

RESULTADOS

REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO

Es importante realizar la comprobación de los niveles de ruido de nuestro sistema, para ser comparados con los niveles de ruido de un sistema analógico actual, que es el sistema al que le vamos a hacer competencia.

Para poder establecer el nivel de ruido que introducimos a nuestra señal, es importante conocer el valor máximo de voltaje con el que vamos a trabajar, este valor está dado por la alimentación eléctrica del dispositivo, de esta manera, al tener un voltaje suministrado de 5 volts por medio de PoE, conocemos el valor máximo de la señal.

El otro factor importante para conocer el ruido introducido es el número de niveles de cuantización del sistema, en este caso utilizamos un ADC de 24 bits, de tal forma que tenemos 2^{24} (16 777 216) niveles.

El error de cuantización se produce al forzar el redondeo de un valor arbitrario de la señal a el nivel de cuantización más cercano al punto.

De esta manera el nivel de cuantización puede ser descrito como el valor real de la señal más un error de cuantización.

$$x_q = x + e_q \quad e_q = x_q - x \quad (10)$$

Donde el error de cuantización máximo es $q/2$.

Para poder calcular el ruido introducido al sistema usaremos el SNR, donde se compara la potencia de la señal con la potencia del ruido:

$$SNR_q = \frac{\text{Potencia Señal}}{\text{Potencia Ruido Cuantización}} \quad (11)$$

La potencia de la señal está normalizada (se utiliza una resistencia de 1 ohm para que pase la señal), la señal es una onda senoidal con amplitud A , el valor pico es $\frac{nq}{2}$ y la energía, con base a esos valores es $\frac{A^2 T}{2}$, de esta manera la potencia de la señal es:

$$2^{2(m-1)} \times q^2 \quad (12)$$

Para calcular el valor de la potencia del ruido es necesario asociarlo con una variable aleatoria (e_q). Para poder medir su potencia es necesario conocer su media o esperanza matemática ($E\{e_q\}$) y su varianza ($\tau^2 e_q$).

Como sabemos que e_q es una variable aleatoria continua acotada en $-\frac{q}{2} \leq e_q \leq \frac{q}{2}$, uniformemente distribuida y de media nula, podemos afirmar que su varianza es igual a la potencia promedio.

La varianza es igual a:

$$\frac{q^2}{12} \quad (13)$$

De esta forma podemos calcular el SNR_q:

$$SNR_q = 10 \log \left[\frac{2^{2(m-1)} \cdot q^2}{\frac{q^2}{12}} \right] = 10 \log [3 \cdot 2^{2m}] = 10 \log 3 + 20m \log 2 \quad (14)$$

$$SNR_q = 4.7712 + 6.02m \text{ [dB]} \quad (15)$$

Donde m es el número de bits de cada muestra (en nuestro caso es 24) y finalmente obtenemos un valor para sistema de:

$$SNR_q = 4.7712 + (6.02 \cdot 24) = 149.2512 \text{ [dB]} \quad (16)$$

Este es valor total de ruido del sistema, ya que no hay otros componentes que afecten la calidad. Esta calidad se alcanza pagando el precio de tener un pequeño retraso de la voz, mientras el sistema envía la información a la consola, la procesa y la envía de regreso.

En el mercado actual tenemos consolas profesionales de mezcla que tienen ruido del orden de 82 dB, sin contar el ruido introducido por el sistema de cableado del micrófono a la consola²⁴.

²⁴ (SOUNDCRAFT HARMAN INTERNATIONAL INDUSTRIES LTD. 2010)

REDUCCIÓN DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA

Para el cálculo de la potencia que se pierde al transmitir las señales por el cable, es necesario tomar en cuenta la resistencia que presenta el cable, la cual es ineludible.

Ahora surge la pregunta que clase de cable utilizar, ya que al variar el diámetro varía la resistencia y si queremos transmitir más potencia es necesario utilizar un cable con mayor diámetro de conductor, para esto utilizamos las diferentes categorías del calibre de cable marcado por los americanos en la norma AWG, la cual es la de mayor aceptación.

Los cables que se utilizan para la conexión de bocinas se seleccionan de acuerdo a la potencia que se quiere perder durante el transporte de la señal, se utilizan desde el calibre 14 al 22, siendo más comunes para alta potencia los calibres 14 y 16 (numero de calibre de acuerdo a la AWG).

El diagrama de conexiones para el sistema de salida es el siguiente:

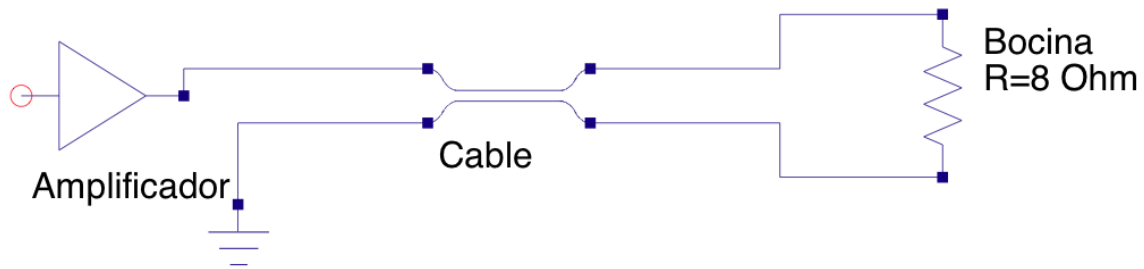


Figura 47. Diagrama de conexiones de la bocina.

El sistema de conexión se puede ver como un circuito en serie, donde la bocina va en el extremo del cable y este último actúa como un resistor debido a su resistencia interna, en este caso dejaremos por fuera la capacitancia del cable (factor que importa en la respuesta en frecuencia del sistema).

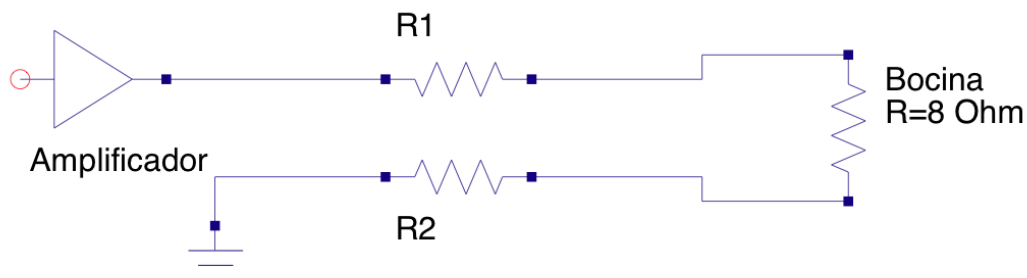


Figura 48. Circuito equivalente a la conexión de la bocina.

En este caso el valor de las resistencias R1 y R2 esta dado por la longitud y el grosor del cable, al tener cable con las mismas características de ida y vuelta, tenemos que R1 es igual a R2.

El índice que nos indica la cantidad de potencia que es aprovechada, se calcula como la relación entre la potencia utilizada por la bocina, entre la potencia suministrada por el sistema. Ahora para calcular la potencia utilizamos la siguiente formula:

$$P = I^2 R \quad (17)$$

De esta manera tenemos la potencia del cable y la potencia de la bocina:

$$P_{bocina} = I^2 R_{bocina} \quad (18)$$

$$P_{cable} = I^2 R_{cable} \quad (19)$$

Ahora obtendremos la relación entre la potencia suministrada y la potencia utilizada eficazmente:

$$\frac{I^2 R_{bocina}}{I^2 R_{bocina} + I^2 R_{cable}} = \frac{I^2 R_{bocina}}{I^2 (R_{bocina} + R_{cable})} = \frac{R_{bocina}}{(R_{bocina} + R_{cable})} \quad (20)$$

Podemos eliminar la corriente del numerador y denominador ya que al estar conectado el circuito en serie, la corriente que pasa por el cable es la misma que pasa por la bocina.

Esta relación nos indica el factor de potencia que es utilizada por el sistema, para poder manejar un resultado en decibeles es necesario aplicar el logaritmo al índice de uso de potencia:

$$Perdidas = 20 \log \left(\frac{R_{bocina}}{R_{bocina} + R_{cable}} \right) \quad (21)$$

Para calcular el valor de la resistencia introducida por el cable, tomamos como referencia los valores dados por Condumex²⁵ para los conductores de cobre y hacemos los cálculos para los cables que son fabricados por esta empresa para conexiones de sonido. Los resultados de las perdidas se graficaron en la figura 48.

²⁵ Condumex, 2011.

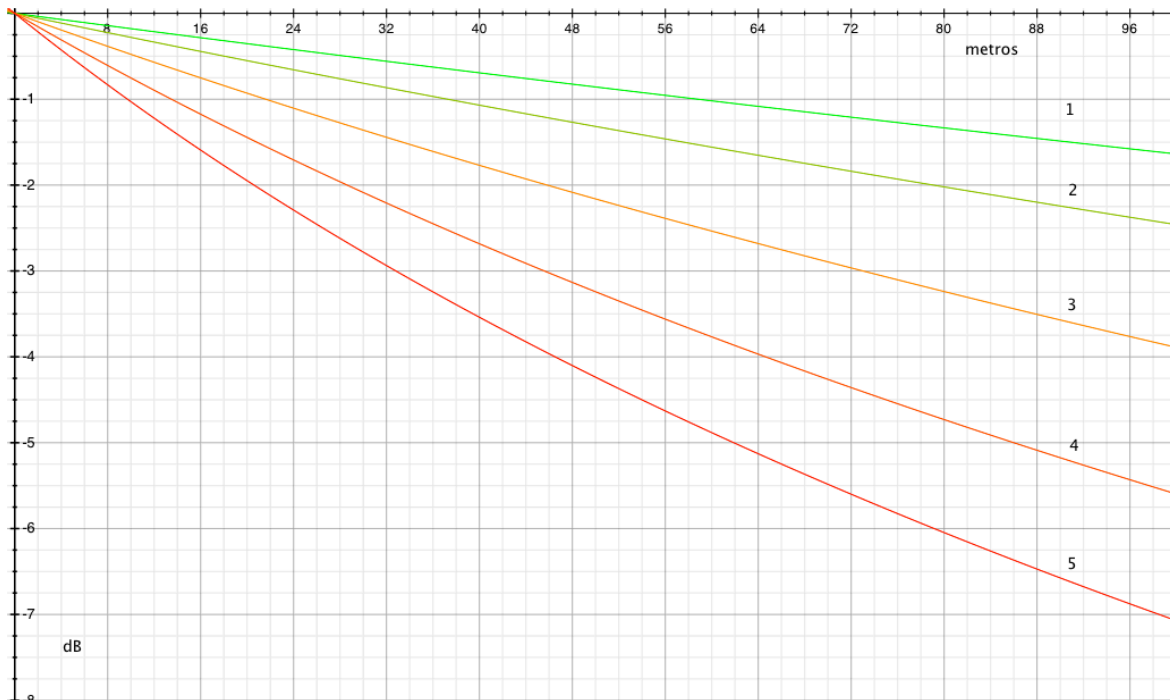


Figura 49. Comparación de pérdidas de los diferentes cables para bocinas.

Los cálculos se realizaron con las características encontradas para los cables:

1. Cables para bocina CL2R, para conexiones de bocinas de alta potencia, calibre AWG 14, marca Condumex, código 65601635.
2. Cables para bocina CL2R, para conexiones de bocinas de alta potencia, calibre AWG 16, marca Condumex, código 65601835.
3. Cables para bocina, con aislamiento de PVC transparente, calibre AWG 18, marca Condumex, código 720270.
4. Cables para bocina, con aislamiento de PVC transparente, calibre AWG 20, marca Condumex, código 720824.
5. Cables para bocina, con aislamiento de PVC transparente, calibre AWG 22, marca Condumex, código 720271.

Es importante ver que si dejamos de usar los cables de alta potencia, los cuales tienen un costo más elevado, la distancia de transmisión crítica, a la cual la potencia se ve reducida en más de un 2 dB, cae considerablemente.

La solución planteada dentro del diseño, es la eliminación de cables largos para transmitir la señal analógica ya amplificada, esto se logra acercando considerablemente el amplificador a la bocina y reducir con esto las pérdidas del cable.

Dentro del sistema diseñado, la señal de la consola se envía de forma digital por medio de un cable de red hasta el dispositivo encargado de convertir la

información a un formato analógico, el cual esta al lado del amplificador y pegado a la bocina, de esta manera las perdidas por el cable se limitan a ser casi imperceptibles, al tratarse de cables de máximo dos metros de longitud, en lugar de tener cables transportando señales de gran potencia desde la consola.

Otra ventaja obtenida es el distanciamiento que se puede lograr entre la consola de audio y las bocinas, pudiendo colocar bocinas en partes lejanas del lugar de espectáculos, ya que el cable de red alcanza hasta 100 metros, pudiendo ser extensible fácilmente.

La única desventaja de esto, es la necesidad de tener una fuente de alimentación en el lugar donde se instalan las bocinas, ya que el aparato encargado de convertir la señal digital a analógica y el amplificador de potencia consumen energía, cosa que se puede arreglar con una toma corriente.

El cable de red utiliza calibre 24 AWG, pero de acuerdo a la norma 802.3 – 2008 de la IEEE, donde se aborda el tema de Ethernet, la resistencia de carga para las tarjetas receptoras debe de ser de 73Ω o $83\Omega \pm 1\%$, lo cual nos da una relación de potencia aprovechada mayor que en el caso del audio, además los niveles a transmitir son mucho mas pequeños (el nivel máximo es 1315 mV) que la señal de audio, dando lugar a perdidas mas pequeñas²⁶.

En la figura 49 se puede observar las perdidas en decibeles sufridas por el cable de red contra el cable de audio de alta potencia calibre 14 y las perdidas del cable de audio con aislamiento de PVC calibre 18.

²⁶ IEEE, 2008.

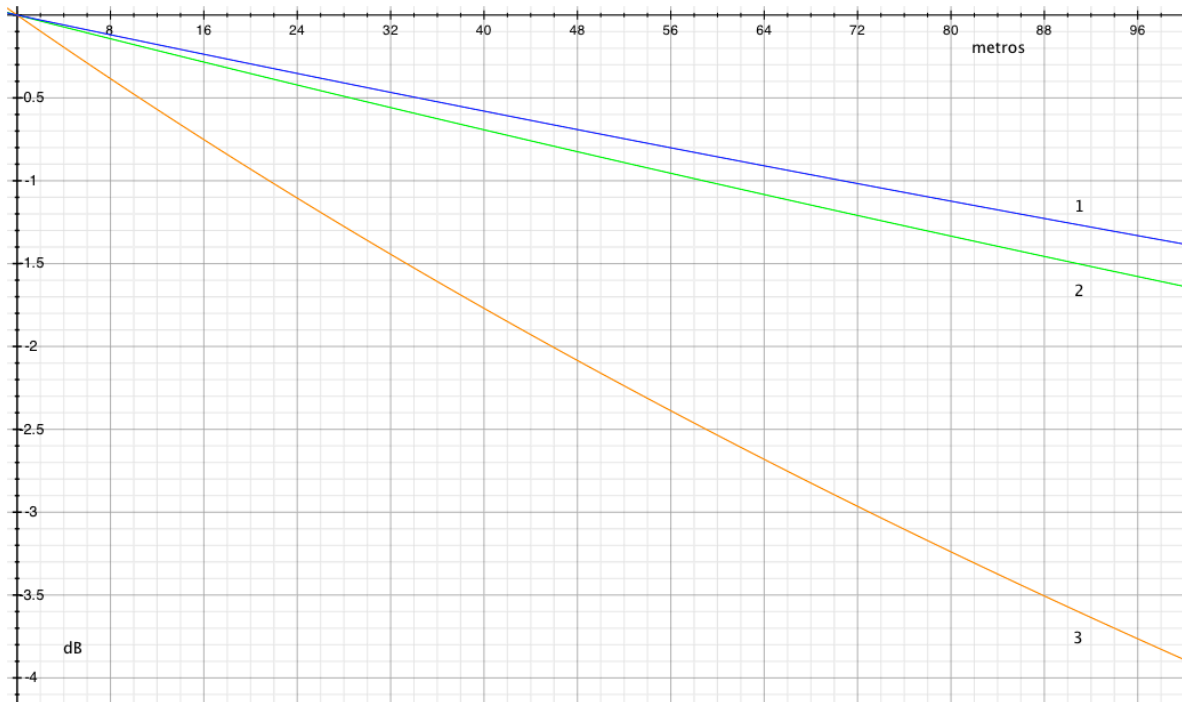


Figura 50. Comparación entre los cables de mayor cable para bocinas y el cable de red.

Donde los cables comparados son:

1. Cables para bocina CL2R, para conexiones de bocinas de alta potencia, calibre AWG 14, marca Condumex, código 65601635.
2. Cables para bocina, con aislamiento de PVC transparente, calibre AWG 18, marca Condumex, código 720270.
3. Cable Ultracat categoría 5e (UTP), calibre AWG 24, marca Condumex, código 66445872.

De esta manera se comprueba que al transmitir la información de forma digital mediante un cable de red y realizando la conversión a una señal analógica y la amplificación cerca de la bocina, se logra el ahorro energético buscado al inicio del trabajo.

SISTEMA DE GESTIÓN DE AUDIO

El resultado del trabajo realizado es el planteamiento de un sistema completo de gestión de audio para espectáculos, el cual se puede utilizar para espectáculos móviles o fijos. En ambos casos la calidad que se maneja es estupenda, igualando la calidad conseguida en estudios de grabación.

La solución planteada incluye el diseño del micrófono para que pueda enviar la señal directamente por el cable de red; el diseño y pruebas de la red, asegurando el ancho de banda necesario para los diferentes canales y por último el diseño y elaboración de un programa de computadora encargado de la mezcla y ecualización de canales, así como su envío a las bocinas, las cuales cuentan con un sistema similar al del micrófono pero en sentido contrario.

Quedan cosas faltantes para la implementación del sistema, como la construcción de los micrófonos y el desarrollo de una aplicación que se encargue de la conexión de los micrófonos con el programa, es decir, una especie de puente, que una los datos que llegan del micrófono con el programa. De manera similar al programa se le puede agregar un gran número de funcionalidades extra, algunas de las cuales no están soportados por las consolas para espectáculos actuales, como ecos largos, reproducción de mp3 directamente desde la computadora o realizar difusión en vivo vía internet. También queda pendiente el manejo a distancia de la consola desde un dispositivo móvil.

A manera de producto del trabajo, se puede entregar los diseños del micrófono y la red, así como el programa funcionando que se encarga de mezclar y ecualizar los canales de audio.

CONCLUSIONES

El objetivo del proyecto se pudo cumplir sin dificultad, ya que se pudo desarrollar todo el sistema de gestión de audio, desde la parte de captura de información en el micrófono, pasando por la parte de transporte de información por medio de la red de área local, siendo procesada y mezclada y por último su envío por la misma red para su salida por las bocinas.

Durante el desarrollo de los temas me di cuenta de la gran cantidad de opciones que están disponibles para un sistema así, siendo el sistema expresado en el trabajo solo un pequeño esbozo de todo lo que puede hacer. Las opciones para una expansión posterior son gigantescas, pudiendo incorporar video, sonido fijo o difusión de contenidos por medio de una red local, que al estar conectada a internet el alcance es global.

La única complicación que enfrenté, fue la imposibilidad de hacer el micrófono y la aplicación para el transporte de datos, el primero por la imposibilidad de tener y trabajar con el material y la segunda complicación fue por falta de conocimientos acerca de aplicaciones para el transporte de datos bajo el esquema de una red de área local.