



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Acústica

**Profesor Patrocinante
George Sommerhoff Hyde
Instituto de Acústica
Universidad Austral de Chile**

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ESCENARIO AL AIRE LIBRE MEDIANTE UNA CONCHA ACUSTICA

**Tesis presentada para optar al grado
de Licenciado en Acústica y al Título
profesional de Ingeniero Acústico.**

JULIO ALBERTO ALARCON AGUIRRE

VALDIVIA - 2002

INDICE

1. RESUMEN	4
1.1 <i>Abstract</i>	5
2. INTRODUCCION	6
3. OBJETIVOS GENERALES	8
3.1 <i>Objetivos Específicos</i>	
4. PROPAGACION DEL SONIDO AL AIRE LIBRE	9
4.1 <i>Atenuación por Distancia</i>	9
4.2 <i>Atenuación por Aire</i>	9
4.3 <i>Potencia e Intensidad</i>	11
5. COMPORTAMIENTOS DE LAS ONDAS SONORAS	13
5.1 <i>Reflexión</i>	13
6. ACUSTICA GEOMETRICA	16
6.1 <i>Reflexión en superficies planas</i>	16
6.2 <i>Reflexión en superficies curvas</i>	18
6.3 <i>Determinación de una zona de eco</i>	19
6.3.1 <i>Trazado de la hipérbola</i>	20
7. REFLEXIONES UTILES, MOLESTAS Y NO MOLESTAS	21
8. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UNA CONCHA ACUSTICA EN UN RECINTO AL AIRE LIBRE	23

9.	DISPOSICION DEL PLANO DE AUDICIÓN	25
10.	EL METODO DE LYON	26
11.	DISEÑANDO UNA CONCHA ACUSTICA	33
11.1	<i>Ubicación del terreno</i>	33
11.2	<i>Dimensión y área del terreno</i>	34
11.3	<i>Forma y característica de las gradas</i>	35
11.4	<i>Aplicación del Método de Lyon</i>	36
11.4.1	<i>Primera aproximación</i>	36
11.4.2	<i>Segunda aproximación</i>	38
11.4.3	<i>Tercera aproximación</i>	42
11.5	<i>Concha acústica en 3D</i>	44
11.6	<i>Discretización del Método de Lyon</i>	47
11.7	<i>Características de las aproximaciones propuestas</i>	49
11.8	<i>Medidas de la aproximación elegida (4 lados)</i>	50
12.	CALCULO DE NIVEL DE PRESION SONORA	52
12.1	<i>Sectorización de las gradas</i>	52
12.2	<i>Nivel de presión sonora</i>	54
12.2.1	<i>Mapa de distribución sonora</i>	58
12.3	<i>Nivel de presión sonora considerando atenuación del aire</i>	59
12.3.1	<i>Mapa de distribución sonora</i>	60
12.4	<i>Diferencias de Tiempos de Llegada y diferencias de nivel entre el sonido directo y el sonido reflejado</i>	61
13.	PRESUPUESTO Y COSTO DE LA OBRA	63

14. PROCEDIMIENTOS LEGALES	67
14.1 <i>Derechos municipales</i>	67
14.2 <i>Clasificación de las edificaciones</i>	68
14.2.1 <i>Construcción tradicional</i>	68
14.2.1.1. <i>Determinación de categorías de la edificación</i>	69
14.2.1.2. <i>Categorías 1,2 y 3</i>	69
14.2.1.3. <i>Cuestionario de atributos</i>	70
14.2.1.4. <i>Categoría 4</i>	76
14.2.1.5. <i>Categoría 5</i>	77
14.2.2 <i>Otras construcciones</i>	80
15. COSTO AL DERECHO DE CONSTRUIR	83
16. ANEXOS	84
17. CONCLUSIONES	95
18. BIBLIOGRAFÍA	98

1. RESUMEN

La presente Tesis, trata del diseño y construcción de un escenario al aire libre, que consistirá en una concha acústica, la que formará parte de un recinto de espectáculo con una capacidad determinada de espectadores. Estará ubicada en la Región Metropolitana específicamente en el pueblo de Pomaire.

El diseño y forma que tendrá la concha acústica, se basará en la teoría geométrica, en un método particular llamado *Método de Lyon*, que tras una serie de aproximaciones, darán el resultado final de la obra a construir.

Se utilizarán los programas de diseño gráfico Rhinoceros y AutoCad R14, los que ayudarán a dar una visión más clara, desde el punto de vista arquitectónico simulando la realidad.

Finalmente, se entregará un presupuesto de costo, junto con la legalidad y el permiso municipal que implica esta construcción.

1.1 Abstract

The present thesis, is about designing and constructing an outdoors scenario which consist of an acoustic shell which will be part of a show enclosure with a certain capacity of spectators. It will be located, specifically, in the Metropolitan region in the town of Pomaire.

The design and form of the acoustic shell will be based on the geometric theory, particularly in the so called Method of Lyon that after a series of approaches will provide the final result of the work to be built.

The programs of graphic design Rhinoceros and AutoCad R14 will be used. They will help to give a clearer vision, from the architectural point of view simulating the reality.

Finally, a cost budget will be provided, together with the legality and the municipal permission that this construction implies.

2. INTRODUCCIÓN

Percibir un sonido de un instrumento musical en forma satisfactoria, a distancias relativamente grandes en un recinto al aire libre, es casi imposible si no se cuentan con las superficies adecuadas y la ubicación correcta de ellas, que ayuden a reforzar el sonido directo en el receptor. Esto se debe principalmente a la atenuación que sufre el sonido, a medida que se va propagando, quedando inmerso en el ruido de fondo existente.

Antiguamente, en los teatros griegos se alcanzaban distancias cercanas a los 70m, donde el nivel sonoro era sorprendentemente bueno. La explicación de tal circunstancia, radicaba principalmente en el hecho de que el teatro se hallaba en una zona de bajo ruido de fondo, el sonido directo, era reforzado por una plataforma circular altamente reflectante y las pronunciadas pendientes de las gradas que permitían obtener grandes ángulos de incidencia de los sonidos directo y reflejado^[1].

Sin embargo, estos tipos de teatros tenían defectos acústicos demasiados notorios, siendo la concentración de sonido el principal problema. Esto se debía, a la forma circular de las gradas, que originaban convergencias de sonidos en el lugar que se desarrollaba la acción.

Hoy en día, en el mundo son pocos los escenarios al aire libre que cumplen con las condiciones acústicas de reflejar el sonido de una manera óptima, abarcando un amplio rango de área de una fuente sonora ubicada en dicho lugar.

De los escenarios recién mencionados, destacan:

“La Cáscara del Cuenco Hollywood Bowl” y “La Concha Reflectora del Parque de Atracciones de Madrid”. En estos recintos, se realizan conciertos de música clásica, obras de teatros y todo tipo de espectáculo de música pop.

En la actualidad, Chile no cuenta con lugares como los ya citados, salvo la concha acústica de la Quinta Vergara ubicada en la ciudad de Viña del Mar, que con el pasar del tiempo ha ido transformándose, y por ende, perdiendo por completo la estructura y función acústica que se destinó en un principio.

La idea central de éste trabajo, es diseñar y construir en un recinto, una concha acústica acondicionada para música clásica, sin dejar de pensar que en ella se puedan desarrollar otro tipo de actividades.

Se consideraran aspectos importantes desde el punto de vista arquitectónico como lo son, la forma y estética. Se entregará un presupuesto de costo en cuanto a su estructura y se aplicarán los derechos municipales por concepto de Permisos de Construcción.

La finalidad del siguiente estudio, que contempla el diseño y construcción de un escenario mediante una concha acústica, es hacerlo real en un plazo cercano, mientras tanto se harán todos los pasos teóricos y procedimientos legales, que conllevarán a la realización de éste.

3. OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar un recinto de espectáculos al aire libre, que cuente con un escenario con características acústicas apropiadas
- Utilizar una concha acústica en el diseño del escenario

3.1 *Objetivos Específicos*

- Emplear una concha acústica que ayude a direccionar el sonido a un sector de área determinado.
- Dimensionar el escenario de manera correcta para que no se produzcan señales desfasadas del sonido.
- Diseñar una Concha Acústica usando el *Método de Lyon*.
- Asegurar un nivel de presión sonora adecuado, a distancias relativamente grandes del escenario.
- Tomar en consideración la estética del escenario a construir.
- Utilizar materiales que permitan reflejar el sonido de manera óptima hacia el público.
- Decidir el material de construcción de la obra, sobre la base de alternativas de presupuestos.
- Analizar el tipo de construcción, para luego aplicar los derechos municipales por concepto de permiso de edificación.

4. PROPAGACION DEL SONIDO AL AIRE LIBRE

Al propagarse el sonido al aire libre en ausencia de superficies reflectantes, se origina una disminución del nivel sonoro, al aumentar la distancia entre la fuente y el receptor. Esta atenuación, es debido a varios factores, siendo los más importantes la atenuación por distancia y la absorción a través del aire en el cual se propagan las ondas sonoras.

4.1 Atenuación por Distancia

A medida que un receptor se aleja de una fuente, el nivel de presión sonora resultante disminuye en forma inversa con el cuadrado de la distancia, provocando un descenso en el nivel sonoro de 6 dB cada vez que ésta se duplique.

$$A_{Dis\ tan\ cia} = 20 \log \left(\frac{r}{r_{ref}} \right) \quad (4.1)$$

donde

r : Distancia desde la fuente al receptor.

r_{ref} : Distancia desde la fuente a un punto de referencia.

4.2 Atenuación del Aire

Cada vez que el sonido se propaga a través de la atmósfera, su energía se convierte gradualmente en calor, lo que corresponde a la absorción del aire y la atenuación viene dada por^[2].

$$A_{\text{aire}} = a \cdot d \quad (4.2)$$

donde

α : Coeficiente de atenuación del aire en dB/100m dependiente de la frecuencia, temperatura y humedad relativa del ambiente. (ver tabla 4.1)

d : Distancia a la que se quiere obtener la atenuación.

Humedad relativa %	Temperatura °C	Coeficiente de Atenuación del aire (dB/100m)							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
25	15	0.02	0.06	0.13	0.24	0.59	1.93	6.69	19.80
	20	0.02	0.06	0.15	0.26	0.54	1.55	5.37	18.05
	25	0.02	0.06	0.16	0.31	0.56	1.35	4.36	15.34
	30	0.01	0.05	0.17	0.37	0.65	1.30	3.70	12.82
50	15	0.01	0.04	0.12	0.24	0.43	1.03	3.32	11.84
	20	0.01	0.04	0.12	0.28	0.50	1.00	2.81	9.74
	25	0.01	0.03	0.12	0.32	0.62	1.08	2.56	8.22
	30	0.01	0.03	0.11	0.34	0.74	1.28	2.54	7.24
75	15	0.01	0.03	0.10	0.24	0.45	0.87	2.37	8.16
	20	0.01	0.03	0.09	0.27	0.55	0.96	2.20	6.91
	25	0.01	0.02	0.09	0.28	0.65	1.15	2.24	6.15
	30	0.01	0.02	0.08	0.27	0.74	1.42	2.40	6.84

Tabla 4.1: Coeficiente de atenuación α por cada 100m^[3]

Como se puede observar en la tabla 4.1, las atenuaciones que presenta el aire a 100 m son bastantes bajas. Por ejemplo, a una temperatura de 25°C y una humedad relativa del 50%, la atenuación correspondiente a una frecuencia de 500 Hz, es de 0.32 dB, valor que es despreciable. Sin embargo, a una distancia de 10000 m, la atenuación asciende a 32 dB, para la misma frecuencia.

Estos resultados, ilustran que la atenuación del sonido en el aire, puede ser insignificante para distancias cortas desde la fuente (distancias inferiores a varios cientos de metros), salvo, para frecuencias muy altas (por encima de los 5000 Hz)^[2]. A distancias grandes, donde la atenuación por absorción del aire es

significativa para todas las frecuencias, el nivel sonoro ha de calcularse en función de cada una de ellas, a la temperatura y humedad relativa especificada.

Por lo tanto, la atenuación total en el trayecto de propagación fuente-receptor, será:

$$A_{total} = A_{distancia} + A_{aire} \quad (4.3)$$

4.3 Potencia e Intensidad

La relación existente entre la potencia y la intensidad acústica, en ausencia de superficies reflectantes es:

$$I = \frac{WQ}{S} = \frac{WQ}{4\pi r^2} \quad (4.4)$$

donde

W : Potencia de la fuente.

Q : Factor de directividad de la fuente.

r : Distancia que recorre el sonido directo.

Cuando el sonido encuentra superficie en donde reflejarse, tendremos una intensidad reflejada:

$$I' = \frac{WQ(1-a)}{4\pi r^2} \quad (4.5)$$

donde

α : Coeficiente de absorción de la superficie reflectora.

r : Distancia que recorre el sonido reflejado.

Q : Factor de directividad del sonido reflejado.

En la práctica, se supone que la fuente sonora es omnidireccional, es decir, $Q=1$ para todo ángulo de incidencia.^[4]

En campo libre, para ondas planas o esféricas, la intensidad se relaciona con la presión de la siguiente manera:

$$I = \frac{P^2}{r_0 \cdot c} \quad (4.6)$$

donde

r : Densidad del aire.

c : Velocidad del sonido en el aire, siendo el producto de ambos la resistencia característica del medio.

De las expresiones (4.4), (4.5) y (4.6) se obtienen las siguientes fórmulas:

$$L_p = 10 \text{Log} \left(\frac{Irc}{P_0^2} \right) \quad L'_p = 10 \text{Log} \left(\frac{Irc}{P_0^2} \right) \quad (4.7)$$

donde

L_p : Nivel de presión sonora del sonido directo.

L'_p : Nivel de presión sonora del sonido reflejado.

P_0 : Presión de referencia $2 \cdot 10^{-5}$ (pascal).

5. COMPORTAMIENTOS DE LAS ONDAS SONORAS

Las ondas sonoras viajan en todas direcciones a partir de la fuente, sin embargo, cuando ellas encuentran un obstáculo, se producen diversos fenómenos:

Reflexión, Refracción y Difracción.

Será motivo de estudio la reflexión, ya que, en la teoría geométrica con la cual se trabajará, la propagación en línea recta, es el principal postulado, despreciando los otros dos fenómenos^[5].

5.1 Reflexión

Al contrario que en óptica (donde todas las longitudes de ondas son muy cortas en relación con el tamaño de los objetos de la vida diaria, menores a 1/1000 mm), en acústica debemos tratar con longitudes de ondas largas y cortas.

Las longitudes de ondas largas, se curvan alrededor de la mayor parte de los obstáculos y continúan avanzando, reflejándose especularmente en una superficie rugosa como si ésta estuviera pulida, mientras que las ondas cortas pueden producir sombras (debido a que no se curvan) y ser reflejadas en forma difusa en todas direcciones por una superficie rugosa.

El criterio de lo que es *grande* o *pequeño* en el campo de las ondas, es siempre su longitud, dando la información si la reflexión es especular o difusa:

- Si la longitud de onda del sonido incidente, es mucho mayor que las irregularidades que presenta la superficie, se produce una reflexión regular, cumpliéndose así la *ley de reflexión*, en donde el ángulo de incidencia es igual al ángulo reflejado.

- Si las irregularidades de la superficie se compara con el tamaño de la onda incidente, se produce una reflexión difusa.
- Si la longitud de onda es mucho menor que las asperezas de la superficie, se produce nuevamente una reflexión regular, pero esta vez, es debido a cada una de las irregularidades de la superficie. (ver figura 5.1)

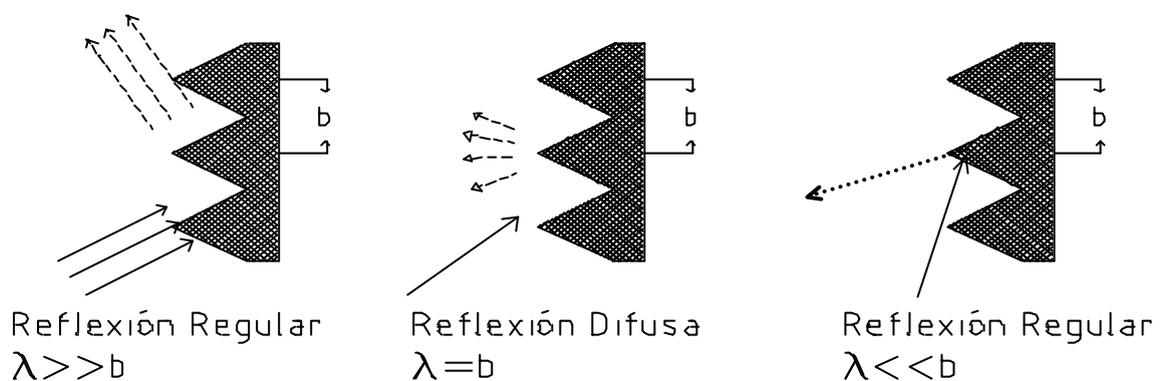
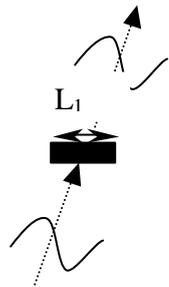


Figura 5.1: Reflexión de las ondas sonoras sobre una superficie para distintas longitudes de ondas

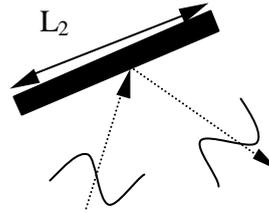
Para evitar que las superficies de reflexión, no absorban las frecuencias bajas y reflejen en todo el espectro de frecuencia, se recomienda utilizar materiales que posean una densidad superficial como mínima, de 20 Kg/m².^[4]

Partiendo de un elemento reflector de dimensiones prefijadas y suponiendo que el sonido tiene un contenido espectral amplio, dicho elemento actuará como tal, a partir de una cierta frecuencia. En cambio, a todas aquellas frecuencias para las que se cumpla que las condiciones del reflector sean menores que las correspondientes longitudes de ondas, tendrá lugar un efecto de difracción de la onda incidente.

Este efecto, consiste en un cambio de forma de la onda sonora de manera que, en lugar de ser reflejada, la onda rodea el reflector y sigue su camino como si el elemento no existiese.



Difracción: $L_1 < \lambda/2$



Reflexión: $L_2 > 2 \lambda$

Figura 5.2 ^[1]: Visualización de los efectos de difracción y reflexión del sonido sobre dos superficies de distintas dimensiones para una misma onda sonora de longitud de onda λ .

6. ACUSTICA GEOMETRICA

En la teoría geométrica, el concepto de onda se reemplaza por el de *rayo sonoro*, el que nos permite trabajar con mayor facilidad y descubrir las posiciones perjudiciales para las condiciones acústicas de un determinado lugar.

Esta teoría, consiste en la construcción de diagramas que muestran el camino de los rayos sonoros reflejados, la misma que se utiliza con la luz, suponiendo que las reflexiones son *especulares* y se emplea con mayor precisión en el caso límite de longitudes de ondas muy pequeñas, es decir, para frecuencias altas. Esta consideración es correcta, si las dimensiones de las superficies son grandes comparadas con la longitud de onda del sonido incidente.

6.1 Reflexiones en superficies planas

Los rayos reflejados por una pared forman con la normal, el mismo ángulo con que inciden, tal como se muestra en la figura.

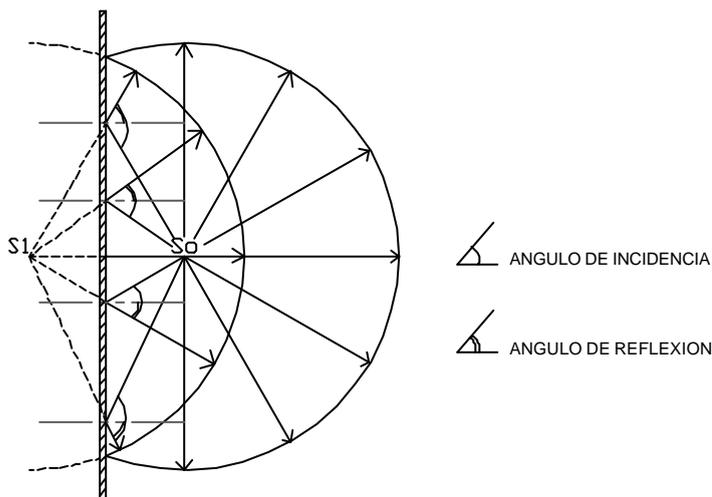


Figura 6.1: Reflexión de un frente de onda de una pared plana.

La disposición de dos paredes perpendiculares entre sí, darán origen a tres ondas reflejadas, dos de las cuales son de primer orden y una de segundo orden, originada en la proyección de la esquina.

Las reflexiones sobre planos que formen ángulos de $360/n$ con n número entero, producirán $n-1$ ondas reflejadas, formando con la onda directa un círculo de radio $r=c*t$.

Para el caso de ángulos que no sean múltiplos entero de 360° , las ondas de segundo orden no formarán curvas cerradas, produciéndose brechas en ángulos obtusos y cruzamientos en ángulos agudos. En esta situación, la intensidad de sonido no varía mucho, mas bien se produce el fenómeno de difracción.

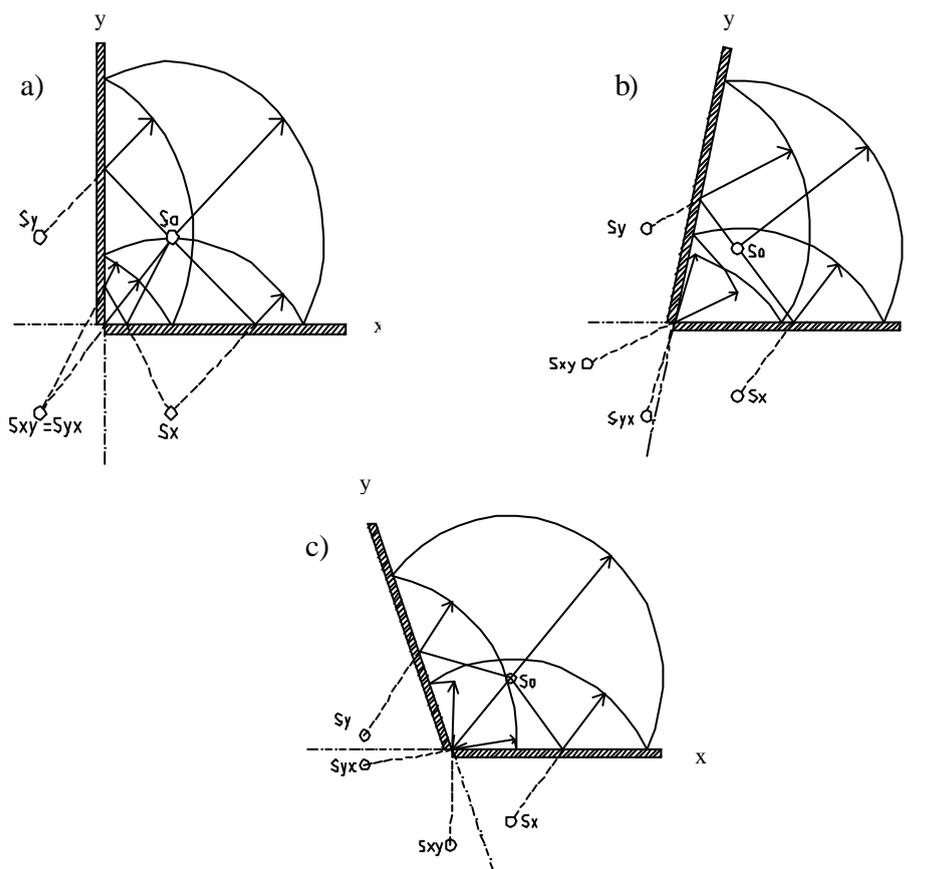


Figura 6.2: Reflexiones sobre planos con distintas inclinaciones. a) ángulo de 90° ; b) ángulo agudo; c) ángulo obtuso.

Una tercera forma de superficies planas, son las paredes paralelas, que originan múltiples fuentes imágenes y por ende, reflexiones de orden superior. Estas disposiciones son muy peligrosas, ya que, son potenciales superficies generadoras de ecos.

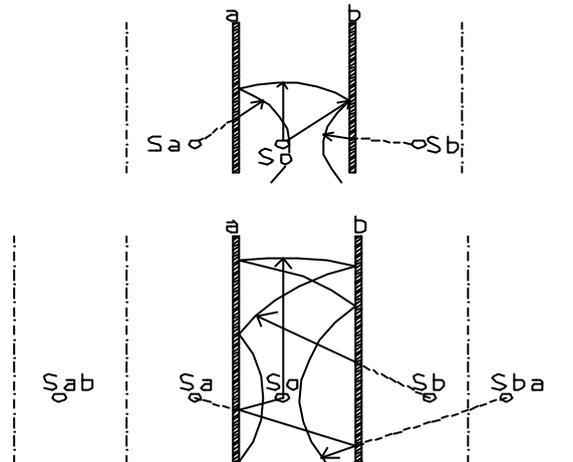


Figura 6.3: Reflexión en superficies paralelas

6.2 Reflexiones en superficies curvas

Las superficies convexas, que tengan un radio de curvatura mucho mayor que la longitud de onda del sonido incidente ($>5m$)^[1], originarán reflexiones regulares, respecto al plano tangente a la superficie en el punto de incidencia.

Se producirán concentraciones del sonido cuando las superficies sean cóncavas y dispersión, cuando sean convexas.

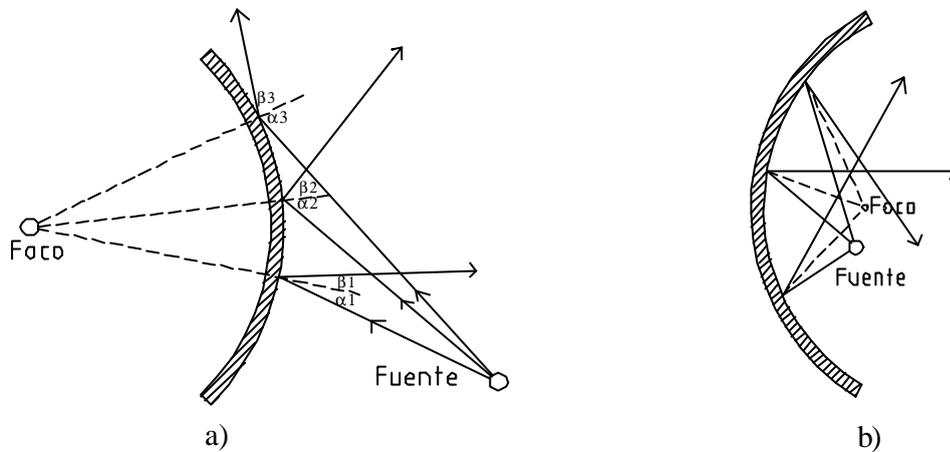


Figura 6.4: Reflexiones en superficies curvas. a) Superficie convexa. b) Superficie cóncava

Como regla general, toda superficie curva (cóncava), es potencialmente un peligro serio para una buena condición acústica si no se usan adecuadamente, y debe por tanto, ser examinada cuidadosamente para considerar sus efectos de concentración de sonido.

6.3 Determinación geométrica de una zona de eco

Uno de los problemas más serios y notorios en la acústica arquitectónica, es el eco, una reflexión molesta que se distingue claramente del sonido directo.

Cuando por efecto de una superficie reflectante, nos llega una onda reflejada con un retraso de tiempo Δt , que nos permita distinguir con claridad el sonido directo del reflejado, entonces se habrá producido el eco. El tiempo de retraso para que se origine este fenómeno, deberá ser mayor a 50ms para el caso de la voz hablada o mayor a 100ms para el caso de la música, lo que implica, que la onda reflejada va desplazada con respecto a la onda original en 17 y 34 m respectivamente.

Un método práctico para delimitar una zona de eco, es trazando una hipérbola, la que resulta al unir una serie de puntos encontrados, en un trazo continuo.

Utilizar la hipérbola como lugar geométrico que delimita una zona de eco, se debe, a que la diferencia de distancia de los puntos que la forman, a dos puntos fijos llamados focos, es siempre constante. Esta diferencia deberá ser 17 ó 34m según sea el caso.

6.3.1 Trazado de la Hipérbola ^[4]

En primer lugar se ubican los vértices V y V', los que se obtienen tomando a partir de la pared superior e inferiormente, la distancia de 17/2 ó 34/2, según sea el caso. Luego, exterior al segmento SS', se toma un punto cualquiera X₁ y con radio X₁V' y centro en S', se traza un arco. A continuación, con radio X₁V y centro en S se traza un nuevo arco que corte al anterior. De este modo, se habrá encontrado el primer punto P₁ perteneciente a la hipérbola. Repitiendo lo anterior con otro punto X₂, se hallará el punto P₂ y así, en forma sucesiva (ver figura 6.5).

Si la reflexión proviene de dos o más planos, se deben trazar hipérbolas límites correspondientes a cada superficie, quedando la zona de eco delimitada por la superposición de ellas.

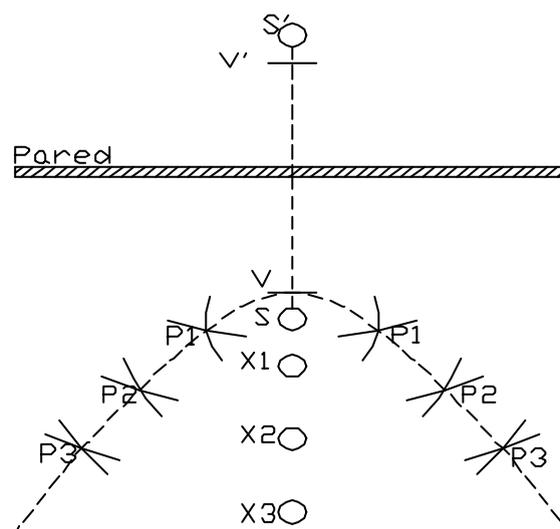


Figura 6.5: Hipérbola que determina una la zona de eco utilizando la acústica gráfica.

7. REFLEXIONES UTILES, MOLESTAS Y NO MOLESTAS

Cuando el sonido reflejado demora un tiempo Δt menor a 30 milisegundos en llegar a un auditor después de la llegada del sonido directo, el oído percibe, ambos sonidos como uno solo. Por lo tanto, el sonido reflejado permite reforzar el sonido directo y por ello se le llama *reflexión útil*.

Si el tiempo se torna mayor a 30 milisegundo, se tendrán dos situaciones: *Reflexiones molestas y no molestas*. Entonces, para predecir cuando ocurrirá una de ellas, es necesario apoyarse en el siguiente gráfico.

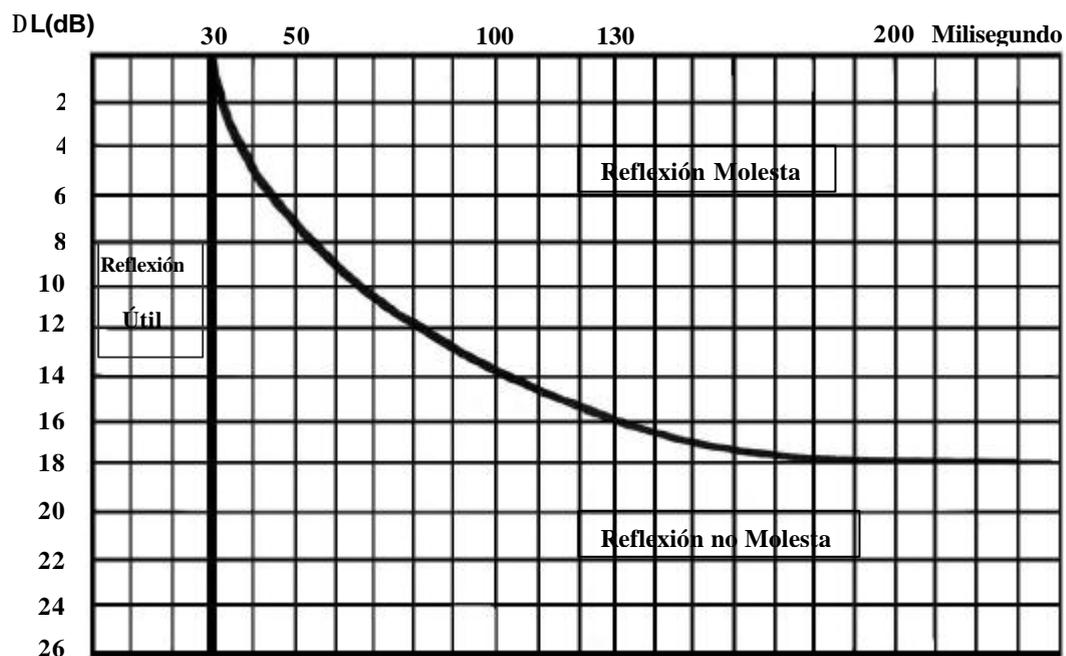


Figura 7.1: Gráfico que permite determinar las reflexiones útiles, molestas y no molestas, en función del tiempo Dt y diferencia de nivel de intensidad DL

- Si ΔL está sobre la curva, el sonido reflejado perturba la audición nítida del sonido directo. A esta reflexión se le llama *reflexión molesta*. En la misma zona, por sobre los 50 milisegundos está reflexión molesta se denomina *eco*.
- Si ΔL está bajo la curva, el sonido reflejado no perturba al sonido directo y por ello se le denomina *reflexión no molesta*.

Δt y ΔL se determinan de la siguiente manera:

$$\Delta t = \frac{r' - r}{c} \quad (7.1)$$

donde

r' : Distancia que recorre el sonido reflejado.

r : Distancia que recorre el sonido directo.

c : Velocidad del sonido 344m/s.

$$\Delta L = 10 * \text{Log} \left(\frac{I}{I'} \right) \quad (7.2)$$

donde

I : Intensidad del sonido directo.

I' : Intensidad del sonido reflejado.

Las intensidades se obtienen a partir de las ecuaciones (4.4) y (4.5)

8. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UNA CONCHA ACÚSTICA EN UN RECINTO AL AIRE LIBRE

Uno de los factores acústicos más importante a tener en cuenta, al momento de construir una concha acústica al aire libre, diseñada para música sin refuerzo sonoro (música sinfónica), es contar con un lugar lo más tranquilo posible, lejos de ruidos ocasionales y favorable desde el punto de vista topográficos y meteorológicos. Cumpliéndose estas condiciones, el terreno será apto para la construcción.

En cuanto al diseño del escenario, se deben cumplir ciertas características que se detallan a continuación:

- Las dimensiones van en directa relación al sector de la audiencia que se quiere cubrir, sin exceder ciertos límites. No es conveniente que el escenario sea ni muy ancho ni muy profundo, ya que, un ancho excesivo producirán retardos de sonidos en los oyentes situados en los dos extremos laterales del recinto, y si es muy profundo, los posibles instrumentos que están al fondo del escenario llegarán al auditor retrasado con respecto a los sonidos emitidos al frente del escenario. Se recomienda que cualquier sector no sobrepase un ancho y profundidad de 18 y 12m respectivamente [4].

Si la altura promedio sobrepasa los 9m, la profundidad deberá ser menor a ésta.

- Cuando se quieran evitar superficies curvas, lo óptimo, es disponer de paredes laterales en forma divergentes (La adición de estas paredes, producirán un mayor refuerzo y harán que la concha ubicada en el escenario sea más directiva).

- La abertura de las paredes, deberán ser de tal manera que la audiencia quede dentro de un ángulo no superior a 140° , debido, a la direccionalidad que presentan la mayoría de los instrumentos y también, por un efecto de una buena visión del público hacia el escenario.
- El suelo del escenario deberá estar elevado, dependiendo de la altura a la que se encuentra la primera fila de auditores y la pendiente de las gradas, será tan elevada de acuerdo a las condiciones que se vayan presentando, teniendo en cuenta que un aumento en la pendiente, implica un aumento en la altura de la concha Acústica.
- La distribución del sonido debida a una fuente en el escenario puede calcularse en forma aproximada para la zona de asientos, por el método de imágenes.
- Las superficies interiores de una concha acústica al aire libre para que funcione como tal, deberán estar revestidas con materiales muy reflectantes y de alta densidad superficial, como puede ser hormigón, ladrillo revestido con yeso, terciado marino, etc. Si se usan paneles, la densidad y el espesor deben ser elevados, se recomienda una densidad superficial como mínimo de 20Kg/m^2 , ya que permiten evitar la absorción *diafragmática* a bajas frecuencias, característica del uso de paneles excesivamente ligeros que se comportan como resonadores de membrana^[1].

Un método particular en la determinación de un concha acústica, es “*El Método de Lyon*” ^[4] (apartado 10), basado en la construcción de rayos sonoros, el cual se empleará, considerando también, todos los aspectos anteriores.

9. DISPOSICION DEL PLANO DE AUDICION

El sonido directo que llega a cada espectador, no debe ser obstruido por los espectadores situados delante de él. Este requerimiento se cumple, si existe una buena visibilidad del escenario.

La diferencia de altura entre dos filas consecutivas, en relación a una fuente sonora, debe ser al menos de 0.12m ó 0.08m si las filas están desplazada una con respecto a la otra en medio asiento ^[4].

Se considera una inclinación de las gradas de 8° como valor mínimo, donde todos los oyentes estarán bien situados con respecto al flujo de energía sonora procedente del escenario, de esta manera, se solucionará el problema de la incidencia rasante del sonido, conocido como *seat deep*.*

Si las gradas forman arcos de circunferencias, el centro de curvatura deberá caer fuera del escenario, a fin de evitar convergencia de los sonidos provenientes de ellas. También, se sugiere una inclinación de los respaldos y de la parte inferior de los asientos de las gradas en unos 10° aproximadamente ^[5].

* Atenuación que se produce cuando el sonido se propaga por encima de un área altamente absorbente ocupadas por sillas (con o sin público), donde el ángulo de incidencia es pequeño^[1].

10. EL METODO DE LYON ^[4]

Este es un método gráfico que nos permite disponer las superficies reflectantes para conseguir un nivel sonoro equipotencial a lo largo de un recinto.

Consiste, en determinar la forma del techo del escenario, de tal forma, que produzca una reflexión dirigida e intensificada en forma creciente, a medida que aumenta la distancia entre la fuente y el receptor. El incremento de nivel sonoro conseguido por las superficies reflectantes, equivaldrá a la pérdida sufrida por la distancia.

Se debe recordar, que la cantidad de sonido reflejado es proporcional a la superficie de reflexión, y que la cantidad sonora, decrece en forma inversa al cuadrado de la distancia.

La forma del techo del escenario que se obtendrá, se conseguirá tras una serie de aproximaciones gráficas, hasta llegar a formar una concha acústica que cubra de reflexiones a un sector propuesto de audiencia.

A continuación, se detallan los pasos que se deben seguir al emplear este método:

En forma aproximada se ubican, el foco sonoro S , y los puntos que delimitan la altura y la profundidad del escenario, A y B respectivamente.

En cuanto al plano de audición, se considerarán las características descritas en el apartado 9.

1. Se divide el plano de audición en un número par de sectores. Se supondrá que la intensidad en cada sector, será igual a la que existe en sus puntos medios. En la práctica, cada sector es de 4 a 5 metros o de alrededor de 5 filas de asientos.

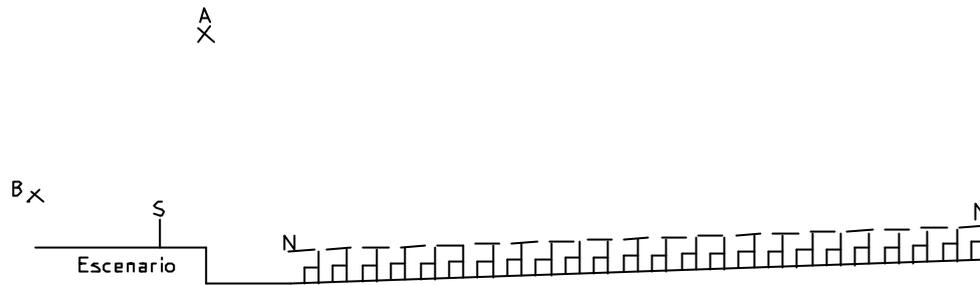


Figura 10.1: Corte transversal del recinto.

2. Encontrar los puntos medios de cada sector.

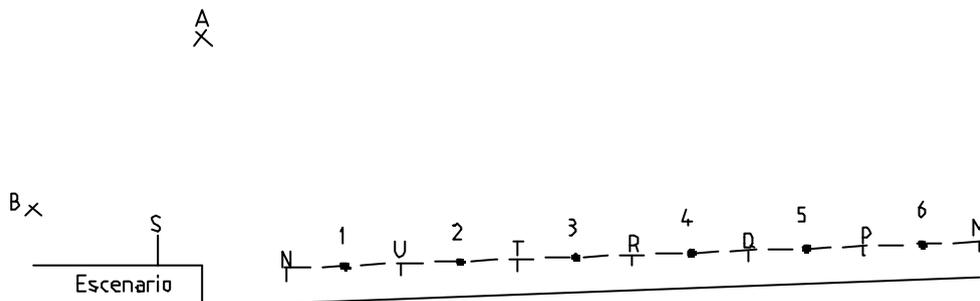


Figura 10.2: Ubicación de los puntos medios de cada sector.

3. Trazar las dos bisectrices que se obtienen del ángulo formado por SA_1 y SB_6 , cuya intersección determina el punto O_1

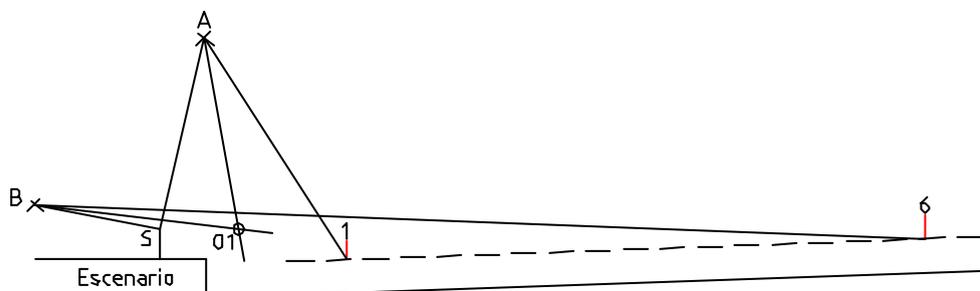


Figura 10.3: trazado del par de bisectrices que forman los ángulos SA_1 y SB_6 .

4. Dibujar con centro en O_1 y radio O_1B el arco AB, quedando establecida una nueva altura.

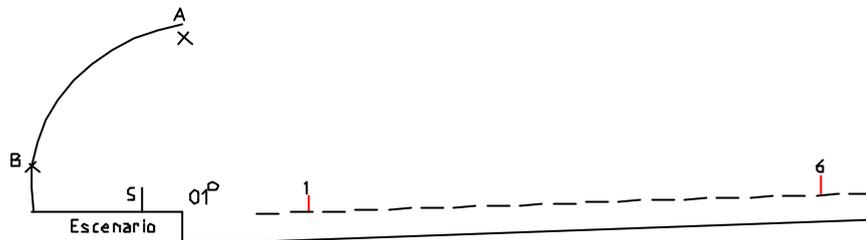


Figura 10.4: Envolvente que determina en primera aproximación la curvatura de la Concha Acústica.

5. Comprobar, que para cada punto medio del plano de audición, la diferencia entre el camino directo y camino el reflejado, queden dentro del límite tolerable de 17 metro, y computar la relación de intensidades respecto al sonido que llega por reflexión a esos sectores.

Para lo anterior se deben cumplir dos condiciones:

- El coeficiente de reflexión debe ser prácticamente igual a 1.
- Las superficies de reflexión que dirigen el sonido a cada uno de los sectores, han de ser equivalentes en tamaño.

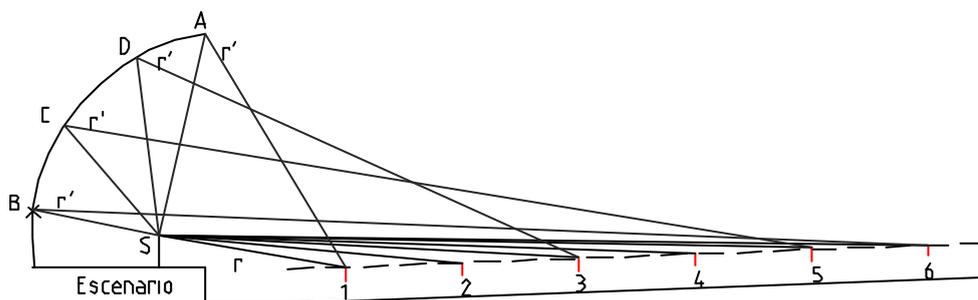


Figura 10.5: División de la envolvente en superficies equivalentes para tabular los datos que se encuentran en la tabla 10.1.

A modo de ejemplo, se dan algunas medidas, para la comprensión del método.

Puntos	Camino del sonido		Diferencia (m)	Inverso del cuadrado del camino reflejado $1/r^2$	Intensidades relativas $(1/r^2)/(1/r^2)_{\text{mín}}$
	Reflejado r' (m)	Directo r (m)			
1	SA1=26	S1=9	17	0.00147	3.5
3	SD3=33.6	S3=18.5	15.1	0.00088	2.1
5	SC5=44.4	S5=28.5	15.9	0.0005	1.2
6	SB6=48.6	S6=33.6	15	0.00042	1
2	29	Datos obtenidos por interpolación en el gráfico de Intensidad Relativa versus r'			2.8
4	38				1.6

Tabla 10.1: Primera Aproximación del Método

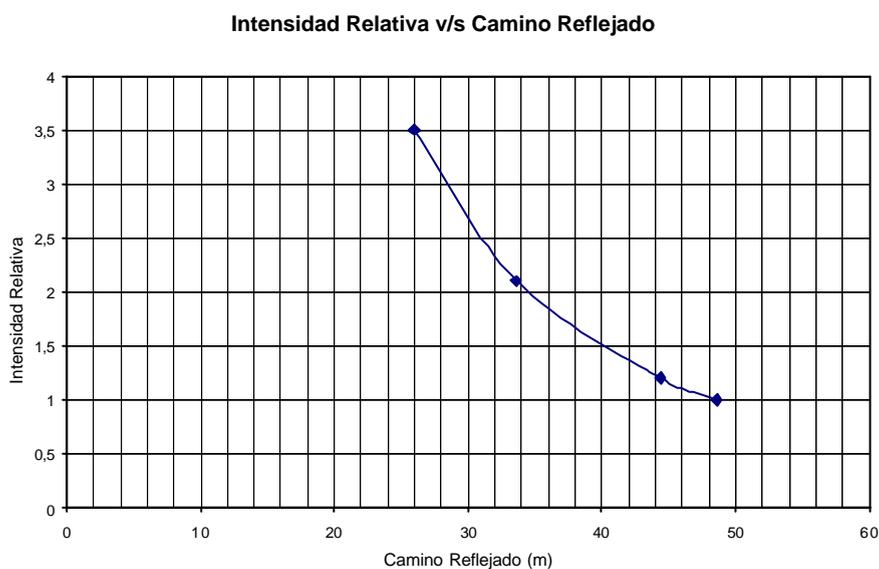


Figura 10.6: Gráfico de intensidad relativa en primera aproximación del método.

6. Si se varían las superficies de reflexión (condición (ii) del quinto paso), de forma que se incremente su tamaño para las reflexiones más lejanas, se conseguirá una intensidad de recepción igual en todos los sectores. Para lograr esto, se divide el arco obtenido AB , en partes proporcionales a las intensidades relativas, de menor a mayor empezando por A , de forma que el área destinada a intensificar al sector más próximo al escenario sea proporcional a la intensidad relativa dada por el ultimo punto medio, es decir, igual a 1, y la que ha de reflejar al sector más alejado, sea proporcional a la intensidad relativa dada por el primer punto medio del plano de audición, es decir igual a 3.5.

La proporcionalidad estará dada por:

$$a = \frac{\angle AO_1 B}{\sum I_{Relativas}} \quad (10.1)$$

donde α = Angulo del arco de una unidad de superficie reflectora.

$$\begin{aligned} \angle AO_1 E &= 1 * \alpha \\ \angle EO_1 G &= 1.2 * \alpha \\ \angle GO_1 H &= 1.6 * \alpha \\ \angle HO_1 J &= 2.6 * \alpha \\ \angle JO_1 K &= 2.8 * \alpha \\ \angle KO_1 B &= 3.5 * \alpha \end{aligned}$$

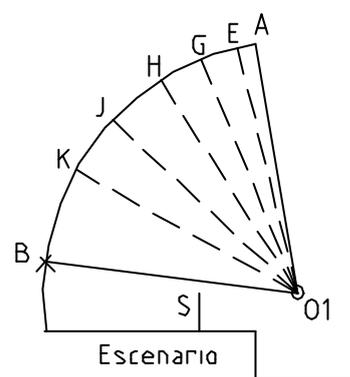


Figura 10.7. División del arco en partes proporcionales a las intensidades relativas encontradas.

7. Encontrar los puntos medios de cada subdivisión, para luego unirlos con los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6 de los sectores a los que tienen que dirigir la reflexión. (los puntos medios de cada subdivisión son: a, e, f, h, j, b).

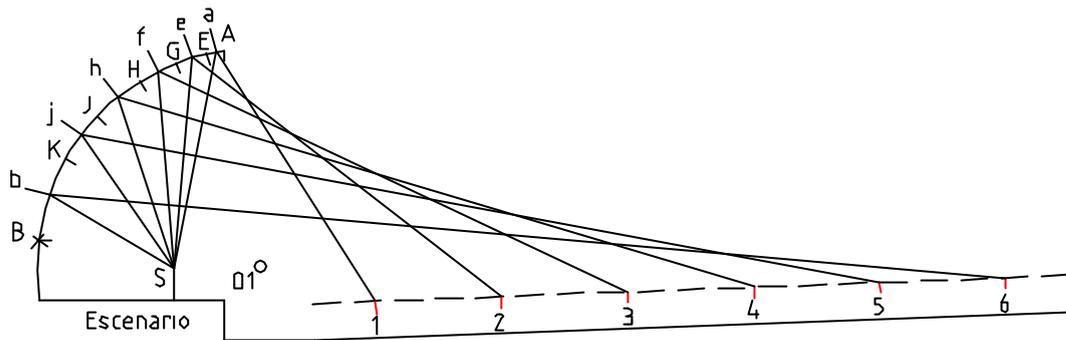


Figura 10.8: Puntos medios de cada subdivisión de la curva.

8. Como último paso, se trazan las bisectrices de los ángulos formados. Estas bisectrices permitirán trazar una nueva envolvente del arco AB y será la curva que en segunda aproximación se acercará al perfil buscado.

Para el trazado de esta envolvente, se hallan las intersecciones de cada pareja consecutiva de bisectrices: La primera y la segunda se corta en 1, la tercera y la cuarta en 2 la quinta y la sexta en 3.

Con centro en 1, se traza el arco BJ' con radio $1B$, con centro en 2 el arco $J'G'$ con radio $2J'$, y con centro en 3 el arco $G'A'$ con radio $3G'$. Esta nueva curva $A'B$ alterará ligeramente los caminos iniciales recorridos por el sonido, debido a que la altura habrá variado, por lo que de nuevo se aplicará el anterior procedimiento para el oportuno ajuste. Por lo tanto, la nueva envolvente así encontrada diferirá de $A'B$ menos que ésta de AB , entonces como máximo será necesario repetir una vez más la operación.

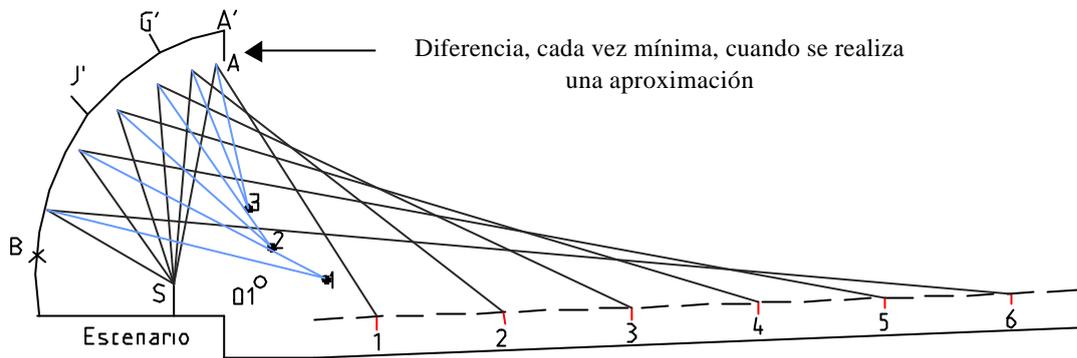


Figura 10.9: Trazado de una nueva envolvente, acercándose al perfil buscado.

La cantidad de superficies reflectora que tenga la concha, será siempre la mitad de los sectores propuestos en el plano de audición. Como en éste ejemplo tenemos 6 sectores, la cantidad de superficie que dirigirán el sonido a las gradas serán 3: BJ' $J'G'$ $G'A'$.

11. DISEÑANDO UNA CONCHA ACÚSTICA

11.1 Ubicación del Terreno

El recinto estará ubicado en la Región Metropolitana, específicamente en el pueblo de Pomaire, en un lugar que da inicio a un cerro con pendientes y terraplenes naturales, contando con las características acústicas adecuadas, pues el lugar posee bajo ruido de fondo y está libre de ruidos ocasionales fuertes, lo cual es favorable para llevar a cabo la construcción, y lo más importante, desde el punto de vista geográfico, es de fácil acceso y ubicación.



Figura 11.1. Fotografía del terreno sobre el cual se desea construir

11.2 Dimensión y Area del Terreno

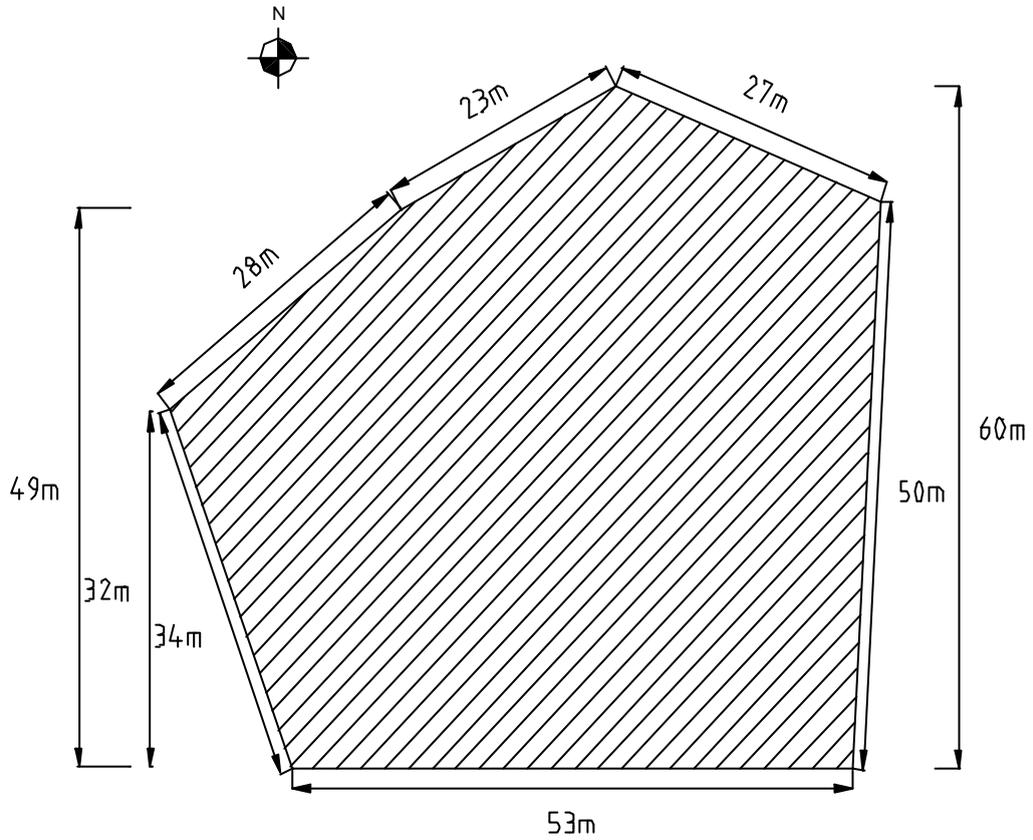


Figura 11.2: Dimensiones del terreno

El área: 3093 m²

Perímetro: 214 m.

11.3 Forma y Características de las Gradadas

La capacidad aproximada con que contará el recinto, es de 2000 personas, las cuales estarán distribuidas en 36 filas de asientos, cuya separación entre filas y filas será de 1m.

El plano de audición tendrá forma de abanico, dividido por un pasillo de seguridad de 2m de ancho, que separa la parte inferior y superior de las gradadas en dos inclinaciones, 8° y 10° respectivamente. La última fila, estará a 6m sobre el nivel del suelo.

Estas inclinaciones, nos permiten tener una diferencia de altura entre un espectador y otro, respecto a una fuente sonora ubicada en el escenario, mayor al mínimo recomendado de 0.08m (si consideramos que las filas estarán desviadas en medio asiento), permitiendo una visión hacia el escenario y una percepción auditiva del sonido proveniente de él.

La audiencia quedará dentro de un ángulo de 117° con vértice en la fuente (ver anexos)

Para permitir un fácil y cómodo acceso a los asientos, se ubicarán 3 escalas en la parte inferior y 4 en la parte superior, con un ancho de 2m cada una de ellas.

El comienzo de las gradadas, estará ubicada a una distancia de 5 m del escenario en su parte central.

En los anexos se muestran los planos y la distribución de los espacios de las gradadas. (anexos 6, 7 y 8)

11.4 Aplicación del Método de Lyon

11.4.1 Primera Aproximación

Para comenzar, se fijará una altura de 5m sobre el piso del escenario, una profundidad de 6m y una fuente con una altura de 1.5m. El escenario, estará a 2m sobre el suelo.

El plano de audición, se dividirá en 10 sectores, de 4m de longitud cada uno.

Obteniendo los respectivos puntos medios y siguiendo los pasos del método, se obtiene en primera aproximación, la curva con una nueva altura de 8.45m.

La superficie que limita la profundidad del escenario, corresponde a una superficie vertical de 2m de altura, a partir de la cual, comenzará la curvatura de la concha acústica

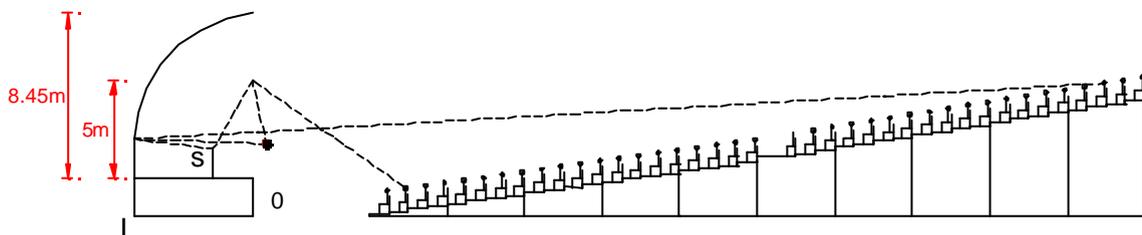


Figura 11.3: Corte transversal del recinto en su primera aproximación.

Para comprobar que la diferencia entre el camino del sonido reflejado r' y el camino del sonido directo r , queden dentro del límite tolerable de 17m, se harán los cálculos situando puntos, de manera tal, que dividan a la curva en superficies equivalentes.

Los puntos en cuestión, son $P1$, $P3$, $P5$, $P7$ y $P10$, que reflejarán el sonido a los respectivos punto medios de cada sector (1,3,5,7 y 10). También, estos puntos permitirán encontrar las intensidades relativas del sonido reflejado.

Los datos intermedios proporcionados por los puntos P_2 , P_4 , P_6 , P_8 y P_9 , serán obtenidos por interpolación del gráfico intensidad relativa versus camino reflejado (figura 11.5).

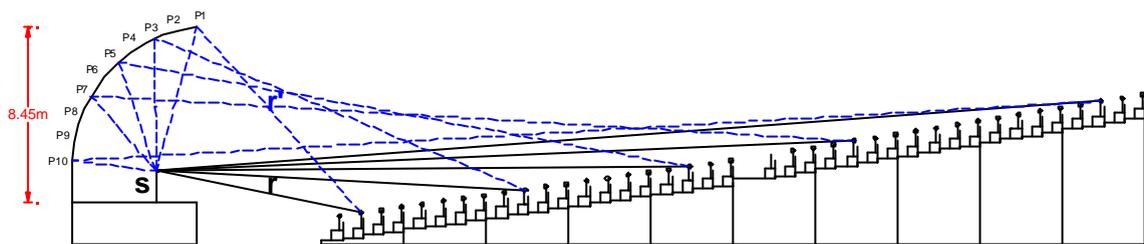


Figura 11.4: División del arco en superficies equivalentes, en primera aproximación.

Puntos	Camino Reflejado r' (m)	Camino Directo r (m)	Diferencia $r'-r$ (m)	$1/(r')^2$	Intensidad Relativa $(1/r'^2)/(1/r'^2)_{\min}$
P1	19.15	10.06	9.1	0.002727	7.8
P2	Interpolado				7.1
P3	25.64	17.80	7.8	0.001521	4.4
P4	Interpolado				3.3
P5	33.49	25.70	7.8	0.000892	2.6
P6	Interpolado				2.0
P7	41.56	33.65	7.9	0.000710	1.7
P8	Interpolado				1.4
P9	Interpolado				1.2
P10	53.61	45.63	8.0	0.000348	1.0
					Σ 32.5

Tabla 11.1: Datos obtenidos en primera aproximación por el método

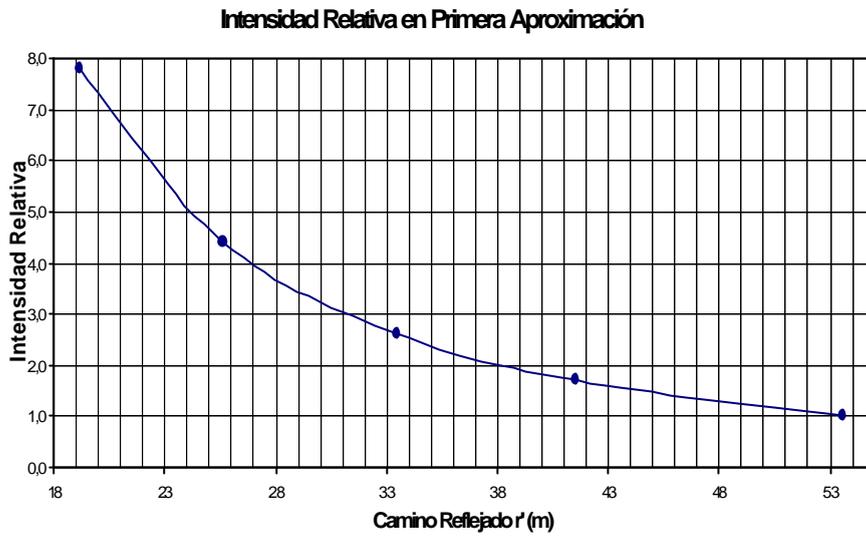


Figura 11.5: Relación entre la intensidad relativa y el camino reflejado.

11.4.2 Segunda Aproximación

El arco que resulta en la primera aproximación, tiene un ángulo de 82° y la suma de las intensidades relativas es de 32.5, lo que da un factor de proporcionalidad de $\alpha=2.5^\circ$. De esta manera, se logra incrementar la superficie de la curva en su parte posterior para conseguir un mayor número de reflexiones en los sectores más alejados.

Los resultados se muestran en la tabla 11.2 y figura 11.6.

Arcos	Grados ^o
1o2	3
2o3	3
3o4	3
4o5	4
5o6	5
6o7	6
7o8	8
8o9	11
9o10	18
10o11	21

Tabla 11.2: Ángulos que forman cada arco de superficie de reflexión

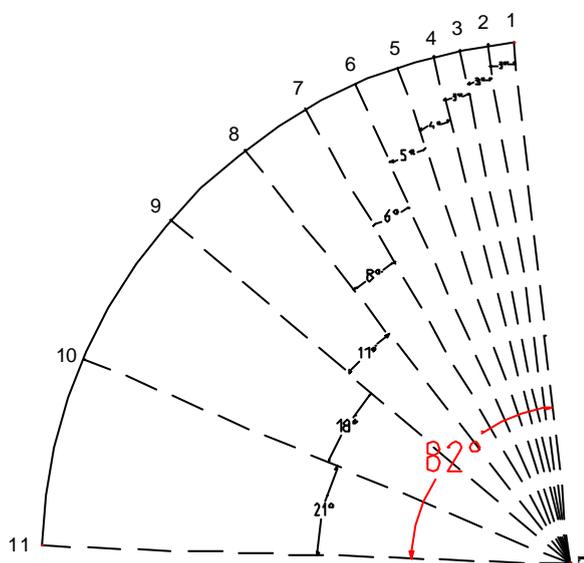


Figura 11.6: Ángulos que forman cada arco de superficie de reflexión.

Una vez hechas las subdivisiones del arco mayor, se procede a encontrar los puntos medios de cada fracción de arco ($a, b, c, d, e, f, g, h, i, j$), para luego unirlos con los respectivos puntos medios de los sectores del plano de audición a los que se tiene que dirigir la reflexión (líneas a trazos de la figura 11.7).

Luego, se trazan las bisectrices de los ángulos formados por las líneas a trazos, donde la intersección de cada pareja consecutiva de ellas (líneas azules), darán origen a nuevas superficies reflectoras.

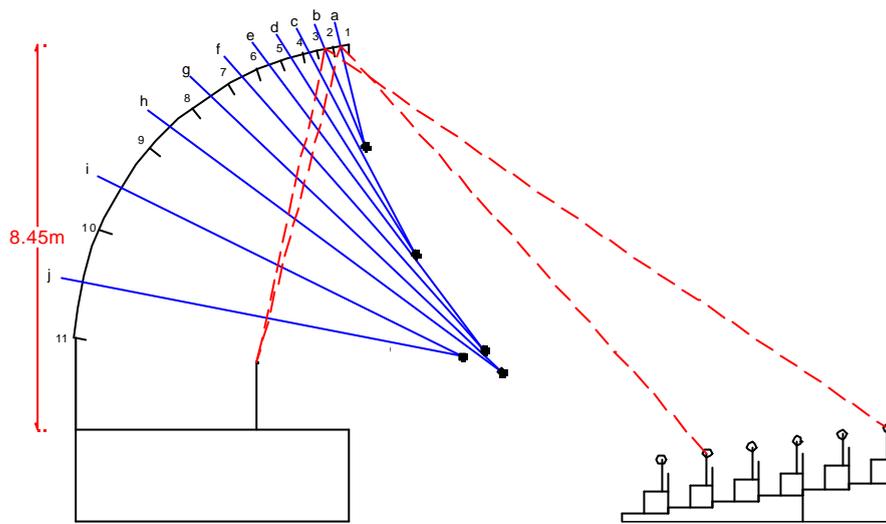
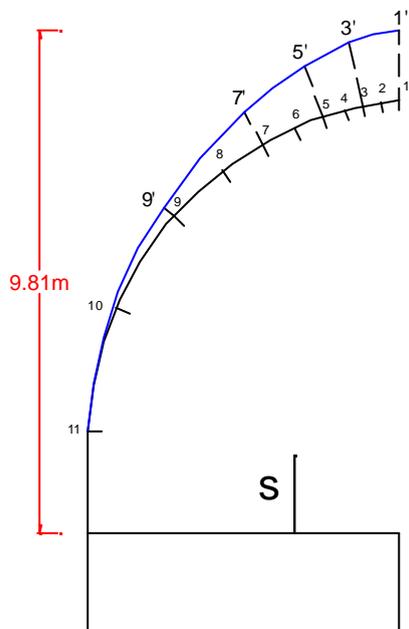


Figura 11.7. Intersección de cada pareja de bisectrices.

Trazando los arcos con centro en cada intersección, se obtiene en segunda aproximación una nueva envolvente con una altura de 9.81m.

La nueva envolvente encontrada, está compuesta por 5 superficies curvas, más la superficie vertical trasera.



- Superficie1: Pared vertical trasera*
- Superficie2: 11 a 9'*
- Superficie3: 9' a 7'*
- Superficie4: 7' a 5'*
- Superficie5: 5' a 3'*
- Superficie6: 3' a 1'*

Figura 11.8. Nueva envolvente, en segunda aproximación.

Entre la primera y segunda aproximación del método, la altura de la curva, ha variado en 1.36m, por lo que será necesario repetir el método de Lyon desde el quinto paso (apartado 10), para el oportuno ajuste.

A partir del resultado dado en la segunda aproximación, se obtienen los siguientes datos relacionados con al diferencia entre el camino reflejado y el camino directo, además de las respectivas intensidades relativas.

sean: P'1, P'2, P'3, P'4 P'5, P'6, P'7, P'8 P'9 y P'10 puntos, que dividen a esta nueva curva, en superficies equivalentes, tal como se muestra en la figura 11.9 (P'2, P'4, P'6, P'8 y P'9 serán obtenidos por interpolación del grafico de la figura 11.10).

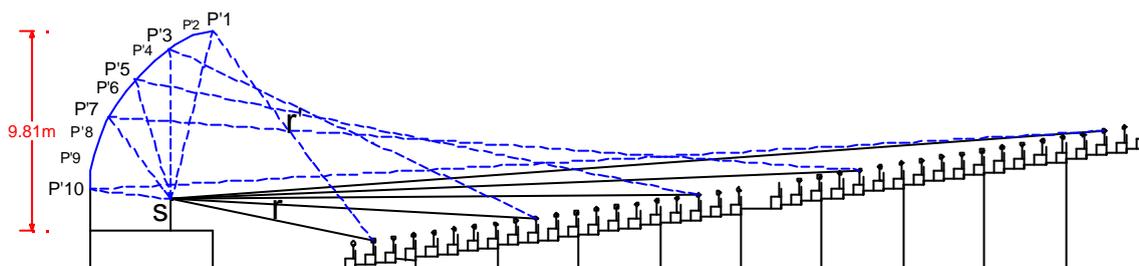


Figura 11.9. División del arco en superficies equivalentes, en segunda aproximación.

Puntos	Camino Reflejado r' (m)	Camino Directo r (m)	Diferencia $R' - r$ (m)	$1/(r')^2$	Intensidad Relativa $(1/r'^2)/(1/r'^2)_{\min}$
P'1	21.53	10.06	11.4	0.0022	6.2
P'2	Interpolado				5.0
P'3	27.13	17.80	9.3	0.0014	3.9
P'4	Interpolado				3.1
P'5	34.20	25.70	8.5	0.0009	2.5
P'6	Interpolado				2.0
P'7	41.80	33.65	8.2	0.0006	1.6
P'8	Interpolado				1.4
P'9	Interpolado				1.2
P'10	53.62	45.63	8.00	0.0003	1.0
					Σ 27.9

Tabla 11.3: Datos obtenidos en segunda aproximación por el método.

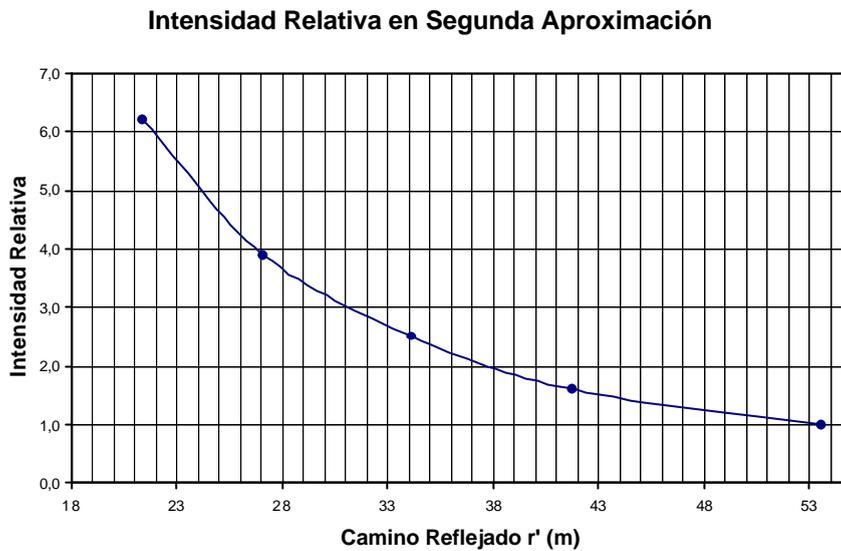


Figura 11.10: Relación que existe entre la intensidad relativa y el camino reflejado

11.4.3 Tercera Aproximación

El arco de la segunda aproximación tiene un ángulo de 70° , y la suma de las intensidades relativas es de 27.9, lo que da un factor de proporcionalidad de $\alpha=2.5^\circ$. Por lo tanto, dividiendo el arco mayor en partes proporcionales, se obtienen los siguientes resultados (ver tabla11.4 y figura11.11 respectivamente):

Arcos	Grados ^o
1'o'2'	3
2'o'3'	3
3'o'4'	3
4'o'5'	4
5'o'6'	5
6'o'7'	6
7'o'8'	8
8'o'9'	10
9'o'10'	13
10'o'11'	16

Tabla 11.4: Ángulos que forman cada arco de superficie de reflexión

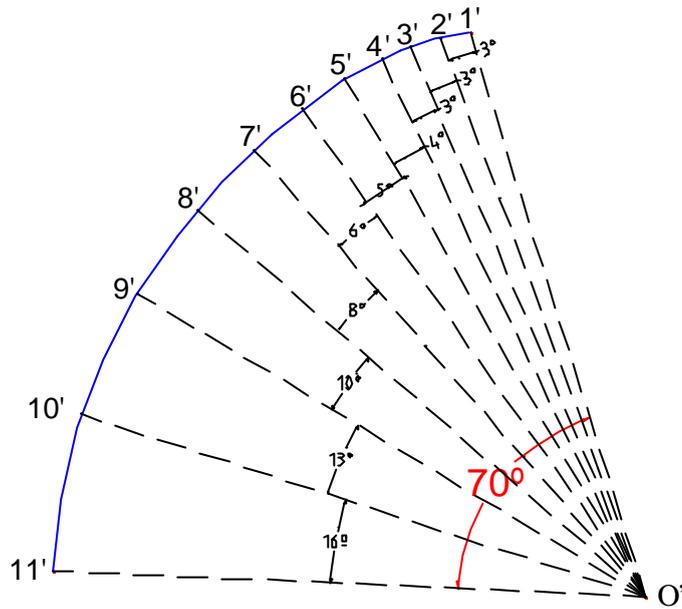


Figura 11.11: Ángulos que forman cada arco de superficie de reflexión.

Siguiendo con el método, se obtiene en una tercera aproximación una envolvente (línea roja continua), cuya altura es de 10.1m.

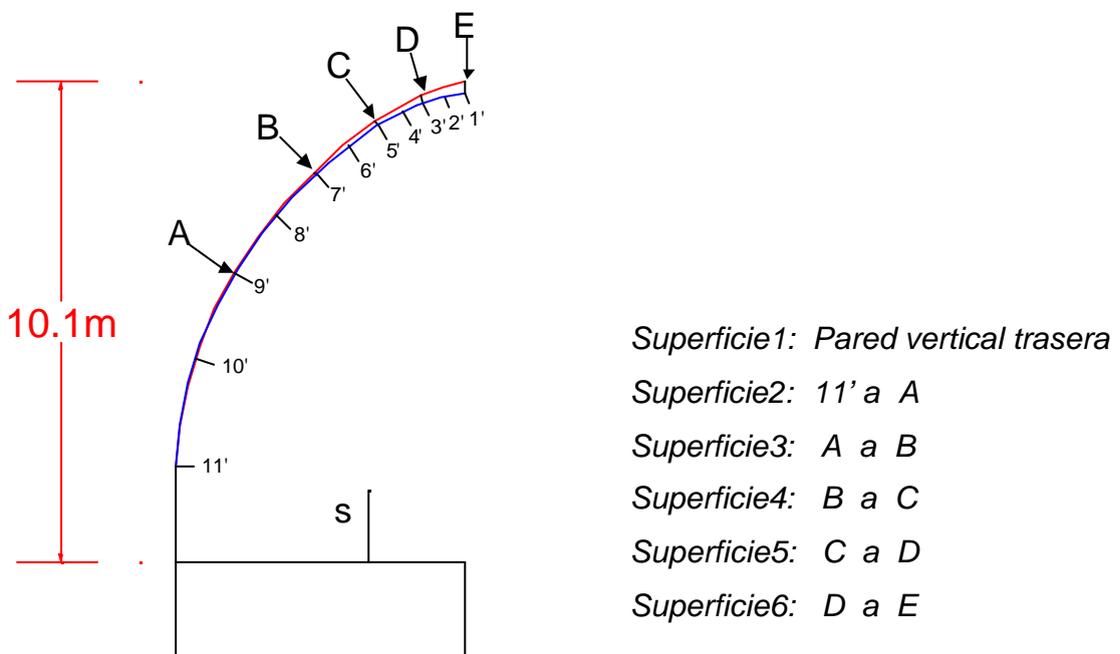


Figura 11.12 Envolvente final que se obtiene en tercera aproximación

La altura de esta nueva envolvente, difiere muy poco en relación a la altura de anterior aproximación (29cm), por lo tanto, será la forma definitiva que tendrá la curva de la concha acústica.

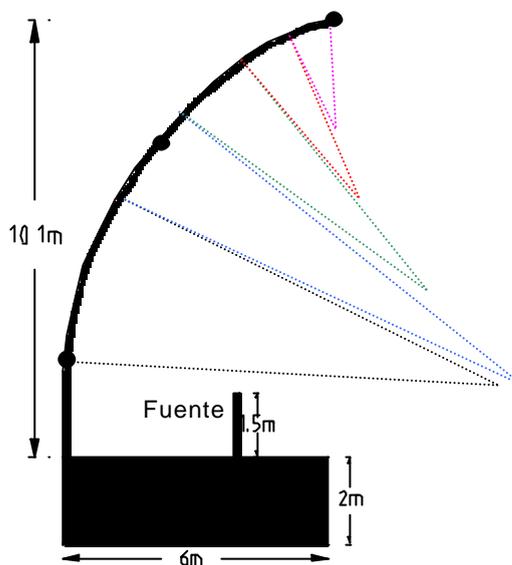


Figura 11.13: Forma final de la Concha Acústica utilizando el método de Lyon.

11.5 Concha Acústica en 3D

Si observamos la figura 11.13, la curva final de la concha acústica, está compuesta por 5 arcos con distintos centro de curvatura. Por lo tanto, para facilitar su construcción, se buscará un solo arco, con un solo centro.

Tomando 3 puntos de la curva (círculos negro de la figura 11.13) y con la ayuda del software de diseño gráfico, Rhinoceros, se traza la nueva envolvente.

Para dar un aspecto y forma tridimensional a la concha acústica, se hace girar la envolvente encontrada, (como un sólido de revolución) sobre la planta del escenario, y con centro en el arco obtenido.

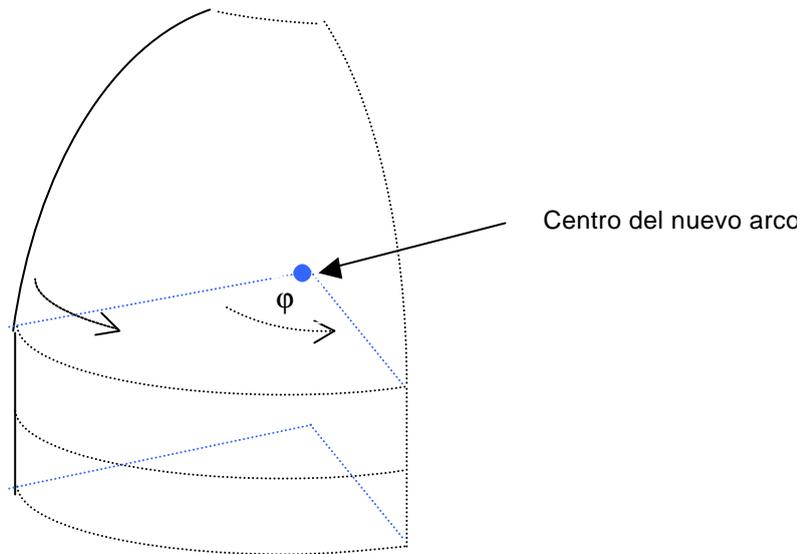


Figura 11.14: Obtención tridimensional de la concha acústica al hacer girar la envolvente como un sólido de revolución.

El resultado final de la concha acústica, se muestra en la figura 11.15.

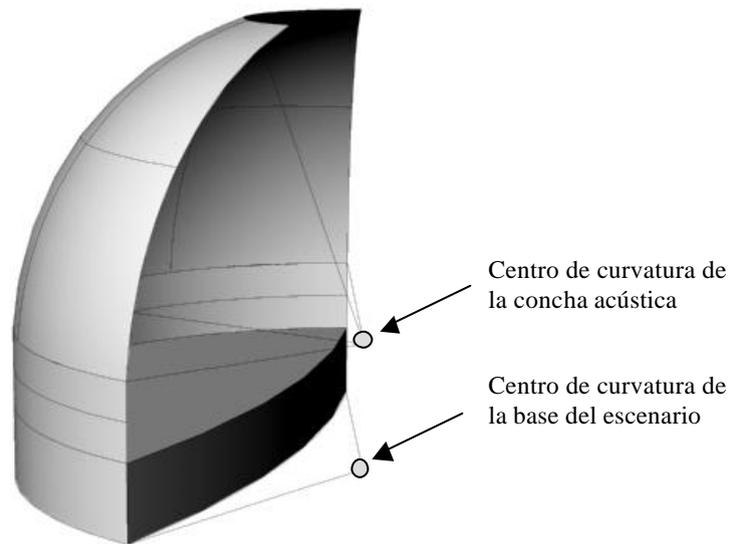


Figura 11.15: Dibujo a escala en tres dimensiones de la concha acústica.

La geometría del escenario, queda establecida por el área que ocupa la base de la concha, con una profundidad central de 6m (medida dada al emplear el método) y un ancho máximo de 17m.

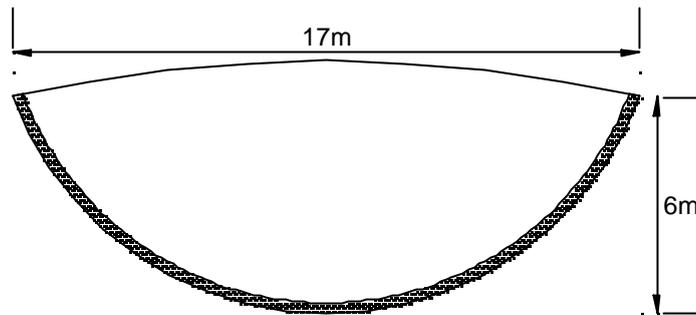


Figura 11.16: Planta del escenario y sus dimensiones.

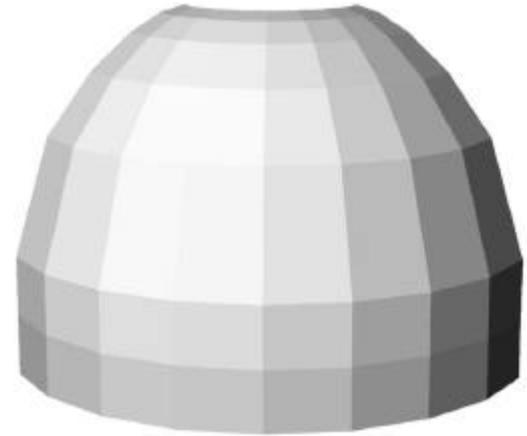
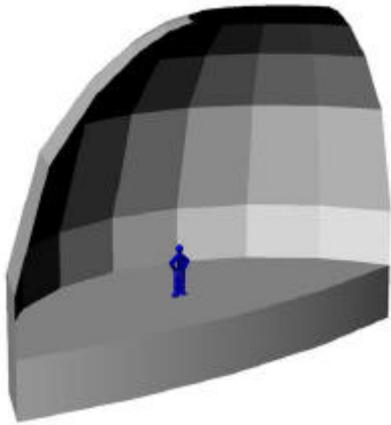
11.6 Discretización del Método de Lyon

Con el fin de evitar superficies curvas, y abaratar costos en la construcción, en la figura 11.17 se muestran tres alternativas de discretización de la superficie.

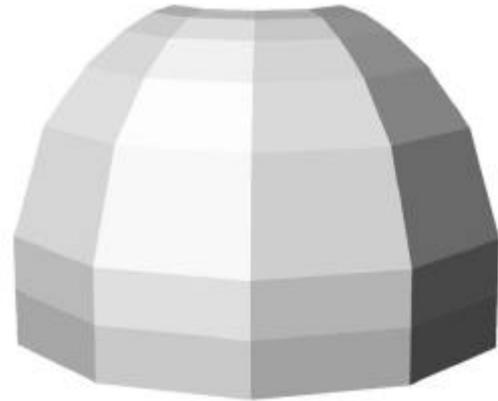
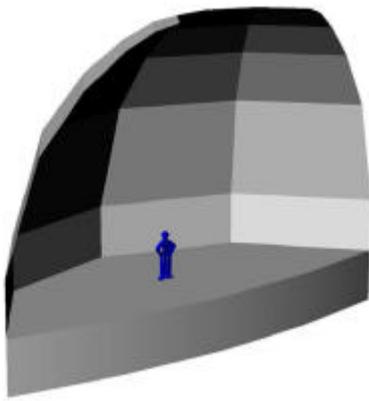
Alternativas:

- *Partición de 8 lados:* Discretización del arco de la planta, en 8 rectas, y el arco del eje vertical, en 5 rectas. Compuesta por 48 superficies
- *Partición de 4 lados:* Discretización del arco de la planta, en 4 rectas, y el arco del eje vertical en, 5 rectas. Compuesta por 24 superficies.
- *Partición de 3 lados:* Discretización del arco de la planta, en 3 rectas, y el arco del eje vertical, en 5 rectas. Compuesta por 18 superficies.

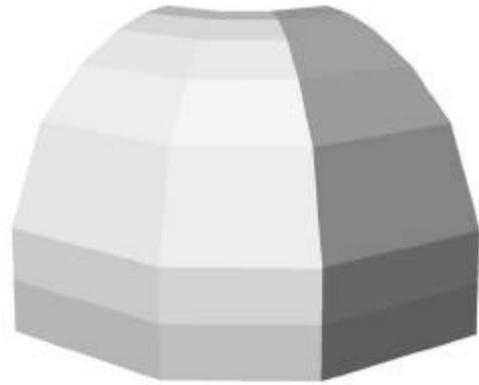
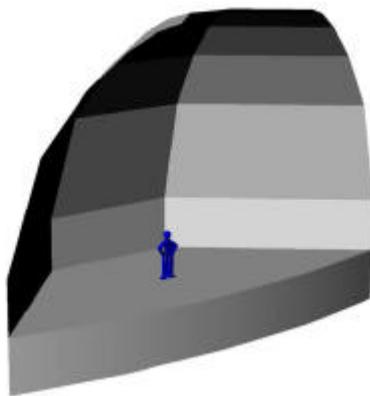
A continuación se presentan las 3 aproximaciones propuestas:



a) Partición de 8 lados



b) Partición de 4 lados



c) Partición de 3 lados

Figura 11.17: Dibujo a escala en 3 dimensiones de las tres aproximaciones propuestas.

11.7 Características de las aproximaciones propuestas

PARTICIONES			
	8 Lados	4 Lados	3 Lados
Cantidad de superficies	48	24	18
Descripción	<p>Se acerca bastante a una distribución continua de una superficie curva, del tipo cóncava, asemejándose al modelo principal de la figura 11.15.</p> <p>Presenta una buena estética, es armoniosa en su forma, pero el costo y la complejidad de construirla, es tan elevada como la de una superficie curva. Por lo tanto, se descarta la opción de su construcción.</p>	<p>Es una aproximación intermedia de las propuestas.</p> <p>Aproximación que en comparación con la de 3 lados, está por sobre ella, ya que, existe una mayor homogeneidad de reflexiones sobre el plano de audición y además, esta más cerca de los resultados del Método empleado.</p> <p>En relación a la partición de 8 lados, su costo es más bajo, y el nivel de construcción es menor.</p> <p>Su estructura es armoniosa, y presenta una buena estética.</p> <p>Con las ventajas mencionadas, sobre las otras particiones, la hace ser la primera opción, a construir.</p>	<p>A pesar de que esta aproximación, tiene un costo relativamente más bajo que la partición de 4 lados, Sin embargo, tiene por detalle, ser una aproximación muy burda, se obtiene una pobre cobertura de reflexión sobre el plano de audición, alejándose demasiado del perfil y semeja de los resultados dado por el Método de Lyon.</p> <p>De manera Subjetiva, no presenta una buena estética.</p>

11.8 Medidas de la Aproximación de 4 lados

Está compuestas por 4 franjas de iguales dimensiones (figura 11.18b), las que dan un total de 20 superficies inclinadas y 4 superficies dispuesta en forma vertical.

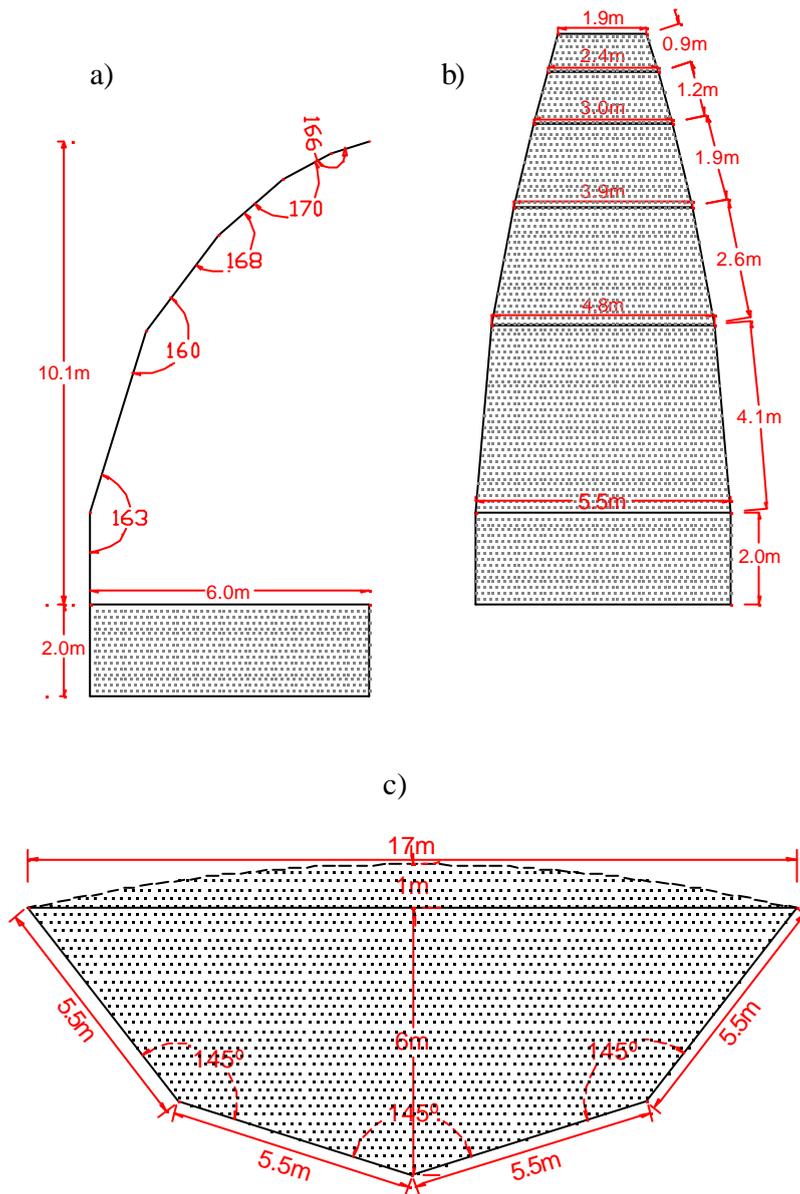


Figura 11.18: Dimensiones de la concha acústica a construir. a) corte transversal discretizado; b) una franja de la partición; c) forma del escenario.

	Sup.(m ²)
<i>Escenario</i>	81
<i>Concha Acústica (24 superficies)</i>	218
<i>Costado escenario</i>	79

Tabla 11.5: Áreas de las superficies que componen la Concha Acústica.

El diseño de la concha acústica no contempla paredes paralelas, descartando así, el eco que se pudiera generar al interior del escenario, ya que, todas ellas están dispuestas en forma divergente.

Desde el punto de vista de la gradas, no hay sector que esté limitado por la hipérbola. Por lo tanto, no habrán zonas de ecos, que pudieran producir las superficies de la concha acústica en dichos lugares.

Por otra parte, la capacidad que posee el escenario de alojar un conjunto de una orquesta sinfónica, corresponde a 54 músicos ó 46 músicos y 25 personas en coro usando como valor 1.5 m² por cada músico de orquesta y 0.5 m² para cada músico del coro^[6].

Las reflexiones en el plano vertical y horizontal, se muestran en los anexos 1,2,3 y 4.

12. CALCULOS DE NIVEL DE PRESION SONORA

12.1 Sectorización de las Gradass

Para hacer un análisis de cómo se distribuye el nivel de presión sonora a lo largo del plano de audición, se ha sectorizado la mitad de las gradass (por existir simetría) en 20 zonas, donde cada una de ellas, corresponde a un cuadrado de 8 x 8 m.

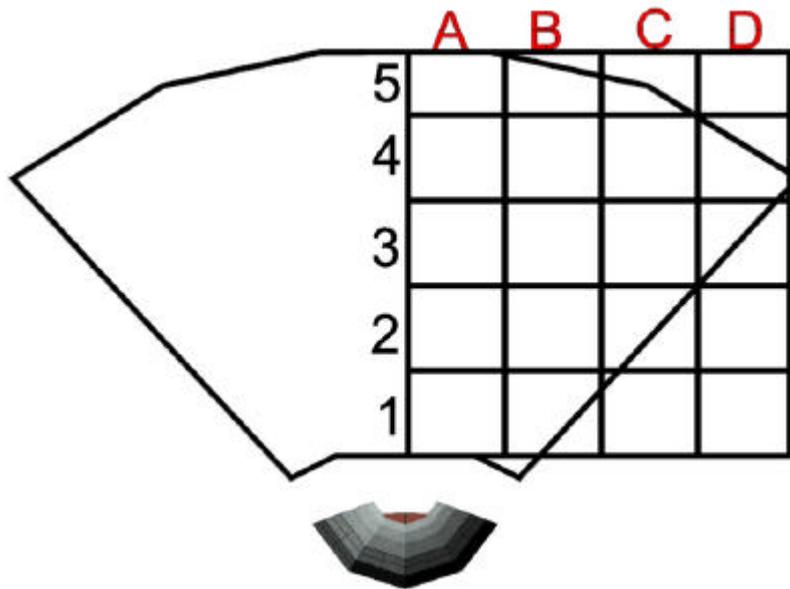


Figura 12.1: Sectorización de las gradass

A continuación se describe la situación de los puntos de cálculos, así como la ubicación de la fuente sonora:

- Puntos de cálculos:
 - Números de puntos analizados: 1, al centro de cada grilla.
 - Altura de los puntos respecto al suelo de las gradas: 1.4 m.

- Fuente sonora:
 - Tipo de fuente: Omnidireccional, con una potencia de 2.5 Watt (potencia radiada por una orquesta sinfónica interpretando un *fortíssimo*, ello equivale a un nivel de presión sonora en el espacio libre de 93 dB a una distancia de 10 m de la fuente) ^[1].

 - Altura de la fuente respecto al suelo del escenario: 1.5 m.

 - Ubicación de la fuente: sobre el eje longitudinal del recinto, a una distancia de 3 m del límite del escenario más próximo al público (ubicación dada al emplear el método).

El coeficiente de absorción de las superficies de la concha acústica que se ha utilizado para estimar los cálculos de nivel de presión sonora, corresponde al coeficiente de absorción de una muralla de concreto $\alpha = 0.02$, para la frecuencia de 500 Hz , con densidad superficial mayor a 20 kg/m².

12.2 Nivel de Presión Sonora

Empleando la ecuación 4.7, se obtienen los siguiente resultados de nivel de presión sonora, tanto del sonido directo, como del sonido reflejado por cada panel^(*) al centro de cada grilla.

NPS (dB)				
	A	B	C	D
5	80	80	80	
4	82	81	81	80
3	84	84	82	81
2	87	86	84	
1	91	88		

Tabla 12.1: Nivel de presión sonora del sonido directo.

^(*) Entiéndase por cada panel, a cada una de las 24 superficies que componen la concha acústica

Para entender los datos de la siguiente tabla, será necesario apoyarse en la figura 12.2.

		NPS (dB)															
		A				B				C				D			
		Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4
5	Superficie1	79	79	79	79	78	79	79		78	78	79					
	Superficie2	79	79	79	79	78	79	79		78	78	79					
	Superficie3	79	79	79			79	79									
	Superficie4		79				79										
	Superficie5																
	Superficie6																
4	Superficie1	80	80	80	80	79	80	80		79	79	79			78	79	
	Superficie2	80	80	80	80	79	80	80		79	79	80					
	Superficie3	80	80	80	81	80	80	80		80	79						
	Superficie4		80	80			80										
	Superficie5																
	Superficie6																
3	Superficie1	82	82	82	82	81	81	82		80	80	81					
	Superficie2	82	82	82	82	81	81	82		80	80	81					
	Superficie3	82	82	82	82	81	81	81		80							
	Superficie4	82	82	82	83		81										
	Superficie5		83	82													
	Superficie6																
2	Superficie1	83	84	85	84	82	83	84			82	82					
	Superficie2	84	84	84	85	82	83	84				82					
	Superficie3	83	83	83	83	82	83	83									
	Superficie4	83	83	83	83	82											
	Superficie5	85	83	83	84												
	Superficie6																
1	Superficie1	86	87	87	87		85	86									
	Superficie2	86	87	87	87		85	86									
	Superficie3	85															
	Superficie4	85															
	Superficie5	86			85												
	Superficie6	86	86	86	86												

Tabla 12.2: Nivel de presión sonora por reflexión de cada panel en cada grilla

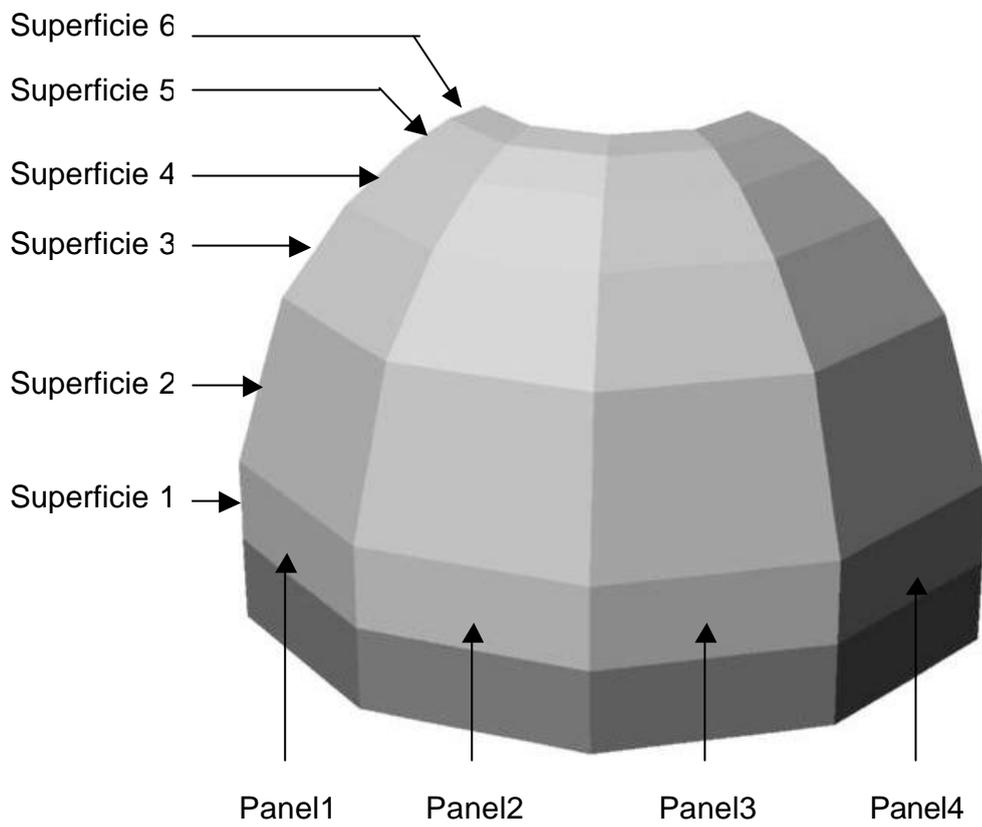


Figura 12.2: Esquema que representa una matriz de 6 filas por 4 columnas.

Una vez que se obtienen los niveles de presión sonora, se procede a sumar energéticamente el sonido directo y la contribución de todos los paneles en cada una de las grillas, usando la formula 12.1

$$L_p = 10 * \text{Log} \left(10^{\frac{L_{P(\text{directo})}}{10}} + \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{P_i}}{10}} \right) \quad (12.1)$$

donde

L_p = Nivel de presión sonora total en cada grilla.

L_{P_i} = Nivel de presión sonora del sonido reflejado en cada grilla debido a cada panel.

$L_{P(\text{directo})}$ = Nivel de presión sonora del sonido directo en cada grilla.

Los resultados se encuentran en la tabla 12.3. (los cálculos realizados, contemplan solamente atenuación por distancia).

Nivel de Presión Sonora (dB)				
	A	B	C	D
5	90	89	87	
4	92	90	89	84
3	95	92	89	81
2	97	94	88	
1	99	93		

Tabla 12.3 Nivel de presión sonora total correspondiente a cada grilla, suponiendo que la fuente radia omnidireccionalmente, con una potencia de 2.5 watt.

12.2.1 Mapa de Distribución Sonora

A continuación, se presenta un mapa que muestra la distribución del nivel de presión sonora, utilizando los datos obtenidos en la tabla 12.3 (el degradado de colores fue realizado en el software Rhinoceros).

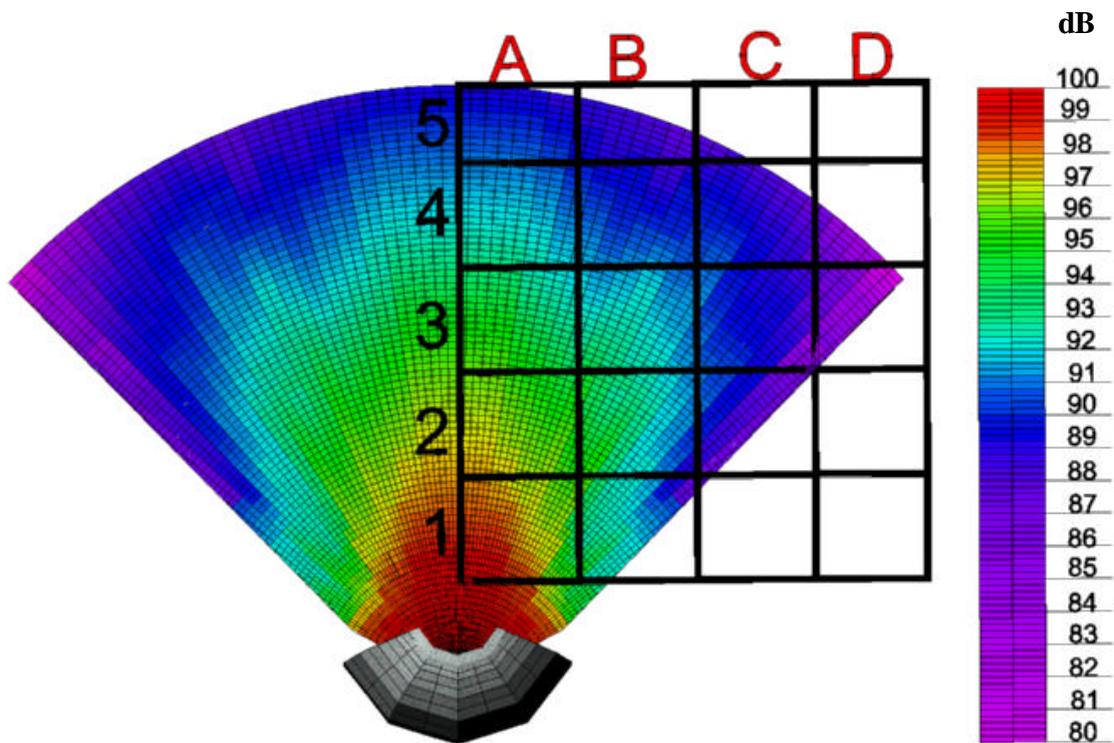


Figura 12.3: Mapa de distribución de nivel de presión sonora considerando solamente atenuación por distancia, suponiendo una fuente que radia omnidireccionalmente con una potencia de 2.5 watt.

12.3 Nivel de Presión Sonora considerando la Atenuación del Aire

Si suponemos que el sonido emitido por la fuente tiene un amplio contenido espectral, la atenuación que presenta el aire a altas frecuencia comienza a ser significativa y habrá que considerarla en el cálculo de nivel de presión sonora total.

Por ejemplo, si consideramos que el sonido emitido por la fuente se propaga en un ambiente donde la temperatura es de 20 °C y que posee una humedad relativa del 50%, la atenuación para la frecuencia de 8k Hz es del orden de los 10 dB por cada 100m (ver tabla 4.1). Entonces, el nivel de presión sonora en cada grilla, estará dado por la diferencia entre el nivel medido con anterioridad (tabla 12.3) y la atenuación que sufre el sonido a través del aire a una distancia “d” (ecuación 4.2).

Nivel de Prsesion Sonora (dB)				
	A	B	C	D
5	85	84	82	
4	88	86	85	79
3	92	89	85	77
2	95	91	85	
1	97	91		

Tabla 12.4: Niveles de presión sonora considerando atenuación a través del aire para la frecuencia de 8k Hz a una temperatura de 20 °C y 50% de humedad relativa .

12.3.1 Mapa de Distribución Sonora

Utilizando los datos obtenidos en la tabla 12.4, se obtuvo el siguiente mapa de distribución de nivel de presión sonora. (degradado realizado en el software Rhinoceros).

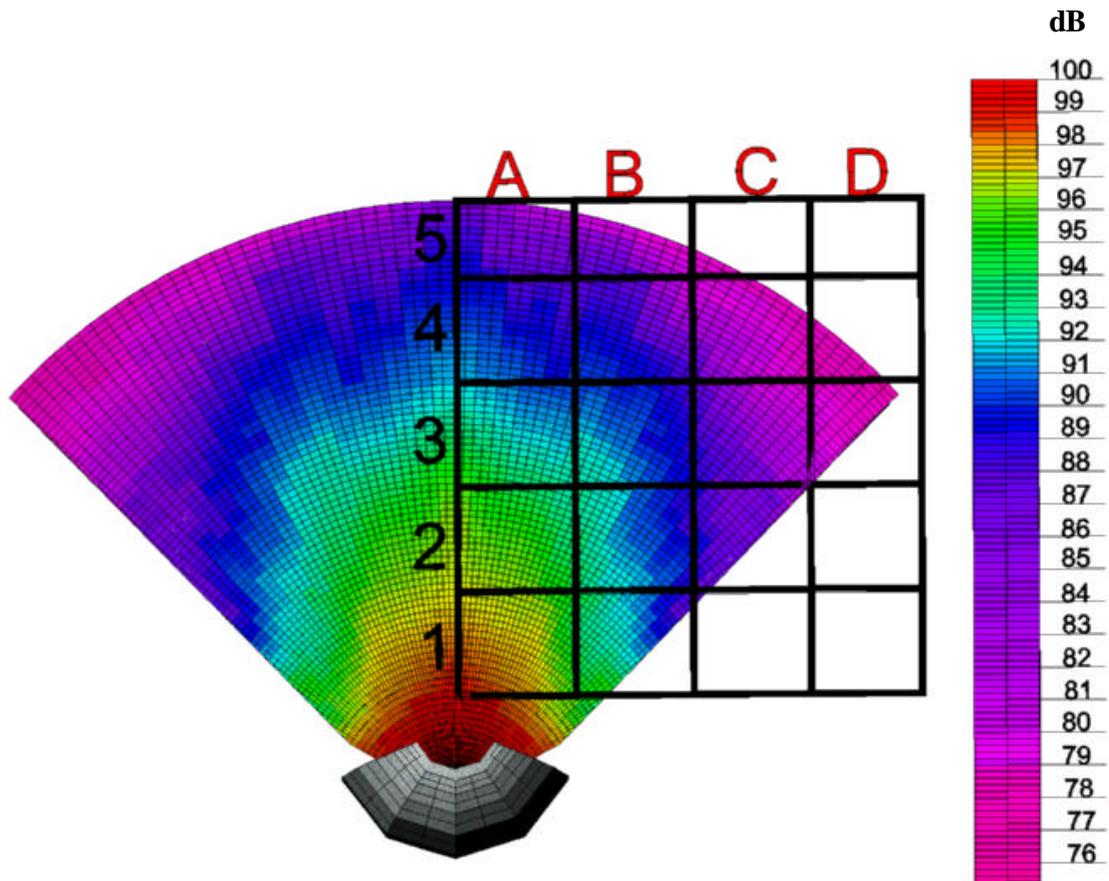


Figura 12.4: Mapa de distribución de nivel de presión sonora considerando la atenuación del aire para la frecuencia de 8k Hz, en un medio con temperatura de 20 °C y 50% de humedad relativa

12.4 Diferencias de Tiempos de Llegada y Diferencias de Nivel entre el Sonido Directo y el Sonido Reflejado

Las diferencias de tiempos Δt (*) en milisegundo, y las diferencias de nivel sonoro ΔL (*) entre el sonido directo y el sonido reflejado por cada panel en cada grilla, se encuentran en las siguientes tablas:

		Δt (ms)															
		A				B				C				D			
		Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4
5	Superficie1	26	20	20	22	27	21	19		28	21	16					
	Superficie2	24	20	20	20	27	23	19		28	21	15					
	Superficie3	24	23	22			24	21									
	Superficie4		24				25										
	Superficie5																
	Superficie6																
4	Superficie1	26	22	20	20	28	21	17		29	19	15			20	15	
	Superficie2	23	20	20	19	27	22	18		29	20	15					
	Superficie3	24	23	22	20	29	23	20		28	19						
	Superficie4		23	22			26										
	Superficie5																
	Superficie6																
3	Superficie1	27	22	20	22	30	23	19		29	19	15					
	Superficie2	25	21	20	21	28	22	17		29	20	15					
	Superficie3	26	23	21	20	30	23	19		28							
	Superficie4	28	23	22	23		26										
	Superficie5		25	25													
	Superficie6																
2	Superficie1	28	23	20	22	31	23	17			23	12					
	Superficie2	30	24	21	23	28	22	16				12					
	Superficie3	30	23	21	19	29	20	18									
	Superficie4	31	23	23	23	28											
	Superficie5	29	26	26	22												
	Superficie6																
1	Superficie1	29	23	20	22		20	13									
	Superficie2	30	23	20	22		20	14									
	Superficie3	31															
	Superficie4	30															
	Superficie5	32			25												
	Superficie6	32	32	30	28												

Tabla 12.5: Diferencias de tiempos Δt , entre el sonido directo y el sonido reflejado.

(*) Estos valores se han obtenido mediante la ecuación 7.1 y 7.2.

		ΔL (dB)															
		A				B				C				D			
		Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4	Panel1	Panel2	Panel3	Panel4
5	Superficie1	1	1	1	1	2	1	1		2	2	1					
	Superficie2	1	1	1	1	2	1	1		2	2	1					
	Superficie3	1	1	1			1	1									
	Superficie4		1				1										
	Superficie5																
	Superficie6																
4	Superficie1	2	2	2	2	2	1	1		2	2	2			2	1	
	Superficie2	2	2	2	2	2	1	1		2	2	1					
	Superficie3	2	2	2	1	1	1	1		1	2						
	Superficie4		2	2			1										
	Superficie5																
	Superficie6																
3	Superficie1	2	2	2	2	3	3	2		2	2	1					
	Superficie2	2	2	2	2	3	3	2		2	2	1					
	Superficie3	2	2	2	2	3	3	3		2							
	Superficie4	2	2	2	1		3										
	Superficie5		1	2													
	Superficie6																
2	Superficie1	4	3	2	3	4	3	2			2	2					
	Superficie2	3	3	3	2	4	3	2				2					
	Superficie3	4	4	4	4	4	3	3									
	Superficie4	4	4	4	4	4											
	Superficie5	4	4	4	3												
	Superficie6																
1	Superficie1	5	4	4	4		3	2									
	Superficie2	5	4	4	4		3	2									
	Superficie3	6															
	Superficie4	6															
	Superficie5	5			6												
	Superficie6	5	5	5	5												

Tabla 12.6: Diferencia de nivel sonoro ΔL entre el sonido directo y el sonido reflejado.

Todas las valores (Δt , ΔL), se encuentran bajo la curva de la figura 7.1, lo cual implica que no habrán reflexiones molestas, siendo la mayor diferencia de tiempo $\Delta t = 32$ ms con una diferencia de nivel $\Delta L = 5$ dB, perteneciendo a la zona de reflexión no molestas, todas las demás corresponden a reflexiones útiles.

13. PRESUPUESTO Y COSTO DE LA OBRA

Antes de llevar a cabo la futura construcción de la Concha Acústica, será necesario saber el costo que tendrá la obra de acuerdo a alternativas de materiales a utilizar, decidiendo la mejor opción desde punto de vista acústico-económico.

A continuación, se presentan 2 alternativas de materiales que conforman la estructura principal de la obra. Los respectivos presupuestos se muestran más adelante y fueron realizado por la Empresa Constructora *Valle del Maipo*.

➤ *Estructura de Fierro:*

Perfiles de acero que forman las cuatros franjas de la concha acústica (figura 13.1 A), cubiertas y revestidas por paneles de Aluzinc.

Radier y base escenario compuesto por hormigón con cadena.

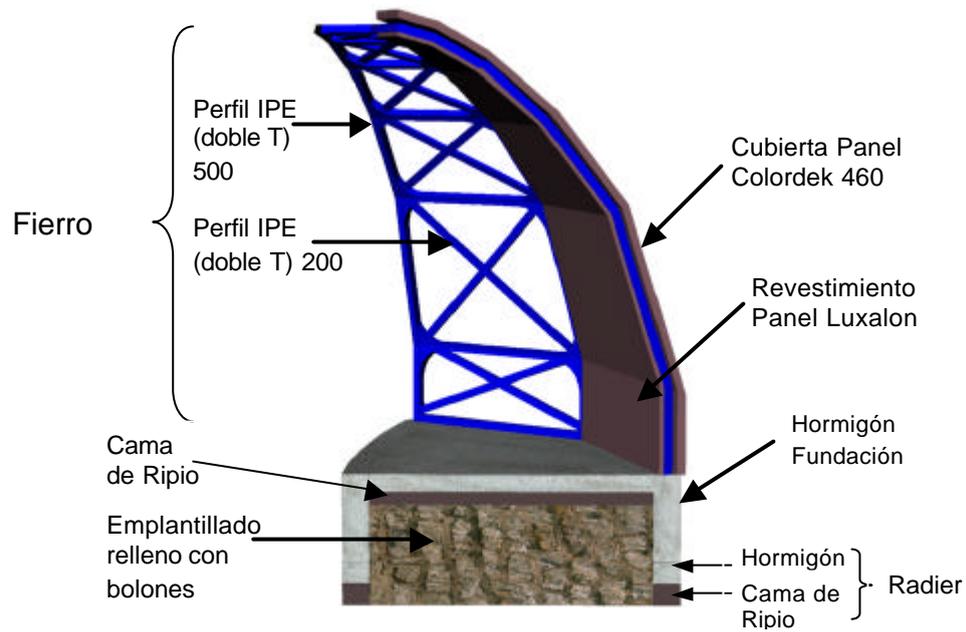
➤ *Estructura Hormigón:*

Muro de Hormigón con fierro, que componen las cuatros franjas de la concha acústica (figura 13.1 B).

Radier y base escenario compuesto por homigón con cadenas

Estructura de Fierro

A.



Estructura de Hormigón

B.

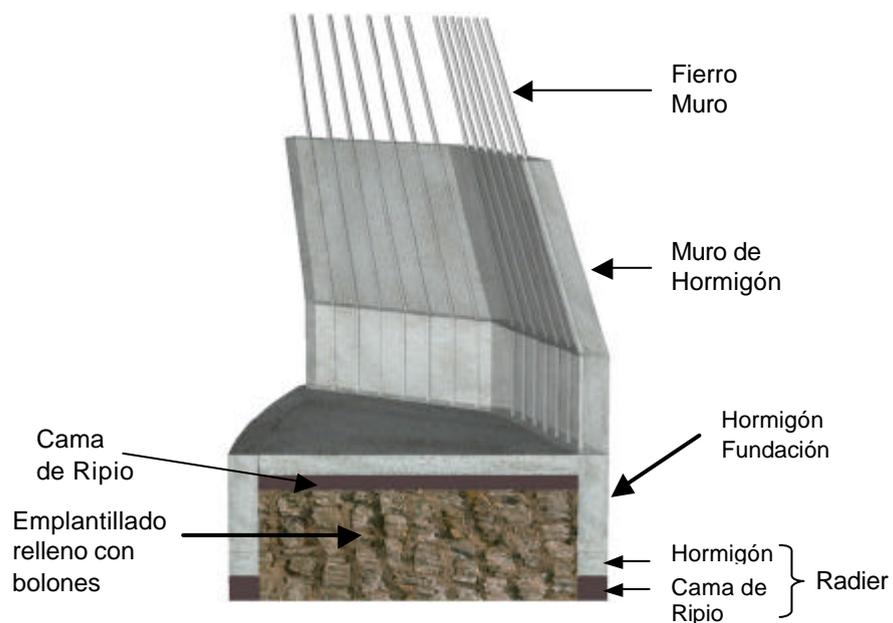


Figura 13.1: Corte Transversal "Obra Concha Acústica" de las 2 alternativas propuestas.

PRESUPUESTO: ESTRUCTURA DE FIERRO

OBRA : Concha Acústica
 UBICACIÓN : Región Metropolitana Pueblo Pomaire
 PROPIETARIO : Julio Alarcón Aguirre
 MODALIDAD : Obra Vendida
 FECHA : Junio de 2002
 EMPRESA : Valle del Maipo

ITEM	PARTIDA	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNIT.	P/TOTAL
A	INSTALACIÓN DE FAENAS				
	1.- Oficina Administrativa	GL	1,0	250.000 \$	250.000
	2.- Bodega de material	GL	1,0	250.000 \$	250.000
	3.- Baños, duchas y comedores	GL	1,0	150.000 \$	150.000
B	EXTRACCION	M3	110,0	3.000 \$	330.000
C	EXCAVACION				
	1.- Excavacion fundacion	M3	92,0	6.000 \$	552.000
D	HORMIGON FUNDACION				
	1.- Hormigon H-20	M3	92,0	48.000 \$	4.416.000
E	EMPLANTILLADO				
	1.- Emplantillado	M3	7,0	38.000 \$	266.000
F	FIERRO MURO				
	1.- Perfil IPE (Doble T) 500	KG	9.795,6	1.150 \$	11.264.940
	2.- Perfil IPE (Doble T) 200	KG	1.465,0	1.150 \$	1.684.750
G	MALLA ACMA	KG	306,0	520 \$	159.120
H	MOLDAJE				
	1.- Moldaje de madera (Pino)	M2	80,0	10.000 \$	800.000
I	RADIER				
	1.- Cama de ripio	M3	10,2	6.000 \$	61.200
	2.- Hormigon	M3	10,2	45.000 \$	459.000
J	DESCIMBRE	M2	80,0	500 \$	40.000
K	CUBIERTA				
	1.- Panel CD 460 Aluzinc 0,4 mm Sir	M2	266,2	5.522 \$	1.469.956
M	REVESTIMIENTO				
	1.- Luxalon 300-FS Aluzinc 0,5 mm	M2	266,2	24.055 \$	6.403.441
N	PISO				
	1.- Alfombra	M2	102,0	4.000 \$	408.000
				Total Costo Diercto	\$ 28.964.407
				Gasto General 10%	\$ 2.896.441
				Sub total	\$ 31.860.848
				I.V.A.	\$ 5.734.953
				Total	\$ 37.595.801

PRESUPUESTO: ESTRUCTURA DE HORMIGON

OBRA : Concha Acústica
 UBICACIÓN : Región Metropolitana Pueblo Pomaire
 PROPIETARIO : Julio Alarcón Aguirre
 MODALIDAD : Obra Vendida
 FECHA : Junio de 2002
 EMPRESA : Valle del Maipo

ITEM	PARTIDA	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNIT.	P/TOTAL
A	INSTALACIÓN DE FAENAS				
	1.- Oficina Administrativa	GL	1,0	250.000 \$	250.000
	2.- Bodega de material	GL	1,0	250.000 \$	250.000
	3.- Baños, duchas y comedores	GL	1,0	150.000 \$	150.000
B	EXTRACCION	M3	110,0	3.000 \$	330.000
C	EXCAVACION				
	1.- Excavacion fundacion	M3	92,0	6.000 \$	552.000
D	HORMIGON FUNDACION				
	1.- Hormigon H-20	M3	92,0	48.000 \$	4.416.000
E	EMPLANTILLADO				
	1.- Emplantillado	M3	7,0	38.000 \$	266.000
F	FIERRO MURO	KG	4.462,0	520 \$	2.320.240
G	MALLA ACMA	KG	306,0	520 \$	159.120
H	MOLDAJE				
	1.- Moldaje de madera (Pino)	M2	600,0	10.000 \$	6.000.000
I	HORMIGON MURO				
	1.- Hormigon H-25	M3	60,0	50.000 \$	3.000.000
J	RADIER				
	1.- Cama de ripio	M3	10,2	6.000 \$	61.200
	2.- Hormigon H-15	M3	10,2	45.000 \$	459.000
K	DESCIMBRE	M2	600,0	500 \$	300.000
L	PINTURA	M2	600,0	3.000 \$	1.800.000
M	PISO				
	1.- Alfombra	M2	102,0	4.000 \$	408.000

Total Costo Diercto	\$ 20.721.560
Gasto General 10%	\$ 2.072.156
Sub total	\$ 22.793.716
I.V.A.	\$ 4.102.869
Total	\$ 26.896.585

14. PROCEDIMIENTOS LEGALES

14.1 Derechos Municipales^[9]

Según el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, los costos unitarios por metro cuadrado de construcción, que resultarán para confeccionar los presupuestos de obras sobre los cuales corresponde aplicar los derechos municipales, serán los que resulten de aplicar las tablas I ó II (página 79 y 82), según corresponda al tipo de construcción.

Refiérase a la tabla I, cuando la construcción sea del tipo tradicional, siguiendo los pasos que se indican:

- *Clasificar la construcción (A, B, C, D, E, ó F)*
- *Determinar la categoría que le corresponda a la construcción clasificada (1, 2, 3, 4, ó 5).*
- *Por último, determinar el costo unitario, mediante la tabla I,*

Refiérase a la tabla II, cuando la construcción pertenezca, o se asemeje a los galpones, bodegas , hangares y edificios similares, siguiendo los pasos que se indican:

- *Clasificar la construcción, de acuerdo al material preponderante en cuanto a su estructura vertical, y estructura de techumbre, mediante un código.*
- *Determinar la categoría de la construcción (superior, corriente, ó inferior).*
- *Como último paso, asignar el costo unitario correspondiente, a través de la tabla II.*

14.2 Clasificación de las Edificaciones

14.2.1 Construcción Tradicional

- A. Construcciones con estructuras soportantes de acero. Entrepisos de perfiles de acero o losas de hormigón armado.
- B. Construcción de estructura resistente de hormigón armado, o con estructuras mixtas de acero con hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado.
- C. Construcciones con muros soportantes de albañilería de ladrillo y/o bloques confinados entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados metálicos o de madera.
- D. Construcciones de albañilería armada y construcciones con muros de albañilería de piedras u otros. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados metálicos o de madera.
- E. Construcciones con muros soportantes de madera. Paneles de madera, de fibrocemento, de yeso cartón o similares, incluidas las tabiquerías de adobe o quinchas. Entrepisos de entramados de madera.
- F. Construcción de adobe, tierra cemento u otros materiales livianos aglomerados con cemento (escoria, piedra pómez, etc.). entrepisos de entramados de madera.

14.2.1.1 Determinación de Categorías de la Edificación

Cada tipo de construcción tienen diferentes categorías que van del 1 al 5. Las categorías 1, 2 y 3 se determinarán a través de un cuestionario que evalúa los atributos positivos que posee una construcción, mientras que las categorías 4 y 5, se determinan por medio de definiciones generales.

14.2.1.2 Categorías 1, 2 y 3

Como ya se mencionó, las categorías 1, 2, y 3 se obtienen a través del cuestionario de atributos positivos que se descomponen en cuatro partidas, que son:

- *Diseño*
- *Estructura*
- *Terminaciones e*
- *Instalaciones*

Estas cuatro partidas, son evaluadas en forma separada, a fin de obtener las categorías parciales de cada una de ellas, utilizando para esto la Tabla de Categoría (página 78).

Una vez establecidas las categorías parciales, la categoría final se determina directamente mediante la utilización de una Matriz de Combinación de Categorías Parciales (página 78).

14.2.1.3 Cuestionario de Atributos de la Construcción

- **Diseño**

ATRIBUTOS PRINCIPALES (PARA CONSTRUCCIONES TRADICIONALES Y PREFABRICADOS)

- ◇ *Diseño único que se diferencia o se destaca dentro del entorno urbano.*
- ◇ *Juego de forma y volúmenes mediante elementos que no responden a requerimientos estructurales, sino que exclusivamente a fines estéticos.*
- ◇ *Diferentes niveles de piso exclusivamente por motivos estéticos, los cuales contribuyen a conformar ambientes distintos representando un costo adicional. Este atributo se presenta al menos en un recinto.*
- ◇ *Por motivos estéticos: altura de piso a cielo superior a 2.40m de altura máxima considerada habitual en la edificación. Este atributo se presenta al menos en un recinto.*
- ◇ *Para cada propiedad: programa de recintos superior a los requerimientos normales del destino principal. Ejemplo: sala de uso múltiple, biblioteca, sauna, bar, sala de música, más de un estar u otros.*
- ◇ *Techumbres especiales, tales como: cúpulas, bóvedas, lucarnas o equivalentes. Solo por fines estéticos.*
- ◇ *Techumbres con pendientes superiores a lo requerido para el clima y/o lo determinado en la normativa vigente (zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para diseño arquitectónico), exclusivamente por motivos estéticos.*
- ◇ *Accesos y circulaciones interiores amplios y diferenciados, tales como: de servicio, principal, etc. No se considerará este atributo cuando sea obligado por el destino de la construcción. Ejemplo: clínicas, hospitales u otros.*

ATRIBUTOS ADICIONALES (SOLO PARA EDIFICOS DE MÁS DE SEIS PISOS).

- ◇ *En el nivel de acceso: deferencias de niveles de piso solo por motivos estéticos, que contribuyen a conformar ambientes distintos. Este atributo se presenta al menos en un recinto.*
- ◇ *En el nivel de acceso: altura de piso a cielo superior en un 30% a la altura considerada habitual a la fecha de la construcción.*
- ◇ *Al menos dos bienes comunes con una superficie adecuada al uso, tales como: sala de uso múltiple, sauna, gimnasio, biblioteca, lavandería, piscina, etc.*
- ◇ *Al menos una terraza por departamento u oficina, cuando ésta corresponda al 10% de la superficie del departamento y/u oficina, con un ancho mínimo de 1.50m que permita desarrollar actividades en el exterior, tales como: estar-comedor, recreación u otras.*
- ◇ *Una o dos unidades por piso con superficie útil superior a 140m².*



Total de Atributos

- **Estructura**

- ◇ *Exclusiva y única, asociada a un mayor costo de construcción.*
- ◇ *Cuando la estructura es en albañilería simple, armada o reforzada, desfase en más de un elemento estructural horizontal.*
- ◇ *Cuando la estructura es en albañilería simple, armada o reforzada, desfase en más de un elemento vertical.*
- ◇ *Al menos un elemento estructural sobredimensionado.*
- ◇ *Estructura calculada para cubrir luces superiores a lo estipulado en la norma vigente.*

- ◇ *Elemento(s) estructural(es) especial(es) para soportar helipuertos, piscinas o equivalentes. No se considerará este atributo cuando sea obligado por el destino de la construcción.*



Total de Atributos

- **Terminaciones**

ATRIBUTOS PRINCIPALES (PARA CONSTRUCCIONES TRADICIONALES Y PREFABRICADOS)

- ◇ *Cubierta cuya instalación requiere de un costo adicional por la complejidad de su instalación, tales como: cubiertas de acrílicos, vidrio o cristal.*
- ◇ *Cubierta cuya instalación requiere de un costo adicional para estructurar la techumbre, tales como: tejas de arcillas, tejuelas de madera, emballestados de cobre u otras de costos equivalentes.*
- ◇ *Cielos confeccionados con maderas finas como: raulí, alerce, pino oregón, araucaria.*
- ◇ *Cielos ejecutados o adaptados para instalaciones especiales, tales como: cielos acústicos.*
- ◇ *Cielos colgantes.*
- ◇ *Cielos decorativos en yeso moldeado en obra u otros de costos equivalentes.*
- ◇ *Revestimientos exteriores: mármol, PVC, arcillas, piedra, metales, cristales o espejos, muros cortina, madera finas tales como: alerce araucaria, roble, raulí, u otras de costo equivalentes.*
- ◇ *Revestimientos interiores: mármol, cristales, espejos, maderas finas tales como: raulí, alerce, pino oregón araucaria, etc, u otras de costo equivalentes.*

- ◇ *Pavimentos en más de un 30% de la superficie total con: mármol, piedra, parquet o entablados de madera fina tales como: araucaria, cerezo, raulí, caoba, u otras de costo equivalentes.*
- ◇ *Pisos sobre losas para albergar instalaciones computacionales.*
- ◇ *Alfombras de muro a muro de espesores igual o superior a 10mm u otros de costo equivalentes.*
- ◇ *Puertas (en más de un vano por unidad vendible) de maderas finas tales como: raulí, alerce, pino oregón, araucaria, u otras de costo equivalentes.*
- ◇ *Puertas labradas de vidrios o cristales, u otras de costo equivalentes.*
- ◇ *Ventanas de maderas finas tales como: raulí, alerce, pino oregón, araucaria, u otras de costo equivalentes.*
- ◇ *Ventanales en aluminio anodizado de color PVC, u otras de costo equivalentes.*
- ◇ *Vidrios y cristales tratados tales como vidrios acústicos, termopanel, policarbonatos, acrílicos, vitrales u otros de costo equivalentes.*
- ◇ *Protecciones tales como: persianas o postigos exteriores automatizados, rejas de fierro forjados, exceptuando construcciones coloniales antiguas, barandas u otras de costo equivalentes.*

ATRIBUTOS ADICIONALES (SOLO PARA EDIFICIOS DE MÁS DE SEIS PISOS)

- ◇ *Revestimientos interiores en el nivel de acceso (como mínimo el 30% de la superficie de muros) con mármol, cristales o espejos, metales, maderas finas tales como: raulí, alerce, pino oregón, araucaria, u otras de costo equivalente.*
- ◇ *Revestimientos artísticos.*
- ◇ *Revestimientos en piedra u otros de costo equivalentes.*

- ◇ *Pavimentos en el nivel de acceso (como mínimo en aproximadamente el 30% de la superficie) con mármol, piedra, maderas finas tales: cerezo, araucaria, raulí, caoba, u otras de costo equivalentes.*



Total de Atributos

- **Instalaciones**

- ◇ *Ascensores en edificios con menos de cinco pisos o edificios de mas de cinco pisos con ascensores en cantidad superior a lo establecido en norma vigente.*
- ◇ *Ascensores panorámicos.*
- ◇ *Climatización en base a aire acondicionado y/u otro sistema especial de alto costo. (*)*
- ◇ *Sistema de seguridad contra incendio de alto costo y por sobre los requerimientos de la norma vigente al momento de la construcción tales como: puertas contrafuego, sistemas de presurización de alto costo, redes de detectores de humo, redes de luces de emergencias u otros de costo equivalente.*
- ◇ *Sistema de seguridad y vigilancia: red de alarma embutida, vigilancia por circuito cerrado de T.V. u otro costo equivalente.**
- ◇ *Sistemas adicionales de captación o generación de energía integrados a la construcción que tengan por finalidad el abastecimiento normal a bajo costo. Ejemplo: placas solares de computación integradas a la construcción.**
- ◇ *Para cada propiedad a lo menos 4 redes eléctricas de baja tensión embutidas, tales como: redes de computación, teléfonos, citófonos, T.V. cable u otras equivalentes.(*)*

* Estos atributos no deben señalarse cuando su existencia es condición obligada por el uso de la construcción

- ◇ *Edificios que incorporan el apoyo de computadoras para el funcionamiento de la climatización, de la iluminación y/o del acceso entre otras funciones que son autorreguladas.*
- ◇ *Para cada construcción individual y al menos en 2 recintos de baños: artefactos sanitarios tales como muebles vanitorios con cubierta y/o recipientes de mármol o bronce, tina de hidromasaje u otros de valor equivalentes.*
- ◇ *Instalaciones adicionales de alto costo para funcionamiento de helipuertos.(¹)*
- ◇ *En construcciones unifamiliares: losas radiantes al menos en un recinto (con excepción de edificios).*
- ◇ *Iluminación artificial especial como por ejemplo: zócalo lumínico, canoas lumínicas.*



Total de Atributos

* Estos atributos no deben señalarse cuando su existencia es condición obligada por el uso de la construcción

14.2.1.4 Categoría 4

Son aquellas construcciones que cuentan con una estructura y un diseño sencillo, de acuerdo a la definición de vivienda económica, de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Sus terminaciones son de tipo económico: Ejemplo:

- *Cubiertas:* con planchas onduladas de fibrocemento, fierro galvanizado o equivalentes.

- *Revestimientos exteriores:* de bajo costo o carencias de ellos. Ejemplo: morteros pintados.

- *Revestimientos interiores:* de bajo costo o carencias de ellos: Ejemplo: estucos sin afinar, cerámicos de bajo costo, maderas tipo pino insigne, álamo o aglomerados sin enchape. En general, revestimientos en el rango de los costos más económicos.

- *Pavimentos:* radier afinado, vinílicos económicos, cubrepisos, entablados de madera corriente u otros de costo equivalentes.

- *Puertas:* sobre la base de bastidores con forros económicos.

Sus instalaciones esenciales son completas (alcantarillados, agua potable y electricidad), en cantidad y calidad mínima necesaria. Se contempla como alternativa, el sistema de fosas y pozo. Artefactos sanitarios sencillos y económicos.

14.2.1.5 Categoría 5

Edificaciones del tipo vivienda básica o casetas sanitarias, ejecutadas por los SERVIU o construcciones de características similares.

Nota: Para las demoliciones se considerará la clase de la construcción a demoler y la categoría 5 para la aplicación de los valores, con la excepción de las clases A y B, en que el interesado deberá presentar presupuesto estimativo de la demolición.

Tabla de Categorías

ATRIBUTOS	ALTURA DE LA CONSTRUCCIÓN					
	HASTA 6 PISOS			7 Ó MÁS PISOS		
DISEÑO	7 ó más atributos	2 a 6 atributos	1 atributos	7 ó más atributos	3 a 6 atributos	1 a 2 atributos
CATEGORIA	1	2	3	1	2	3
ESTRUCTURA	3 ó más atributos	2 atributos	1 atributos	3 ó más atributos	2 atributos	1 atributos
CATEGORIA	1	2	3	1	2	3
TERMINACIONES	6 ó más atributos	3 a 5 atributos	1 a 2 atributos	8 ó más atributos	4 a 7 atributos	1 a 3 atributos
CATEGORIA	1	2	3	1	2	3
INSTALACIONES	4 ó más atributos	2 a 3 atributos	1 atributos	7 ó más atributos	4 a 6 atributos	1 a 3 atributos
CATEGORIAS	1	2	3	1	2	3

Matriz de Combinación de Categorías Parciales

DISEÑO →		1	2	3
TERMINACIONES →		1 2 3	1 2 3	1 2 3
	1	1 1 2	1 2 2	1 2 2
	2	1 2 2	1 2 2	2 2 3
	3	1 2 2	2 2 3	2 2 3
	2	1 1 2	1 2 2	2 2 2
	3	1 2 2	2 2 2	2 2 3
	3	1 2 2	1 2 2	2 2 2
	3	2 2 2	2 2 2	2 2 2
	3	2 2 2	2 3 3	2 3 3
ESTRUCTURA ←				
				INSTALACIONES →

TABLA I. COSTOS UNITARIOS PARA UNA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

Tabla de valores de Edificación por m²
(En pesos, moneda nacional, base Enero 2001)

CATEGORÍA	TIPO DE EDIFICACIÓN					
	A	B	C	D	E	F
1	187.622	214.011	187.622	187.622	133.375	-
2	139.264	158.303	139.264	139.264	99.660	70.366
3	102.609	117.263	102.609	102.609	73.281	51.302
4	73.281	83.529	73.281	73.281	52.724	36.620
5	-	-	39.574	39.574	39.574	27.829

Costos unitarios por metro cuadrado de construcción. Valores otorgados por la I. Municipalidad de Melipilla.

14.2.2 Otras Construcciones

(GALPONES, BODEGAS, HANGARES Y EDIFICIOS SIMILARES)

Definición: Construcciones de un piso, diseñadas para cubrir grandes dimensiones. Sus elementos estructurales son, sus apoyos verticales y su estructura de techumbre. Por lo general consisten en naves de plantas libres o con filas de apoyo. Su estructura no compromete las estructuras de construcciones interiores ^[9].

Estas construcciones se clasifican por el material preponderante tanto en su estructura vertical como en la estructura de techumbre.

CODIGO	ESTRUCTURA VERTICAL	ESTRUCTURA TECHUMBRE
AA	Acero	Acero
AB	Acero	Hormigón
AE	Acero	Madera
BA	Hormigón	Acero
BB	Hormigón	Hormigón
BE	Hormigón	Madera
CA	Albañilería Confinada	Acero
CE	Albañilería Confinada	Madera
EE	Madera	Madera
FE	Adobe	Madera
MM	Auto-soportante	Auto-soportante
MA	Auto-soportante	Acero
ME	Auto-soportante	Madera

Tabla 14.1: Código de la construcción, de acuerdo al material preponderante de estructura vertical y de techumbre.

De acuerdo al mayor o menor grado de complementación, estas construcciones se clasifican con un subíndice, en forma que se señala:

SUBÍNDICE	CATEGORÍA
1	Superior
2	Corriente
3	Inferior

Tabla 14.2: Clasificación de acuerdo al grado de complementación.

1. **Categoría Superior:** Corresponde a una construcción que cuenta con cierros perimetrales, divisiones, y cuyas oficinas están incluidas en el galpón, sus interiores son de albañilería de ladrillo estucado u otro material similar, pavimentos de hormigón aptos para soportar esfuerzos especiales, baldosas o similares; instalaciones sanitarias completas; aire acondicionado; aire caliente, etc. Estructura reforzadas para el emplazamiento de grúa móviles o tecles, etc. Esta clasificación también se aplicará a aquellos edificios especialmente diseñados para desarrollar actividades específicas tales como: Supermercados, textiles.
2. **Categoría Corriente:** Se caracteriza por contar, además de la estructura, sólo con cierros perimetrales, al menos por tres lados, de albañilería de ladrillo sin estucar, madera, asbesto cemento, fierro galvanizado o similares; pavimentos: radier corriente; instalaciones sanitarias mínimas, etc.
3. **Categoría Inferior:** Comprende aquellas construcciones que cuentan solamente con la estructura y la cubierta; carecen de cierros perimetrales o están incompletos.
En esta categoría se consideran también las construcciones de adobes utilizadas como bodegas.

TABLA II. COSTOS UNITARIOS PARA OTRO TIPO DE CONSTRUCCIONES
(GALPONES, BODEGAS, HANGARES Y EDIFICIOS SIMILARES)

Tabla de valores de Edificación por m²
 (En pesos, moneda nacional, base Enero 2001)

CATEGORÍA	TIPO DE ESTRUCTURA												
	AA	AB	AE	BA	BB	BE	CA	CE	EE	FE	MM	MA	ME
1	55.059	47.549	43.945	69.593	73.165	58.650	69.593	58.650	43.945	23.402	43.945	43.945	43.945
2	33.251	28.533	26.652	41.743	43.940	35.196	41.743	35.196	26.377	23.402	26.377	26.377	26.377
3	11.018	9.498	13.914	13.914	14.652	11.714	13.914	11.714	8.831	23.042	8.831	8.831	8.831

Costos unitarios por metro cuadrado de construcción. Valores otorgados por la I. Municipalidad de Melipilla.

15. COSTOS AL DERECHO DE CONSTRUIR

Existen situaciones en las cuales un tipo de construcción especial, como es en este caso, no se ven identificadas por las características dadas anteriormente. Entonces, lo que hace la entidad pública es dar la clasificación y categoría que más se acerque a la construcción en cuestión.

De acuerdo al análisis correspondiente, la Concha Acústica se puede clasificar como un tipo de construcción a los cuales pertenecen los galpones, bodegas y edificios similares, con categoría “*Superior*”. Por lo tanto, los costos unitarios por metro cuadrado de construcción, son los que resulten al aplicar la tabla II (apartado 14.2.2).

Es necesario aclarar, que la cantidad cobrada por la municipalidad, es sobre la base del suelo a construir, como en este caso, la Concha Acústica tiene un escenario de 81 m², es sobre ésta área a la cual se aplican los costos unitarios.

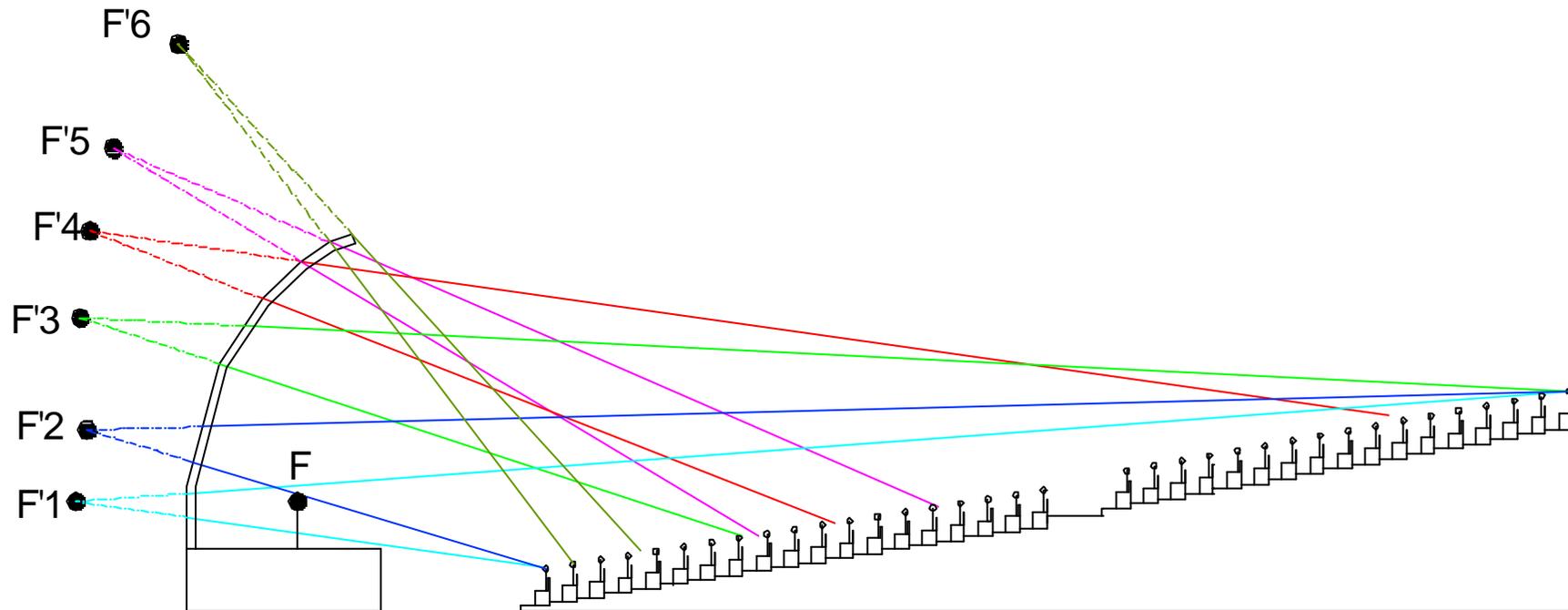
Los costos respectivos a pagar por las alternativas de material propuestas en el apartado 13, son:

Aternativas propuestas	Código	Estructura		Costos unitarios por m ² (\$)	Area a construir	Total a pagar (\$)
		Vertical	Techumbre			
Estructura de Fierro	BA	Hormigón	Acero	69.593	81	5.637.033
Estructura de Hormigón	BB	Hormigón	Hormigón	73.165	81	5.926.365

Taba 15.1: Cantidad a pagar por concepto de derecho municipal.

16. ANEXO 1

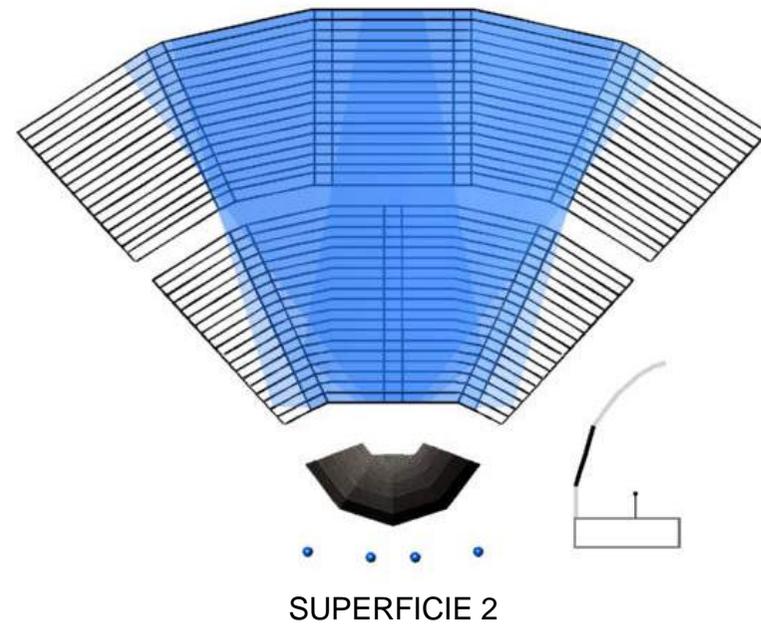
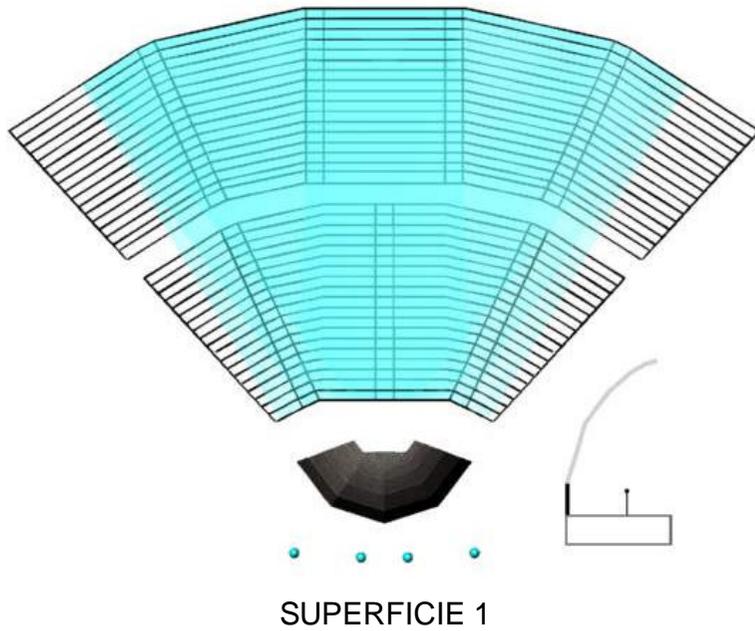
VISTA LATERAL DE LAS REFLEXIONES DE CADA SUPERFICIE



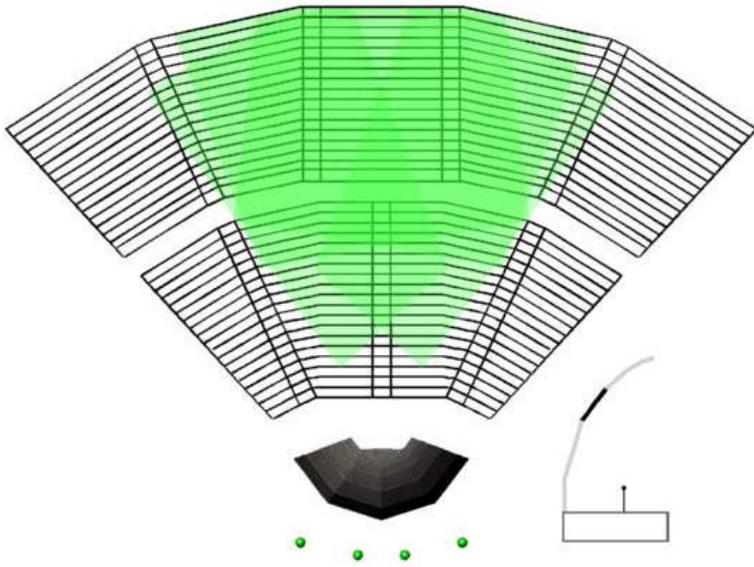
ANEXO 2

COBERTURA APROXIMADA DE REFLEXIONES SOBRE LAS GRADAS DE LOS 4 PANELES QUE COMPONEN CADA SUPERFICIE

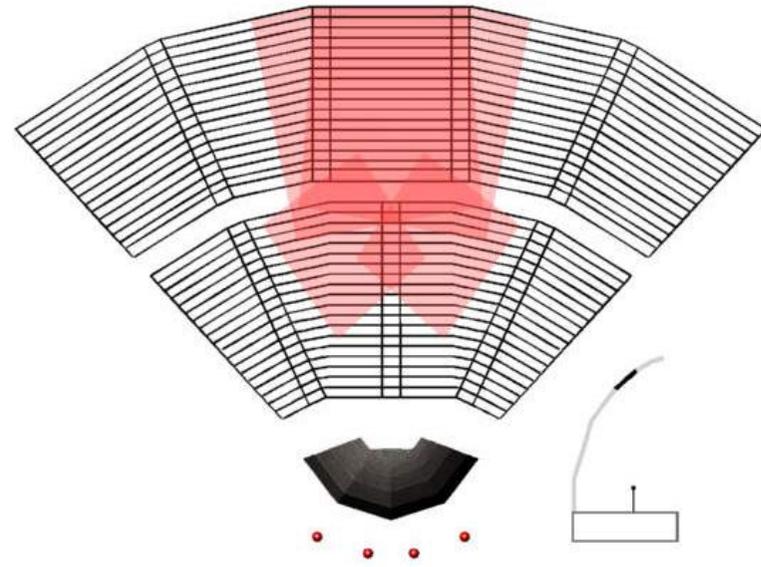
(La fuente al centro del escenario)



ANEXO 3

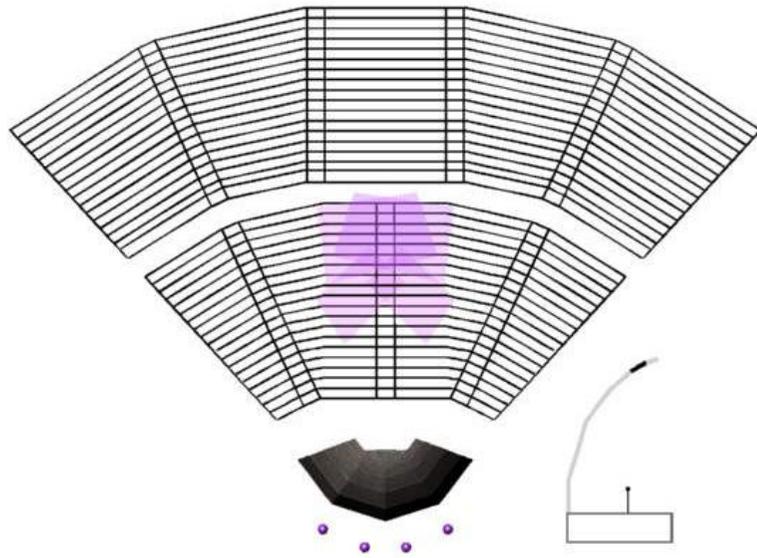


SUPERFICIE 3

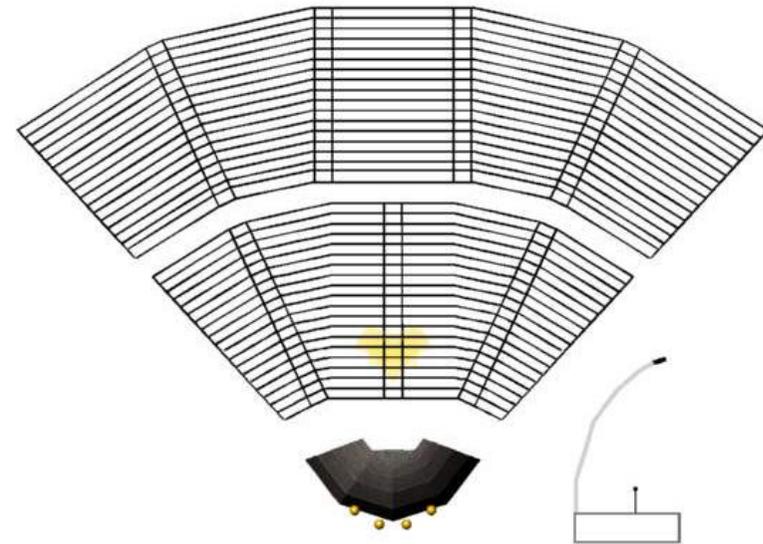


SUPERFICIE 4

ANEXO 4



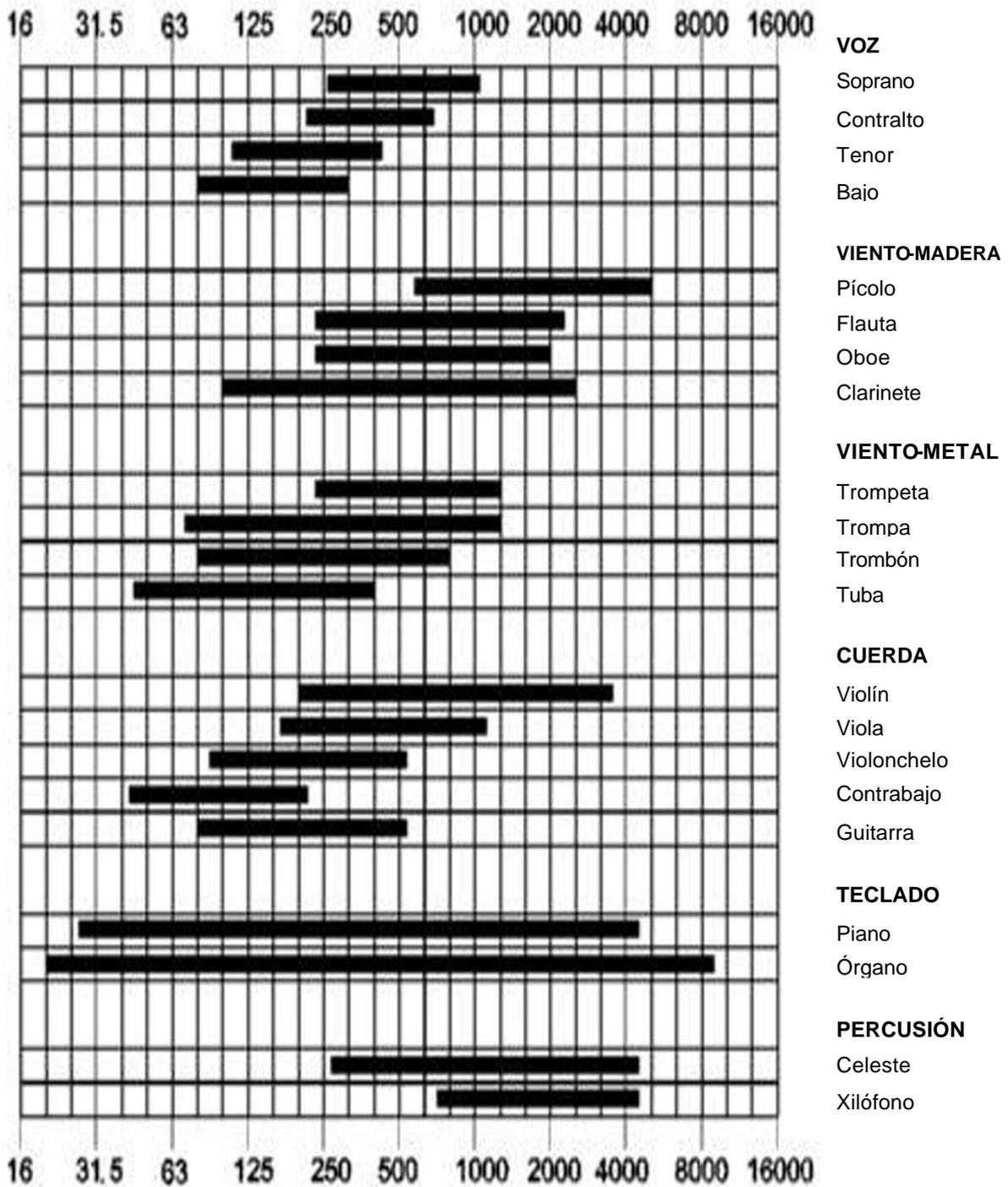
SUPERFICIE 5



SUPERFICIE 6

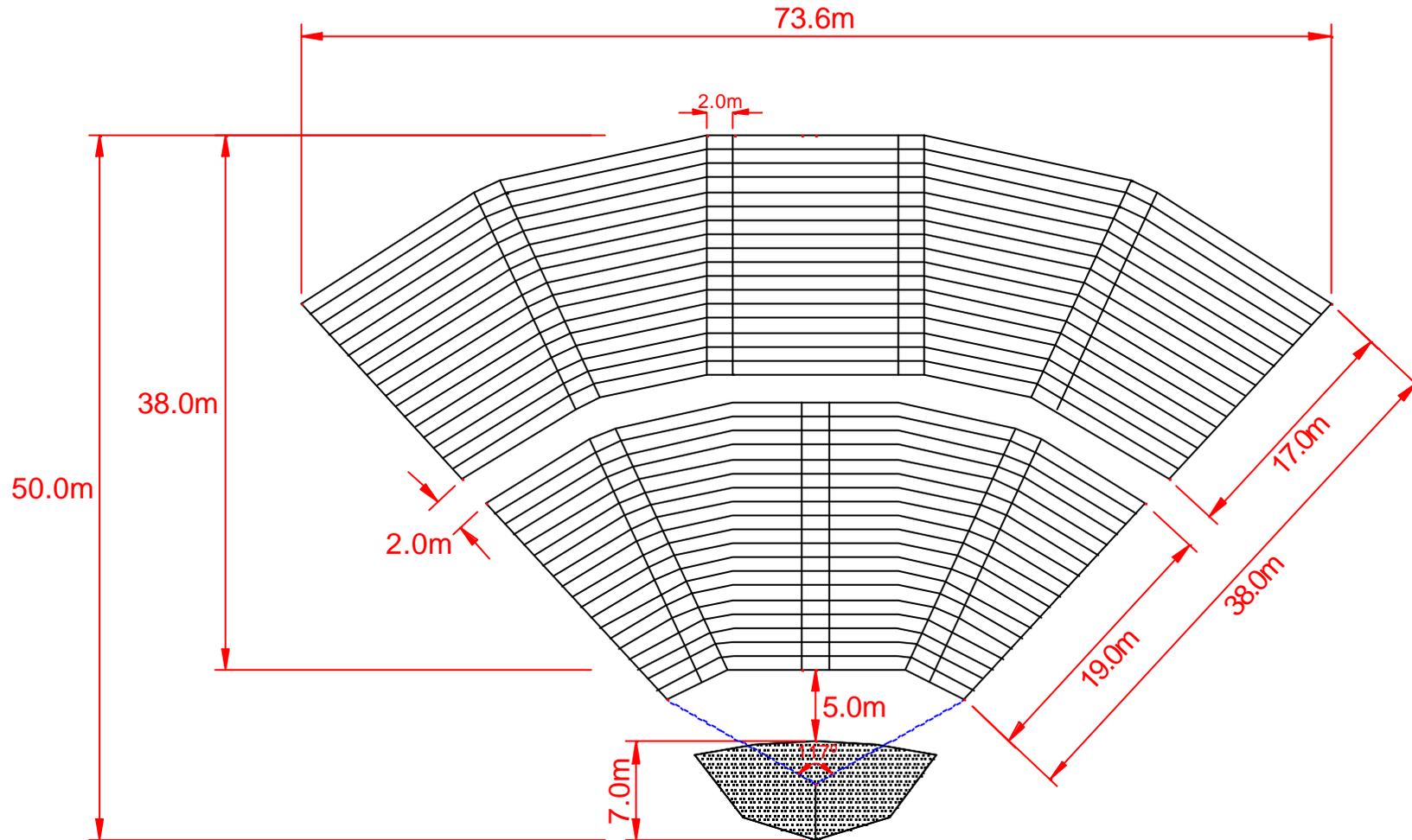
ANEXO 5

Bandas de frecuencias asociadas a diversos instrumentos musicales y a la voz humana^[1]



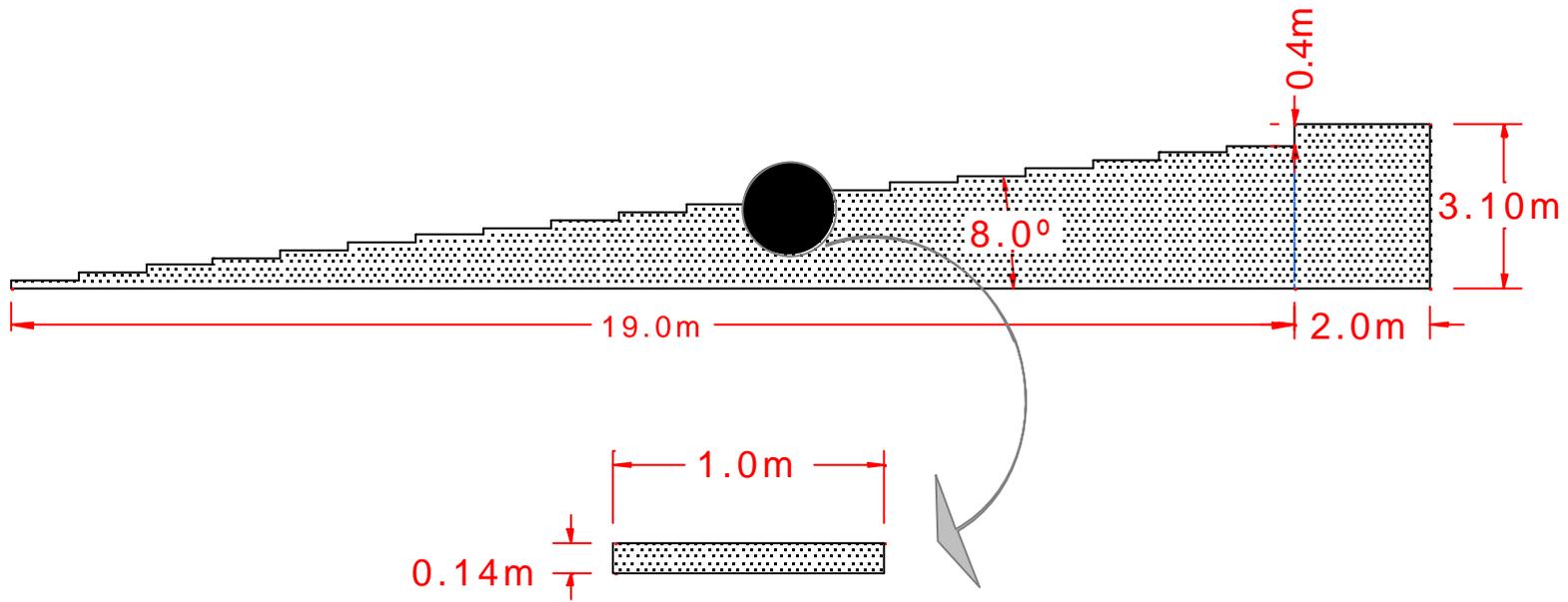
ANEXO 6

Planos y Medidas de las Gradadas



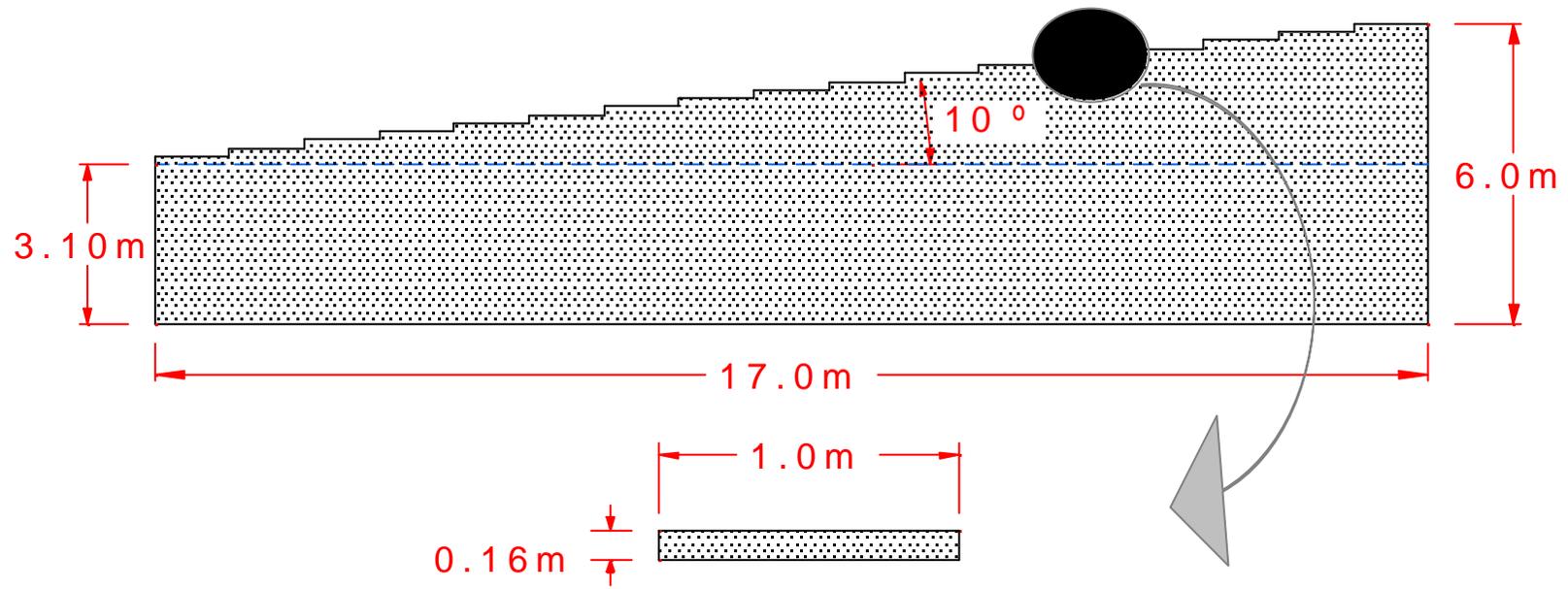
ANEXO 7

Escala inferior

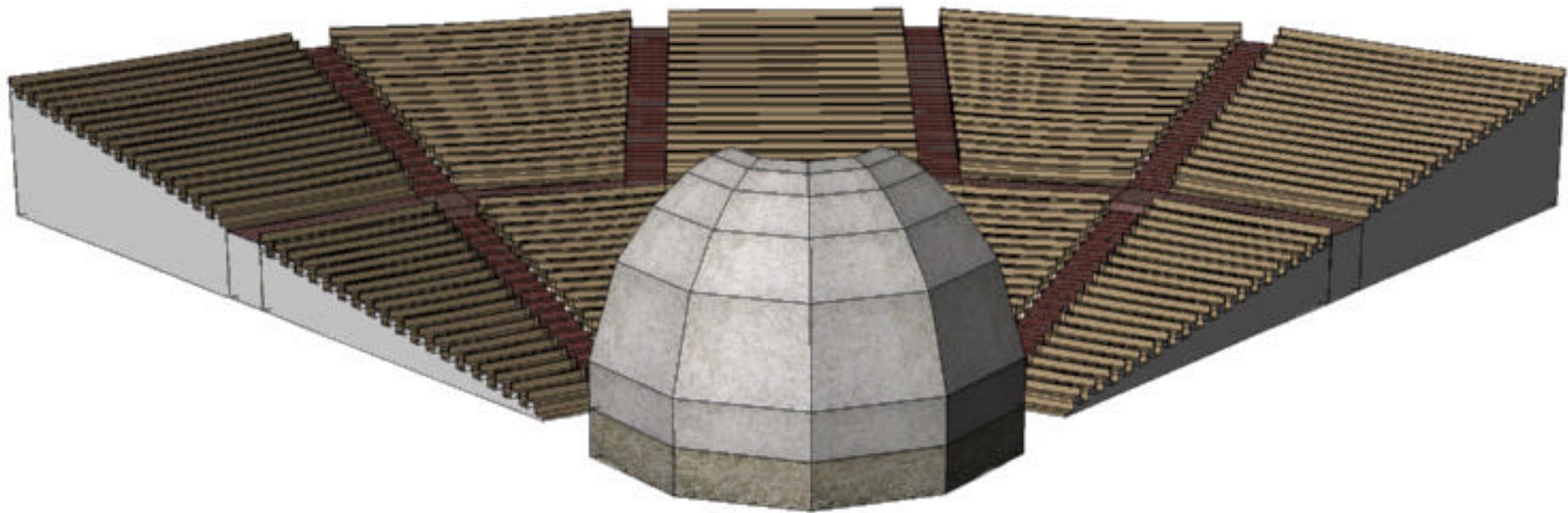


ANEXO 8

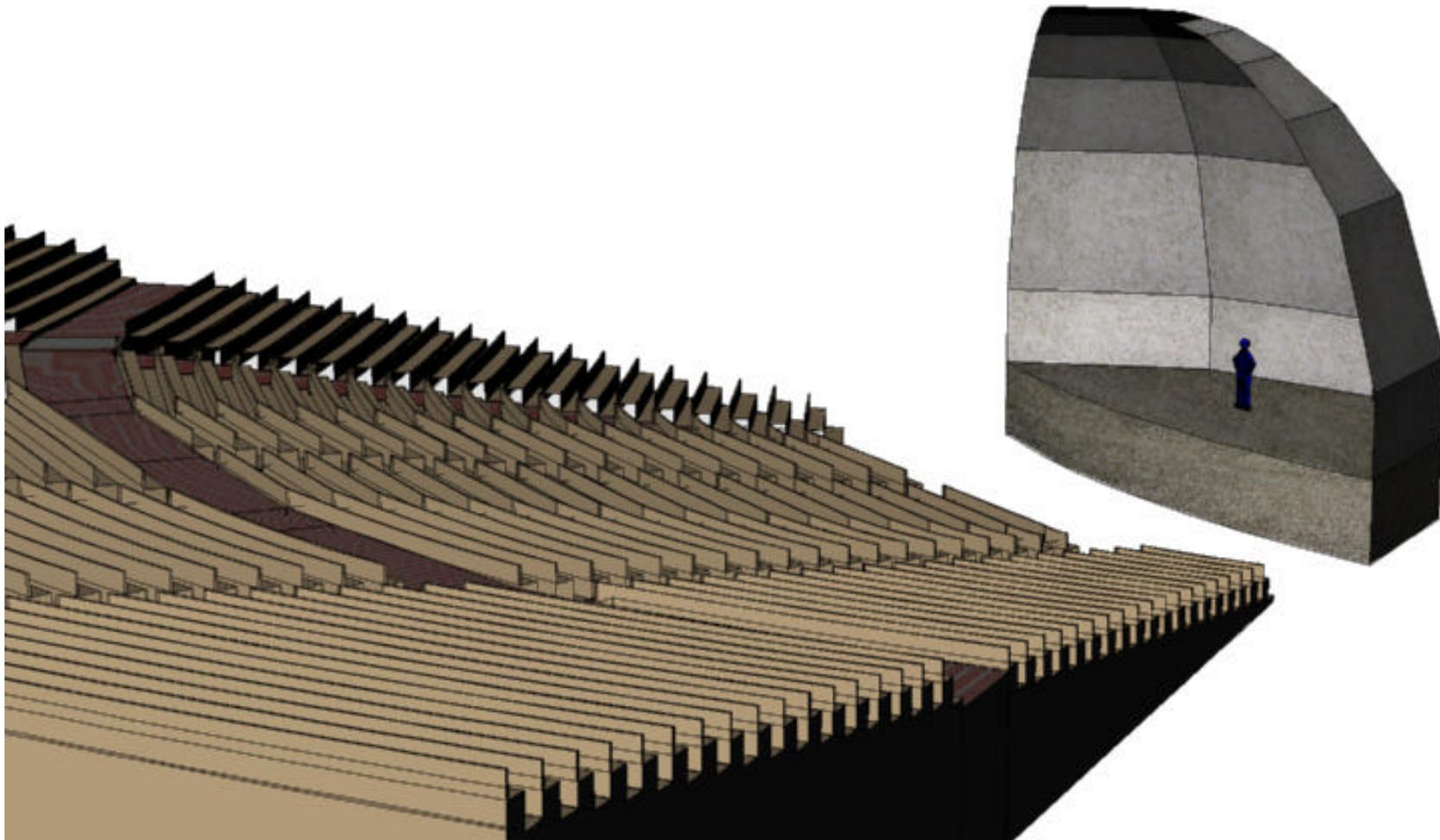
Escala superior



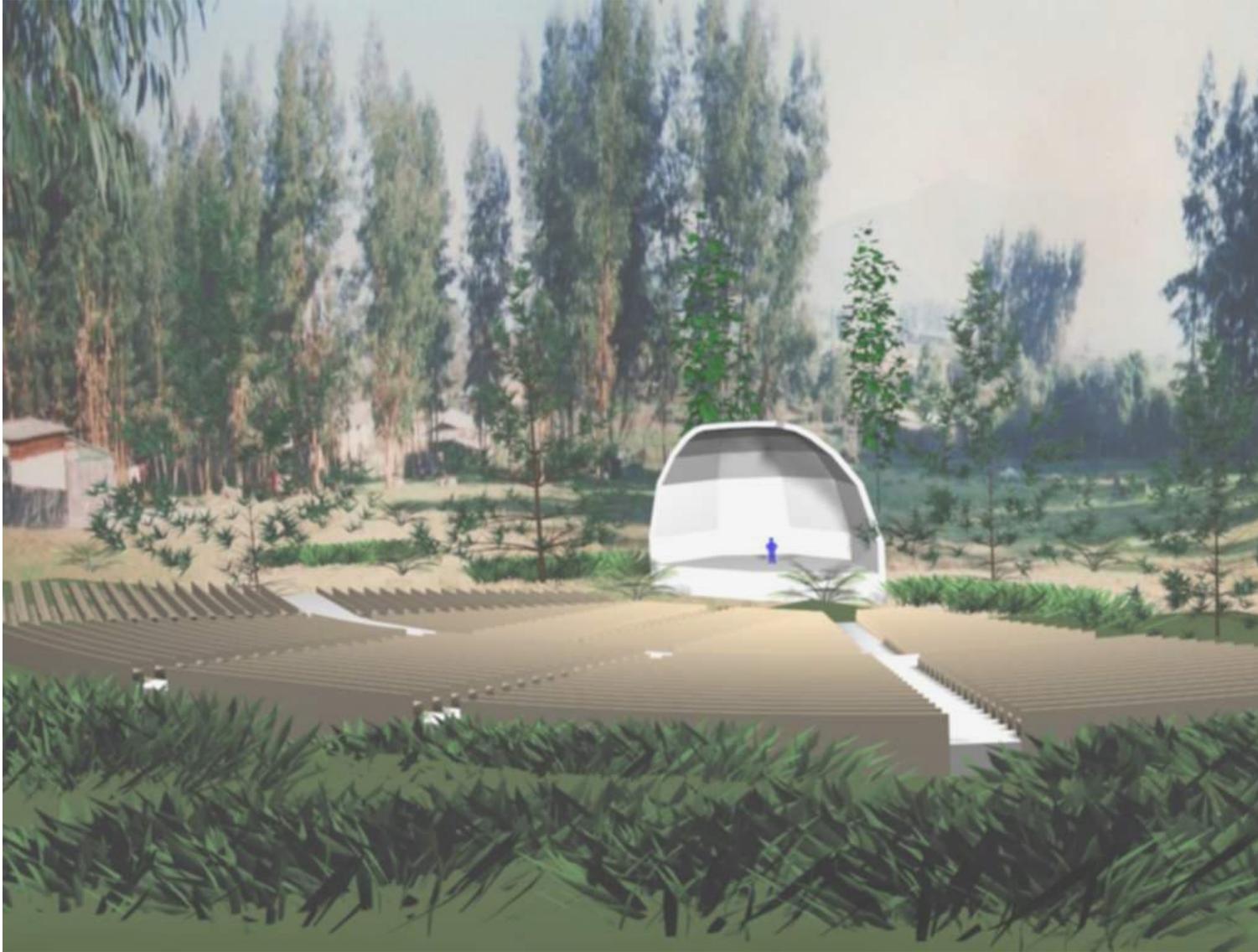
ANEXO 9
DIBUJO A ESCALA EN 3D DE LA CONCHA ACÚSTICA Y LAS GRADAS



ANEXO 10
VISTA EN PERSPECTIVA



FOTOGRAFIA DEL RECINTO SIMULANDO EL RESULTADO FINAL DE LA OBRA



17. CONCLUSIONES

El contar con el terreno, facilitó el desarrollo del estudio, ya que, se pudo medir in situ, el área del lugar y estimar a priori, la cantidad de personas dispuesta en un plano de audición, a la cual se estaba diseñando una concha acústica.

Apoyándose de la Acústica Geométrica en especial, al determinar si en el recinto existe eco, se puede asegurar que ningún punto de las gradas será afectada por este fenómeno, pues no existe lugar que dé forma a la hipérbola que determine dicha zona.

Todas las diferencias de tiempos de llegadas entre el sonido directo y las reflexiones de cada superficie de cada panel, están dentro de los 30ms aproximadamente

En cuanto a las gradas, la curva que aproxima la forma de abanico, tiene su centro fuera del escenario (detrás), por lo tanto, no existirán convergencias de sonido provenientes de ellas.

Cada superficie que componen la concha acústica, tienen dimensiones apropiadas para que de lugar a una reflexión especular, si bien es cierto, esto ocurre con gran efectividad para frecuencias elevadas, se puede decir, que cada una de estas superficies reflejarán las frecuencias altas, mientras que el conjunto lo harán para frecuencias bajas.

Los sectores más desfavorecidos, en cuanto a la cantidad de energía que llega desde el escenario producto de una fuente ubicada al centro de él, son los asientos ubicados a los costados de las gradas, esto se debe, a la discretización de la curva, lo cual implica tener un sector de cobertura limitado de reflexiones (ver anexos 2, 3, 4).

Una concha acústica, no tan solo cumple la función de reflejar el sonido hacia un plano de audición determinado, sino que también ayuda a mejorar la comunicación entre los músicos, permitiendo tocar al unísono y controlar el propio volumen sonoro de los instrumentos en comparación con el nivel global de una orquesta.

La atenuación que presenta el aire en el trayecto de propagación del sonido, es mínima a lo largo del recinto, ya que, se trata de distancias menores a 100m, solo habrá que considerarlas para frecuencias altas, mayores a 5000 Hz, es decir, cuando la fuente sonora tenga un amplio contenido espectral. Sin embargo de acuerdo a las bandas de frecuencias de los instrumentos (anexo 5) ^[1], la mayoría de ellos están por debajo de los 5000 Hz, por lo que el aire, no tendrá incidencia en la atenuación final.

Trabajar con programas de diseño gráfico ayudan a simular la realidad, y más aún a la precisión que se debe tener en cualquier obra de construcción.

Dentro del ámbito legal Chileno, toda construcción que se lleve a cabo dentro de un plano urbano o rural, están afectas a un porcentaje de dinero, que corresponde pagar a las municipalidades correspondientes (*El Permiso a Construir*). Este porcentaje será o mayor o menor según, el tipo de obra y materiales que se utilicen.

De acuerdo a las alternativas propuestas, el costo final que implica la construcción de una Concha Acústica en el lugar especificado es:

- \$ 43.232.834 si se opta por la Estructura de Fierro.
- \$ 32.822.950 si se opta por la Estructura de Hormigón.

Según la información entregada por la constructora *Villa del Maipo*, los perfiles de aceros que utiliza la estructura de fierro, son el factor principal que eleva el costo de esta construcción, por sobre la estructura de hormigón (ver presupuestos), ya que se trata de perfiles laminados en calientes, especialmente diseñados para soportar gran cantidad de peso.

Si bien es cierto, las alternativas propuesta son buenas desde punto de vista acústico, el factor económico será el principal motivo a la hora de decidir cual de las dos construcción se llevará a cabo. Por lo tanto, la primera opción, es construir la Concha Acústica de Hormigón.

18. BIBLIOGRAFIA

- [1].** Carrión, A. (1998).
Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos.
Universidad Politécnica de Cataluña.
Barcelona España.

- [2].** Harris, C. (1998).
Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.
McGraw-Hill Interamericana de España.

- [3].** Malcolm, J. Crocker (1998).
Handbook of Acoustics.
Printed in the United States of America.

- [4].** Sommerhoff J. (1987).
Acústica de Locales.

- [5].** Recuero, M. (1993).
Acústica Arquitectónica.
Impreso en España, Editorial Benza.

- [6].** Instituto de Acústica, (1998).
Informe de Acondicionamiento Acústico Aula Magna, Universidad Austral
de Chile.

- [7].** Weisse, K. (1956).
Acústica de Locales.
España, Gustavo Gilli.

- [8].** Morales, J.
Acústica Aplicada a las Construcciones.
España.
- [9].** Ilustre Municipalidad de Melipilla, (2001),
Ley General de Urbanismo y Construcciones.
- [10].** www.hollywoodbowl.org/index.cfm, Hollywood Bowl (2001).
- [11].** www.overtonparkshell.org/history.html, (2001).
- [12].** Empresa Constructora Ltda Valle del Maipo.