

FUNDAMENTOS TEÓRICOS BÁSICOS EN LA SONORIZACION PROFESIONAL.

1.- EFECTOS DEL SONIDO DIRECTO Y EL SONIDO DIFUSO SOBRE LA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA.

2.-CALCULO DEL NIVEL DE SONIDO DIRECTO Y SONIDO DIFUSO.

3.- EJEMPLO DE APLICACIÓN.

Este artículo tiene por objeto mostrar los detalles teóricos que se toman en cuenta para el diseño correcto de un sistema de sonido profesional.

Normalmente el uso de los sistemas de sonorización esta en manos de personas que no son expertas y el uso de la palabra no lo hace un locutor profesional.

Lo anterior hace necesario un estudio más escrupuloso sobre el diseño del sistema así como la adecuada selección de los componentes que van a conformar el proyecto.

Este artículo pretende servir de ayuda a quien proyecta y además pretende ayudar a los usuarios que solicitan los sistemas a fin de poder hacer un juicio sobre las bondades y características de un producto con relación al otro.

Por otra parte el lector tendrá posibilidad de contar con una serie de datos que le permitan manejar los parámetros de la ingeniería acústica que harán que el proyecto esté basado en las últimas investigaciones en el campo del sonido profesional.

El objetivo de un sistema de sonido de publifusión es lograr comunicar la información en la forma más inteligible.

1.-EFECTOS DEL SONIDO DIRECTO Y EL SONIDO DIFUSO SOBRE LA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA.

La inteligibilidad de la palabra depende básicamente del porcentaje de pérdida de las articulaciones de las consonantes $[ALc(\%)]$. Mientras menor sea este valor, se obtendrá mayor claridad del sonido y el uso de la palabra podrá hacerla cualquier persona. De no ser así, deberán usarse los parámetros acústicos y las características del equipo que se use.

La pérdida de inteligibilidad radica en el equipo mismo o al sistema acústico del recinto. Así pues es necesario considerar cuidadosamente los detalles en el diseño y la selección correcta de los componentes.

La pérdida de inteligibilidad en un recinto, depende de:

1. El tiempo de reverberación T en segundos.
2. La diferencia entre el nivel de sonido directo y sonido difuso ΔL .
3. La distancia a la que se encuentra el oyente.
4. La relación entre el nivel de la señal al ruido ambiente en el recinto.

Es importante hacer notar que el sonido directo nos proporciona la inteligibilidad de la información y el sonido difuso o reverberante es un obstáculo para lograr esta inteligibilidad.

Por otra parte el sonido difuso suele ser agradable en un sistema donde se reproduce únicamente música.

Los altavoces de cono tienen generalmente un ángulo de dispersión de 90° lo cual las hace medianamente direccionales y las columnas de sonido tienen un ángulo en sentido vertical entre los 10° y 20° dependiendo del número de altavoces que contengan.

El sonido emitido por altavoces con patrones de radiación omnidireccional produce una gran cantidad de nivel de sonido difuso lo cual es inconveniente por lo que a inteligibilidad se refiere.

Lo anterior nos hace concluir que para un sistema de sonido donde se requiera voceo, se deberán seleccionar altavoces direccionales de tal manera que el sonido recorra la menor distancia posible antes de llegar al oído de los oyentes.

En la Fig. 1 se muestra gráficamente el nivel de sonido directo con relación al sonido difuso, en un recinto determinado.

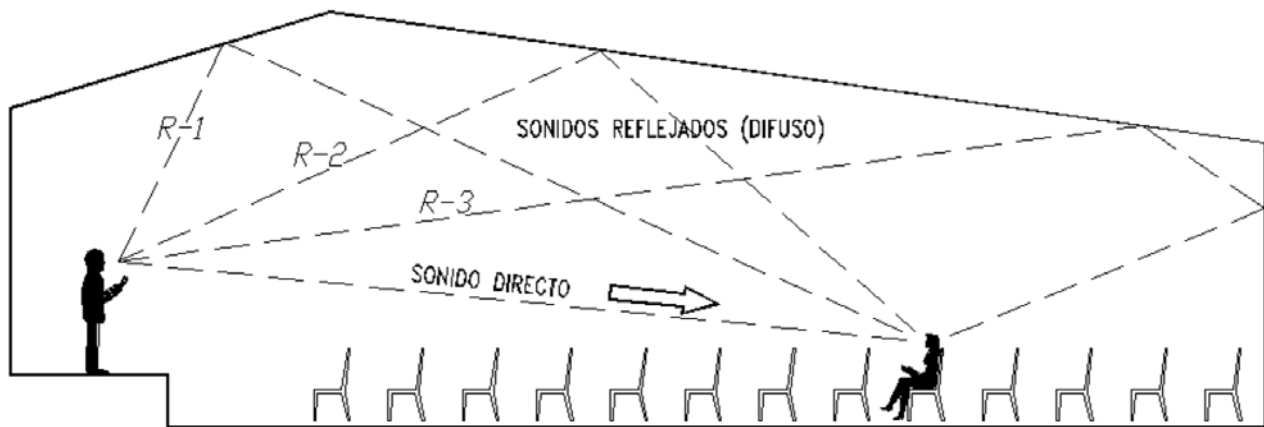


Fig. 1 Ejemplo que muestra las trayectorias del sonido directo y el sonido difuso.

Como puede observarse en la Fig. 1, el sonido directo sigue una trayectoria recta que llega al oyente en el menor tiempo posible mientras que el sonido que toma la trayectoria R-1, R-2 y R-3, tienen que tardar más tiempo antes de que lleguen al oyente pues antes tienen que reflejarse en las paredes, en el piso o en el techo.

En la Fig. 2 se muestra una gráfica del nivel de sonido contra el tiempo que tarda en llegar al oyente.

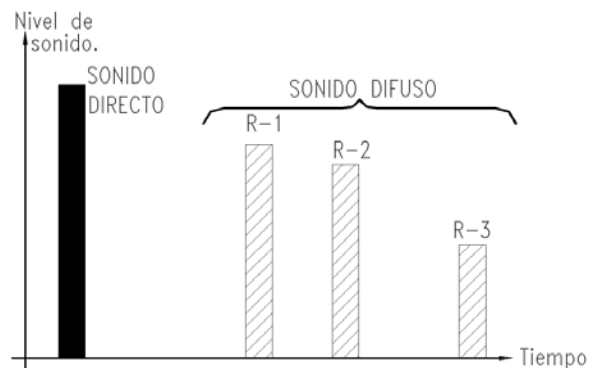


Fig. 2 Nivel y retardo del sonido directo con relación al sonido difuso.

Tomando la misma ilustración y el mismo recinto, podemos ver el efecto que produce un reproductor de sonido direccional con relación a uno omnidireccional. Como

hemos descrito, los altavoces omnidireccionales radian su sonido en todas las direcciones al mismo nivel en cambio los direccionales emiten el sonido concentrado en una sola dirección.

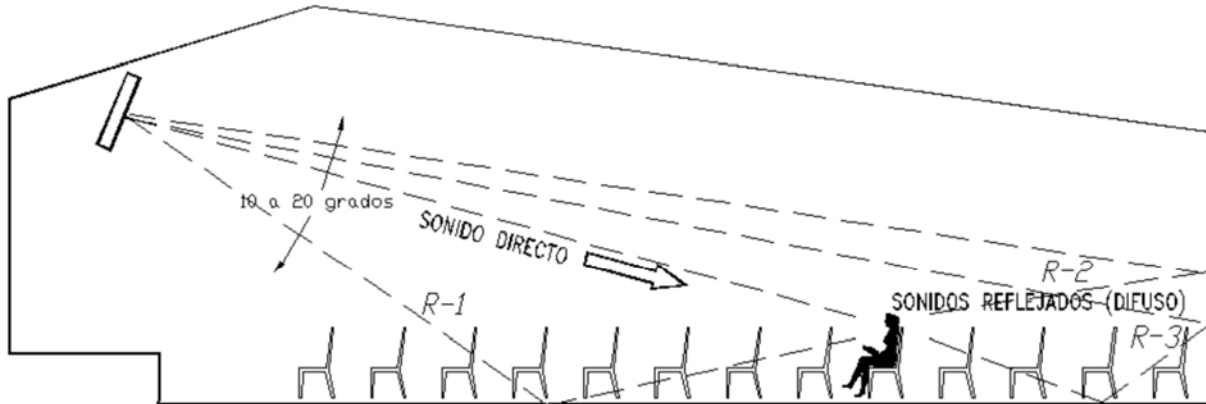


Fig. 3 Columna sonora DIRECCIONAL en el recinto del ejemplo descrito.

En esta figura 3, se muestra cómo el sonido directo emitido por una columna que radia el sonido en forma direccional, llega directamente al oyente con pocos reflejos.

En la figura 4, se presenta la gráfica equivalente de nivel de sonido que produce esta columna en el recinto que nos sirve de ejemplo. Nótese la reducida cantidad de nivel de sonido difuso o reflejado.

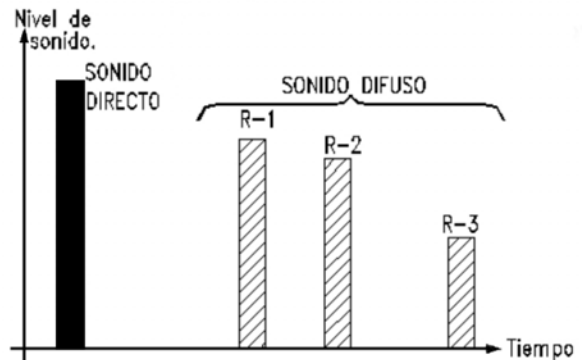


Fig. 4 Gráfica de niveles de sonido de una columna sonora DIRECCIONAL.

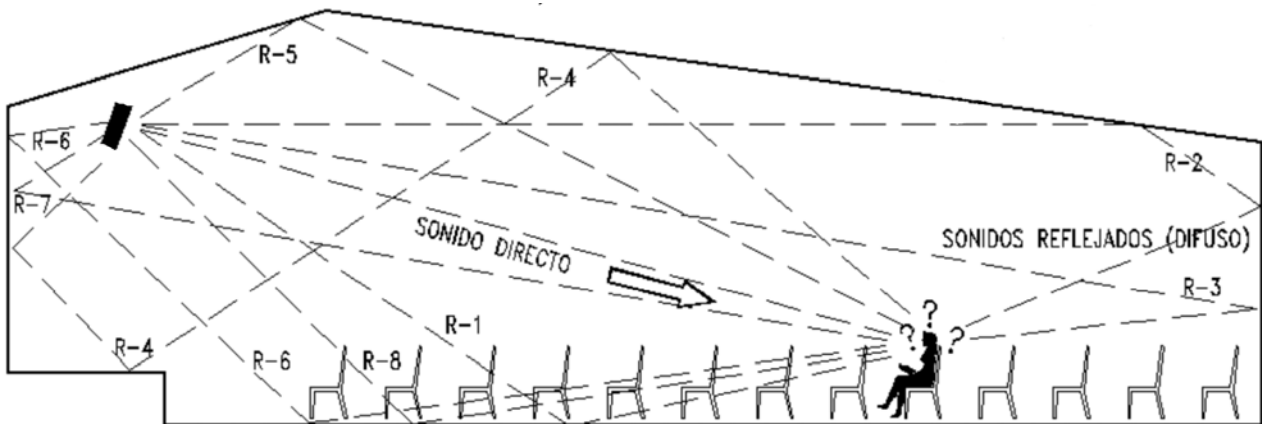


Fig. 5 Caja acústica OMNIDIRECCIONAL en el recinto del ejemplo descrito.

En la figura 5, se muestra en cambio una caja acústica del tipo normal que se usa frecuentemente en los aparatos caseros y que radía su sonido en todas direcciones.

El sonido directo llega al oyente mezclado de sonido difuso formado por una gran cantidad de reflejos del sonido en las paredes, techo y piso del recinto.

En la figura 6, se muestra la gráfica correspondiente de niveles de sonido directo contra la cantidad de niveles de sonido difuso.

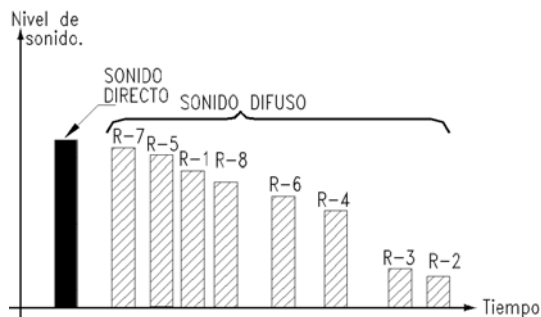


Fig. 6 Gráfica de niveles de sonido de una caja acústica OMNIDIRECCIONAL.

El análisis anterior nos hace concluir que si queremos lograr una buena inteligibilidad de la palabra en un sistema de sonido dentro de un recinto determinado, es indispensable el uso de altavoces que radien el sonido en forma DIRECCIONAL.

2.-CALCULO DEL NIVEL DE SONIDO DIRECTO Y SONIDO DIFUSO.

El nivel de sonido se mide en décimas de Bel, o sea decibel dB y la referencia 0dB es una presión sonora mínima necesaria para ser escuchada por el promedio de las personas. Esta presión sonora es de 20 micro Newtons/m² Antiguamente la referencia era 0.0002 dinas /cm² .

El nivel de sonido directo es L_{dir} .

El nivel de sonido difuso es L_{dif} .

El sonido directo recibe una atenuación cuadrática de acuerdo a la distancia (D) que tiene que recorrer el sonido. En esta forma...

$$L_{dir} = 20 \log D \quad (1)$$

...donde D es la distancia en metros.

La Fig. 7 muestra la representación gráfica de la ecuación anterior.

Por ejemplo, si conocemos la presión sonora que produce un altavoz y nos colocamos a una distancia de 18 metros, la atenuación del nivel de sonido directo a esta distancia será de 25 dB.

Para obtener lo anterior, entramos en la gráfica en su eje horizontal donde aparecen 18 metros, subimos una línea vertical hasta llegar a la gráfica lineal y con una línea horizontal vamos hasta el eje vertical donde nos indicará el valor de la atenuación que recibe el nivel del sonido directo que emite el altavoz.

El valor de presión sonora que produce un altavoz solamente lo especifican los fabricantes que cuentan con la infraestructura de Laboratorios de Investigación y Desarrollo como los reproductores de sonido ASAJI.

Con esta gráfica o aplicando la fórmula (1), podemos calcular la atenuación de sonido directo con la distancia.

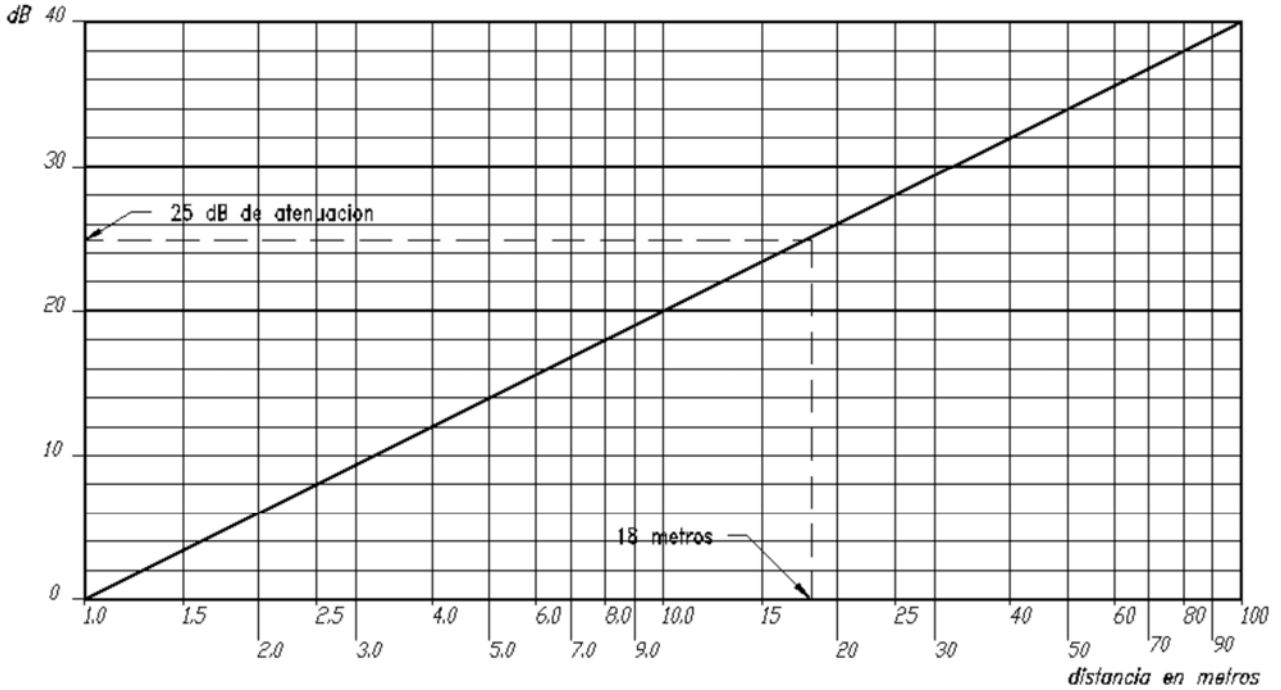


Fig. 7 Gráfica de atenuación del sonido directo con relación a la distancia.

En un recinto siempre existe la combinación de sonido directo y sonido difuso. El nivel de sonido directo depende de la distancia hacia el oyente y el sonido difuso depende del volumen del recinto y del tiempo de reverberación del mismo.

El cálculo del nivel de sonido directo se hace por medio de la fórmula siguiente:

$$L_{dir} = L_{1m,1w} + 10 \log P_{el} - 20 \log D \quad (2)$$

...donde:

$L_{1m,1w}$ = nivel de presión sonora del reproductor de sonido con 1 W de potencia a una distancia de 1 M.

P_{el} = potencia eléctrica del altavoz especificado como su potencia nominal.

D es la distancia a la que se encuentra el oyente en Metros.

El tiempo de reverberación depende del volumen V y del coeficiente de absorción de las paredes, techo y piso del recinto. Este coeficiente de absorción depende del tipo de material que se usa como recubrimiento. La relación que nos define el tiempo de reverberación se conoce como la fórmula de Sabin y dice:

$$T = \frac{Volumen}{6 \times Coef. absorción Sup.} \cdot \frac{1}{1} \quad (3)$$

Además el tiempo de reverberación se define como aquel que tarda en atenuarse un sonido 60 dB de su nivel inicial. La gráfica de la Fig. 8 nos muestra mas claramente esta definición.

Si un sonido emitido es de 90 decibeles y se atenúa hasta un nivel de 30 dB después de 6 segundos, el tiempo de reverberación es de 6 segundos.

$$L_{dir} \text{ (limite)} = L_{dif} - 10 \text{ dB} \quad (4)$$

La diferencia entre el nivel de sonido directo y el nivel de sonido difuso es ΔL expresado en dB

$$\Delta L = L_{dir} - L_{dif} \quad (5)$$

D_0 es la distancia de referencia en la cual el nivel de sonido difuso es igual al sonido directo es decir cuando...

$$\Delta L = 0 \text{ dB}$$

Es posible entonces de acuerdo a la gráfica de la Fig. 9, alejarse 3.15 veces más de la D_0 la cual es la distancia crítica D_L para tener buena inteligibilidad de la palabra.

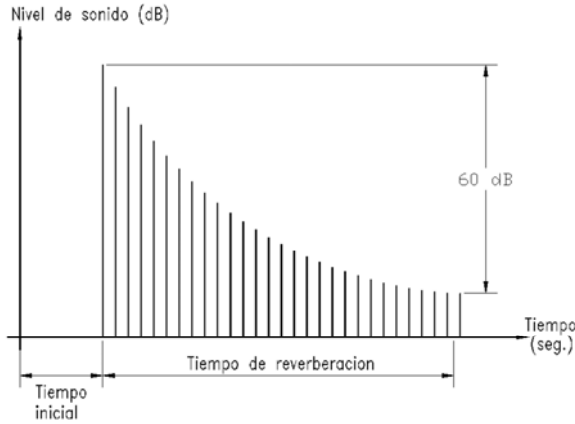


Fig. 8 Gráfica que define el tiempo de reverberación.

La posición de los altavoces debe diseñarse de tal forma que los oyentes reciban la mayor cantidad de sonido directo. El límite del nivel de sonido directo necesario para obtener un sonido inteligible es de:

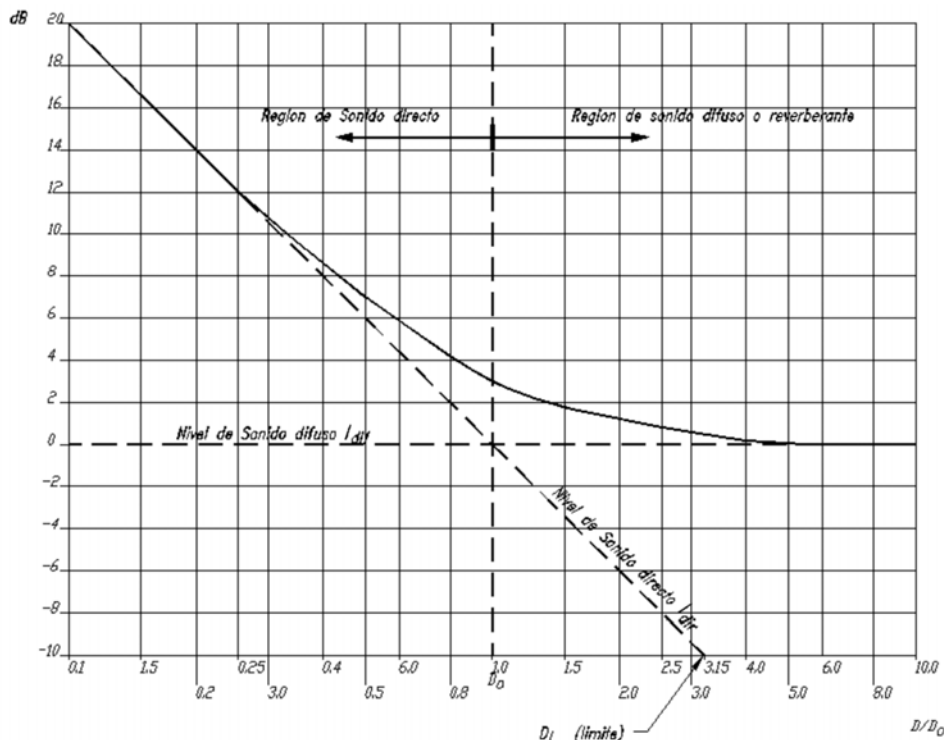


Fig. 9 Gráfica que define los campos del sonido directo y sonido difuso.

Como se ha definido, más allá de este límite, el sonido contiene tal cantidad de sonido difuso que la pérdida de inteligibilidad ya no es aceptable.

Para calcular el nivel de sonido difuso, usamos la fórmula siguiente:

$$L_{dif} = 120 + 10 \log \frac{25T(1-a)}{\text{Volúmen}} + 10 \log P_{ac} \quad \dots(6)$$

... o bien podemos tener:

$$L_{dif} = 136 - 10 \log \frac{V}{T} + 10 \log [\eta \cdot P_{el}(1-a)] \quad \dots(7)$$

...donde:

- P_{el} = Potencia nominal del altavoz en W
- D = Distancia en metros
- T = Tiempo de reverberación en Seg.
- a = absorción promedio.
- P_{ac} = Potencia acústica

Por otra parte tenemos la fórmula siguiente:

$$P_{ac} = P_{el} \cdot \eta \quad (8)$$

...donde η = eficiencia del altavoz.

Usando la fórmula de Sabin obtendremos la absorción promedio "a" el volumen del recinto se obtiene en la forma más aproximada en metros cúbicos y la potencia acústica la obtenemos a partir de la eficiencia del altavoz.

No es muy común encontrar la especificación de eficiencia de un altavoz, esta debe medirse o solicitarse al fabricante del mismo. La medición de la potencia acústica se describió en la edición No. 54 de la presente revista, hecho en una cámara reverberante.

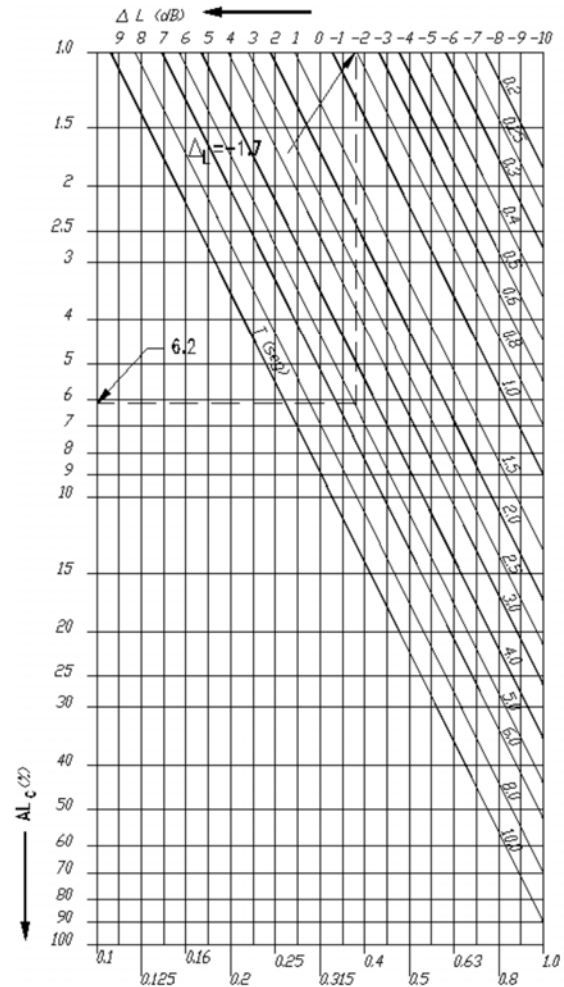


Fig. 10 Gráfica para obtener las pérdidas de articulaciones de las consonantes [ALC(%)] para 35 dB de relación señal a ruido.

Una vez calculado el nivel de sonido difuso L_{dif} , obtenemos la diferencia ΔL con la cual podemos entrar a la gráfica de la Fig. 10 para obtener el porcentaje de pérdidas de articulaciones de las consonantes.

Una vez que se obtiene el valor ΔL , entramos en la parte superior de la gráfica, recorremos verticalmente hasta encontrar la línea correspondiente al tiempo de reverberación del recinto y obtendremos en la escala vertical izquierda, el valor del

porcentaje de pérdidas de las articulaciones de las consonantes [$ALc(\%)$]

Esta lectura es a 35 dB de relación señal a ruido.

EJEMPLO DE APLICACIÓN.

A continuación presentaremos un ejemplo de cálculo sobre un recinto que podríamos tener por ejemplo en una iglesia. Es de todos conocido que el sistema de sonorización de las iglesias es muy problemática, por esta razón hemos elegido este ejemplo.

Imaginemos una iglesia que tenga una longitud de 50 metros, el ancho de 30 metros y una altura de 10 metros.

El tiempo de reverberación ha sido medido y el resultado es de 5 segundos lo cual nos habla de una semejanza a cualquier iglesia grande con problemas acústicos.

Finalmente se considera un nivel de ruido ambiente de 75 dB.

Con estos datos procedemos al cálculo del volumen del recinto el cual nos da como resultado:

$$50 \times 30 \times 10 = 15000 \text{ m}^3$$

Por otra parte necesitamos conocer el total del área de absorción de sonido que lo forman el techo, piso y las paredes del recinto.

Área del piso y techo:

$$50 \times 30 \times 2 = 3000 \text{ m}^2$$

Área de las paredes:

$$(2 \times 50 + 2 \times 30)10 = 1600 \text{ m}^2$$

Área total de absorción: $3000 + 1600 = 4600 \text{ m}^2$

Tomando la fórmula (3) de Sabin, tenemos el cálculo de la absorción promedio del recinto.

$$a = \frac{15000}{6 \times 5 \times 4600} = 0.1087$$

Tomando la fórmula (6) para obtener el nivel de sonido difuso:

$$L_{dif} = 120 + 10 \log \frac{25T(1-a)}{\text{Volúmen}} + 10 \log P_{ac}$$

...substituyendo:

$$L_{dif} = 120 + 10 \log \frac{25 \times 5(1 - 0.1087)}{15000} + 10 \log P_{ac}$$

Para obtener la P_{ac} , consultamos en la hoja de datos de los altavoces la eficiencia de los reproductores de sonido. Para la columna ASAJI modelo 1304, la eficiencia es de 0.0251.

De la fórmula (8), tenemos:

$$P_{ac} = P_{el} \cdot \eta$$

Tomando en consideración 8 columnas distribuidas a lo largo del recinto de tal manera de incrementar el nivel de sonido directo, por cada columna tenemos una potencia eléctrica de 30W de acuerdo a las mismas especificaciones de ASAJI.

$$P_{ac} = 30 \times 8 \times 0.0251$$

$$P_{ac} = 6.024 \text{ Watts acústicos}$$

Resolviendo, para calcular el nivel de sonido difuso...

$$L_{dif} = 120 + 10 \log \frac{25 \times 5(1 - 0.1087)}{15000} + 10 \log P_{ac}$$

$$L_{dif} = 120 + 10 \log 0.074275 + 10 \log P_{ac}$$

$$L_{dif} = 120 - 21.3 + 10 \log P_{ac}$$

$$L_{dif} = 98.7 + 10 \log P_{ac}$$

...substituyendo:

$$L_{dif} = 98.7 + 10 \log 6.024$$

$$L_{dif} = 98.7 + 7.8$$

$$L_{dif} = 106.5$$

Para obtener el nivel de sonido directo de cada columna a una distancia de 5 m, tomando también los datos de presión sonora a 1m, 1w, tenemos el cálculo siguiente:

$$L_{dir} = L_{1m,1w} + 10 \log P_{el} - 20 \log D$$

$$L_{dir} = 104 + 10 \log 30 - 20 \log 5$$

Calculando obtenemos el resultado siguiente:

$$L_{dir} = 104 + 14.77 - 13.97$$

$$L_{dir} = 104.8$$

Con estos datos podemos calcular ΔL .

$$\Delta L = L_{dir} - L_{dif}$$

$$\Delta L = 104.8 - 106.5$$

$$\Delta L = -1.7 \text{ dB}$$

Usando este dato podemos finalmente encontrar el valor de la pérdida de las articulaciones de las consonantes $[ALc(\%)]$.

Tomando la gráfica de la Fig. 10, en la escala de la parte superior, tenemos ΔL con un valor de -1.7 dB , seguimos verticalmente la línea vertical hasta encontrar la línea correspondiente al tiempo de reverberación T (seg) de 5 segundos. Recorriendo hacia la izquierda en una línea horizontal encontramos un valor de 6.2% de pérdidas de articulaciones de consonantes $[ALc(\%)]$

Este valor corresponde a una relación señal a ruido máxima de 35 dB por lo que debemos hacer un ajuste de acuerdo a la gráfica de la Fig. 11 debido a la influencia del ruido ambiente si este es menor de 35 dB.

Si tenemos el nivel de ruido ambiente de 75 dB un sonido directo de 104.8 dB, Tenemos que la relación señal a ruido es de:

$$S/N = 104.8 - 75 = 29.8 \text{ dB}$$

Es necesario hacer el ajuste correspondiente a este valor de relación señal a ruido. Entrando en la gráfica de la figura 10 con los 6.2% de pérdidas, recorreremos en dirección de la familia de curvas hasta llegar a la línea horizontal correspondiente a los 29.8 dB (30 dB) de relación señal a ruido S/N. Siguiendo horizontalmente hacia la izquierda, encontramos el porcentaje de pérdidas de consonantes que resulta ser de 9%.

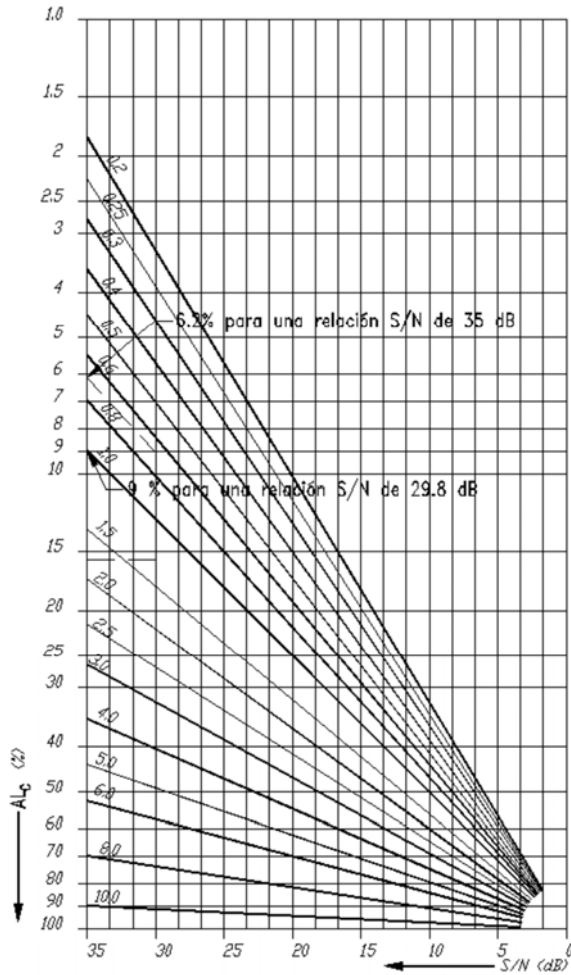


Fig. 10 Gráfica para calcular las pérdidas de las articulaciones de las consonantes debido a la relación señal a ruido (menor a 35 dB)

Este valor de $[ALc(\%)]$ porcentaje de pérdidas de las articulaciones de las consonantes del 9% debe evaluarse considerando la tabla que a continuación se presenta para ver la situación en la que se encontraría el sistema de sonido que se propone en este ejemplo.

$[ALc(\%)]$	Observaciones
<10%	Adecuada inteligibilidad aun para mensajes complicados y para locutores y oyentes sin entrenamiento previo.
= 15%	Adecuada inteligibilidad para mensajes poco complicados para locutores y oyentes sin entrenamiento previo pero aun adecuado para voceo claro y bien articulado.
<30% >15%	Adecuada inteligibilidad para mensajes simples. Para mensajes complicados son necesarios locutores y oyentes entrenados.
= 30%	Límite aceptable de inteligibilidad aun para locutores y oyentes entrenados y solo para mensajes simples.

Como puede verse en la tabla anterior, el resultado es bastante satisfactorio ya que el 9% de $[ALc(\%)]$, representa una muy adecuada inteligibilidad para cualquier usuario.

Concluyendo, de acuerdo a la aplicación podríamos pensar en reducir la cantidad de columnas de sonido a 6 unidades en lugar de 8. En esta forma disminuye el nivel de sonido directo pero existe un ahorro de potencia del amplificador y una reducción de costo de los altavoces.