERIALES)

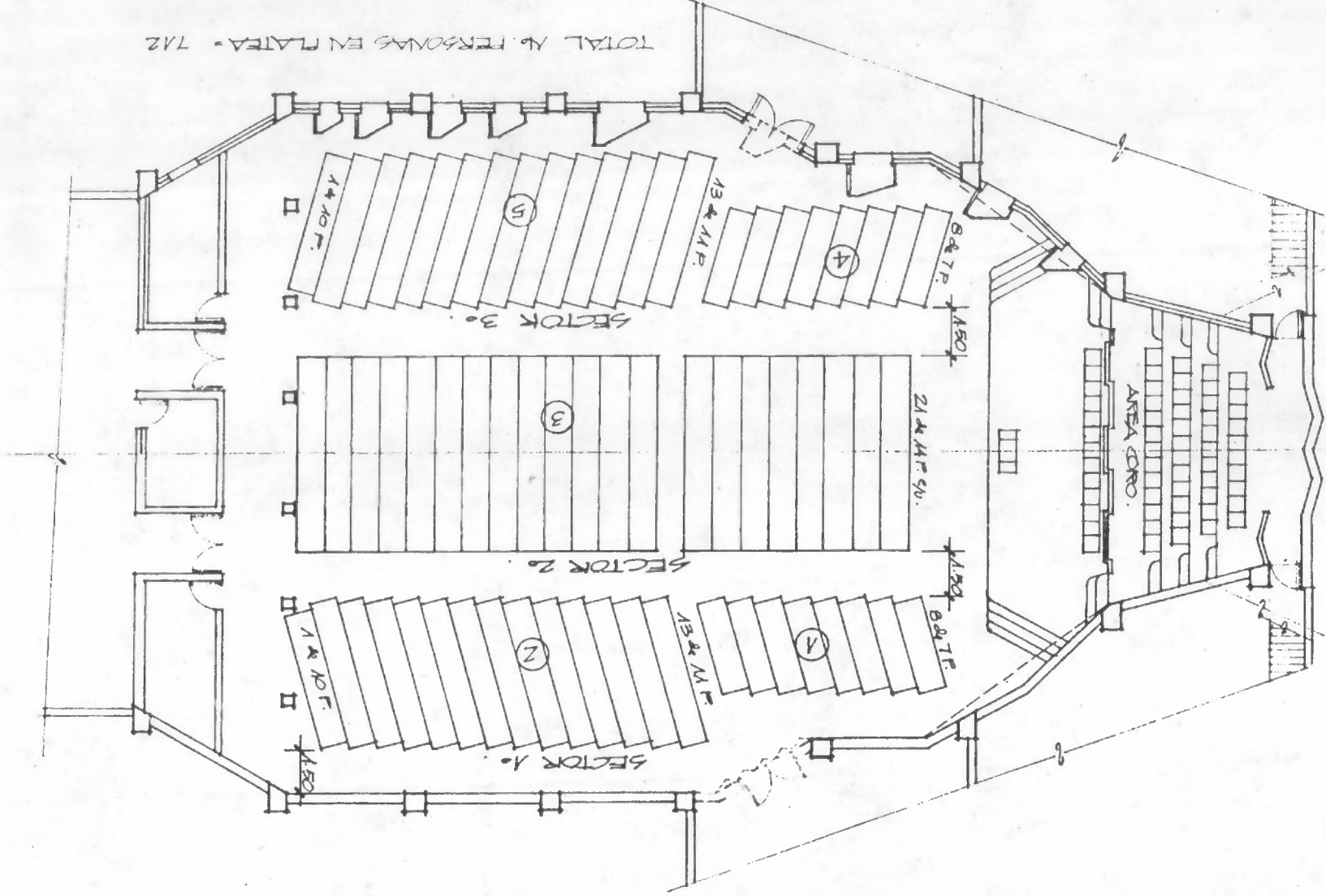
El análisis siguiente nos permitirá saber la absorción total de la sala para las frecuencias medias (500 - 1000 c.p.s.) y comprobar el período de reverberación "T" deseado (1.4 segundos).

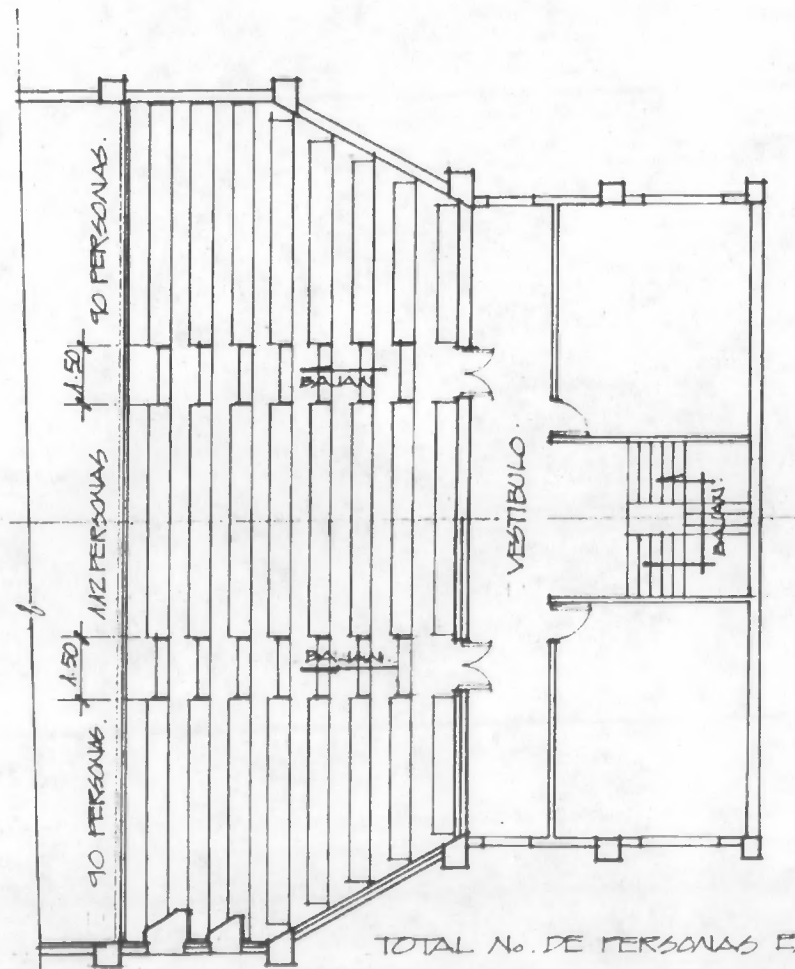
PLANTA SECTORES BANCAS EN PLATEA

E-1:200

PLANO P.III.5.

TOTAL N. PERSONAS EN PLATEA = 712





PLANTA SECTOR BANCAS DEL BALCON

E = 1:200

PLANO P. III. 6.

AREA TIPICA DE ABSORCION DE PUBLICO
(SECTOR CENTRAL DE BANCAS FRENTE A PLATAFORMA)

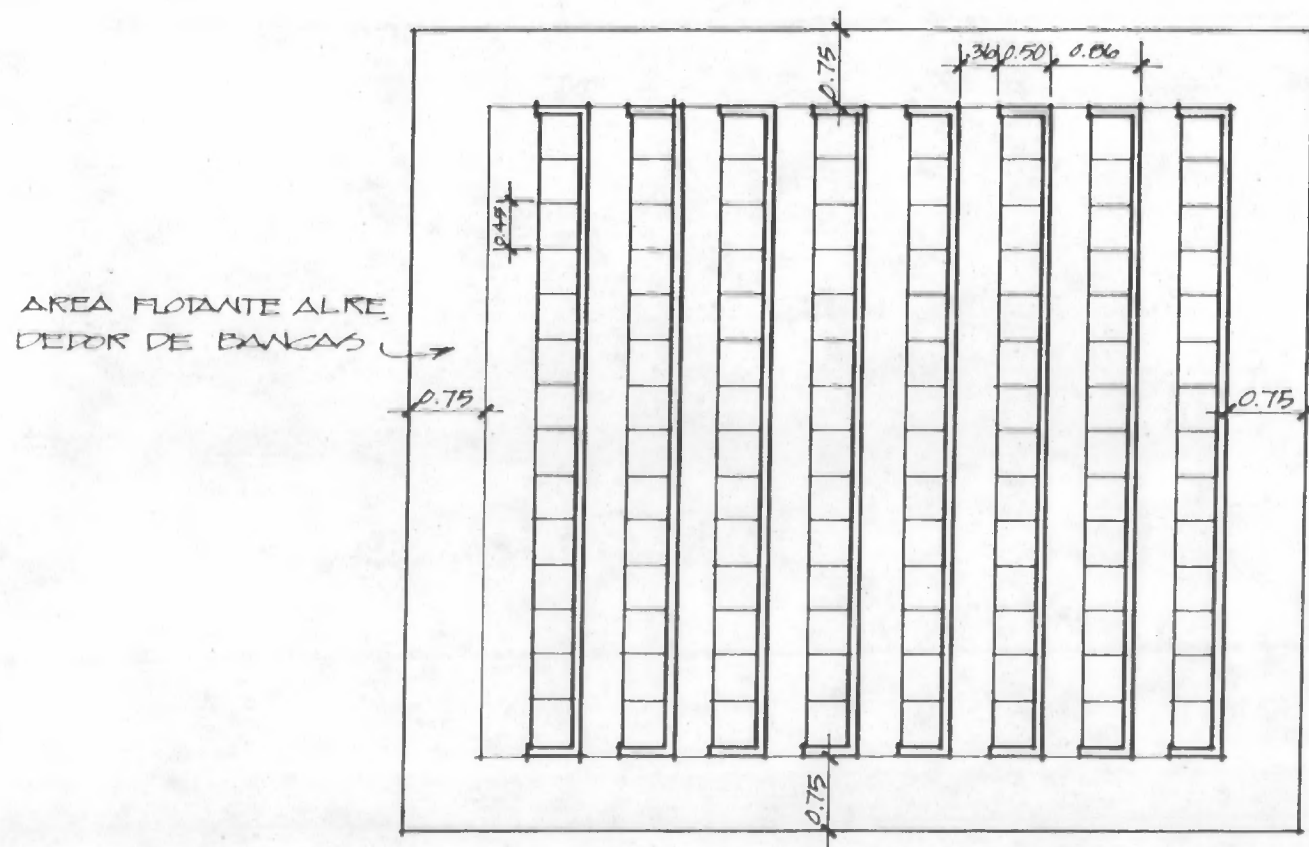


DIAGRAMA D.III. 2.

III.5.1 Calcular el número total de público y su área tributaria (sectorizando)

El plano P.III.5 y P.III.6 observamos que hay 5 sectores en platea pero que para fines de cálculo - de área tributaria para absorción del público lo tomaremos como 3 (1 y 2 = Sector 1o., 3 = Sector 2o. y 5 y 4 = Sector 3o). En balcón son 3 sectores que se tomarán como uno.

En el cálculo del área tributaria para calcular la absorción del público, se supone siempre un área alrededor de estos, una especie de área flotante, que en nuestro caso es de 0.75 M (ver Diagrama D.III.2)

CUADRO C.III.3

SECTOR	AREA	No. DE PERSONAS	AREA/PERSONA
1o.	131 M ²	209	0.63 M ² /P
2o.	160 M ²	294	0.54 M ² /P
3o.	131 M ²	209	0.63 M ² /P
Balcón	150 M ²	292	0.52 M ² /P
Coro	47 M ²	60	0.78 M ² /P

De la observación del cuadro anterior tenemos los datos siguientes:

Area tributaria total = 572 M² semejante a 6155 pié²

Cupo máximo de la sala = 1004 personas

Area tributaria promedio por persona = 0.57 M²/persona

Esta area tributaria promedio está por debajo del promedio estimado en el capítulo 2 (cuadro --- C.II.1) pero que cae dentro de lo permisible ya que según el manual Planeación de Edificios y Modelos de Diseño de Sleeper esta área tributaria media de 0.65 M²/persona, se puede reducir al aumentar el número a más de 600 personas. En nuestro caso reducirá el 12%. De todas formas esta área tributaria es aceptable para nuestro medio ya que el público asistente a iglesias protestantes está acostumbrado a la aglome

ración, pues la mayoría de templos tienen una área de $0.55 \text{ M}^2/\text{persona}$. El promedio en los mejores auditorios de música del mundo es de $0.55 \text{ M}^2/\text{persona}$ y en las 4 mejores óperas del mundo el promedio es de $0.54 \text{ M}^2/\text{persona}$. En nuestro caso es $0.57 \text{ M}^2/\text{persona}$, un promedio bastante aceptable.

Un aspecto importante en este inciso es calcular el tiempo máximo de desahogo del local. Este dato se determina con la fórmula: $T = c \cdot l \cdot d/v \cdot a$, respecto al ancho mínimo de pasillos.

Donde: c = número de personas tributarias del paso considerado; l = distancia entre 2 personas; d = ancho de una hilera de personas; v = velocidad de una hilera de personas; a = ancho de la circulación en metros.

En nuestra sala tenemos en platea 4 puertas de salida, 2 principales que vienen del vestíbulo y 2 de emergencia que dan al exterior; las 4 son de 2 mts. de ancho. El número de personas probable que salga por cada puerta, se podría suponer que fuera la cuarta parte del total en platea; es decir: $772/4 = 193$ personas, por ser las 4 puertas de la misma dimensión; pero para calcular un caso crítico supondremos que por una de las puertas saldrá un 30% más que cualquiera otra puerta, es decir: $193 \times 30\% = 251$ personas.

$$c = 251 \text{ personas}; \quad l = 0.70 \text{ M}$$

$$d = 0.54 \text{ M}; \quad v = 0.30 \text{ M/seg (promedio)}$$

$$a = 1.50 \text{ M.}$$

$$T = \frac{251 \times 0.70 \times 0.54}{0.30 \times 1.50} = 211 \text{ Seg.}$$

$$T = 3' 52''.$$

Nuestro tiempo está dentro de lo aceptable ya que el tiempo máximo de desahogo es de 5 minutos, lo cual nos da un buen margen de seguridad para nuestro local.

III.5.2 Cálculo de la absorción total de público y coro

Adoptaremos en primer lugar un coeficiente de absorción definitivo, para el área ocupada por el público (para frecuencias de 500 a 1000 c.p.s.).

Del cuadro C.III.1 vemos que en auditoriums de música, llenos con público y coro, teniendo éstos bu

tacas que absorban la misma cantidad de sabines que una persona vestida el promedio es: $\alpha = 0.91$.

Se considera aquí que las butacas usadas están forradas de tela absorbente adelante y atrás del respaldo, además, la parte de abajo del asiento es absorbente. En nuestro caso tenemos que pensar en una reducción de este coeficiente de absorción ya que se usarán bancas de madera con el respaldo y el sentadero forrados de tela sobre esponja.

El único parámetro de base para calcular en cuanto reduciremos este coeficiente lo tenemos en el hecho de que cada persona vestida absorbe normalmente 5.5 Sabines; y que para nuestro caso por recomendación del Ing. E. Recinos asesor de esta tesis se reducirá a 4 Sabines, es decir, se reduce la absorción por persona en un 27 % utilizándose para nuestro caso un 73 %.

Podemos adoptar como base de reducción este porcentaje, tomando en cuenta que el coeficiente de absorción se calcula en base a la absorción de las personas.

Es de hacer notar que la absorción en Sabines de un área, no depende del número de personas que la ocupan, sino del coeficiente de absorción dado por las condiciones de los asientos y las personas. Nuestro coeficiente será entonces:

$$\alpha = 0.91 \times 73 \% = 0.66$$

Con este coeficiente estamos en capacidad de calcular la absorción total de las personas del local. Según el cuadro C.III.3 el área tributaria total del público en platea y balcón es de 6155 pié².

$$\text{Absorción público} = 6155 \times 0.66 = 4063 \text{ Sabines.}$$

Para el área del coro tenemos 506 pié² y le aumentamos 86 pié² de una fila ocupada por personas en la plataforma (adelante del coro). Tendremos entonces:

$$\text{Absorción coro} = 592 \times 0.66 = 391 \text{ Sabines}$$

$$\text{Absorción total público y coro} = 4063 + 391 = 4451 \text{ Sabines}$$

III.5.3 Determinar absorción permisible de los materiales a usar

Nuestro período de reverberación definitivo "T" = 1.4 seg. es un promedio aceptable para nuestro caso. (Ver cuadro C.III.2). Con la fórmula de Sabine averiguaremos la absorción total de la sala, luego -

restaremos la absorción del público y coro; como resultado obtendremos la absorción total permisible de los materiales. El paso siguiente será elaborar una tabla de los materiales, su área de absorción y su absorción total.

Fórmula de Sabine

$$T = \frac{0.049}{S_t} \quad \text{Deducimos que } S_t = \frac{0.049 V}{T}$$

Donde S_t = Absorción total de personas y materiales;

$$V = 190,971 \text{ pie}^2, T = 1.4$$

$$S_t = \frac{0.049 \times 190,971}{1.4} = 6684 \text{ Sabines}$$

Del resultado anterior obtenemos, restándole la absorción del público y coro, nuestra absorción de materiales.

$$\text{a materiales } 6684 - 4454 = 2230 \text{ Sabines}$$

III.5.4 Determinar absorción teórica de los materiales que se usarán en la sala

En III.4 se describió la naturaleza de los materiales a usarse. Es factor condicionante en este caso, el hecho de que no contamos al momento en nuestro país, con los elementos y equipo necesarios para comprobar el coeficiente de absorción de los materiales nacionales; tenemos por lo tanto que trabajar con datos que se conocen y que han sido comprobados en otros países.

Algo más, que es determinante en este sentido, es el factor económico, pues existen materiales importados de los cuales se saben sus características pero que encarecen el costo de la obra. En nuestro caso el factor económico es determinante y tendremos que pensar en materiales factibles para nuestro medio y que den resultados óptimos.

Por lo general los grandes proyectos con un rendimiento acústico óptimo resultan onerosos y tienen que contar con respaldo estatal para su realización. En nuestro caso es un proyecto particular.

Basándonos en medidas tomadas de los planos a escala 1.50 elaboremos nuestro cuadro con los mate-

riales a usarse en los diferentes elementos, su área tributaria de absorción y su respectiva absorción en Sabines, de acuerdo a la descripción hecha en III.4.

CUADRO C.III.4

ELEMENTO	MATERIAL	AREA (Pie ²)	COEFICIENTE DE ABSORCION	ABSORCION (SABINES)
Piso	Granito de mármol	6426	0.01	64
	Alfombra	1485	0.4	594
Muros	Madera	3508	0.18	631
Laterales	Acabado Blanqueado	2303	0.03	69
Muro Anterior	Madera	310	0.18	56
Muro Posterior	Madera (Planos quebrados)	829	0.18	151
Salientes	Blanqueado	791	0.02	16
De Ventana	Alfombra	113	0.4	45
Ventanería	Vidrio Grueso	167	0.03	5
	Abertura*	5	1.00	5
Puertas	Terciopelo	289	0.25	72
	Sobre Madera			
Cielo Falso	Playwood Barnizado	8662	0.06	520
TOTAL ABSORCION				2228 Sabines

* Por ser ventana sifón tenemos una abertura arriba entre el dintel y el marco interior de la ventana; en el dintel llevará material altamente absorbente. (Ver Aislamiento V.2.4)

Nuestra absorción total obtenida es de 2228 sabines; 2 sabines menor que la requerida pero como ve_{re}mos adelante esta diferencia es despreciable.

Como se puede observar los materiales requeridos para los acabados de la sala no necesariamente son materiales sofisticados, ésto debido a que no se necesita una absorción muy alta de materiales, sino que al contrario algunos de ellos deben ser altamente reflexivos.

La solución del muro posterior con madera en planos quebrados por ángulos de 15° es para evitar el eco que podría producirse. Otra solución podría ser colocar material fibroso perforado, que existe en -- nuestro medio pero que su costo es alto. Se puede también usar paneles de viruta de madera (aguilit) cuyo coeficiente de absorción es similar al anterior ($\alpha = 0.7$) y cuyo costo es menor; con el único inconveniente de que su colocación debe ser cuidadosa, ya que en nuestro medio generalmente no se trabaja bien. El problema en este caso es que la absorción aumentaría en casi 436 Sabines y cambiaría nuestro T, por lo cual se optó por la primera solución.

Un aspecto importante para trabajar estos diseños acústicos es conocer el coeficiente de absorción de cada material, en nuestro medio. Esto lamentablemente será posible hasta que se posea un laboratorio para prueba de características acústicas de los materiales. Mientras tanto los análisis serán --- aproximados y la comprobación definitiva será hasta terminada la obra. Es de hacer notar también que los coeficientes conocidos varían según factores que escapan al análisis teórico.

Algo interesante es el hecho que la apreciación subjetiva en una obra terminada, depende de la - capacidad crítica de la persona que escucha, referente a las características acústicas.

III.6 CALCULAR T DEFINITIVO, CON DATOS OBTENIDOS

Estamos ahora en capacidad de conocer el T definitivo para las frecuencias medias y comprobar la 2a. constante acústica enunciada (I.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Volumen de sala diseñada} &= 190,971 \text{ pie}^3 \\ \text{Absorción total (público + coro)} &= 4454 + 2228 = 6682 \end{aligned}$$

Con fórmula de Sabine obtendremos nuestro T definitivo:

$$T = \frac{0.049 \times V}{S_t}$$

$$T = \frac{0.049 \times 190,971}{6682}$$

$$T \text{ definitivo} = 1.4 \text{ segundos}$$

Como se observa, la diferencia de 2 Sabines en la absorción obtenida es despreciable y nuestro di seño llena la condición requerida para obtener el T necesario.

La presencia del público juega un papel importantísimo en obtener los resultados deseados; para de mostrarlo basta ver lo que ocurre cuando la sala está vacía.

Para este caso tendremos el mismo volumen $V = 190,971 \text{ pié}^3$, pero la absorción total cambiará ya - la absorción del área tributaria del público cambiará. Según el cuadro C.III.1 en el caso 5 (más similar a nuestro caso), el coeficiente de absorción promedio para las frecuencias medias es de 0.053. Tendremos entonces:

$$S_t \text{ público y coro} = 6155 + 592 = 6747 \text{ pié}^2$$

$$a \text{ público y coro} = 6747 \times 0.053 = 358 \text{ Sabines}$$

La absorción obtenida de materiales no varía y es de 2228 Sabines. La absorción total será:

$$a \text{ total} = 358 + 2228 = 2586 \text{ Sabines}$$

Con este dato obtendremos con la fórmula de Sabine el T para la sala vacía:

$$T = \frac{0.049 \times 190,971}{2586}$$

$$T = 3.619$$

El T obtenido sería adecuado para obras litúrgicas medievales, casi nunca usada en litúrgica evan-
gélica (T óptimo 4.0 - 8.0 segundos), pero totalmente inadecuado para los usos previstos para nuestra sa
la.

Se hace necesario buscar un mecanismo adecuado que nos permita balancear la cantidad de absorción de materiales con la absorción del público asistente, en caso de no haber un lleno total, para conservar

nuestro $T = 1.4$

La solución más factible podría ser diseñar una sala menor para realizar actividades regulares de la Iglesia (generalmente con poco público) y actividades de menor envergadura y dejar la sala grande para festividades donde se prevea un lleno total. Ambas opciones tienen sus inconvenientes ya que en el primer caso la inversión total aumentaría al construir un edificio adicional y en el 2o. caso en asunto de espectáculos y actividades resulta difícil, si no imposible, determinar previamente la cantidad de público que asistirá, hecho este que se enfatiza porque generalmente las actividades en este local no serán cobradas y no se tiene una taquilla sobre la cual calcular.

Será necesario buscar alternativas para que dentro de la misma sala se provean los mecanismos adecuados para mantener el $T = 1.4$ solamente aumentando la absorción de los materiales. Para este efecto se dedica el capítulo IV de este estudio a fin de analizar alguna solución posible.

III.6.1 Calcular nuestro T definitivo para obra terminada

En II.1.1 establecimos para fines de diseño los límites de T entre 1.4 y 1.6 seg. más adelante se analizó la conveniencia de fijar el T en 1.4 seg. y en III.6 encontramos el T que teóricamente tendrá nuestra sala al construirse. Todo el análisis acústico giró en torno a este factor.

La experiencia que se ha logrado con la construcción del Teatro Nacional y otros locales menores - ha demostrado que este valor de T teórico puede aumentar hasta en un 30% debido, como ya se mencionó, a la falta de conocimiento de los materiales de nuestro medio por la carencia del instrumental necesario; además, los datos que sirven para calcular se toman de tablas realizadas en otros países por lo cual para tomar un valor más seguro del T real será necesario calcular un valor menor de T, entre 0.6 y 1.4. Un promedio aceptable puede ser $T = 1.0$ lo cual si aumentase en un 30% nos daría un valor de 1.3 el cual todavía sería bueno para nuestro local, donde habrá bastante uso de la palabra hablada y de aparatos de amplificación electrónica para los cuales es conveniente un T más corto (Ver cuadro C.III.2).

Adoptamos entonces nuestro T definitivo para la obra construida:

T definitivo = 1.0 seg.

Al cambiar nuestro T analizaremos 3 factores que serán influenciados por el cambio:

- 1) Absorción total del local
- 2) Tiempo de reverberación para frecuencias altas y bajas (III.7.2.1)
- 3) Intensidad del sonido reverberante (III.7.3.1)

Cada uno de los análisis lo haremos anexo al resultado obtenido en cada uno de estos factores con un $T = 1.4$

III.6.1.1 Absorción total definitiva

Aplicando la fórmula de Sabine tendremos:

$$\text{Valores: } T = 1.00 \text{ seg. } \alpha = 0.66 \text{ (Ver III.5.2, reducción de } \alpha \text{)}$$

$$V = 190971 \text{ pié}^3 \quad S_t = a \times$$

$$T = \frac{0.049 \times V}{S_t}$$

$$S_t = \frac{0.049 \times V}{T} = \frac{0.049 \times 190971}{1.0}$$

$$S_t = 9358 \text{ Sabines}$$

Según III.5.2 la absorción de público y coro es de 4454 Sabines. La absorción de materiales será:
 $9350 - 4454 = 4904$.

La absorción obtenida en III.5.4 era de 2228 Sabines; necesitamos aumentarla en $4904 - 2228 = 2676$ Sabines.

Para obtener esta absorción aumentaremos la cantidad de materiales absorbentes en los diferentes punto que sea posible: Piso, muros, cielo falso.

En primer lugar aumentaremos la alfombra en los pasillos laterales de la platea y en los pasillos centrales del balcón; podríamos además pensar en alfombrar la plataforma, pero lo dejaremos como un último recurso ya que no es conveniente demasiada absorción cerca de la fuente sonora.

El área de alfombra que se aumentará será de 121.12 M^2 equivalente a 1303 pié^2 (pasillos laterales y parte del pasillo trasero, más los pasillos del balcón). El coeficiente de absorción de la alfombra es 0.4 tendremos la absorción de esta nueva alfombra así:

$$1303 \times 0.4 = 521 \text{ Sabines}$$

Podemos colocar alfombra en la parte superior de los salientes de ventanas que no sirven para reflejar sonido; el área de estos salientes es de 123 pié^2 . La absorción será $123 \times 0.4 = 49$ Sabines.

Utilizaremos Aguilit que es un material con un alto coeficiente de absorción (0.7)

En primer lugar utilizaremos aguilit en las depresiones del cielo falso entre los ejes E e I en la sección que no refleja sonido importante (se excluye la curvatura y los planos tangentes a ella). El área a cubrir en estos puntos es 2176 pié^2 . Su absorción será $2176 \times 0.7 = 1523$ Sabines.

La parte posterior del balcón que queda dentro de la platea llevará cielo falso, esta área puede ser también de aguilit, su área es de 1170 pié^2 y su absorción de 1170×0.7 Sabines. = 819.

Aumentando esta absorción a la ya obtenida y restando la absorción que se eliminará por cambiar estas áreas mencionadas anteriormente de coeficiente de absorción, estaremos en la posibilidad de elaborar un nuevo cuadro para obtener la absorción total al igual que el cuadro C.III.4 y al cual llamaremos --- C.III.4.1

CUADRO C.III.4.1

ELEMENTO	MATERIAL	AREA (PIE ²)	COEFICIENTE DE ABSORCION	ABSORCION (SABINES)
Piso	Granito de már mol	5123	0.01	51
	Alfombra	2788	0.4	1115
Muros	Madera	3508	0.18	631
Laterales	Acabado Blanqueado	2303	0.03	69
Muro Anterior	Madera	310	0.18	56
Muro Posterior	Madera (Planos quebrados)	839	0.18	151
Salientes	Blanqueado	668	0.02	13
De Ventana	Alfombra	236	0.4	94
Ventanería	Vidrio Grueso	167	0.03	5
	Abertura	5	1.00	5
Puertas	Terciopelo Sobre Madera	289	0.25	72
Cielo Falso	Playwood Barnizado	5316	0.06	319
	Aguilit	3346	0.7	2342
TOTAL ABSORCION				4923

Nuestra absorción total será:

$$a_{\text{total}} = 4454 \text{ (público)} + 4923 \text{ (materiales)}$$

$$a_{\text{total}} = 9377$$

Con la fórmula de Sabine obtendremos nuestro T definitivo para la obra construida, el cual nos garantizará un resultado más seguro debido, como ya se dijo, al posible incremento de éste.

$$T = \frac{0.049 \times 190,971}{9377}$$

T definitivo = 0.9979 semejante a 1 segundo.

III.7 ANALISIS DE LAS OTRAS SIETE LEYES QUE NORMARAN EL DISEÑO

Hasta el momento el análisis acústico ha girado en torno a la 2a. de las 18 leyes o constantes acústicas (así llamadas por ser aplicadas en los locales más importantes actualmente). En nuestro caso, como se dijo, son las primeras 6 las más importantes.

Todo nuestro diseño ha sido hecho tomando en cuenta el T para las frecuencias medias (500 - 1000 - CPS). Los coeficientes de absorción usados son para estas frecuencias. Es necesario ahora hacer un análisis de lo que sucede con los sonidos graves (125 - 250 CPS) y agudos (2000-4000 CPS). Para estas frecuencias se dan diferentes valores de coeficiente de absorción y consecuentemente del período de reverberación. A través de el análisis de estas constantes comprobaremos si nuestra sala funcionará para las otras frecuencias y a la vez llenará características como intimidad o presencia, fuerza o debilidad, etc.; de un local.

Cinco leyes tienen un carácter positivo, es decir, al cuidar su realización nuestra sala funcionará bien, además existen 2 leyes cuyo descuido trae consecuencias graves a nuestro local; tales son: eco y aislamiento de ruidos.

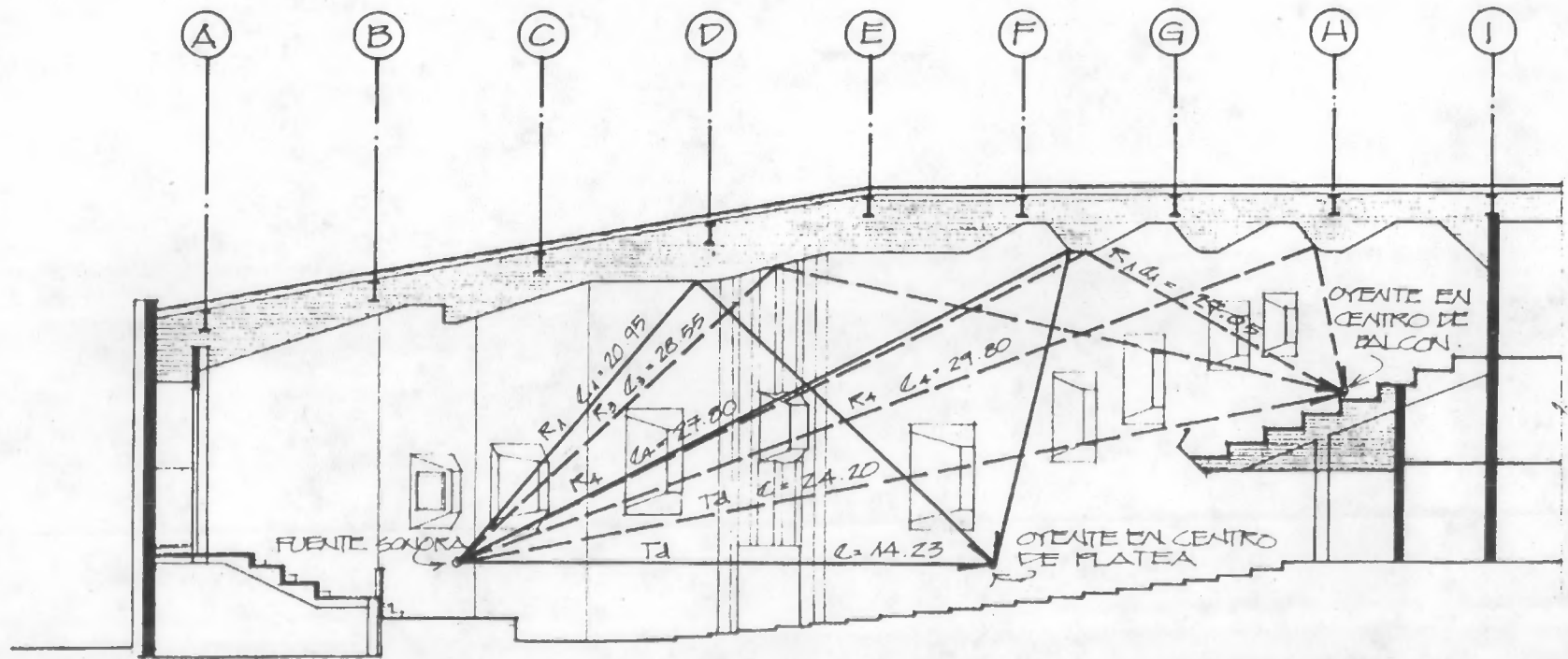
III.7.1 Diferencia entre el sonido directo y el primer reflejado T_1

La aplicación correcta de esta ley produce una calidad subjetiva en el oyente de "intimidad" o "presencia" del local.

Contamos con 2 únicos datos sobre el tiempo ideal del t_1

NOMENCLATURA.

- REFLEXIONES EN PLATEA
- REFLEXIONES EN BALCON.



REFLEXIONES PARA TEXTURA EN PLATEA Y BALCON.

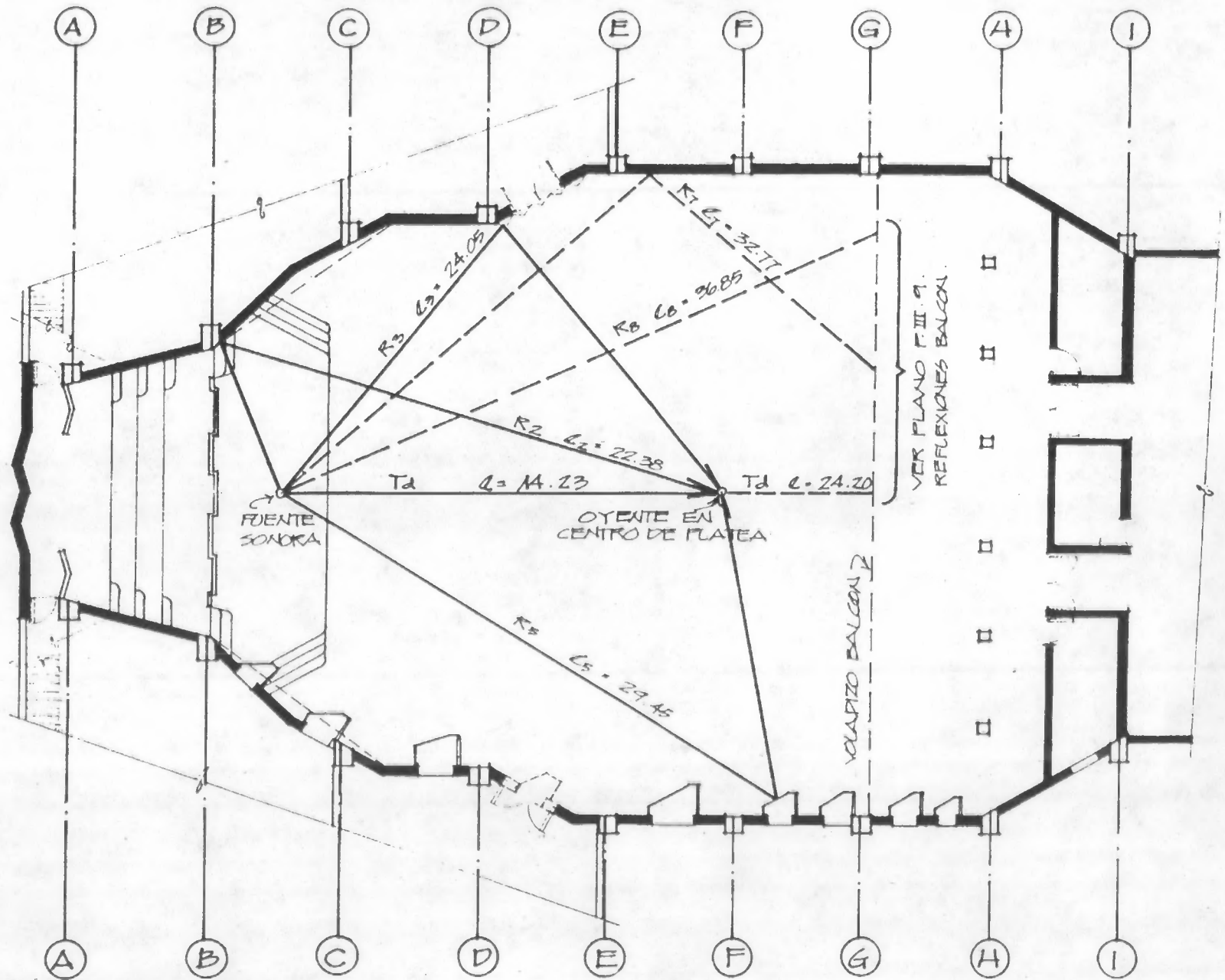
PLANO P.III.7.

SECCION.

E. 1:200

NOMENCLATURA.

- REFLEXIONES PARA CENTRO & PLATEA
- - - REFLEXIONES PARA CENTRO & BALCON.

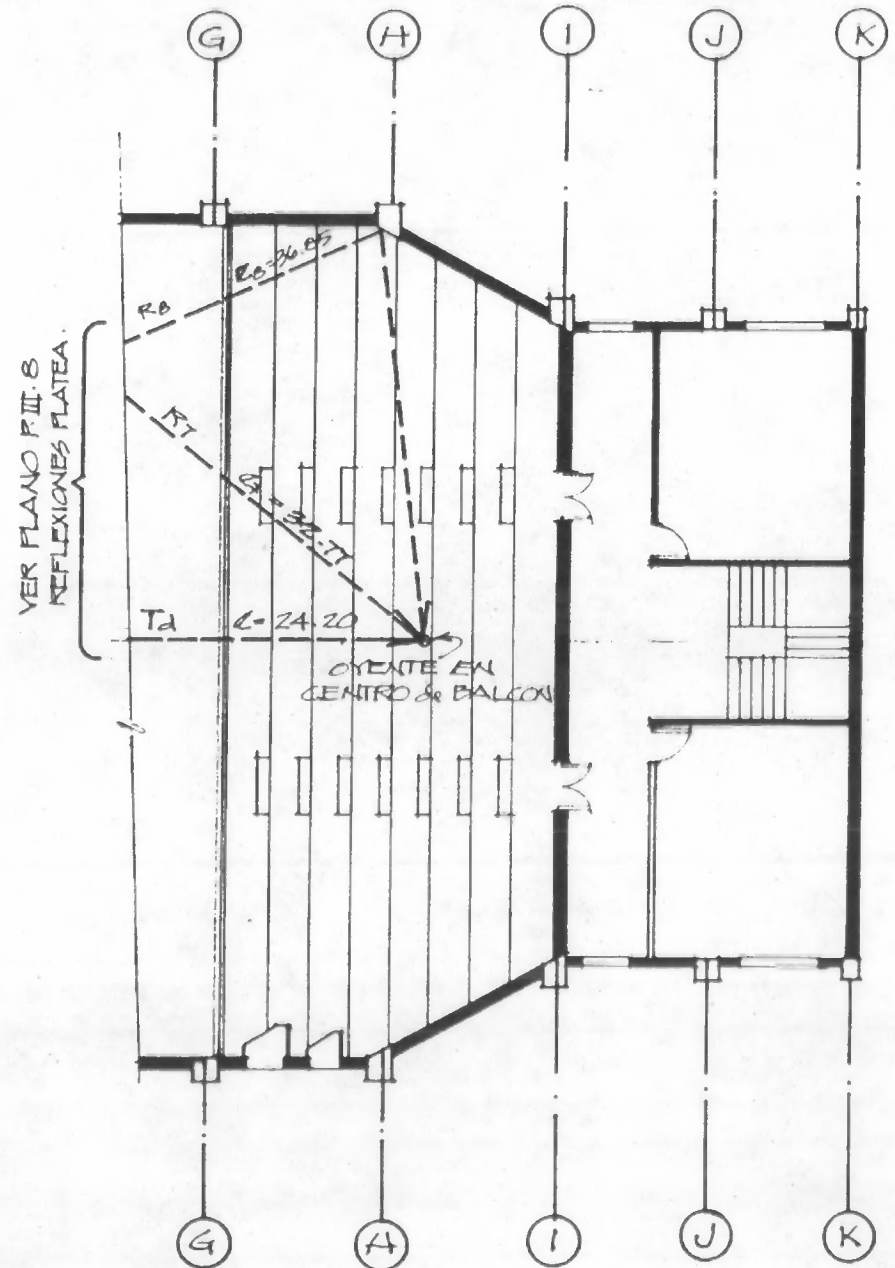


REFLEXIONES PARA TEXTURA EN PLATEA Y BALCON

PLANTA.

E=1:200

PLANO P.III.8.



NOMENCLATURA

--- REFLEXIONES PARA CENTRO de BALCON.

REFLEXIONES PARA TEXTURA EN BALCON
PLANTA

PLANO P.III.9.

E-1:200

t_1 ideal para auditorios (m. sinfónica) = 20 msc. máximo

t_1 " " óperas = 25 msc. máximo

Nota: msc. = mili segundo

En nuestro caso sería más conveniente tomar el 2o. valor (para ópera) que es de 25 msc., ya que el T de nuestro local es similar al de las salas de ópera y además la voz hablada es común en él y esta actividad necesita un t más largo que para música. Pero debido a la altura del techo (menor que en salas de ópera), tendremos un t_1 menor de 25 msc.

Con esta base y tomando nuestras medidas de los planos 1:50 del diseño averiguaremos nuestro t_1 para un oyente en el centro de platea y otro en el centro del balcón.

Ver Planos P.III.7, P.III.8, P.III.9.

III.7.1.1 Platea

Tomaremos como referencia primera, una persona sentada en el centro de la platea a 14.23 mts. de la fuente emisora; quiere decir que el sonido directo recorrerá ésta distancia a una velocidad de 340 -- mts. por segundo.

De la fórmula física $e = v.t.$ deducimos que

$$t = \frac{e}{v}$$

Para nuestro caso tenemos:

$$\begin{aligned} e &= 14.23 \text{ M.} \\ v &= 340 \text{ M/seg.} \end{aligned}$$

El tiempo en que el sonido directo llegará al espectador será:

$$t \text{ directo} = \frac{14.23}{340} = 0.04185 \text{ seg} = 42 \text{ m.s.c.*}$$

(*) m.s.c. = Milisegundos

Podemos colocar alfombra en la parte superior de los salientes de ventanas que no sirven para reflejar sonido; el área de estos salientes es de 123 pié^2 . La absorción será $123 \times 0.4 = 49$ Sabines.

Utilizaremos Aguilit que es un material con un alto coeficiente de absorción (0.7)

En primer lugar utilizaremos aguilit en las depresiones del cielo falso entre los ejes E e I en la sección que no refleja sonido importante (se excluye la curvatura y los planos tangentes a ella). El área a cubrir en estos puntos es 2176 pié^2 . Su absorción será $2176 \times 0.7 = 1523$ Sabines.

La parte posterior del balcón que queda dentro de la platea llevará cielo falso, esta área puede ser también de aguilit, su área es de 1170 pié^2 y su absorción de 1170×0.7 Sabines. = 819.

Aumentando esta absorción a la ya obtenida y restando la absorción que se eliminará por cambiar estas áreas mencionadas anteriormente de coeficiente de absorción, estaremos en la posibilidad de elaborar un nuevo cuadro para obtener la absorción total al igual que el cuadro C.III.4 y al cual llamaremos --- C.III.4.1

CUADRO C.III.4.1

ELEMENTO	MATERIAL	AREA (PIE ²)	COEFICIENTE DE ABSORCION	ABSORCION (SABINES)
Piso	Granito de már mot	5123	0.01	51
	Alfombra	2788	0.4	1115
Muros	Madera	3508	0.18	631
Laterales	Acabado Blanqueado	2303	0.03	69
Muro Anterior	Madera	310	0.18	56
Muro Posterior	Madera (Planos quebrados)	839	0.18	151
Salientes	Blanqueado	668	0.02	13
De Ventana	Alfombra	236	0.4	94
Ventanería	Vidrio Grueso	167	0.03	5
	Abertura	5	1.00	5
Puertas	Terciopelo Sobre Madera	289	0.25	72
Cielo Falso	Playwood Barnizado	5316	0.06	319
	Aguilit	3346	0.7	2342
TOTAL ABSORCION				4923

Nuestra absorción total será:

$$a_{\text{total}} = 4454 \text{ (público)} + 4923 \text{ (materiales)}$$

$$a_{\text{total}} = 9377$$

Con la fórmula de Sabine obtendremos nuestro T definitivo para la obra construida, el cual nos garantizará un resultado más seguro debido, como ya se dijo, al posible incremento de éste.

$$T = \frac{0.049 \times 190,971}{9377}$$

$$T_{\text{definitivo}} = 0.9979 \text{ semejante a 1 segundo.}$$

III.7 ANALISIS DE LAS OTRAS SIETE LEYES QUE NORMARAN EL DISEÑO

Hasta el momento el análisis acústico ha girado en torno a la 2a. de las 18 leyes o constantes acústicas (así llamadas por ser aplicadas en los locales más importantes actualmente). En nuestro caso, como se dijo, son las primeras 6 las más importantes.

Todo nuestro diseño ha sido hecho tomando en cuenta el T para las frecuencias medias (500 - 1000 - CPS). Los coeficientes de absorción usados son para estas frecuencias. Es necesario ahora hacer un análisis de lo que sucede con los sonidos graves (125 - 250 CPS) y agudos (2000-4000 CPS). Para estas frecuencias se dan diferentes valores de coeficiente de absorción y consecuentemente del período de reverberación. A través de el análisis de estas constantes comprobaremos si nuestra sala funcionará para las otras frecuencias y a la vez llenará características como intimidad o presencia, fuerza o debilidad, etc.; de un local.

Cinco leyes tienen un carácter positivo, es decir, al cuidar su realización nuestra sala funcionará bien, además existen 2 leyes cuyo descuido trae consecuencias graves a nuestro local; tales son: eco y aislamiento de ruidos.

III.7.1 Diferencia entre el sonido directo y el primer reflejado T_1

La aplicación correcta de esta ley produce una calidad subjetiva en el oyente de "intimidad" o "presencia" del local.

Contamos con 2 únicos datos sobre el tiempo ideal del t_1

t_1 ideal para auditorios (m. sinfónica) = 20 msc. máximo

t_1 " " óperas = 25 msc. máximo

Nota: msc. = mili segundo

En nuestro caso sería más conveniente tomar el 2o. valor (para ópera) que es de 25 msc., ya que el T de nuestro local es similar al de las salas de ópera y además la voz hablada es común en él y esta actividad necesita un t más largo que para música. Pero debido a la altura del techo (menor que en salas de ópera), tendremos un t_1 menor de 25 msc.

Con esta base y tomando nuestras medidas de los planos 1:50 del diseño averiguaremos nuestro t_1 para un oyente en el centro de platea y otro en el centro del balcón.

Ver Planos P.III.7, P.III.8, P.III.9.

III.7.1.1 Platea

Tomaremos como referencia primera, una persona sentada en el centro de la platea a 14.23 mts. de la fuente emisora; quiere decir que el sonido directo recorrerá ésta distancia a una velocidad de 340 mts. por segundo.

De la fórmula física $e = v.t.$ deducimos que

$$t = \frac{e}{v}$$

Para nuestro caso tenemos:

$$\begin{aligned} e &= 14.23 \text{ M.} \\ v &= 340 \text{ M/seg.} \end{aligned}$$

El tiempo en que el sonido directo llegará al espectador será:

$$t \text{ directo} = \frac{14.23}{340} = 0.04185 \text{ seg} = 42 \text{ m.s.c.*}$$

(*) m.s.c. = Milisegundos

t directo = 42 m.s.c. (ver intensidad del sonido directo, III.7.4)

Consideraremos las 5 primeras reflexiones que llegan a la persona en el centro de platea.

- a) La primera proveniente del cielo falso (entre ejes C y P) recorre un total de 20.95 mts. Tendremos por lo tanto utilizando como en el caso del sonido directo la fórmula $e = v \times t$ donde e = espacio recorrido v = velocidad del sonido t = tiempo en que se recorre e . Sustituyendo los valores para el primer caso tenemos:

$$t_{R1} = \frac{20.95}{340} = 0.0616 \text{ seg} = 62 \text{ m.s.c.}$$

$$t_1 = 62 - 42 \text{ (tiempo de llegada del sonido directo)}$$

$$t_1 = 20 \text{ m.s.c.}$$

Como se observa el t_1 entre 20 y 25 m.s.c. es conveniente para nuestro local; el hecho de que sea 20 m.s.c. hará que especialmente la música se escuche bien, ya que se ha comprobado en los grandes auditorios de música que cuando el t_1 es menor que 25 m.s.c., se llena totalmente la sensación de "intimidad acústica" propia de una audición excelente.

En los mejores auditorios de música del mundo, el t es siempre menor a 25 m.s.c. Este aspecto es - importantísimo ya que en los locales que tienen problemas de acústica, el primer aspecto a considerar es la reducción del t_1 para que su corrección acústica sea adecuada.

En las 4 mejores salas de ópera del mundo el t_1 no pasa de 19 m.s.c., en nuestro caso con 20 m.s.c. aseguramos buena audición para música y claridad en la palabra hablada no importando la velocidad del conferenciante.

Hay una 2a. reflexión con un recorrido de 21.4 M. pero que no la consideramos como t_2 ya que el t producido es de 21 m.s.c. que es semejante al t_1 encontrado.

Al examinar las reflexiones que llegan después al oyente averiguaremos la textura de nuestro local para una persona en el centro de platea.

- b) La segunda reflexión para considerar el t_2 nos llega del muro de la plataforma (atrás de la fuente de sonido), tendremos:

$$e = 22.38 \text{ M.}$$

$$T_{R2} = \frac{22.38}{340} = 0.0658 \text{ seg.} = 66 \text{ m.s.c.}$$

$$t_2 = 66 - 42 \text{ (sonido directo)}$$

$$t_2 = 24 \text{ m.s.c.}$$

- c) La tercera reflexión llega del muro lateral del medio de la sala (muro con acabado de madera en -- planos inclinados, entre ejes D y E).

$$e = 24.05 \text{ M.}$$

$$t_{R3} = \frac{24.05}{340} = 0.070 \text{ seg.} = 71 \text{ m.s.c.}$$

$$t_3 = 71 - 42 \text{ (sonido directo)}$$

$$t_3 = 29 \text{ m.s.c.}$$

- d) La cuarta reflexión nos llega del tercio medio del cielo falso, en la curva convexa de la primera depresión del cielo, entre los ejes F y G. Esta nos regresa sonido sobre el centro de platea.

$$e = 27.8 \text{ M.}$$

$$t_{R4} = \frac{27.8}{340} = 0.081762 \quad 82 \text{ m.s.c.}$$

$$t_4 = 82 - 42 \text{ (sonido directo)}$$

$$t_4 = 40 \text{ m.s.c.}$$

e) La quinta reflexión nos llega de los salientes de las ventanas (6a. ventana de la plataforma hacia atrás), tendremos:

$$e = 29.45 \text{ M.}$$

$$t_{R5} = \frac{29.45}{340} = 0.0866 \text{ seg.} = 87 \text{ m.s.c.}$$

$$t_5 = 87 - 42 \text{ (sonido directo)}$$

$$t_5 = 45 \text{ m.s.c.}$$

Con estas 5 reflexiones estamos en posibilidades de elaborar el diagrama de la textura de nuestro local.

RESUMEN:

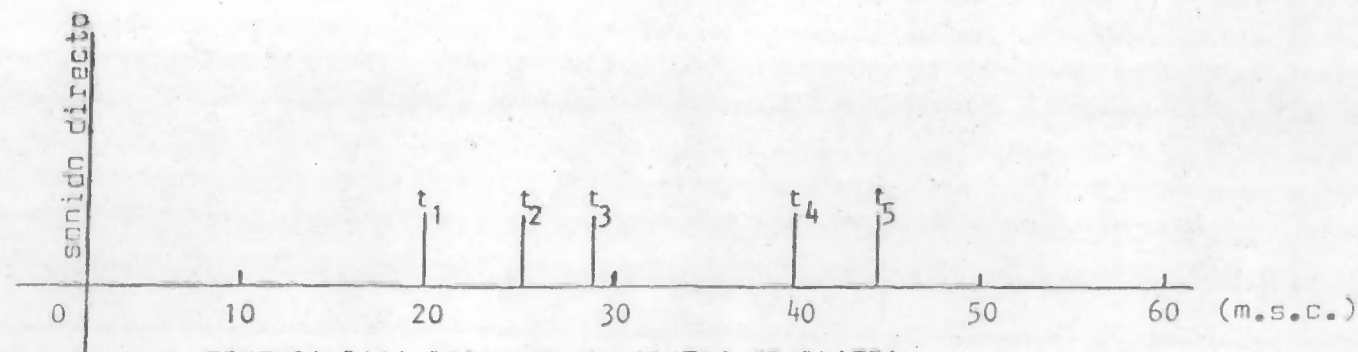
$$t_1 = 20 \text{ m.s.c.}$$

$$t_2 = 24 \text{ "}$$

$$t_3 = 29 \text{ m.s.c.}$$

$$t_4 = 40 \text{ "}$$

$$t_5 = 45 \text{ "}$$



TEXTURA PARA POSICION EN CENTRO DE PLATEA
DIAGRAMA D. III. 3

Se considera óptimo para salas de ópera y auditoriums de música, tener 5 reflexiones en los primeros 60 m.s.c., en nuestro caso por las dimensiones del local y especialmente por estar el cielo falso a una altura pequeña, relativamente a otros auditorios grandes, hemos logrado las 5 reflexiones deseadas en los primeros 45 m.s.c.

III.7.1.2 Balcón

Es necesario ahora averiguar lo que sucede con un espectador ubicado en el centro del balcón. Para ello tomaremos como antes las primeras 5 reflexiones que lleguen a él. Generalmente el valor de t_1 y de las otras reflexiones es más corto en todos los casos para balcón que para platea.

En primer lugar el sonido directo D para una persona en el centro del balcón recorre 24.20 M. teniendo un t_d como sigue:

$$e = 24.20 \text{ M.}$$

$$t_d = \frac{24.20}{340} = 0.0711 \text{ seg.} = 71 \text{ m.s.c.}$$

$$t_d = 71 \text{ m.s.c. (sonido directo)}$$

Para encontrar nuestro t_1 en balcón:

a) La primera reflexión que tenemos proviene de la primera curva convexa que está en el cielo falso sobre el balcón, entre ejes F y G, (Plano P.III.7)

$$e = 27.05 \text{ M.}$$

$$t_{R1} = \frac{27.05}{340} = 0.0796 \text{ seg.} = 80 \text{ m.s.c.}$$

$$t_1 = 80 - 71 \text{ (sonido directo)}$$

$$t_1 = 9 \text{ m.s.c.}$$

Como se observa el t_1 en el balcón es demasiado corto; se encuentra dentro de los primeros 20 m.s.c. lo cual se considera conveniente para música. La palabra hablada en éste caso será más clara ya que -

para ella el t_1 puede ser más largo.

Hay una segunda reflexión que llega de la 2a. curva sobre el balcón, entre ejes F - G, (Plano -- P.III.7).

$$t_{R2} = \frac{27.40}{340} = 0.0806 \text{ seg.} = 81 \text{ m.s.c.}$$

$$t_2 = 81 - 71 = 10 \text{ m.s.c. semejante a } t_1$$

Por ser una diferencia tan pequeña lo despreciamos y tomaremos la 3a. reflexión como t_2 .

b) La tercera reflexión nos llega del medio del cielo falso, tendremos:

$$e = 28.55 \text{ M.}$$

$$t_{R3} = \frac{28.55}{340} = 0.0897 = 84 \text{ m.s.c.}$$

$$t_2 = 84 - 71 = 13 \text{ m.s.c.}$$

$$t_2 = 13 \text{ m.s.c.}$$

c) La cuarta reflexión nos llega de la tercera curva del cielo falso sobre el balcón (ejes H - G), - Plano P.III.7.

$$e = 29.80 \text{ M.}$$

$$t_{R4} = \frac{29.8}{340} = 0.876 = 88 \text{ m.s.c.}$$

$$t_3 = 88 - 71 = 17 \text{ m.s.c.}$$

$$t_3 = 17 \text{ m.s.c.}$$

d) La 5a. 6a. y 7a. reflexiones producen un t similar como veremos (provenientes de los muros laterales).

$$t_{R5} = 31.95 = 0.09397 \text{ Seg.} = 94 \text{ m.s.c.}$$

$$t_{4.1} = 94 - 71 = 23 \text{ m.s.c. (muro atrás de la fuente, en la plataforma)}$$

$$t_{R6} = \frac{32.45}{340} = 0.0954 \text{ Seg.} = 95 \text{ m.s.c.}$$

$$t_{4.2} = 95 - 71 = 24 \text{ m.s.c. (muro al lado de la plataforma continuo al anterior)}$$

$$t_{R7} = \frac{32.77}{340} = 0.09638 \text{ Seg.} = 96 \text{ m.s.c.}$$

$$t_{4.3} = 96 - 71 = 25 \text{ m.s.c.}$$

$$t_{4.3} = 25 \text{ m.s.c. (del muro lateral recto entre ejes E y F, Plano P.III.8)}$$

Tomaremos en este caso $t_{4.3}$ como el t_4 para formar nuestro diagrama de textura, tendremos:

$$t_4 = 25 \text{ m.s.c.}$$

e) La octava reflexión nos llega del muro anteposterior entre los ejes H - I, (Plano P. III.9).

$$t_{R8} = \frac{36.85}{340} = 0.10838 \text{ Seg.} = 108 \text{ m.s.c.}$$

$$t_5 = 108 - 71 = 37 \text{ m.s.c.}$$

$$t_5 = 37 \text{ m.s.c.}$$

Estamos ahora en posibilidades de elaborar nuestro diagrama de textura para una persona sentada en el centro del balcón a 24.20 M. de la fuente emisora.

RESUMEN:

$$t_1 = 9. \text{ m.s.c. } (t'_1 = 10 \text{ m.s.c.})$$

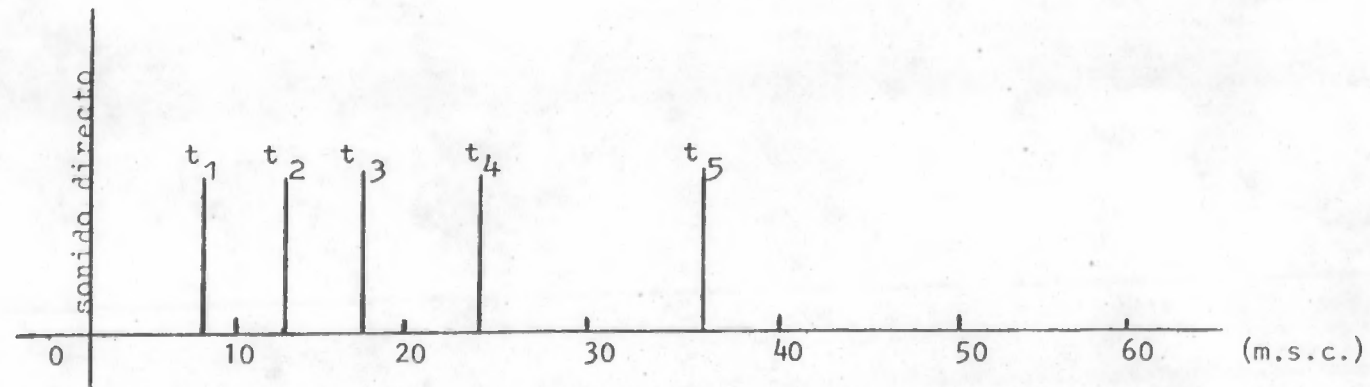
$$t_2 = 13 \text{ ''}$$

$$t_3 = 17 \text{ m.s.c.}$$

$$t_4 = 25 \text{ m.s.c. } (t'_4 = 23 \text{ m.s.c.}; t''_4 = 24 \text{ m.s.c.})$$

$$t_5 = 37 \text{ ''}$$

DIAGRAMA D. III.4
TEXTURA PARA POSICION EN CENTRO DE BALCON



Del diagrama de textura podemos ver que tendremos 3 reflexiones en los primeros 20 m.s.c. esto debido, como dijimos ya, a la poca altura del cielo falso de la sala y en los primeros 40 m.s.c. tendremos 8 reflexiones, 5 de las cuales tomamos sucesivamente como $t_1 - t_5$. Lo anterior muestra claramente que en el balcón la audición es más rica que en el centro de platea. Los sonidos emitidos en la plataforma serán bien percibidos aunque estos sean rápidos (especialmente producidos por instrumentos musicales). Se llena de esta forma la intimidad de nuestra sala.

Necesitamos consecuentemente, conocer el T para cada una de las frecuencias enumeradas, debiendo como primer paso, conocer los coeficientes de absorción del público y el área de coro y plataforma para estas frecuencias.

El área tributaria de los mismos es constante:

$$6155 + 592 = 6747 \text{ pié}^2$$

Según el Cuadro C.III.1 los coeficientes de absorción para el público y coro, en sala llena, son:

Frecuencia en c.p.s.	67	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Coefficiente de absorción	0.34	0.52	0.68	0.85	0.97	0.93	0.85	0.80

Como lo hicimos anteriormente (cálculo de absorción total para frecuencias medias, III.5.2) reduciremos estos coeficientes en un 27% por las razones ya expuestas; o sea que solo utilizaremos un 73% de estos valores:

CUADRO C.III.5

FRECUENCIAS (C.P.S.)	COEFICIENTE X FACTOR DE REDUCCION	COEFICIENTE DEFINITIVO
67	0.34 x 0.73	0.25
125	0.52 x 0.73	0.38
250	0.68 x 0.73	0.50
500	0.85 x 0.73	0.62
1000	0.97 x 0.73	0.71
2000	0.93 x 0.73	0.68
4000	0.85 x 0.73	0.62
6000	0.80 x 0.73	0.58

Estamos ahora en posibilidades de calcular la absorción de las áreas mencionadas (público + coro) para las diferentes frecuencias, y posteriormente saber la absorción total (público + materiales), para luego calcular el T en cada una de estas frecuencias.

CUADRO C.III.6

FRECUENCIA (C.P.S.)	$St \times \infty$	ABSORCION PUBLICO + CORO (SABINES)
125	6747 x 0.38	2564
250	6747 x 0.50	3374
500	6747 x 0.62	4183
1000	6747 x 0.71	4790
2000	6747 x 0.68	4588
4000	6747 x 0.62	4183

El paso siguiente es calcular la absorción de los materiales para cada frecuencia, utilizando --
 áreas tributarias de los diferentes materiales, enunciadas en el Cuadro C.III.4.

CUADRO C.III.7

ABSORCION DE MATERIALES PARA LAS DIFERENTES FRECUENCIAS

ELEMENTO	AREA pie ²	125		COEF. 250		COEF. 1000		COEF. 2000		COEF. 4000	
		c.p.s.	ABS.	c.p.s.	ABS.	c.p.s.	ABS.	c.p.s.	ABS.	c.p.s.	ABS.
Piso											
Granito de Mármol	6426	0.01	64	0.01	64	0.01	64	0.02	129	0.02	129
Alfombra	1485	0.20	297	0.30	446	0.50	743	0.60	891	0.40	594
Muros Laterales											
Madera	3508	0.28	982	0.22	772	0.09	316	0.10	351	0.11	386
Blanqueado	2303	0.03	69	0.03	69	0.03	69	0.04	92	0.04	92
Muro Anterior											
Madera	310	0.28	87	0.22	68	0.09	28	0.10	31	0.11	34
Muro Posterior											
Madera	839	0.28	235	0.22	185	0.09	76	0.10	84	0.11	92
Salientes Ventana											
Blanqueado	791	0.02	16	0.03	24	0.03	24	0.04	32	0.04	32
Alfombra	113	0.20	23	0.30	34	0.50	57	0.60	68	0.40	45
Ventanas											
Vidrio	167	0.02	3	0.02	3	0.03	5	0.04	7	0.04	7
Abertura	5	1.0	5	1.00	5	1.00	5	1.00	5	1.00	5
Puertas											
Terciopelo											
Sobre Madera	289	0.05	14	0.21	61	0.5	145	0.47	136	0.40	116
Cielo Falso											
Playwood Barniz	8622	0.03	260	0.03	260	0.05	433	0.07	606	0.08	693
Total Abs. (Sabines)			2055		1991		1965		2432		2225

Podemos ahora calcular la absorción total para cada frecuencia, es decir, abs. público y coro + abs. materiales. Tendremos entonces:

CUADRO C.III.

FRECUENCIA (C.P.S.)	ABSORCION PUBLICO CORO + ABS. MAT.	ABSORCION TOTAL
125	2564 + 2055	4619
250	3374 + 1991	5365
1000	4790 + 1965	6755
2000	4588 + 2432	7020
4000	4183 + 2225	6408

Calcularemos ahora el T para cada una de las frecuencias con la fórmula de Sabine ya usada.

$$T = \frac{0.049 V}{S} \quad \text{En este caso } 0.049 V \text{ será constante e igual a: } 0.049 \times 190,971$$

$$T = \frac{9358}{St}$$

T para frecuencias Bajas

$$T_{125} = \frac{9358}{4619} = 2.03 \text{ seg. } > 1.4 \text{ (T medio)}$$

$$T_{250} = \frac{9358}{5365} = 1.74 \text{ seg. } > 1.4 \text{ (T medio)}$$

T PARA FRECUENCIAS MEDIAS

$$T_{500-1000} = \frac{9358}{6682} = 1.4 \text{ seg. (T medio base)}$$

$$T_{1000} = \frac{9358}{6755} = 1.39 \text{ seg.} < 1.4 \text{ (T medio)}$$

T PARA FRECUENCIAS ALTAS

$$T_{2000} = \frac{9358}{7631} = 1.23 \text{ seg.} < 1.4 \text{ (T medio)}$$

$$T_{4000} = \frac{9358}{8165} = 1.15 \text{ seg.} < 1.4 \text{ (T medio)}$$

Podemos calcular con estos datos el radio de bajos para determinar si la reverberación de los mismos es adecuada.

$$R_t \text{ (Radio de bajos)} = \frac{T (125) + (250)}{2 T (500-1000)}$$

$$T_t = \frac{2.03 + 1.74}{2 \times 1.4} = 1.34$$

Del análisis anterior observamos que nuestro R_t está por encima del valor óptimo de $R_t=1.21$ pero no traspasa los límites permisibles entre 1.15 y 1.35 para considerar que una sala tiene buenos bajos.

En el estudio del Ing. Recinos sobre el Teatro Nacional, se mencionan 4 auditorios con bajos buenos, siendo estos solo superados por 5 más que se consideran excelentes.

CUADRO C.III.9

AUDITORIOS CON BAJOS EXCELENTES	T ₁₂₅ (C.P.S.)	T ₂₅₀ (C.P.S.)
TON HALLE (ZURICH)	2.1 seg.	1.8 seg.
SYMPHONIC HALL (BOSTON)	2.2 seg.	2.0 seg.
LENOX (TANGLEWOOD)	2.6 seg.	2.5 seg.
STADAT CASINO (BASILEA)	2.2 seg.	2.0 seg.
BINYANEI (JERUSALEM)	2.2 seg.	2.0 seg.
AUDITORIOS CON BAJOS BUENOS		
GROSSER (VIENA)	2.4 seg.	2.2 seg.
CARNEGIE HALL (N. YORK)	1.8 seg.	1.8 seg.
A. DE MUSICA (FILADELFIA)	1.4 seg.	1.7 seg.
SALLE MUSICA (SUIZA)	1.6 seg.	1.7 seg.

Observando el cuadro anterior vemos que nuestros T para 125 (c.p.s.) = 2.03 y T para 250 (c.p.s.) = 1.74, están dentro de lo que se puede considerar bajos buenos.

Esto garantiza a nuestra sala una "riqueza sonora"; aspecto importante si observamos la gama de -
povoces e instrumentos que se favorecen al tener una buena reverberancia de bajos.

VOZ HUMANA	VARIACION DE FRECUENCIAS (c.p.s.)
Bajo	87 - 349
Barítono	98 - 392
Tenor	130 - 493
Alto	174 - 698
Soprano	246 - 1174
INSTRUMENTOS	
Piano	27 - 4186
Contrabajo	41 - 246
Cuello	65 - 689
Trombón	82 - 493
Corno Francés	110 - 880
Viola	130 - 1174
Trompeta	164 - 987
Clarinete	164 - 1568
Violín	196 - 3136
Flauta	261 - 2349

Concluimos con que la reverberación de bajos en nuestro local es buena. Si al realizarse el proyecto se comprobara que los bajos reverberan más de lo necesario existen varios métodos para corregirlos entre los cuales el más usual es el de los razonadores Helmholtz usados desde la antigüedad en las catedrales y que tienen fórmulas que rigen su diseño y son especiales para controlar la reverberación excesiva de bajos. Naturalmente un recurso como éste se usará sólo después de larga comprobación de la obra terminada, ya que podría tener efectos negativos de no ser bien aplicado este recurso.

En el caso de las frecuencias altas, mejor dicho a partir de 1000 c.p.s. la fórmula de Sabine tiene que usarse completa:

$$T = \frac{0.049 V}{S \alpha + 4m v}$$

En cálculos anteriores se utilizó esta fórmula simplificada ya que "m" para frecuencias menores a 1000 c.p.s. es igual a "0" (III.1.3)

El término 4 m v implica la absorción del aire en la sala y el coeficiente "m" depende de la humedad del mismo. En nuestro caso no usaremos aire acondicionado lo cual implica que tendremos una humedad variable, dependiendo de la asistencia a la sala. Para fines de cálculo podríamos adoptar una humedad promedio de 50% para la cual conocemos el valor de "m" para 2000 y 4000 c.p.s. y son los siguientes:

$$\begin{aligned} m \text{ para } 2000 \text{ c.p.s.} &= 0.0008 \\ m \text{ para } 4000 \text{ c.p.s.} &= 0.0023 \end{aligned}$$

"m" afecta entonces el T después de 1000 c.p.s.

Nuestro volumen definitivo es: $V = 190,971 \text{ pie}^3$ (III.3) La absorción del aire en este caso la calcularemos así:

$$\begin{aligned} (2000 \text{ c.p.s.}) \quad 4 m v &= 4 \times 0.0008 \times 190,971 = 611 \text{ Sabines} \\ (4000 \text{ c.p.s.}) \quad 4 m v &= 4 \times 0.0023 \times 190,971 = 1757 \text{ Sabines} \end{aligned}$$

La absorción total para estas frecuencias será:

$$\begin{aligned} (2000 \text{ c.p.s.}) &= 7020 + 611 = 7631 \text{ Sabines} \\ (4000 \text{ c.p.s.}) &= 6408 + 1757 = 8165 \text{ Sabines} \end{aligned}$$

III.7.2.1 Radio de Bajos para $T = 1.0$ Seg.

Como se dijo en III.6.1 la reverberación de las frecuencias bajas y altas son afectadas al cambiar el T para frecuencias medias ya que esto aumenta la absorción de materiales. Principiaremos el análisis - elaborando un nuevo cuadro de absorción para las diferentes frecuencias, el cual denominaremos C.III.7.1

Con este cuadro podemos calcular nuestros diferentes T para las distintas frecuencias analizadas. Previo a esto será necesario agregar a las frecuencias altas el valor de 4 m v (absorción del aire), como se vio en el inciso anterior (III.7.2). Según ese inciso, el valor de 4 m v para los altos es:

2000 c.p.s. (4 mv) = 611 Sabines
 4000 c.p.s. (4 mv) = 1757 Sabines

La absorción total para estas frecuencias serán (tomando los resultados del nuevo cuadro):

(2000 c.p.s.) = 5833 + 611 = 6441
 (4000 c.p.s.) = 4971 + 1757 = 6729

El valor de la absorción para las otras frecuencias será la suma de absorción de materiales obtenida, más la absorción del público la cual se obtuvo en el cuadro C.III.6

CUADRO C.III.8.1

FRECUENCIA (c.p.s.)	ABS. PUBLICO Y CORO + Abs. Materiales	ABS. TOTAL
125	2564 + 3394	5958
250	3374 + 4075	7449
1000	4790 + 5439	10229
2000	4790 + 6441	11032
4000	4183 + 6729	10912

Con estos valores veremos nuestro radio de bajos.

T para frecuencias bajas

$$T_{125} = \frac{9358}{5958} = 1.57 \text{ seg. } 1.0 \text{ seg. (T medio)}$$

$$T_{250} = \frac{9358}{7449} = 1.26 \text{ seg. } 1.0 \text{ seg. (T medio)}$$

T para frecuencias medias

$$T_{500-1000} = \frac{9358}{9377} = 0.9979 \text{ semejante a } 1.0 \text{ seg. (T base)}$$

$$T_{1000} = \frac{9358}{10229} = 0.92 \quad " \quad 1.0 \text{ seg. (T medio)}$$

T para frecuencias altas

$$T_{2000} = \frac{9358}{11032} = 0.85 \quad 1.0 \text{ seg. (T medio)}$$

$$T_{4000} = \frac{9358}{10912} = 0.86 \quad 1.0 \text{ seg (T medio)}$$

Nuestro radio de bajos será:

$$R_t \text{ definitivo} = \frac{T(125) + T(250)}{2T(500-1000)}$$

$$R_t \text{ definitivo} = \frac{1.57 + 1.26}{2 \times 1}$$

$$R_t \text{ definitivo} = 1.42$$

Este valor es mayor al límite máximo de un buen radio (entre 1.15 y 1.35) lo cual significa que los bajos reverberarán más de lo necesario. Se usará la sugerencia del inciso anterior en cuanto a este aspecto. (Uso de resonadores Helmholtz).

CUADRO C.III.7.1

ELEMENTO	ABSORCION DE MATERIALES PARA LAS DIFERENTES FRECUENCIAS										
	AREA pie ²	COEF. 125		COEF. 250		COEF. 1000		COEF. 2000		COEF. 4000	
		c.p.s.	ABS.	c.p.s.	ABS.	c.p.s.	ABS.	c.p.s.	ABS.	c.p.s.	ABS.
Piso											
Granito de Mármol	5123	0.01	51	0.01	53	0.01	53	0.02	102	0.02	102
Alfombra	2788	0.2	358	0.3	836	0.5	1394	0.6	1673	0.4	1115
Muros Laterales											
Madera	3508	0.28	982	0.22	772	0.09	316	0.10	351	0.11	386
Blanqueado	2303	0.03	69	0.03	69	0.03	69	0.04	92	0.04	92
Muro Anterior											
Madera	310	0.28	87	0.22	68	0.09	28	0.1	31	0.11	34
Muro Posterior											
Madera	839	0.28	235	0.22	185	0.09	76	0.1	84	0.11	92
Salientes Ventana											
Blanqueado	668	0.02	13	0.03	20	0.03	20	0.04	27	0.04	27
Alfombra	236	0.20	47	0.30	71	0.50	118	0.60	142	0.40	94
Ventanas											
Vidrio	167	0.02	3	0.02	3	0.03	5	0.04	7	0.04	7
Abertura	5	1.0	5	1.0	5	1.0	5	1.0	5	1.0	5
Puertas											
Terciopelo Sobre Madera	289	0.05	14	0.21	61	0.5	145	0.47	136	0.4	116
Cielo Falso											
Playwood Barn.	5316	0.03	159	0.03	159	0.05	266	0.07	372	0.08	425
Aguilit*	3346	0.35	1171	0.53	1773	0.88	2944	0.84	2811	0.74	2476
Total Abs. (Sabines)			3394		4075		5439		5833		4971

* Coeficientes aproximados para frecuencias bajas y altas; se toman en base a coeficientes para medias = 0.7

III.7.3 Intensidad del sonido reverberante

Esta constante hace referencia a la intensidad total de un local como resultado de la relación entre el volumen, la reverberación y la energía del sonido. La intensidad del sonido directo contribuye también. Para calcularla utilizaremos la ecuación de Cremer:

$$L = \frac{T}{V} 10^6 \quad \text{donde despreciamos la energía } N$$

$$(L = T.N. 10^6)$$

de dicha ecuación: $\frac{T}{V}$. Esta nos sirve como parámetro de la intensidad reverberante de los diferentes locales o auditorios al compararse entre ellos. Como es natural no contamos con datos sobre la intensidad del sonido reverberante en casos como el nuestro (templo evangélico) ya que la mayoría no se diseñan en base a todas las leyes de acústica; es por eso que buscaremos compararla con locales pequeños con un T similar al nuestro y con capacidad también similar. Algunos locales son:

	T (Medio)	No. Personas	t ₁	L	V
El Stadat Casino Basilea, Suiza	1.7	1400	15:7	4.60	10500M ³
Bethoven Halle Bonn, Alemania	1.7	1402	27:14	3.05	15700M ³

El óptimo de este valor en los mejores auditorios del mundo es 3.0 y tiene una variación permisible entre 2.35 (Teatro Colón, Argentina) y 4.6 (Basilea, Suiza). Con esta base calcularemos L para las diferentes frecuencias. Nuestra fórmula es $L=T/V 10^6$. Donde: T = Período de reverberación de cada frecuencia; V = Volumen de la sala (constante).

$$L_{125} = \frac{2.03 \times 10^6}{190,971} = 10.63$$

$$L_{250} = \frac{1.74 \times 10^6}{190,971} = 9.11$$

$$L_{\text{medio}} = \frac{1.4 \times 10^6}{190,971} = 7.33$$

$$L_{1000} = \frac{1.39 \times 10^6}{190,971} = 7.28$$

$$L_{2000} = \frac{1.23 \times 10^6}{190,971} = 6.44$$

$$L_{4000} = \frac{1.15 \times 10^6}{190,971} = 6.02$$

Como se observa el valor L es en nuestro caso mucho más alto que en los auditorios grandes debido especialmente al volumen menor que la de estos auditorios, lo cual significa que la intensidad del sonido reverberante será alta; con valor de 7.33 para frecuencias medias. Será hasta construídas la obra que podrán comprobarse los efectos de dicho factor que tiene que ver directamente con el volumen de la sala. La corrección en este caso consistiría en aumentar el volumen de la sala y para hacerlo lo más conveniente sería aumentar la altura del cielo falso. Nuestro "T" medio se procuraría mantener constante, la absorción del público sería la misma, pero la absorción de materiales aumentaría lógicamente bastante al aumentar la altura. Como dijimos en III.2 nos conviene la altura que tenemos por razones psicológicas de la actividad a desarrollarse en la sala. Además, el aumentar el volumen afectaría otros condicionantes ya resueltos y de mayor importancia.

III.7.3.1 Intensidad del sonido reverberante para T definitivo = 1.0 SEG.

Esta constante se verá afectada también como dijimos en III.6.1 por el cambio del T medio y el consecuente aumento de la absorción.

Como vimos la fórmula que se utiliza es:

$$L = \frac{T}{V} 10^6$$

Calcularemos con nuestros valores de L para las diferentes frecuencias, tomando en cuenta el T encontrado para cada una de ellas.

Vale la pena recordar que el valor óptimo para L en las frecuencias, tomando en cuenta el T encontrado para cada una de ellas.

Vale la pena recordar que el valor óptimo para L en las frecuencias medias es 3.0 y el permisible

entre 2.35 y 4.6 para las otras frecuencias.

$$L_{125} = \frac{1.57 \times 10^6}{190,971} = 8.22$$

$$L_{250} = \frac{1.26 \times 10^6}{190,971} = 6.59$$

$$L_{\text{Medio}} = \frac{1.0 \times 10^6}{190,971} = 5.24$$

$$L_{1000} = \frac{0.92 \times 10^6}{190,971} = 4.82$$

$$L_{2000} = \frac{0.85 \times 10^6}{190,971} = 4.45$$

$$L_{4000} = \frac{0.86 \times 10^6}{190,971} = 4.50$$

Observamos que hemos logrado una mejoría en esta constante y que por lo menos 2 frecuencias (2000 y 4000) tendrán una intensidad reverberante dentro de lo permisible. Como se dijo en III.7.3 sería sólo - aumentando el volumen que lograríamos enmarcar este valor dentro de lo permisible.

III.7.4 Intensidad del sonido directo

Según III.7.1.1 el t directo para centro de platea es 42 m.s.c. y para centro de balcón es 71 m.s. c. Hay 3 aspectos que condicionan la solución conveniente de esta constante, los cuales analizaremos a continuación:

- 1) Distancia entre foco sonoro y el oyente.
- 2) Naturaleza de los materiales y su posición cerca de la fuente sonora.
- 3) Presencia de obstáculos entre oyente y fuente sonora.

III.7.4.1 Distancia entre el foco sonora y el oyente

Sir Christopher Wren (especialista en Iglesias) a adoptado el principio de que las voces de potencia moderada y pronunciación clara pueden ser recibidas correctamente a distancia que no sobrepase los 15 M. Si el orador está enfrente y a los 9 M. Si se tiene a los costados.

Dice además, que los reflectores bien concebidos pueden aumentar la intensidad del sonido en 3 db.

El considera que difícilmente se pueden contener más de 1000 personas en una sala de conferencias. En cuanto a esto, estamos practicamente en el límite ya que nuestro cupo es de 1004 personas sin tomar en cuenta al coro.

En nuestro caso la distancia de la fuente sonora a la última fila del balcón es 27.80 M. (la fuente sonora se ubica suponiendo una persona hablando en el púlpito de la plataforma) lo cual sobrepasa en 12.8 M. la especificación de Sir C. Wren.

Hay otros estudios que consideran una mayor distancia para oír bien la oración, o sea el sonido directo. El sr. Harold Sleeper en su libro "Planeamiento de Edificios y Modelos de Diseño" (Standares de Diseño) considera una distancia de 22.90 M. para oír bien la oración sin amplificación de sonido, conclusión a la cual llega en base a varios códigos sobre construcción de templos en New York. En este caso la diferencia a la última fila sería $27.80 - 22.90 = 4.90$ M. con lo cual se reduce la cantidad de personas que oírán deficiente el sonido directo, sin embargo como se dijo en III.7.1.2 es en el balcón donde se escucha mejor a causa de que el t_1 es menor para un oyente en esta posición.

En relación a los mejores auditorios de música y ópera la distancia promedio de la fuente sonora a la última fila es de 36.40 M. para auditorios y de 34.75 para ópera. El caso que más nos ayuda analizarlo es el de "Stadt Casino", Basilea, Suiza, con capacidad de 1400 personas y con distancia a la última fila de 28.00 metros. Este está entre los 7 mejores auditorios del mundo. Tomando como parámetro de referencia nuestro local tiene 27.80 M. con lo cual estamos todavía abajo de 28.00 M. Podemos suponer que para audición musical de cualquier tipo, el sonido directo será suficiente en la última fila.

En cuanto a la palabra hablada hemos visto que la distancia es un poco larga. Si tomamos una voz moderada con un nivel sonoro aproximado de 60 db. (un grito está entre 70 a 80 db., una conversación común en un restaurant está en 50 db.), además, considerando que el sonido disminuye de intensidad 6 db. cada vez que la distancia de la fuente se duplica (este en el aire sin obstáculo alguno) diríamos que tomando en cuenta el principio del sr. C. Wren, más conservador, sobre la audición directa a una distancia de 15 M., la voz moderada se oíría bien, suponemos, bajo este principio que a distancia de 30 M. la inten

sidad de la voz ha disminuido 6 db. pero como hemos dicho los reflectores bien concebidos ayudan a aumentar la intensidad del sonido en 3 db. con lo cual el sonido disminuiría sólo 3 db. o un poco menos en la última fila de nuestro local que está como vimos a 27.80 M.

La experiencia a demostrado que se ha hecho necesario el uso de amplificadores de sonido para la palabra hablada. No será sino hasta construida la obra que podremos comprobar si se hace necesario. Será recomendable sí, dejar prevista toda la instalación para equipo de sonido y sus accesorios y así evitar agregados a la obra terminada.

III.7.4.2 Naturaleza de los materiales y su posición cerca de la fuente sonora

Como se vio anteriormente (III.5.3 "Absorción total de los materiales") los materiales a usarse sobre la plataforma y a los lados serán suficientemente rígidos (madera y playwood de 3/4" mínimos) con lo cual aseguramos un refuerzo a la audición directa. El piso contribuye además a reforzar el sonido directo, en nuestro caso el piso es de baldosas, de granito de mármol pulidas; lo cual también es altamente reflexivo.

La posición de las paredes que están a los costados de la plataforma están dirigidas de tal forma que reflejen sonido uniformemente desde la parte de adelante de platea hasta las filas de atrás del balcón, lo mismo podemos decir del cielo falso que funciona también como reflector de sonidos. (Ver planos - P.III.1, P.III.3, P.III.7 y P.III.6).

Según C. Wren los reflectores bien concebidos pueden aumentar el nivel sonoro hasta en 3 db., diríamos entonces que una voz con potencia de 60 db. aumentaría a 63 db. Por consiguiente se oirá bien a mayor distancia de la que se oiría sin la presencia de reflectores de sonido. Debe tenerse cuidado de no sobrediseñar los reflectores con lo cual se produciría la sensación de estruendo, especialmente para música; esto más acentuado en locales de volumen pequeño como el nuestro.

III.7.4.3 Presencia de obstáculos entre el oyente y la fuente sonora

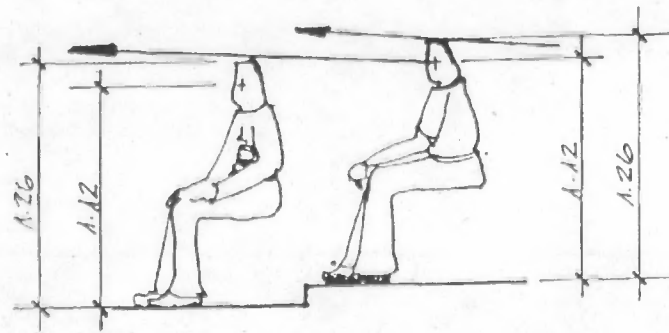
Este renglón se refiere más que nada a la obstaculización que podría producirse entre el oyente y la o las cabezas de los otros oyentes enfrente a él. Hay un principio reconocido que reza así: "Buena visibilidad es buena audición", refiriéndose al sonido directo en auditorios de música; lo cual tiene aplicación también para nuestro local.

Es necesario establecer Isópticas (líneas de igual visibilidad) que en nuestro caso resultan en tener que dar una pendiente tal al piso que no exista obstáculo visual, y por consiguiente auditivo, entre

la fuente y el oyente. Resulta más oneroso económicamente el desarrollar éste tipo de pisos. Es común en las Iglesias el piso plano o con una pendiente mínima de 1.5%. Por lo general se acostumbra a elevar la plataforma para evitar la obstaculización, en nuestro caso la plataforma estará elevada sobre el piso inferior de la platea 68 cm. y el piso tendrá una pendiente variable.

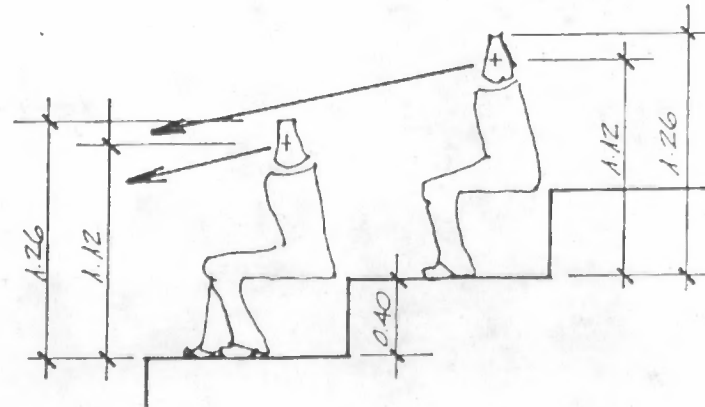
En auditorios de música ésta pendiente es mayor. Si tomamos en cuenta que en ellos no se usa púlpito, diríamos que al oyente le interesa ver completo al que habla. En el caso de las Iglesias se usa generalmente el púlpito y prácticamente interesa ver la mitad superior del que habla, razón por la cual nuestras isópticas en platea exigirán menos pendiente en el piso. Existen varios métodos para diseñar las gradas de platea pero por lo general son para teatros de espectáculos y para cines en los cuales interesa, como se dijo, ver desde abajo de la pantalla. Tendremos que buscar una forma empírica basándonos en las siguientes medidas antropométricas de una persona sentada.

ISOPTICAS DE PLATEA
DIAGRAMA D.III.5.

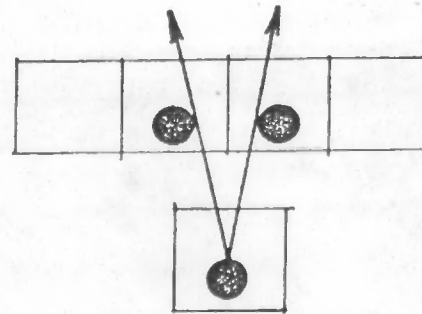


Con estas medidas y ubicando el punto inferior que deseamos visualizar a 1.50 M. del piso de la plataforma podremos encontrar la pendiente necesaria de nuestro piso para la platea, la cual será variable y aumentará a medida que nos alejemos del foco sonoro (ver plano P.III.3) En el balcón hemos adoptado una altura de gradas de 0.40 cm. lo cual es suficiente para evitar la obstaculización tomando en cuenta que la elevación del mismo no es mucha.

ISOPTICAS DE BALCON
DIAGRAMA D.III.6



En platea tenemos la ventaja que las filas laterales de bancas están corridas hacia adelante por uno de sus lados y su ubicación permite tener las cabezas de los oyentes a tresbolillo como se le llama a esta combinación; estos sectores acomodan 418 personas.



UBICACION A TRESBOLILLO
DIAGRAMA D.III.7

Con lo anterior los obstáculos visuales entre cabezas se evitan. Es en las filas centrales que de bemos fijar más nuestra atención, que allí no habrá corrimiento de asientos, sin embargo la pendiente permite ver sobre la cabeza del que esté adelante.

Satisfechas estas tres condiciones podremos contar con una buena intensidad del sonido directo, lo cual define la fuerza o debilidad del sonido (subjetivamente hablando).

III.7.5 Textura

La sexta constante a considerar hace referencia a la diferencia entre el primer sonido reflejado y el segundo, entre éste y el tercero y así sucesivamente, hasta que el sonido decae de 10 db. de intensidad.

Este aspecto quedó definido en la consideración de la 2a. ley o constante acústica (Ver III.7.1.1 y III.7.1.2, D. III.3 y D.III.4), en los cuales vimos que para la posición de centro de platea tenemos 5 reflexiones en los primeros 45 m.s.c. y para una posición en el centro de balcón tenemos 8 reflexiones en los primeros 40 m.s.c., aunque realmente se percibirán como 5 ya que la diferencia entre unos es menor - de 5 milisegundos que es la mínima diferencia que el oído humano detecta. La sensación de intimidad del local estará llena con esta textura.

Para el tipo de local que se está trabajando es suficiente estudiar las 6 leyes ya tratadas que -- son las básicas. Para auditorios de música y ópera hay otras 10 leyes que son necesarias satisfacer. Además, dos leyes más que podríamos llamar negativas si no se estudian cuidadosamente. De éstas trataremos a continuación. En total son 18 leyes que rigen el comportamiento acústico de los mejores auditorios del mundo.

III.7.6 Eco

Se puede definir, en un local cerrado, como un sonido reflejado cuyo recorrido es lo suficientemen te largo para producir una diferencia de tiempo respecto al sonido directo de entre 70 a 300 m.s.c., y de una intensidad que lo haga audible.

Según estudios especiales el eco es molesto en estos 3 casos:

- a) Si está dentro de 15 db. del nivel del sonido directo cuando el intervalo de tiempo es 100 m.s.c.
- b) Si está dentro de 20 db. del nivel del sonido directo cuando el intervalo de tiempo es 200 m.s.c.

c) Si está dentro de 30 db. del nivel del sonido directo cuando el intervalo de tiempo es 300 m.s.c.

Para nuestro caso tendremos 3 puntos que proteger para evitar eco en la sala.

III.7.6.1 La pared trasera de platea a 25.35 mts. de la fuente sonora. Un sonido cualquiera para regresar a la fuente, reflejado por esta pared recorrería 50.7 M. y tardaría.

$$t = \frac{e}{v} = \frac{50.7}{340} = 0.149 \text{ Seg.}$$

$$t = 149 \text{ m.s.c.}$$

Si es un sonido con un nivel sonoro alto produciría eco en el local.

III.7.6.2 El segundo caso: la pared de atrás del balcón, que está a 27.80 M. de la plataforma. Un sonido cualquiera para regresar a la fuente recorrería 55.6 M. y tardaría:

$$t = \frac{55.6}{340} = 0.163529 \text{ Seg.}$$

$$t = 164 \text{ m.s.c.}$$

Como anteriormente se dijo, dependiendo del nivel sonoro del sonido, podría producirse eco.

III.7.6.3 Hay otro punto que vale la pena examinar, este es: Las columnas sustentantes del voladizo del balcón, estas se encuentran a 22.95 M. Un sonido recorrería para regresar a la fuente 45.9 M. y tardaría:

$$t = \frac{45.9}{340} = 0.135 \text{ Seg.}$$

$$t = 135 \text{ m.s.c.}$$

Este podría ser eco si el nivel sonoro está dentro de los límites dados anteriormente.

Para estos 3 casos críticos de nuestra sala una solución posible sería hacer absorbentes estas áreas. El muro trasero de platea, el de atrás de balcones y las columnas en su cara que da hacia la plataforma, serían recubiertos con placas de fibra de vidrio perforadas o agulit (viruta de madera), sobre --

apoyos sólidos; ambos materiales con un coeficiente de absorción de 0.7. Esta solución sería una de las mejores, pero presenta el problema de que aumenta demasiado la absorción cambiando nuestro T para frecuencias medias y para las otras frecuencias.

Utilizando este material nuestro T medio sería 1.31 seg. lo cual es muy corto y evitaría que muchas actividades tuvieran una reverberación adecuada.

Debido a lo anterior se pensó utilizar madera (conacaste o cenicero barnizado) en planos quebrados como se enuncia en III.4.3 y se muestra en el Diagrama D.III.1.

Esta solución evita que las reflexiones lleguen o regresen a la plataforma dirigiendo el sonido reflejado al público de la parte posterior de platea y balcón. Este tratamiento se aplicaría a los 3 elementos mencionados, muro posterior de platea, balcón y a las columnas.

Además, todas las puertas de ambos muros se forrarán con terciopelo o cuero para evitar sean reflejantes (ver III.4.6). El coeficiente de absorción del terciopelo a usarse será $\alpha = 0.25$. De esta manera evitaremos los ecos en la sala.

Dos elementos más necesitarán un tratamiento especial: La parte de cenefa del balcón se inclina hacia la platea para que refleje sonido a las filas de atrás y evitar producir eco.

Las superficies de las salientes de ventanas que reflejan sonido hacia la plataforma se forrarán con alfombra de lana sobre fieltro con un coeficiente de absorción $\alpha = 0.4$ (ver cuadro C.III.3).

De esta manera queda evitado este problema en la sala.

III.7.7 La última constante a considerar es "El sonido exterior no debe llegar a la sala" y hace referencia especialmente al aislamiento acústico, para lo cual dedicaremos un capítulo especial, el cap. V.

Para recapitular podemos elaborar un cuadro con todas las características y resultados del análisis y diseño en base a estas constantes acústicas, de nuestro local y a manera de comparación apuntar los datos de 4 locales con características sobresalientes, 2 de los mejores auditorios de música del mundo y 2 de las mejores óperas.

CUADRO C.III.10

AUDITORIO	VOLUMEN (M ³)	No. De PERSONAS	T Med.	t ₁	R _T	L	S _a	S _m	Sa/Na
NUESTRO DISEÑO	5,413	1,004	1.4	20:9	1:34	7:33	6747	2228	0.57
<u>OTROS AUDIT. DE MUSICA</u>									
GEWANDHAUS LEIPZIG, ALEMANIA	10,600	1,560	1.55	8:6	1.00	--	9750	1150	0.59
"STADT CASINO" BASIELEA, SUIZA	10,500	1,400	1.7	16:6	1:24	4.60	8000	1150	0.53
<u>OTRAS OPERAS</u>									
ACADEMIA DE MUSICA* FILADELFIA, U.S.A.	15,080	2,836	1.35	19:10	1:11	--	15700	2401	0.51
OPERA DEL ESTADO DE VIENA, AUSTRIA	10,660	2,218	1.30	15:6	1:10	--	12850	1720	0.61

ABREVIATURAS
CUADRO C.III. 10.

t₁ = Intervalo de tiempo entre el sonido directo y el primer reflejado, para dos posiciones: Centro de platea y centro de balcón.
R_t = Radio de bajos L = Intensidad reverberante.
S_a = Area ocupada por el público más un metro alrededor del perímetro - de cada bloque de butacas (Para nuestro caso en 0.75, Diagrama -- D.III.2)

* Nota: La Academia de Música de Filadelfia es el único local que funciona bien para música y ópera.

S_m = Absorción de los materiales interiores de cada sala.

N_a = Número de personas (cupó de la sala)

En general podemos decir en base al cuadro comparativo que las características acústicas de nuestro local son satisfactorias ya que son intermedias entre auditorios de música y óperas. Esto debido a que es de usos múltiples. Algo importante es observar la relación entre cupo de personas y volumen. Para nuestro caso con 5413 M^3 acomodamos 1004 personas; en el caso del Stadat Casino con un volumen de $10,600 \text{ M}^3$ - que es un 95 % mayor que el nuestro, el número de personas que acomoda es de 1400 lo cual representa en sentido un 39% más de nuestra capacidad.

Económicamente este aspecto representará una gran economía, aunque su repercusión negativa está en que la intensidad del sonido reverberante L es mayor para nuestro caso.

L nuestro = 7.33, L_s Casino = 4.6

Salvo este aspecto nuestro diseño promete ser eficiente acústicamente.

Capítulo IV

ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA OCUPACION PARCIAL DE LA SALA

Este capítulo lo dedicaremos a estudiar las alternativas posibles para cuando se de el caso mencionado en III.6 del capítulo III donde se analizó y revisó lo que ocurriría al tener una asistencia limitada a la sala.

En realidad éste tipo de locales se deben destinar para reuniones mayores donde se prevee un lleno total, pero debido al uso posible para actividades ordinarias de la Iglesia y también a una posible ocupación parcial de la sala será conveniente analizar la forma de mantener las características acústicas necesarias para una buena audición o uso de la sala.

Estudiaremos 2 alternativas para resolver el problema luego por comparación recomendaremos la más factible.

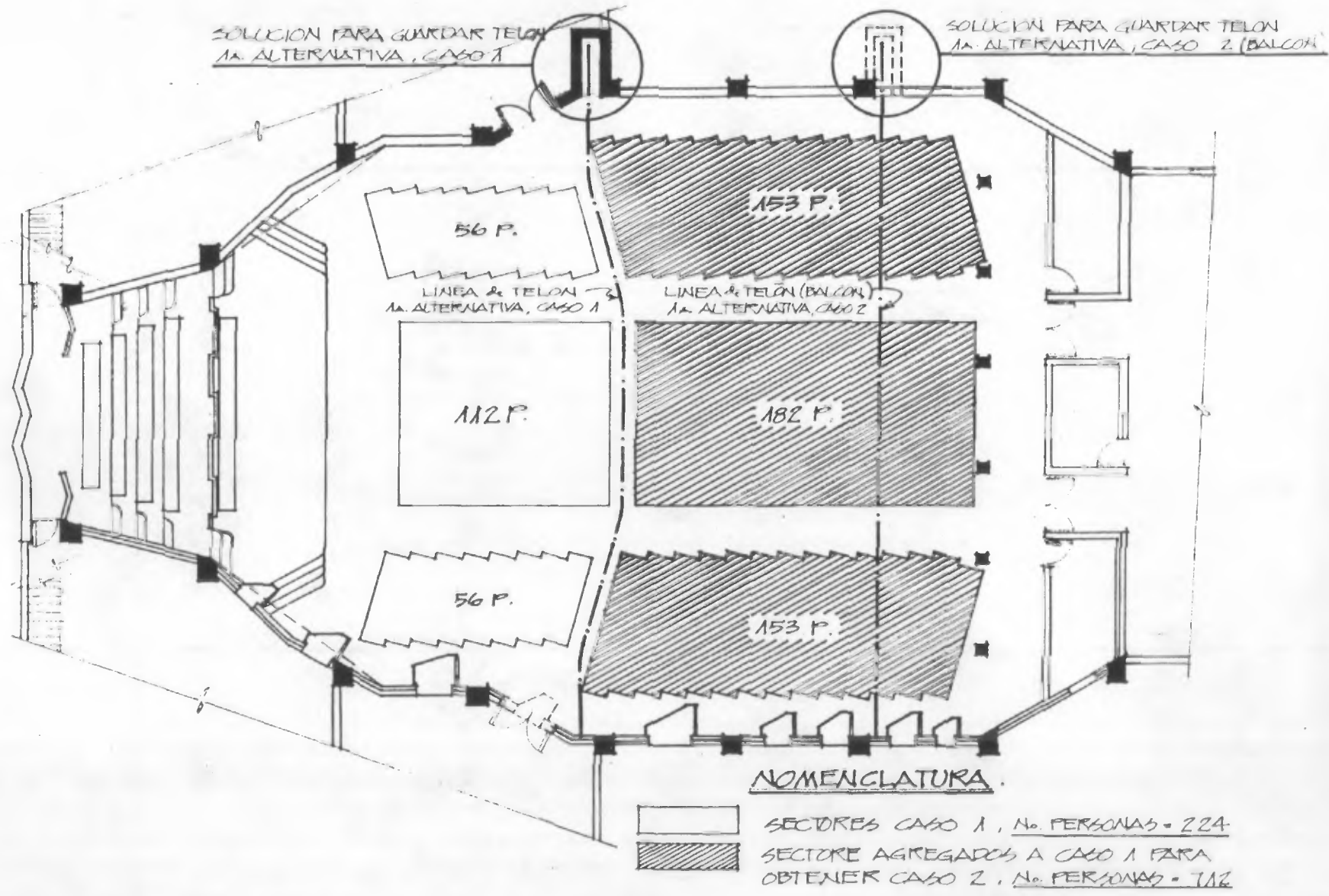
- 1) La primera alternativa será tratar de cambiar el volumen de la sala a través de grandes cortinajes pendientes del techo, creando además, áreas de absorción a través de estos cortinajes, tratando de conservando nuestro T medio igual a 1.4 seg.
- 2) La segunda alternativa será conservando el volumen y nuestro T medio igual a 1.4 seg. aumentar las superficies de absorción a través de cortinajes, alfombras u otros, que sean fáciles de remover o colocar según la necesidad lo requiera.

Una premisa fundamental es el hecho que necesitamos mantener el $T = 1.4$ Seg. no importa que los otros factores varíen, es decir, mientras no signifiquen cambios radicales en la disposición de la sala y la distribución de sus materiales.

La sala ha sido diseñada para contener 1004 personas y los datos obtenidos como resultado de nuestro diseño son los siguientes:

T medio = 1.4 segundos
V diseñado = 190971 pié³ = 5413 M³
A total = 6682 Sabines
A (público + coro) = 4454 Sabines
A material = 2228
t₁ platea = 20 m.s.c.
t₁ balcón = 9 m.s.c.

Para las 2 alternativas a estudiar analizaremos 2 casos que serán los más comunes en la ocupación de la sala, aparte del lleno total. Se representan en el plano P.IV.1.



POSIBLES ALTERNATIVAS DE OCUPACION DE LA SALA
PLANTA
 E-1:200

PLANO P.IV.1.

IV.1 MODIFICAR EL VOLUMEN Y AUMENTAR LA ABSORCION

IV.1.1 Primer Caso

Cuando el templo sea usado para reuniones normales de la congregación; en esta circunstancia la asistencia máxima posible sería de 225 personas. Como hemos dicho deseamos conservar el $T = 1.4$ y buscar el nuevo volumen y la absorción del nuevo volumen.

Con el fin de reducir el volumen de la sala y para crear una área de absorción colocaremos una cortina que pende desde el cielo falso hasta el piso de la sala, esta cortina pasa por medio del pasillo transversal al medio de la sala (ver plano P.IV.1). La cortina será de terciopelo delgado con un coeficiente de absorción máximo de $\alpha = 0.3$. Sus dimensiones serán: largo = 23.00 M y una altura entre piso y cielo de 10.00 M. El área total será:

$$A = 230 \text{ M}^2 = 2690 \text{ pié}^3$$

La absorción total de esta cortina es:

$$''a'' \text{ cortina} = 2690 \times 0.03 = 807 \text{ Sabines}$$

La cortina nos define un nuevo volumen a utilizar, de acuerdo a planos 1:50 tenemos:

$$V \text{ nuevo} = 76,490 \text{ pié}^3$$

Con este volumen encontraremos la absorción que necesitamos para mantener $T = 1.4$ con la fórmula de Sabine:

$$T = \frac{0.049}{S_t} V \text{ Se deduce que } S_t = \frac{0.49 V}{T}$$

$$S_t = \frac{0.049 \times 76490}{1.4} = S_t = 2677 \text{ Sabines}$$

De esta absorción total tenemos que restar la absorción de público y coro, para luego saber la absorción total de materiales que necesitamos.

Según el Plano P.IV.1 nuestro primer volumen enmarcado los 3 sectores delanteros de bancas que se

menciona en el Plano P.III.4. Estos sectores tienen un área tributaria total:

$$S_t \text{ público} = 1506 \text{ pié}^2$$

Según vimos en III.5.2 el área tributaria del coro es:

$$S_t \text{ coro} = 592 \text{ pié}^2$$

El área tributaria total será:

$$S \text{ total} = 1506 + 592 = 2098 \text{ pié}^2$$

Como se definió en III.5.2 el coeficiente de absorción de estas áreas es: $\alpha = 0.66$; tendremos - por consiguiente una absorción así:

$$"a" \text{ público} + \text{coro} = 2098 \times 0.66 = 1385 \text{ Sabines}$$

Con esta absorción obtenida sabremos la absorción necesaria de materiales para poder mantener nuestro $T = 1.4$ restándola de la absorción total:

$$"a" \text{ materiales} = 2677 - 1385 = 1292 \text{ Sabines}$$

El siguiente paso será averiguar la absorción de los materiales en el sector que la cortina enmarca. Para este fin utilizaremos los coeficientes del cuadro C.III.4 ya que los materiales de la sala no varían excepto el cortinaje que se agrega. De los planos 1:50 obtenemos las áreas para elaborar el siguiente cuadro.

CUADRO C.IV.1

ELEMENTO	AREA (PIE ²)	COEFICIENTE DE ABSORCION	ABSORCION (SABINES)
PISO			
Granito	1993	0.01	20
Alfombra	742	0.4	297
MUROS LAT. MADERA	2335	0.18	420
MUROS LAT. BLANQUEADO	570	0.03	17
MURO ANTERIOR, MADERA	310	0.18	56
SALIENTE DE VENTANAS			
Concreto	441	0.02	9
Alfombra	22	0.40	9
VENTANAS	45	0.03	2
PUERTAS	90	0.25	23
CIELO FALSO	2862	0.06	172
CORTINA TERCIOPELO	2690	0.3	807
		TOTAL SABINES	1832

La absorción total de los materiales es:

$$"a" \text{ materiales} = 1832 \text{ Sabines}$$

Según definimos necesitábamos 1292 Sabines y tenemos un exceso de absorción de:

$$1832 - 1292 = 540 \text{ Sabines}$$

Este exceso de absorción reducirá nuestro T por lo cual es necesario pensar en la reducción de la absorción de los materiales, especialmente en el cortinaje que se colocará.

Podríamos disminuir esta diferencia usando un cortinaje de terciopelo delgado con un $\alpha = 0.2$ en vez de 0.3. Por lo general es mejor calcular con los coeficientes mínimos ya que los materiales no siempre llenan las especificaciones máximas.

Con un $\alpha = 0.2$ la absorción del cortinaje será:

$$2690 \times 0.2 = 538$$

Disminuyendo lógicamente la absorción anterior de la cortina así: $807 - 538 = 269$ Sabines. La absorción total definitiva sería:

$$1632 - 269 = 1563 \text{ Sabines}$$

Podemos ahora encontrar la absorción total de nuestro nuevo volumen y así tener un T definitivo para el mismo:

$$a_{\text{total}} = 1385 + 1563 = 2948 \text{ Sabines}$$

Con la fórmula de Sabine tendremos nuestro T resultante:

$$T = \frac{0.049 \times 76490}{2948} = 1.27 \text{ segundos}$$

Según el cuadro C.III.2 este T es adecuado para cine, conferencias, charlas o cualquier actividad que hace uso de amplificación de sonido y aún abarca la expresión del drama. En el uso de esta sala para las actividades normales de la Iglesia predominan: la palabra hablada (predicación, conferencias, etc.),

el canto congregacional y en menor grado el canto individual y coral. El $T = 1.27$ seg. es deficiente - para recital de voz, violín y orquesta de cámara pero éstos usos no se darán comunmente en estas circunstancias.

IV.1.2 Segundo Caso

Cuando la Iglesia se use para los fines diseñados, pero la asistencia no sea total. Podremos suponer que para tal caso se usará la platea solamente, que tiene un cupo de 712 personas (ver plano P.IV.1 - caso 2). A causa de no usar butacas absorbentes, es decir, que absorban la misma cantidad de Sabines que una persona vestida, sino que se usan bancas, la absorción de nuestro local variará considerablemente haciendo variar nuestro T . Será necesario pensar en una reducción del volumen, eliminando la parte del balcón a través de un cortinaje de terciopelo cuyo coeficiente definiremos según sea necesario, para producir una absorción que combinada con el nuevo volumen nos den nuestro T deseado. Este cortinaje se ubica en la orilla del balcón (ver plano P.IV.1). El procedimiento para determinar nuestro nuevo T es el mismo que en el caso anterior. En primer lugar en base a planos 1:50 hallar el nuevo volumen.

El volumen total que tenemos es $190,971 \text{ pié}^3$. El volumen del balcón eliminado es de $25,331 \text{ pié}^3$. - Nuestro nuevo volumen será:

$$V \text{ nuevo 2} = 190,971 - 25331 = 165,640 \text{ pié}^3$$

De acuerdo a este nuevo volumen la absorción total será:

$$S_t = \frac{0.049 \times 165,640}{1.4}$$

$$S_t = 5797 \text{ Sabines}$$

Para calcular más fácilmente la absorción de los materiales del nuevo volumen 3 podemos calcular la absorción de personas y materiales del balcón eliminado y restarle esto a la absorción total del local que es de 6682 Sabines. A este resultado le restamos la absorción del público y coro y luego obtendremos la absorción de los materiales del nuevo volumen.

IV.1.2.1 Absorción del balcón

Según el cuadro C.III.3 el área tributaria para público del balcón es 150 M^2 .

$$"a" \text{ balcón} = 150 \times 10.76 \times 0.66 = 1066 \text{ Sabines}$$

De acuerdo a los planos 1.50 calcularemos la absorción de materiales en el balcón.

CUADRO C.IV.2

ELEMENTO	AREA	COEF. DE ABS.	ABS. SABINES
PISO	1614	0.01	16
MUROS LATERALES			
Madera	640	0.18	115
Blanqueado	484	0.03	15
MURO POSTERIOR	395	0.18	71
PUERTAS	68	0.25	17
CIELO FALSO	2058	0.06	123
SALIENTES VENTANAS	116	0.02	3
VENTANAS	12	0.03	Desprec.
ALF. EN VENTANAS	7	0.40	28
TOTAL ABSORCION BALCON			388 Sab.

Para tener la absorción total del nuevo volumen 3 restaremos a la total la absorción del balcón - (materiales + personas)

$$\text{Absorción total balcón} = 1066 + 388 = 1454$$

A esta absorción hay que agregar la del cortinaje que mide 22 M. x 6.5 M y cuya área es de 1539 -- pié². El cortinaje será de terciopelo delgado de $\alpha = 0.2$; como en el caso anterior.

Su absorción será:

$$a_{\text{cortina}} = 1539 \times 0.2 = 308 \text{ Sabines}$$

Agregando este valor a la absorción de materiales tendremos el valor de absorción del balcón, el cual restaremos a la absorción total y encontraremos nuestra absorción para el nuevo volumen.

$$a_{\text{balcón} + \text{cortina}} = 1454 + 308 = 1762 \text{ Sabines}$$

Según III.6 la absorción total de materiales es de 6682 Sabines restémosle a éste la del balcón y obtenemos la absorción del nuevo volumen.

$$a_{\text{nuevo volumen}} = 6682 - 1762 = 4920 \text{ Sabines}$$

Según la fórmula necesitamos 5797 Sabines para mantener nuestro $T = 1.4$; o sea nos faltarían $5797 - 4920 = 877$ Sabines.

La alternativa que tenemos es usar un cortinaje de terciopelo grueso con pliegues dobles con $\alpha = 0.5$ sustituyendo al terciopelo delgado. Tendremos que la absorción del cortinaje será:

$$a_{\text{cortinaje}} = 1539 \times 0.5 = 770 \text{ Sabines}$$

Sumando este valor

$$\text{La absorción resultante} = 4920 + 770 = 5690 \text{ Sabines}$$

Con esta absorción resultante y con el nuevo volumen 3 el T para frecuencias medias será:

$$T = \frac{0.049 \times 165,640}{5690} = 1.426$$

$$T = 1.426 \text{ semejante a } 1.4$$

Queda satisfecha la condición de mantener en este caso el $T = 1.4$ con lo cual aseguramos los usos diseñados para nuestro local.

Con esta alternativa el local funcionará en 3 capacidades:

CUADRO C.IV.3

CAPACIDAD	T Medio (Seg.)	VOLUMEN (Pie ³)	A PUBLICO Y CORO (Sabines)	A MATERIALES (Sabines)	A TOTAL (Sabines)
1004	1.4	190,971	4454	2228	6682
712	1.42	165,640	3388	2302	5690
225	1.27	76,490	1385	1563	2948

El mecanismo de funcionamiento de las cortinas deberá ser el más adecuado y el que más facilidad de operación presente; deberá ser manejable por 1 ó 2 personas máximo. No interesa a este estudio entrar en detalles sobre el particular, lo que si es de hacer notar es que la colocación de estas cortinas no deberá desmerecer la estética del local.

La instalación de estas cortinas presupone un área adicional en los muros donde poder guardar o contener el cortinaje cuando no sea necesario usarlo. Debido a esto los muros laterales cerca de la puerta de emergencia entre el eje D y E (plano P.IV.1) deberán ser resaltados hacia afuera por lo menos 2.00 M. dejando un ancho útil donde entre el cortinaje de 0.60 M.

Esta solución representa económicamente una inversión fuerte ya que esta alteración del muro debe mantenerse doble para conservar el aislamiento del muro. Creemos conveniente analizar una segunda alternativa que ofrezca similar o mejor eficiencia acústica y cuyo costo o realización no encarezcan el presupuesto de la obra.

Una última consideración es que el cortinaje no es un límite sólido para definir o cerrar el volumen y se trabaja sobre una base que puede variar según las circunstancias que escapen al control de este estudio.

IV.2 AUMENTAR ABSORCION DE LOS MATERIALES

En este caso conservamos nuestro volumen diseñado y nuestro T medio:

$$V \text{ diseñado} = 190,971 \text{ pie}^3$$

$$T \text{ medio} = 1.4 \text{ Seg.}$$

La absorción total para público y coro, con sala llena, es de 4454 Sabines (III.5.2). Según el cuadro C.III.4 la absorción de los materiales es de 2228 Sabines. Como en la alternativa anterior veremos 2 casos posibles en la ocupación de la sala:

- 1) Cuando sea reunión ordinaria de la Iglesia y se tenga una asistencia de 225 personas.
- 2) Cuando sea una reunión normal y que la asistencia sea aproximadamente de 712 personas y que no sea necesario usar el balcón

IV.2.1 Primer Caso

En esta situación la parte delantera estará ocupada o sea los 3 sectores de bancas frente a la plataforma (caso 1 plano P.IV.1). Según vimos en la alternativa anterior el área tributaria de este sector es de 1506 pié².

Nuestra metodología consistirá en calcular la absorción del área tributaria del público en la parte ocupada y la absorción en la parte no ocupada. Según se definió en III.5.2 para el área ocupada tenemos un $\alpha = 0.66$ y para el área no ocupada en el cuadro C.III.1 (sala vacía con yeso y madera sobre apoyos sólidos) tenemos un coeficiente promedio de 0.053. Debido a las condiciones de los asientos que no son absorbentes como una butaca de tela o cuero, la absorción resultante variará bastante.

Calcularemos primero la absorción del área del público ocupada y el área de coro, cuya área tributaria es 592 pié². Tendremos entonces:

$$S_{\text{ocupada}} = 1506 + 592 = 2098 \text{ pié}^2$$

La absorción correspondiente a esta área ocupada es de:

$$a_1 = 2098 \times 0.66 = 1385 \text{ Sabines}$$

Para calcular la absorción del público del área no ocupada restaremos al área tributaria total, - el área tributaria ocupada.

Según el cuadro C.III.3, el área tributaria de platea y balcón (sin incluir el coro) es de 6155 pié² restando el área ocupada tendremos:

$$S_{\text{no ocupada}} = 6155 - 1506 = 4649 \text{ pié}^2$$

La absorción correspondiente a esta área, con $\alpha = 0.53$ es:

$$a_2 = 4699 \times 0.053 = 246 \text{ Sabines}$$

La absorción total para área de público y coro en estas condiciones será:

$$a_{\text{público + coro}} = 1385 + 246 = 1631 \text{ Sabines}$$

Como observamos la diferencia de absorción del público en estas condiciones es bastante ya que como dijimos la absorción de público y coro en sala llena es de 4454 Sabines. Restándole a ésta la obtenida tendremos:

$$4454 - 1631 = 2823 \text{ Sabines}$$

Esta absorción es aún mayor que la de todos los materiales de la sala. La ausencia del público -- afectará nuestro T en forma grande, para entenderlo veremos lo que ocurre al calcularlo con la absorción total obtenida en estas condiciones:

$$a_{\text{total}} = 1631 + 2228 = 3859 \text{ Sabines}$$

Nuestro T será:

$$T = \frac{0.049 \times 190,971}{3859} = 2.425$$

$$T = 2.43 \text{ Seg.}$$

Es un T muy largo para las actividades normales de la Iglesia. Este T es adecuado para música litúrgica, coral u órgano, o para música sinfónica. Necesitamos aumentar la absorción de los materiales para lograr un T más próximo a 1.4 seg.

La forma más factible es a través de cortinajes decorativos que pudieran ser removidos a la hora de haber un lleno total en la sala. Estos cortinajes podrían ser de terciopelo grueso usando pliegues dobles lo cual tiene como coeficiente de absorción 0.5

Necesitamos producir 2823 Sabines con estos cortinajes y otros elementos de materiales absorbentes. La absorción resultante con estos elementos se sumará a la absorción existente de materiales y a la absor

ción obtenida de la ocupación parcial de la sala, tendremos así la absorción total para comprobar nuestro T.

Debemos de buscar una distribución adecuada de las cortinas y que sea consecuente con la decoración de la sala

El primer punto donde se puede colocar cortinaje es atrás del coro en el marco que forma el remate de los muros laterales (#1 en plano P. IV.2)

El área de este cortinaje según planos 1:50 es de 14.58 M^2 . Un segundo punto para colocar cortinas sería en la parte posterior de las sillas de la plataforma (#2 en plano P.IV.2). El área correspondiente a este sector será de 11.2 M^2 .

El tercer punto será en las puertas laterales del medio del templo (#3 en plano P.IV.2), el área correspondiente será de 8.4 M^2 .

Un cuarto punto sería en el muro posterior tanto en balcón como en platea, (#4 en plano P.IV.2), esto en el área entre puertas y en la platea parte del muro lateral. El área resultante de estos cortinajes será de 78.07 M^2 .

Sumando todas estas áreas de cortinaje tendremos un área total de cortinas de 112.25 M^2 equivalente a 1208 pié^2 . La absorción total de la cortina será:

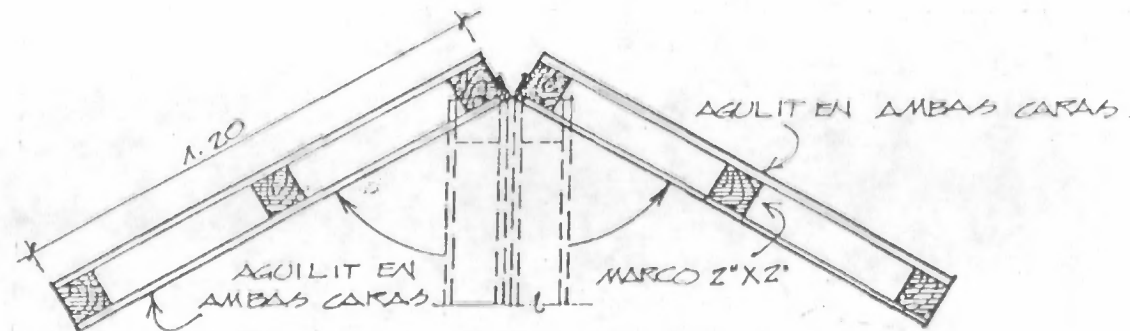
$$a_{\text{cortina}} = 1208 \times 0.5 = 604 \text{ Sabines}$$

Necesitamos a través de otro material altamente absorbente incrementar la absorción total.

Un material con cualidades absorbentes muy buenas y cuya obtención en el mercado es relativamente fácil y económica es el aguilit (viruta de madera), su coeficiente de absorción es de 0.7 y se puede pintar para hacerlo más decorativo (esto reduce algo su absorción).

La idea en este caso sería el tabicar con particiones móviles, fáciles de desmontar, en el pasillo del medio de la sala (línea punteada del primer sector, plano P.IV.1). Esta partición no sólo ayudaría a la absorción sino que visualmente daría un tope para no tener la sensación de sala vacía al estar en las reuniones ordinarias de la Iglesia. Las particiones serían colocadas en el sector de bancas y los pasillos quedarían libres. Se harían como hojas plegables, en pares; cada hoja de 2.4×1.20 , con marcos de cedro y agulit sobre estos; su área es de 2.88 M^2 .

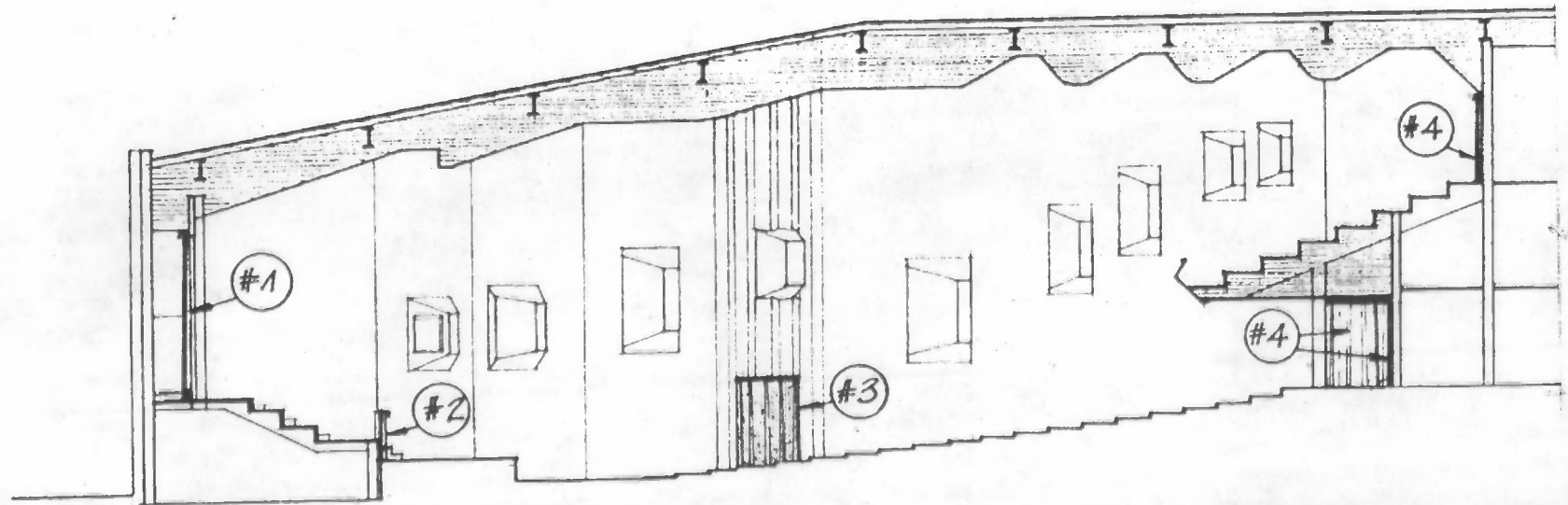
DIAGRAMA D.IV.1



El área de cada tabique típico será de 5.76 M^2 por cara; como estará forrada de las 2 caras tendremos un total de 11.52 M^2 .

La distribución de los tabiques en los pasillos es como se muestra en el PLANO P.IV.3

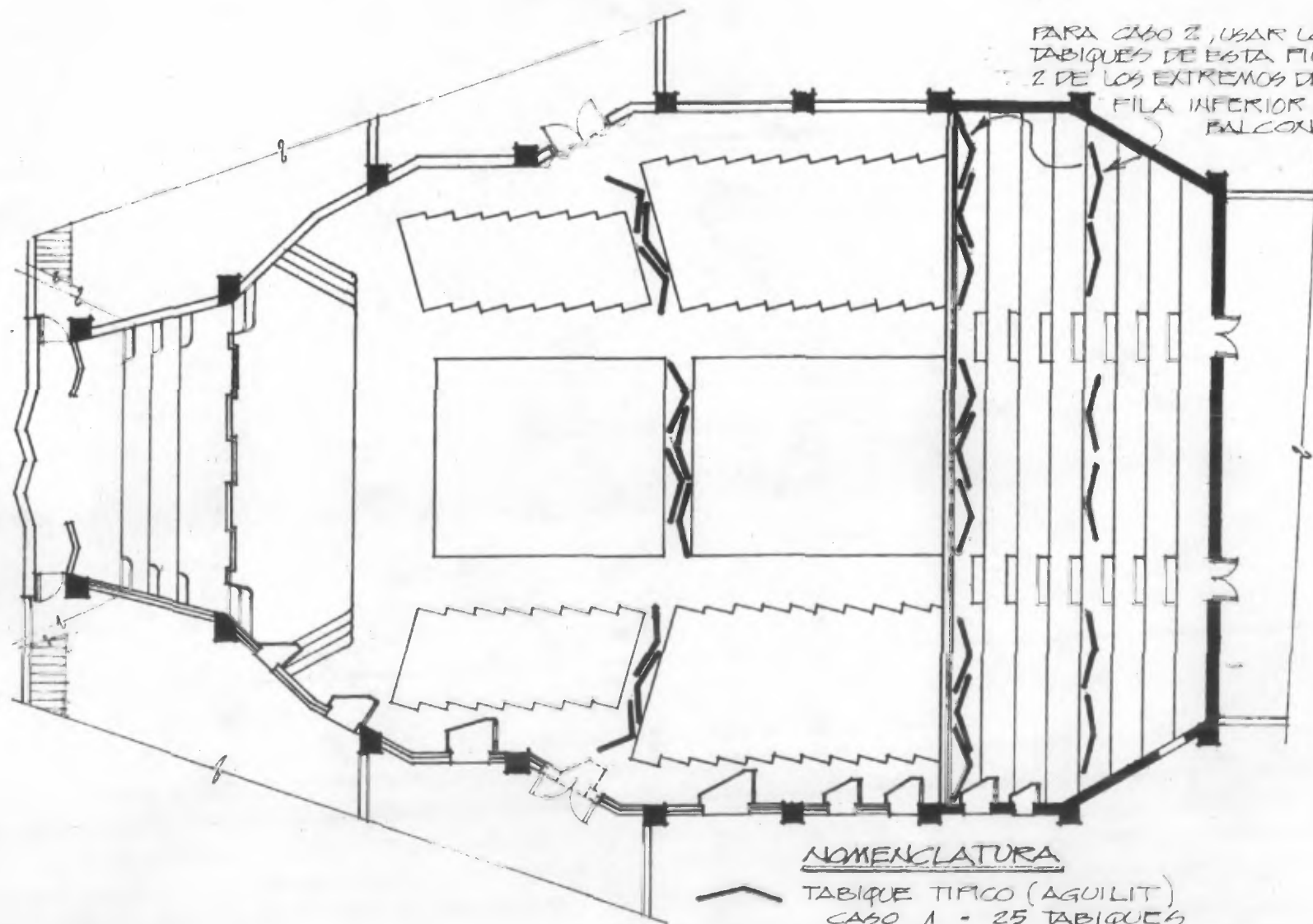
PLANO P. IV. 2.



PUNTOS DE COLOCACION DE CORTINAJES, ALTERNATIVA 2, CASO 1 .

SECCION

E. A. 200



PARA CASO 2, USAR LOS 6
 TABIQUES DE ESTA FILA Y
 2 DE LOS EXTREMOS DE LA
 FILA INFERIOR DEL
 BALCON.

NOMENCLATURA

- (zigzag line) — TABIQUE TÍPICO (AGUILIT)
- CASO 1 - 25 TABIQUES
- CASO 2 - 8 TABIQUES (EN BALCON)

DISTRIBUCION DE TABIQUES PARA ALTERNATIVA 2, CASOS 1 Y 2.

PLANTA
 E = 1:200

PLANO P.IV.3.

Del PLANO anterior vemos que se usarán 10 tabiques. Se pueden agregar 9 tabiques más en la fila inferior del balcón como lo muestra el PLANO P.IV.3; en total 19 tabiques.

El área total de estos tabiques será:

$$S_{\text{tabiques}} = 11.52 \times 19 = 218.88 \text{ M}^2 \text{ equivalente a}$$

$$S_{\text{tabiques}} = 2355 \text{ pié}^2$$

La absorción producida por estos elementos será:

$$A_{\text{tabiques}} = 2355 \times 0.7 = 1649 \text{ Sabines}$$

Totalizamos con esto una absorción de

$$a_{\text{cortinas}} + a_{\text{tabiques}} = 604 + 1649 = 2253 \text{ Sabines}$$

Estéticamente con los elementos existentes hasta ahora no se verá tan recargada la sala, será bueno comprobar que T obtendremos con la absorción total que llevamos al momento.

$$a_{\text{total}} = a_{\text{público}} + a_{\text{materiales existentes}} + a_{\text{materiales nuevos}}$$

$$a_{\text{total}} = 1631 + 2228 + 2253$$

$$a_{\text{total}} = 6112$$

Con la fórmula de Sabine obtendremos nuestro T

$$T_{\text{nuevo}} = \frac{0.049 \times 190,971}{6112} = 1.53$$

$$T_{\text{nuevo}} = 1.53 \text{ seg.}$$

Como se ve el T resultante es un poco largo para las actividades normales de la Iglesia; es bueno para un recital de piano, violín y orquesta de cámara. Necesitamos agregar algunos tabiques más para incrementar nuestra absorción. Para formarnos una idea de la cantidad vemos que necesitamos 2833 Sabines de absorción total con nuevos materiales. Al momento tenemos 2253; nos faltan: $2833 - 2253 = 570$ Sabines.

Cada tabique típico tiene un área de 124 pié^2 y una absorción de 87 Sabines. Necesitamos por lo menos 6 tabiques para producir una absorción de: $87 \times 6 = 522$ Sabines.

Estos 6 tabiques deberán distribuirse en el balcón en las filas del medio, siempre dejando los pasillos libres.

Sumando esta nueva absorción a la total obtenida, tenemos:

$$a_{\text{total}} = 6112 + 522 = 6634 \text{ Sabines}$$

Nuestro T en este caso será:

$$T = \frac{0.049 \times 190,971}{6634} = 1.41 \text{ seg.}$$

$$T = 1.41 \text{ seg. semejante a } 1.4 \text{ seg.}$$

Hemos llegado así al T deseado a través de haber aumentado la absorción de materiales.

Es de hacer notar que el uso de estos tabiques ayudará a que el templo pueda ser usado para fines didácticos en la Escuela Dominical donde la congregación se subdivide en grupos, estos elementos se prestan magníficamente a ese fin.

Su fijación deberá estudiarse convenientemente, especialmente en la fase de realización. Su manejo será fácil, por una o dos personas a lo sumo. Resolvemos así el caso más crítico en la ocupación de la sala.

IV.2.2 Segundo Caso

En esta situación suponemos que el templo será usado para los fines que fue diseñado, pero que no se tiene una audiencia total. Suponemos un lleno en platea, lo cual presupone la asistencia de 712 personas. El área del coro estará ocupada y únicamente el balcón estará vacío. La metodología será similar al caso 1.

En este caso son válidos los datos existentes en condiciones de sala llena. Necesitamos saber primero la absorción del área tributaria de personas en el balcón cuando está lleno; en este caso tenemos

$$\alpha = 0.66.$$

En segundo lugar la absorción de esta misma área cuando está vacía, el coeficiente $\alpha = 0.053$.

Según el cuadro C.III.3 el área tributaria del balcón es de 150 M^2 equivalente a 1614 pié^2 .

La absorción del público de este balcón, cuando está lleno es:

$$a_{\text{público balcón}} = 1614 \times 0.66 = 1065 \text{ Sabines}$$

La absorción de esta misma área cuando está vacía es:

$$a_{\text{balcón (nuevo)}} = 1614 \times 0.053 = 48 \text{ Sabines}$$

Según estos datos necesitamos 1017 Sabines para mantener nuestro $T = 1.4$ seg. ya que las condiciones de público en platea y los materiales de la sala no varían.

Utilizando el cálculo del caso anterior escogeremos los elementos que produzcan la absorción deseada y a la vez que mantengan la estética de la sala.

Como ya se mencionó los cortinajes a usar serán de terciopelo grueso con pliegues dobles y con un $\alpha = 0.5$. Se usarán los ubicados en los puntos # 2, # 3, # 4, en este caso serán los del balcón, no se utilizarán los del muro posterior en platea.

Estos cortinajes dan un área de absorción de 54.23 M^2 equivalente a 583 pié^2 ; su absorción es:

$$a_{\text{cortinas}} = 583 \times 0.5 = 292 \text{ Sabines}$$

Nos faltan todavía para llegar a los 1017 Sabines, 725 Sabines. Estos los podremos suplir con los tabiques típicos de agulit que se utilizaron para el caso anterior. El área de cada uno de estos tabiques es de 124 pié^2 , y su absorción correspondiente es:

$$a_{\text{tabique}} = 124 \times 0.7 = 87 \text{ Sabines}$$

Según ésto, hará falta agregar solamente:

$$725/87 = 8.33 \text{ tabiques; semejante a 8.}$$

Estos 8 tabiques producirán una absorción de

$$a_{\text{tabiques}} = 87 \times 8 = 696 \text{ Sabines}$$

El total de absorción nueva es:

$$a_{\text{nueva}} = a_{\text{cortinas}} + a_{\text{tabiques}}$$

$$a_{\text{nueva}} = 292 + 696 = 988 \text{ Sabines}$$

Según el cuadro C.III.3 el área tributaria total del público es de 6155 pié^2 al cual restamos el área del balcón que es 1614 pié^2

$$S_{\text{platea}} = 6155 - 1614 = 4541 \text{ pié}^2$$

$$\text{Sumándole lo del coro tenemos: } 4541 + 592 = 5133 \text{ pié}^2$$

La absorción de coro y público en platea será:

$$a_{\text{platea y coro}} = 5133 \times 0.66 = 3388 \text{ Sabines}$$

Podemos ahora obtener nuestra absorción total para público y coro en toda la sala, sumando la absorción del balcón, al resultante arriba obtenido.

$$a_{\text{público y coro}} = 48 + 3388 = 3436 \text{ Sabines}$$

Nuestra absorción total será:

$$a_{\text{total}} = a_{\text{público y coro}} + a_{\text{materiales exist.}} + a_{\text{mat. nuevos}}$$

$$a_{\text{total}} = 6652 \text{ Sabines}$$

Con este dato y utilizando la fórmula de Sabine calcularemos nuestro T, el $V = 190,971 \text{ pié}^3$ es constante:

$$T = \frac{0.049 \times 190,971}{6652}$$

$$T = 1.406 \text{ semejante a } 1.4 \text{ seg.}$$

De esta forma las condiciones acústicas del local se mantienen aunque la asistencia no sea total. Resumiendo esta alternativa, nuestra sala funcionará con 3 capacidades y las condiciones acústicas son:

CUADRO C.IV.4

CAPACIDAD	T MEDIO Seg.	VOLUMEN Pie ³	A PUBLICO Y CORO (Sabines)	A MATERIALES (Sabines)	A TOTAL (Sabines)
1004 personas	1.4	190,971	4454	2228	6682
712 personas	1.406	190,971	3436	3216	6652
225 personas	1.41	190,971	1631	5003	6632

De la observación de los cuadros C.IV.3 y C.IV.4 aparentemente la primera alternativa sería más barata ya que requiere menos absorción de materiales, pero si observamos, las condiciones acústicas varían también. Otro elemento como se dijo es que el cortinaje grande aparte de ser difícil de colocar y operarnos es una superficie sólida para cerrar el volumen, se corre el riesgo de que el resto de la sala siga trabajando y en ese caso las condiciones variarían.

El hecho de cambiar volumen por lo tanto presenta mayores eventualidades posibles para esta solución.

La alternativa 2 mantiene fijo el volumen y el T medio se conserva en 1.4 seg., lo cual es ideal. El hecho de tener que producir una absorción muy alta de materiales no es problema, pues como se vio se utilizará un material altamente absorbente como lo es el agulit, que además, es factible de conseguir y económico. El sistema de tabiques móviles representa menos problema en su operación; no tenemos que afectar el cielo ni los muros para operarlos ya que solo son removidos como se dijo por 1 ó 2 personas. Esta alternativa será a la larga más económica y más segura. Se minimizan las eventualidades pues en el diseño los elementos tomados de base son confiables.

En base a lo anterior es obvio que es más recomendable la alternativa 2, la cual deberá realizarse en la fase de construcción con mucho cuidado y conservando siempre la estética de la sala.

Capítulo V

AISLAMIENTO ACUSTICO DEL PROYECTO

V.1 GENERALIDADES

El aislamiento acústico es uno de los 2 aspectos de acústica más tratados en los textos sobre la materia, para lograrlo existen variadas soluciones y recomendaciones. El otro aspecto es el sonido interior o lo que algunos autores denominan "corrección acústica". En este estudio hemos dado prioridad al sonido interior y el capítulo de aislamiento se tratará más a nivel de recomendaciones ya que el cuidado especial de este aspecto es en la fase de construcción lo cual requiere una constante supervisión de parte del profesional encargado del proyecto.

El objetivo principal del aislamiento acústico es lograr que el nivel sonoro entre una fuente emisora y una receptora sea dentro de los límites aceptables de acuerdo a la naturaleza del local. En nuestro caso podremos definir el nivel de ruido aceptable dentro de la sala principal de la Iglesia en 30 db. Para salas de música el nivel de ruido aceptable es de 20 db. Podríamos decir que para las actividades regulares de la iglesia el nivel apuntado es aceptable, pero para conciertos musicales sería deseable un nivel de ruido que no sobrepase de 20 ó 25 db., por supuesto, el lograrlo requiere mayor inversión económica.

Es necesario apuntar que el aislamiento acústico contempla 2 renglones: Aislamiento a ruidos exteriores y aislamiento a ruidos interiores. El aislamiento ideal cuidará los 2 aspectos.

Además, 2 tipos de ruidos son los que interesan en este caso:

- a) Ruidos aéreos: Ruidos producidos por aviones, tráfico de vehículos de cualquier tipo, sirenas, etc. Es decir, cualquier sonido cuyo medio de propagación sea el aire. Como vimos, estos pueden prevenir del interior o del exterior especialmente.
- b) Ruidos de impacto: Como su nombre lo dice, pueden ser: Ruidos de pasos, vibraciones de maquinarias, etc. Estos tienen como medio de propagación primario una masa; son perceptibles luego como ruidos aéreos.

Nuestra mayor preocupación serán los ruidos aéreos ya que serán los más comunes en el local.

Una última aclaración es necesaria; el aislamiento acústico requiere de materiales sofisticados y que por lo general son difíciles de adquirir y conllevan una alza en el costo de la obra. Trataremos de sugerir soluciones factibles en nuestro medio y que no signifiquen una alza desmedida en el costo de la obra.

Mencionaremos a continuación la variación de intensidad sonora de algunas actividades o casos particulares, lo cual da una idea práctica de la medida de los sonidos o ruidos que oímos comúnmente y que servirán para los fines de este estudio.

CUADRO C.V.1

EJEMPLO	NIVEL SONORO (DECIBELES) db.
GRITOS	ALCANCE: DE 70 A 80
ORQUESTA SINFONICA	ALCANCE: DE 25 A 90
MUSICA RADIAL	ALCANCE: DE 50 A 80
RUIDOS DE AUTOS	ALCANCE: DE 45 A 65
TRENES	ALCANCE: DE 50 A 80

V.1.1 Niveles Críticos de Ruído

Para toda la ciudad de Guatemala el nivel sonoro crítico es el de los aviones a chorro. Por consiguiente lo sería para nuestro caso, además por encontrarse ubicado el terreno, aldaño al Trebol (alta circulación de vehículos de todo tipo) tenemos necesariamente que considerar el nivel de ruido producido por los mismos. En el caso de los aviones, en el estudio de los niveles de ruido de los alrededores de Teatro Nacional el Ing. E. Recinos y el Dr. W. Jordán determinaron dichos niveles con ayuda de un decibelímetro, por cual estos valores son reales para la Ciudad. En el caso del nivel de ruido de los automóviles se carece de información real en el terreno del proyecto por la dificultad de obtener el equipo adecuado para realizar tal medición. Asumiremos el nivel apuntado en los ejemplos mencionados en C.V.1

Los niveles posibles de ruido en nuestro caso será:

CUADRO C.V.2

CASO	NIVEL SONORO (DB)
AVION DE HELICE DC 3 (C-47)	MAX: 60*
AVION A CHORRO JET (727)	ENTRE 100 Y 120*
RUIDO AUTOMOVILES	ENTRE 45 Y 65

* Estudio de Ing. E. Recinos y Dr. W. Jordan; (Teatro Nacional)

Para los aviones de hélice la observación se hizo durante 8 días lo mismo que los aviones a chorro, a una distancia de 50.00 M los aviones de hélice y 100.00 M. los aviones a chorro. Para fines de cálculo asumiremos los valores mínimos pues el área que nos ocupa se encuentra fuera de la ruta directa de los aviones. Para automóviles las paredes del templo estarán separadas de la circulación directa por 15 M. - aproximadamente; tomaremos el dato promedio de los valores dados arriba. Teóricamente el nivel sonoro disminuye (en aire libre) en 6 db. cada vez que la distancia a la fuente se duplica.

Resumiendo fijaremos los niveles críticos de ruido para nuestro caso como sigue:

CUADRO C.V.3

NIVELES CRITICOS DE RUIDO ADOPTADOS

CASO	NIVEL SONORO (DECIBELES)
AVIONES DE HELICE (DC-3, C 47)	60
AVIONES A CHORRO	100
AUTOMOVILES	55

Antes de entrar en detalles sobre materiales a usarse y sus posibles aplicaciones, debemos apuntar que nos preocuparemos, especialmente, de aislar los ruidos de automóviles que será lo más frecuente en nuestro local. El ruido de aviones tiene un nivel muy alto y sería necesario el uso de losas dobles con materiales especiales en medio de ambas, lo cual resulta imposible en nuestro caso porque el costo de dicha solución es elevado y fuera de las posibilidades económicas del proyecto. Procuraremos presentar una solución de techo que ofrezca el mayor aislamiento posible y acorde a los recursos económicos existentes. Hay que aclarar que aun en locales como el teatro Nacional, el aislamiento máximo logrado con el método de losas dobles es de 75 db., permitiendo en caso de que un jet 727 sobre vuele el edificio, el paso de 35 db., o sea 15 db. más del máximo aceptable. La solución que se ha adoptado en muchos países, según el estudio del Teatro Nacional, es no permitir el paso de aviones sobre el edificio; para la ciudad de Guatemala, tal cosa resulta prácticamente imposible, salvo cuando el aeropuerto sea trasladado fuera de la ciudad.

V.2 SOLUCIONES DEL AISLAMIENTO ACUSTICO

Estamos ahora en posibilidades de examinar las distintas soluciones para los diferentes elementos que forman la construcción. El aislamiento se centrará específicamente a la sala principal del templo. Los elementos para analizar son:

- 1) Muros
- 2) Puertas
- 3) Techos
- 4) Ventanas
- 5) Instalaciones sanitarias
- 6) Pisos
- 7) Sistema de ventilación

V.2.1 Muros

Utilizaremos un muro doble para las paredes principales del templo (las que dan al exterior y hacia el vestíbulo); estos muros serán los más expuestos a los ruidos, especialmente de automóviles. Vale decir que el aislamiento de un muro doble es mejor que el de uno simple del mismo peso.

Se hará una combinación de un muro de ladrillo perforado de soga de 0.065 x 0.11 x 0.23 más uno de ladrillo perforado de soga de 0.065 x 0.14 x 0.23; este muro dará hacia el exterior. El cambio de espesor de los muros es con el fin de evitar resonancia entre ambos.

Es recomendable además que los muros se acaben por ambos lados para ayudar a tapar cualquier fisura que quedara entre la argamasa y el ladrillo. La experiencia ha demostrado en todo caso que el revestimiento ayuda a la absorción total del muro.

La separación óptima entre ambos muros según el cuadro C.V.4 es entre 0.08 y 0.12 M. Adoptaremos 0.08 para nuestro muro.

CUADRO C.V.4
(Neufert)

ESPEJOR ESPACIO AIRE EN CM.	3	4	5	6	8	12	15	20
AUMENTO DEL COEFICIENTE DE AISLAMIENTO EN DB.	6	8	9	10	12	12	10	6

El espesor total de nuestro muro será: 0.11 m. (muro int.) + 0.08 m. (espacio intermedio) + 0.14 M. (muro exterior) = 0.33 M.

Es recomendable que los muros se unan solo en los extremos ya que contactos intermedios pueden transmitir ruidos de uno a otro muro. Además, los muros serán debilitados en su aislamiento total por las aberturas de puertas y ventanas, por consiguiente deben proveerse de cuidados especiales para dichos vanos y evitar una considerable baja en aislamiento total del muro. En el análisis de puertas y ventanas se verá esto con más detalle.

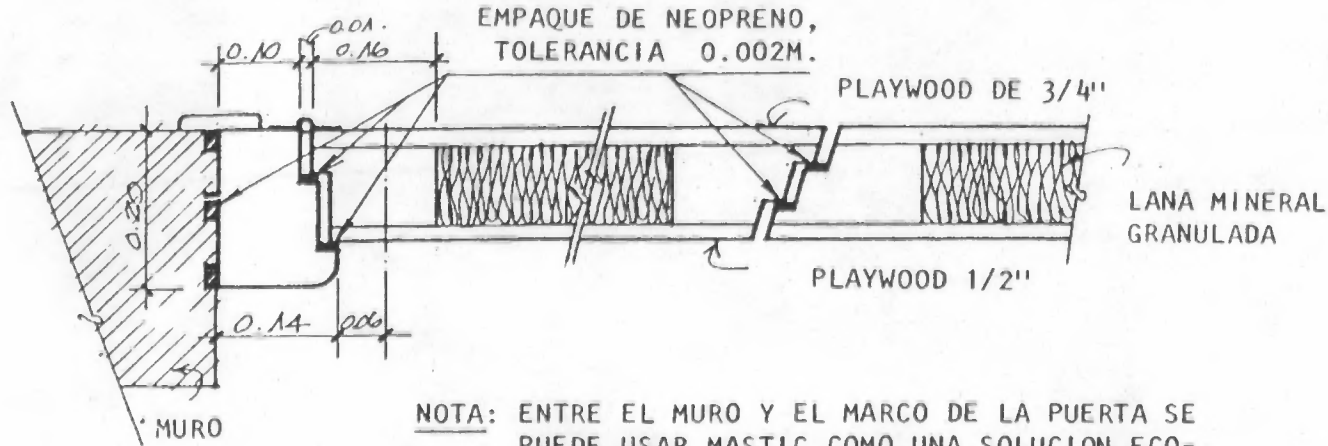
V.2.2 Puertas

Como se dijo anteriormente, las puertas representan un punto de debilitamiento acústico de los muros por lo cual deben ser estudiadas y más que todo instaladas cuidadosamente.

En general podemos decir que entre más grande es el vano, mayor es el debilitamiento acústico del muro, especialmente para las frecuencias bajas.

Para nuestro caso se usarán en la sala principal puertas acústicas, así denominadas, consistentes en 2 tableros gruesos de madera de diferente espesor y rellenas por dentro con material absorbente. Estas puertas deben ser colocadas cuidadosamente y llevar empaques de Neopreno u otro material comprimible, entre puerta y puerta, entre puerta y marco, entre marco y vano; además el umbral llevará una trampa de sonido (umbral reducido).

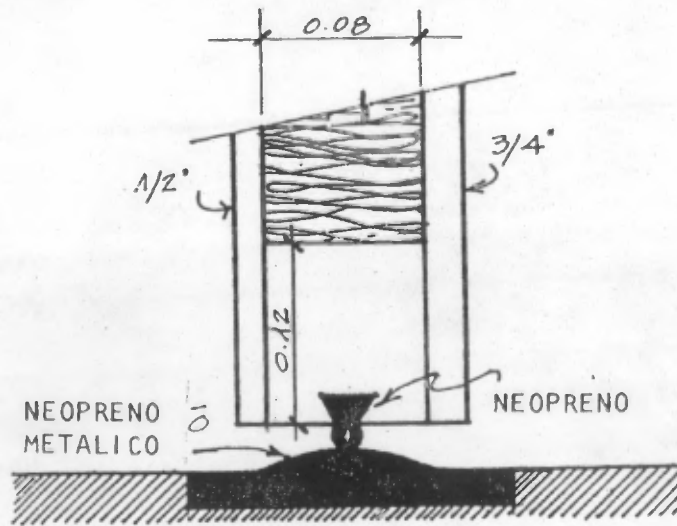
Los diagramas siguientes representan gráficamente los principales aspectos a cuidar.



NOTA: ENTRE EL MURO Y EL MARCO DE LA PUERTA SE PUEDE USAR MASTIC COMO UNA SOLUCION ECONOMICA.

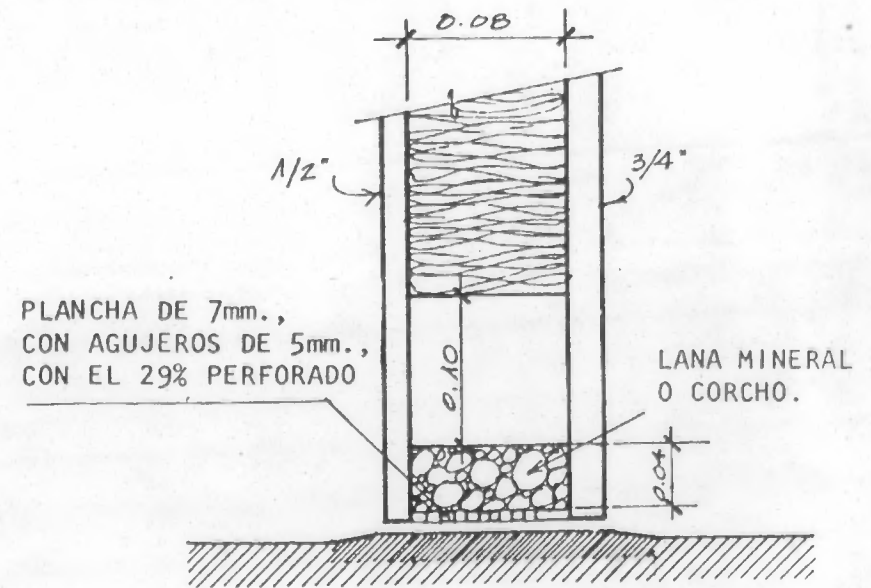
DIAGRAMA D.V.1

AISLAMIENTO POSIBLE DE PUERTA = 30 db.



UMBRAL REDUCIDO 1.

DETALLE D.V.2



UMBRAL REDUCIDO 2.

DIAGRAMA D.V.3

V.2.3 Techos

Utilizaremos una losa convencional lisa, apoyada sobre una estructura metálica sustentante. La eficiencia en cuanto a aislamiento de esa losa es menor que una doble, pero su costo es mucho más favorable. La losa tendrá un espesor de 0.10 M., se apoyará sobre costaneras y éstas sobre la estructura metálica consistente en vigas tipo Joiste. La formaleta será lámina galvanizada ya que es más fácil su colocación pues la formaleta de madera presentaría en ese caso muchos problemas debido a la altura a que está la losa.

Según A.C. Raes en su libro "Acústica Arquitectónica", una losa lisa admite insonoridades medias (aislamiento o debilitamiento acústico) de 35 a 55 db. y a los ruidos aéreos.

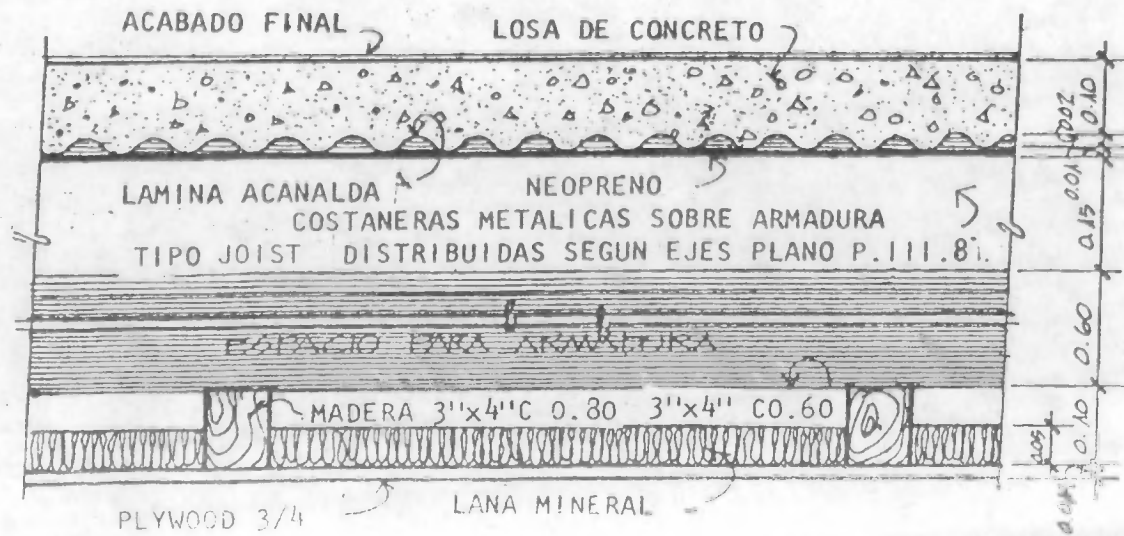
Una losa nervurada puede admitir insonoridades medias de 30.a 40 db, a los ruidos aéreos.

Entre la losa y el cielo falso se utilizará de ser posible algún material aislante, ya sea mineral (0.05 cm) o bien Aguilit, aunque en este caso aumenta el peso del techo.

El techo es el elemento que más directamente está expuesto al ruido del avión. Como se dijo se tratará de hacerlo lo más aislante, posible según permitan los recursos económicos.

A continuación un diagrama que nos muestra la forma de construir nuestra losa:

DIAGRAMA D.V.4



V.2.4 Ventanas

En nuestro caso el tratamiento de las ventanas juega un papel importantísimo ya que definirá la insonoridad del conjunto muro-ventana, es decir, estamos invirtiendo en construir un muro doble que de nó contar con una ventana que aisle lo suficiente esta inversión resultaría inútil.

Otro factor es que la ventana además de ser para iluminación jugará un papel importante en la ventilación lo cual nos plantea el problema de resolver una ventana semi-abierta (tipo sifón) con un buen aislamiento.

Hay varios factores que deberán tomarse en cuenta:

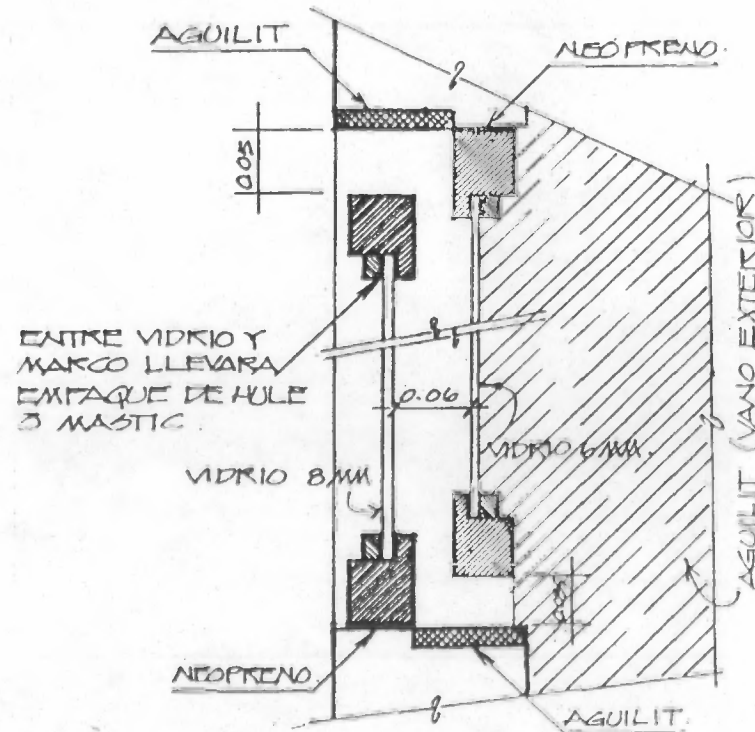
- a) El ajuste de la ventana debe ser perfecto (entre marco y vano)
- b) Las vibraciones de los marcos deben evitarse a cualquier precio.
- c) En cuanto a los vidrios, la regla del peso debe aplicarse. Cuando más grueso y pesado es el vidrio, resulta más insonoro.
- d) Los marcos metálicos (tubulares enperfilados) son preferibles.
- e) Prever marcos dobles (por ser una ventana tipo sifón esto será obvio).

La ventana que trabajaremos llevará una combinación de 2 vidrios de diferente espesor: el interior de 8 mm. y el exterior de 6 mm., con una abertura interna arriba y externamente abajo. Esta abertura será de 5 cm. interiormente y 3.5 cm. exteriormente. El dintel interno y externo, el sillar externo y parte -- del vano exterior se forrará de material altamente absorbente (alfombra $\alpha = 0.4$, 0.6 o agulit $\alpha = 0.7$). El uso de vidrios gruesos ayudará a evitar el paso de frecuencias bajas muy frecuente en los ruidos de las calles, además, las aberturas pequeñas evitarán el paso de estas mismas frecuencias. Los materiales en el vano, dintel y sillar, ayudarán a absorber las frecuencias altas.

En cuanto a ventilación, el sistema podrá ser deficiente; se prevee uso de extractores de aire.

El siguiente diagrama muestra en forma gráfica lo antes expuesto:

DIAGRAMA D.V.5



V.2.5 Instalaciones Sanitarias

Una frase puede darnos la idea del trabajo a realizar: "no hacer un agujero sin tapanlo luego". Las siguientes recomendaciones serán útiles:

- a) El trazo de las tuberías no debe comportar curvaturas de escaso radio y ángulos muy vivos, todo ello provoca silbidos. Los codos deberán ser suficientemente redondeados.

- b) En cuanto a tubería sanitaria, debe procurarse caídas continuas y supresión de tuberías que remontan nuevamente el camino.
- c) Las juntas no deben formar cambios bruscos de diámetro (entre cañerías, depósitos, etc.)
- d) Las grapas de fijación no deben ser numerosas.
- e) En algunos casos estas grapas deberán ser elásticas (con resorte o con forro entre grapa y tubería).
- f) Debe ponerse mastic o sello de asfalto al atravesar las tuberías por losas.
- g) Si fuere necesario deberá forrarse las tuberías de drenaje con hule butílico o lana mineral.
- h) Deben buscarse aparatos silenciosos (probarlos antes de comprarlos).
- i) Localizar fuente de ruido e impedir su propagación.

V.2.6 Pisos

En vestíbulos y pasillos utilizar alfombra sobre esponja para evitar ruidos de impacto. En caso de no poder usar, por razones económicas, alfombra, utilizar en vestíbulo piso de vinil (más absorbente que el de granito de mármol).

V.2.7 Sistema de Ventilación

- a) Deberá de colocarse toda maquinaria o motor sobre bases con resortes para evitar ruidos de impacto.
- b) En lugares críticos los conductos deberán suspenderse sobre resortes de 1/4" de deflexión.
- c) El cuarto de maquinaria será aislado (puede estar sobre la losa al aire libre).
- d) Las salidas de los conductos a las salas deben tener silenciadores.

Un sistema de extractores de aire presupone un costo alto por lo cual se estudiará el dejar prevista la instalación de dicho sistema y hasta construida la obra comprobar su absoluta necesidad para luego hacer la inversión.

V.3 ESTUDIAR DOS CASOS CRITICOS DE AISLAMIENTO

Como premisa diremos que el nivel de ruido aceptable dentro de la sala será como se mencionó en V.1 de 30 db.

Dos casos estudiaremos:

V.3.1 El ruido entrando por el techo

En el caso más crítico tenemos el ruido de un avión a chorro que según el cuadro C.V.3 es de 100 db. Con el techo diseñado según V.2.3 logramos aislar 55 db., tendremos en este caso una diferencia de $100 - 55 = 45$ db.

Observamos que hay un exceso de ruido entrando por el techo de 45 db. - 30 db. (nivel ideal) = 15 db. que podría eliminarse pero a costa de un incremento en el costo, sería necesario el uso de una losa doble lo cual resulta prohibitivo para el principio de economía que hemos querido dar a nuestro estudio. Consideramos que estos 15 db. serán críticos en casos muy esporádicos, ya que la hora de realizar actividades en este tipo de locales es generalmente por la noche, cuando el tráfico de aviones es mínimo.

V.3.2 El ruido entrando por los muros principales (laterales)

Según C.V.3 el nivel de ruido de automóviles será de 55 db., este será el más común por lo cual vale la pena analizarlo.

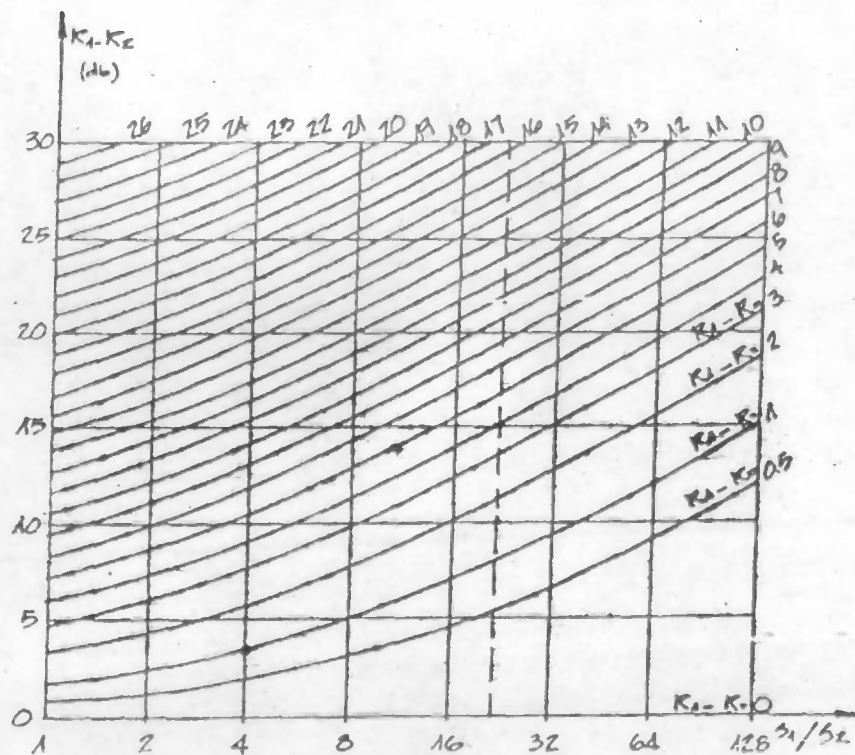
Los muros principales están compuestos por 2 muros de soga con ladrillo perforado de diferente espesor. El interno con ladrillo de $0.065 \times 0.11 \times 0.23$ y con la cara que da hacia la sala, repellada. El otro muro es con ladrillo de $0.065 \times 0.14 \times 0.23$, este da hacia el exterior con una cara repellada. El peso total de este muro doble incluyendo el revestimiento y la argamasa es de 273 kg/M^2 aproximadamente.

Según la gráfica F.V.2 el aislamiento de este muro es de 49 db. A este aislamiento tenemos que sumarle el del espacio de aire intermedio entre los muros: según el cuadro C.V.4 para 0.08 M. tenemos un aislamiento de 12 db.

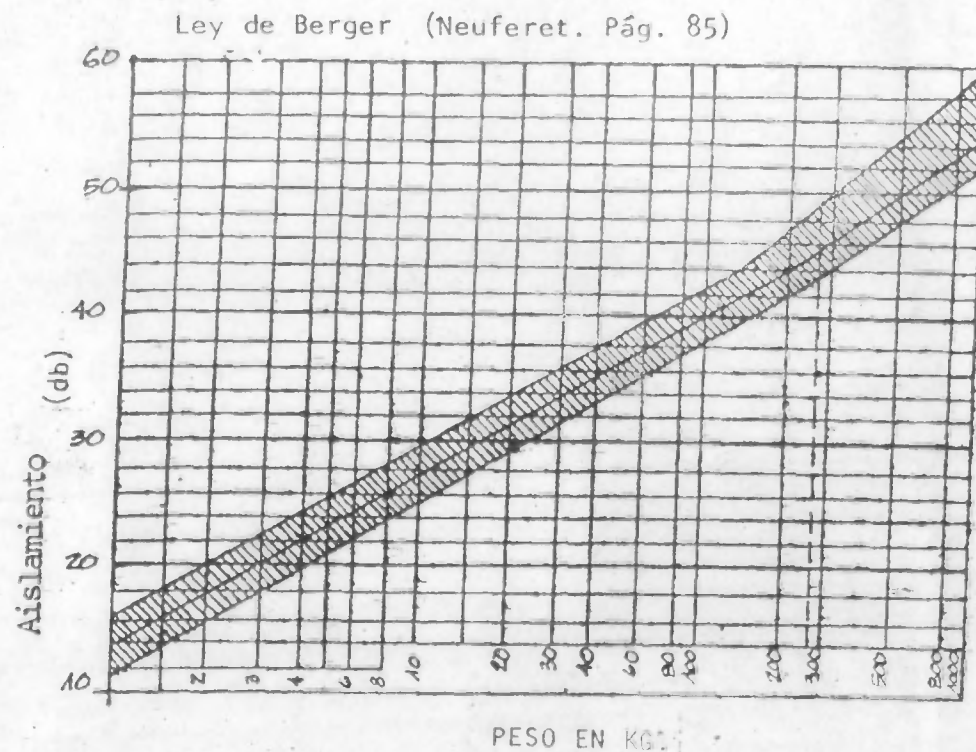
El aislamiento total incluyendo el espacio de aire será:

$$49 + 12 = 61 \text{ db.}$$

Como este muro está abierto por ventanas en varios puntos analizaremos la disminución que sufre en su aislamiento total debido a las aberturas. Para ello utilizaremos el abaco que emplea M. Meyser en su libro "Acústica de Edificios", pág. 156 (Gráfica F.V.1)



GRAFICA F.V.1



GRAFICA F.V.2

NOMENCLATURA DE LA GRAFICA F.V.1

R_1 = Índice de debilitamiento del elemento más aislante (muro).

R_2 = Índice de debilitamiento del elemento menos aislante (ventana-puerta).

R = Índice de debilitamiento resultante.

S_1 = Superficie del elemento más aislante.

S_2 = Superficie del elemento menos aislante.

Según el cuadro C.III.4 el área total del muro lateral es de 5811 pié² equivalente a 540 M², además el área de ventanería (vidrio y marco) es de 86 pié² equivalente a 8 m². Para obtener el S_2 tenemos que añadir el área de una puerta que está al medio de este muro. Su área es 4 M²; S_2 será entonces 12 M². El aislamiento de ventanas y puertas es de 25 db. (para puerta es de 30 db. pero se asumirá un valor mínimo).
Nuestro valores son:

$$R_1 = 61 \text{ db.}$$

$$R_2 = 25 \text{ db.}$$

$$S_1 = 540 \text{ M}^2$$

$$S_2 = 12 \text{ M}^2$$

Para utilizar el abaco tenemos:

$$R_1 - R_2 = 61 - 25 = 36 \text{ db.}$$

$$S_1/S_2 = \frac{540}{12} = 45$$

El abaco nos da:

$$R_1 - R = 18$$

$$R = 43 \text{ db.}$$

El aislamiento total del muro será de 43 db. lo cual permitirá el paso de: $55 - 43 = 12 \text{ db.}$, - esto no significa mucho ya que el nivel permisible adoptado es de 30 db. Está pues convenientemente satisfecho el aislamiento contra el ruido de automóviles.

CONCLUSIONES

- 1) El diseño acústico de un local presupone una inversión más alta que la construcción normal. El tipo de materiales a usarse son generalmente más sofisticados y requieren de un análisis cuidadoso de laboratorio.
- 2) No se cuenta en nuestro medio con un laboratorio específico para probar las cualidades acústicas de los materiales nacionales. Tampoco se cuenta con equipo necesario para analizar los fenómenos acústicos en los locales ya construídos.
- 3) La acústica como ciencia aplicada a la construcción es todavía muy poco practicada en nuestro medio. Salvo en casos muy especiales; debido esto a que la polución sonora no ha llegado a niveles críticos.
- 4) Existe poca literatura sobre la materia, tanto a nivel de Bibliotecas como de librerías, en nuestro medio. Algunos libros existentes son en Inglés u otro idioma. Lo anterior dificulta la investigación adecuada del tema.
- 5) Para la realización de un diseño acústico debe existir una supervisión adecuada en el terreno mismo de la construcción; el detalle más insignificante, aparentemente, podría tener consecuencias negativas que incidirían en el éxito del proyecto hablando acústicamente.
- 6) Los resultados obtenidos con el análisis acústico através de las fórmulas existentes no son absolutamente seguros, debido al carácter experimental de dichas fórmulas. Se hace necesario al construir el proyecto, realizar un chequeo ya sea por medio de aparatos o en forma estimativa para asegurar resultados óptimos en la construcción.
- 7) Para concluir diremos que el estudio de los fenómenos acústicos presupone el análisis de elementos de diversas materias, por ej.: Física, Geometría, Matemáticas, etc. El trabajo del autor ha sido plantear un análisis somero sobre la materia y abrir la inquietud del sector para profundizar más de lleno en el fascinante mundo de los fenómenos acústicos.

RECOMENDACIONES

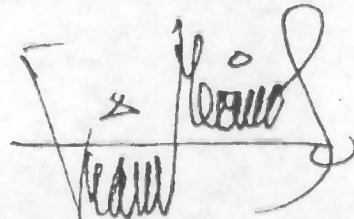
- 1) Debería ser una inquietud de la Facultad de Arquitectura implementar un estudio para el montaje y realización de un laboratorio para pruebas de cualidades acústicas de los materiales, estudio de los fenómenos del sonido, etc. Además, implementar la existencia de literatura actualizada y en idioma Español, referente a la materia. (El laboratorio de física podría contener en una de sus partes el laboratorio para acústica)
- 2) Implementar el curso de Acústica (optativo) a través de la utilización de profesionales con conocimiento y experiencia sobre la materia, dándole a la misma un enfoque práctico-teórico.
- 3) El aspecto acústico en el diseño debe ser trabajado desde el inicio del proyecto e incorporarse a un profesional experto o conocedor de la materia al igual que se hace con renglones como agua, drenajes, aire acondicionado, etc.
- 4) La fase de construcción es vital para lograr los fines propuestos acústicamente; la supervisión deberá realizarla un conocedor de la acústica y especialmente en detalles de aislamiento de ambientes, colocación de puertas, ventanas, artefactos sanitarios, tuberías diversas, etc. Un error en la colocación de algún elemento puede tener efectos catastróficos en el resultado final del conjunto.
- 5) La construcción de un local bajo normas acústicas presupone la selección y análisis de cada uno de los materiales que conformarán los diferentes elementos de la construcción: Muros, puertas, etc.
- 6) Al concluirse una obra deberá realizarse un chequeo minucioso con las diferentes actividades que serán comunes en el local, esto, permitirá realizar las correcciones necesarias para la obtención de resultados óptimos.

B I B L I O G R A F I A

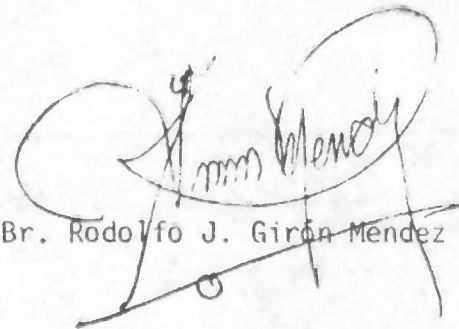
1. ARQUITECTURA ACUSTICA. Cullum, Douglas Jacks Wayth, (1949). London, E. & F.N. SPON
2. ACUSTICA DE LOS EDIFICIOS. Mathias Meyser. Editorial Técnicos Asociados, Barcelona, España, (1973). Primera edición española.
3. ACUSTICA DE LOS LOCALES. Karlhans, Weisse, Editorial Gustavo Gili, S.A.
4. ACUSTICA ARQUITECTONICA. A.C. Raes. Editorial Víctor Lerú, Buenos Aires (1953).
5. EL ARTE DE PROYECTAR EN ARQUITECTURA. Neufferet, Ernest. Editorial Gustavo Gili. Duodécima edición (8a. tirada), 1980.
6. "REMODELACION DEL TEATRO NACIONAL SEGUN LA ACUSTICA DE AUDITORIOS". Tesis profesional del Ing. - Efraín Recinos. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1975.
7. MANUAL DEL ARQUITECTO Y EL CONSTRUCTOR. Kidder-Parker, UTEHA, México. Reimpresión de 1967.
8. PLANEACION DE EDIFICIOS Y MODELOS DE DISEÑO. Sleeper, Harold H. UTEHA, México, (1966). Primera edición en español.



FACULTAD DE ARQUITECTURA



Vo.Bo. Ing. Efraín Recinos
Asesor



Br. Rodolfo J. Girón Méndez



Vo.Bo. Arq. Julio Corea
Asesor

IMPRIMASE



Arq. Miguel A. Santa Cruz
DECANO EN FUNCIONES