



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL ELÉCTRICO

Título del proyecto:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICROFONO
DIRECCIONAL

Alumno: Bruno Arpón Elvira

Tutor: Vicente Senosiáin Miquélez

Pamplona, 31 de Octubre de 2012

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVO.....	Pág.3
CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO Y UNIDADES DE MEDIDA.....	Pág.3
EL SONIDO Y EL OÍDO HUMANO	Pág.6
LA PERCEPCIÓN DEL SONIDO.....	Pág.8
LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN CAMPO LIBRE.....	Pág.11
OBJETIVO.....	Pág.14
MICRÓFONOS, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS.....	Pág.14
MICRÓFONOS DIRECCIONALES.....	Pág.19
TIPOS DE MICRÓFONOS DIRECCIONALES.....	Pág.20
MICRÓFONO PARABÓLICO.....	Pág.22
CARACTERÍSTICAS DE LA PARÁBOLA.....	Pág.24
MODELO DE WAHLSTRÖM.....	Pág.26
DESARROLLO DEL PROTOTIPO	Pág.30
REFLECTOR PARABÓLICO.....	Pág.31
CÁLCULO DE LA AMPLIFICACIÓN.....	Pág.32
CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN.....	Pág.35
POLARIZACIÓN DEL MICRÓFONO.....	Pág.36
PRIMERA ETAPA DE AMPLIFICACIÓN.....	Pág.37
FILTRADO.....	Pág.38
SEGUNDA ETAPA DE AMPLIFICACIÓN.....	Pág.43
EL PROTOTIPO.....	Pág.44
LISTADO DE PLANOS.....	Pág.48
BIBLIOGRAFÍA.....	Pág.54

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVO

CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO Y UNIDADES DE MEDIDA

El sonido es un fenómeno físico que consiste en la alteración mecánica de las partículas de un medio elástico, producida por un elemento en vibración, que es capaz de provocar una sensación auditiva. Las vibraciones se transmiten en el medio, generalmente el aire, en forma de ondas sonoras.

La propagación del sonido involucra transporte de energía sin transporte de materia, en forma de ondas mecánicas que se propagan a través de la materia sólida, líquida o gaseosa. En los fluidos, el sonido se propaga tomando la forma de fluctuaciones de presión. En los cuerpos sólidos la propagación del sonido involucra variaciones en la tensión del medio. Para que se genere un sonido es necesario que vibre alguna fuente.

Como las vibraciones se producen en la misma dirección en la que se propaga el sonido, se trata de una onda longitudinal.

La velocidad del sonido depende de las características del medio, así el sonido se propaga a diferentes velocidades según el medio que transmita la vibración. En general, la velocidad es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos es mayor que en los gases.

MEDIO	TEMPERATURA (C°)	VELOCIDAD (m/s)
Aire	0	331,46
Aire	20	340
Bióxido de Carbono	0	260,3
Hidrógeno	0	1286
Helio	0	970
Nitrógeno	0	333,64
Oxígeno	0	314,84
Agua destilada	20	1484
Agua de mar	15	1509,7
Mercurio	20	1451
Aluminio	17-25	6400
Vidrio	17-25	5260
Oro	17-25	3240
Hierro	17-25	5930
Plomo	17-25	2400
Plata	17-25	3700
Acero inoxidable	17-25	5740

Tabla 1. Velocidad del sonido según el medio.

Características físicas del sonido:

A. Velocidad del sonido y longitud de onda

La velocidad de propagación del sonido depende de la temperatura y del medio donde se propaga, como se ha visto en la tabla 1.

Siendo el medio de propagación el aire: $0^{\circ}\text{C} = 331\text{ m/s}$; $20^{\circ}\text{C} = 343\text{ m/s}$.

Se considera como valor estándar para los cálculos **340 m/s**.

El ciclo de una onda es la distancia más pequeña que existe hasta que dicha onda se reitere, es decir la distancia entre dos valores máximos o dos mínimos.

La longitud de onda (λ), se define como el espacio necesario para que una onda realice un ciclo completo tomado en metros.

La amplitud de la onda es el valor máximo que alcanza respecto a la posición de equilibrio.

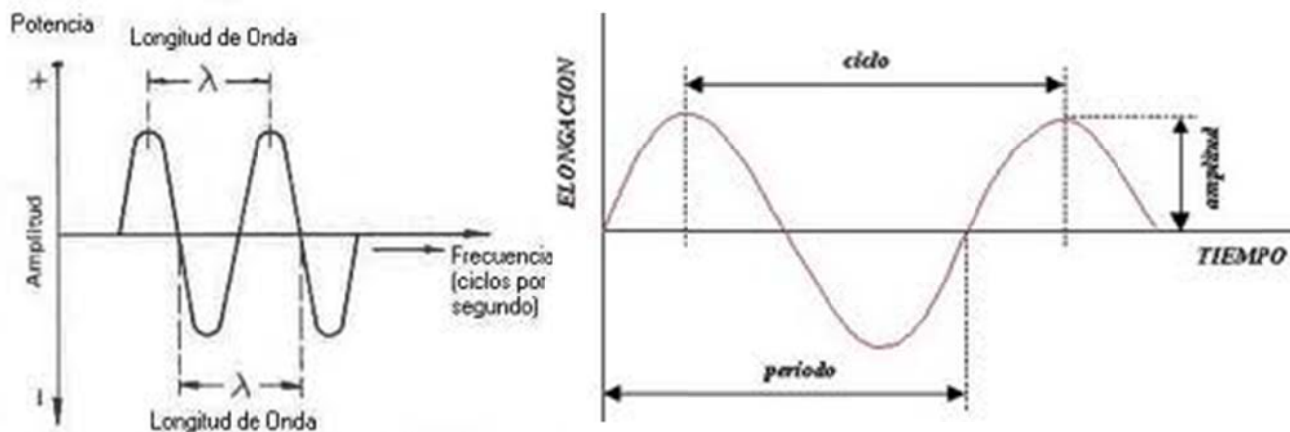


Figura 1. Características de las ondas.

— ; donde v = velocidad del sonido y T = periodo.

B. Frecuencia del sonido

La frecuencia es el número de ciclos que se repite una onda en un segundo (f) medida en hercios (Hz).

Al tiempo que tarda en repetirse una oscilación se le llama periodo (T) medida en segundos.

La relación entre la frecuencia, el periodo, la longitud de onda y la velocidad de propagación es la siguiente:

—

C. El tono

Es la cualidad de los sonidos que permite distinguir entre las diferentes frecuencias (graves, medios y agudos). El tono de un sonido queda determinado por la frecuencia.

Tonos graves: desde los 16 Hz a 256 Hz.

Tonos medios: desde 256 Hz a 2 kHz.

Tonos agudos: desde 2 kHz hasta poco más de 20 kHz.

Magnitudes del sonido:

A. Presión sonora

La magnitud física más importante empleada en acústica es la presión sonora, que representa las variaciones de la presión atmosférica en torno a su valor de equilibrio debido a la presencia de una onda acústica. Es dependiente de la distancia a la fuente sonora y de las condiciones del lugar en que ésta se encuentre (aire libre, sin obstáculos o recinto cerrado).

B. Intensidad sonora

La intensidad sonora se puede definir como la energía que fluye por unidad de tiempo a través de una superficie unidad situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras. Es igual a la presión sonora (fuerza por unidad de área) por la velocidad de propagación en el medio.

Siendo ρ la densidad del medio en que se propaga la onda.

C. Potencia sonora

La potencia sonora valora la energía que una fuente sonora radia al medio exterior, en la unidad de tiempo. Se expresa en vatios. Si la fuente es omnidireccional, es decir, radia en todas direcciones, su potencia sonora total es el producto de la intensidad sonora por el área de la superficie.

EL SONIDO Y EL OÍDO HUMANO

El sonido humanamente audible consiste en ondas sonoras que producen oscilaciones de la presión del aire, que son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro.

El espectro audible, también denominado campo tonal, se halla conformado por las audiofrecuencias, es decir, toda la gama de frecuencias que pueden ser percibidas por el oído humano. Fuera del espectro audible:

- Por encima estarían los ultrasonidos (Ondas acústicas de frecuencias superiores a los 20 kHz).
- Por debajo, los infrasonidos (Ondas acústicas inferiores a los 16 Hz).

El comportamiento del oído humano está más cerca de una función logarítmica que de una lineal. El oído humano tiene una capacidad auditiva de 0 db (mínima intensidad del estímulo) a 120 db (umbral de dolor), como explicaremos a continuación, lo que es equivalente a frecuencias comprendidas entre los 16 y 20000 Hz. Debido a que el sonido es una onda que se propaga por el aire, se va atenuando con la distancia. Por lo tanto hay sonidos que no podemos percibir si se producen a una cierta lejanía.

La escala de medida: el decibelio.

Aunque cada una de las magnitudes físicas definidas anteriormente se expresa con distintas unidades naturales, su cuantificación en cuanto a niveles de presión, potencia o intensidad acústica se expresa en decibelios. Esto se debe al amplio rango de sonidos que el oído humano puede percibir, tanto en amplitud como en frecuencia. La escala de frecuencias abarca un rango de 10 a ∞ , la de intensidades desde 1 a ∞ y la de presiones de 1 a ∞ . Además el oído responde a cambios de presión sonora de una forma no lineal, así que aunque los aparatos de medida pueden responder proporcionalmente a la intensidad sonora, el oído no lo hace. Responde aproximadamente de modo proporcional al logaritmo decimal de la intensidad. Por lo tanto una escala logarítmica de amplitudes será más apropiada para representar la energía sonora.

Para adecuarse a tales condiciones se emplea una escala de medición relativa cuya magnitud es el nivel de sonido y cuyas unidades o niveles se denominan decibelios (dB). El propósito de la escala de nivel es transformar la razón de dos valores de una magnitud física, tomando su logaritmo decimal.

Donde: L es el nivel de la magnitud cuantificada, en dB, M es la magnitud que se desea cuantificar (en sus unidades naturales) y M_0 el valor de referencia de la magnitud (en sus unidades naturales).

El argumento del logaritmo ha de ser siempre adimensional y la escala correspondiente da el nivel sonoro, por encima o por debajo del valor de la referencia, según sea el signo positivo o negativo. Evidentemente el valor de 0 dB, en la escala de nivel, es el correspondiente al valor de referencia.

Nivel de presión sonora

Donde L_p es el nivel de presión acústica, expresado en dB, P es la presión que se desea cuantificar y P_0 , es la presión de referencia, que corresponde al límite de la sensibilidad humana (0 dB a 1000 Hz).

Así la escala de presiones sonoras, de 1 a 1000000, que representa aproximadamente el umbral de audición y el umbral de dolor del oído humano a la frecuencia de 1000 Hz, se reduce al rango de 0 a 120 dB.

Nivel de intensidad sonora

Donde L_I es el nivel de intensidad acústica, expresado en dB, I es la intensidad que se desea cuantificar y I_0 , es la intensidad de referencia, que corresponde al límite de la sensibilidad humana (0 dB a 1000 Hz).

Nivel de potencia sonora

Donde L_W es el nivel de potencia acústica, expresado en dB, W es la potencia que se desea cuantificar y W_0 , es la potencia de referencia, que corresponde al límite de la sensibilidad humana (0 dB a 1000 Hz).

El nivel de presión sonora depende no sólo de la potencia sonora de la fuente, sino también de la distancia entre ella y el punto de medida y de las características acústicas del entorno; por ello, cuando se indica este parámetro han de especificarse tales condiciones.

LA PERCEPCIÓN DEL SONIDO

El sonido, al ser una onda de presión que se propaga en un medio elástico, transportando cierta cantidad de energía, se puede evaluar cuantitativamente a partir de medidas de la presión e intensidad sonoras. Aunque el oído humano tiene la capacidad de convertir en sensación sonora aquellas variaciones de presión que oscilen con una frecuencia perteneciente a un abanico que abarca de 16 a 20000 Hz, éste no percibe igualmente todas las frecuencias; sino que, dentro del mencionado intervalo, su sensibilidad es máxima para las frecuencias medias (desde unas 1000 Hz a 5000 Hz) y mucho menor para aquellas de los extremos, siempre hablando para un mismo nivel de presión sonora. Debido a ello cuando cambia la frecuencia de un sonido de una intensidad determinada produce en el oído la sensación de un cambio de intensidad, aunque la potencia por unidad de superficie que alcanza el tímpano no se haya alterado. Por tanto, para que el oído perciba los sonidos con la misma sensación sonora subjetiva en cuanto a volumen, los de más baja frecuencia y aquellos de altas frecuencias han de poseer mayor nivel de presión sonora real que los sonidos de las frecuencias centrales. Mientras que la presión sonora, intensidad y potencia de un sonido son magnitudes físicas, la sonoridad (sensación producida por éste en el oído) es subjetiva.

El fonio es la unidad acústica usada para medir el nivel total de sonoridad. *Un tono puro de 1000 Hz a un nivel de intensidad de sonido de 1 dB se define como un sonido con nivel de sonoridad de 1 fonio.* Todos los demás tonos tendrán un nivel de sonoridad de n fonios si el oído aprecia que suenan tan sonoros como un tono puro de 1000 Hz a un nivel de intensidad de n dB.

La percepción subjetiva del sonido depende de múltiples factores. Así por ejemplo, la intensidad distingue entre sonidos altos y bajos y está relacionada con la intensidad acústica o con la presión acústica eficaz, y el tono, diferencia los sonidos agudos de los graves y está relacionado con la frecuencia del sonido (cuanto más agudo es un sonido mayor es su frecuencia). Otros factores pueden ser el timbre, el ritmo, etc.

Aparecen, pues, dos conceptos esencialmente distintos aunque íntimamente relacionados: por un lado, la onda sonora o ente físico capaz de producir la sensación de sonido; y por el otro, la sonoridad o sensación subjetiva producida por ciertas variaciones de presión en el oído.

CURVAS ISOFÓNICAS

La sonoridad es una característica subjetiva. Estudios realizados sobre un gran número de oyentes ha permitido tabular un conjunto de curvas de igual sonoridad o curvas isofónicas, (figura 2) que indican, para cada nivel de sonoridad, el nivel sonoro de los distintos tonos puros que producen la misma sensación sonora.

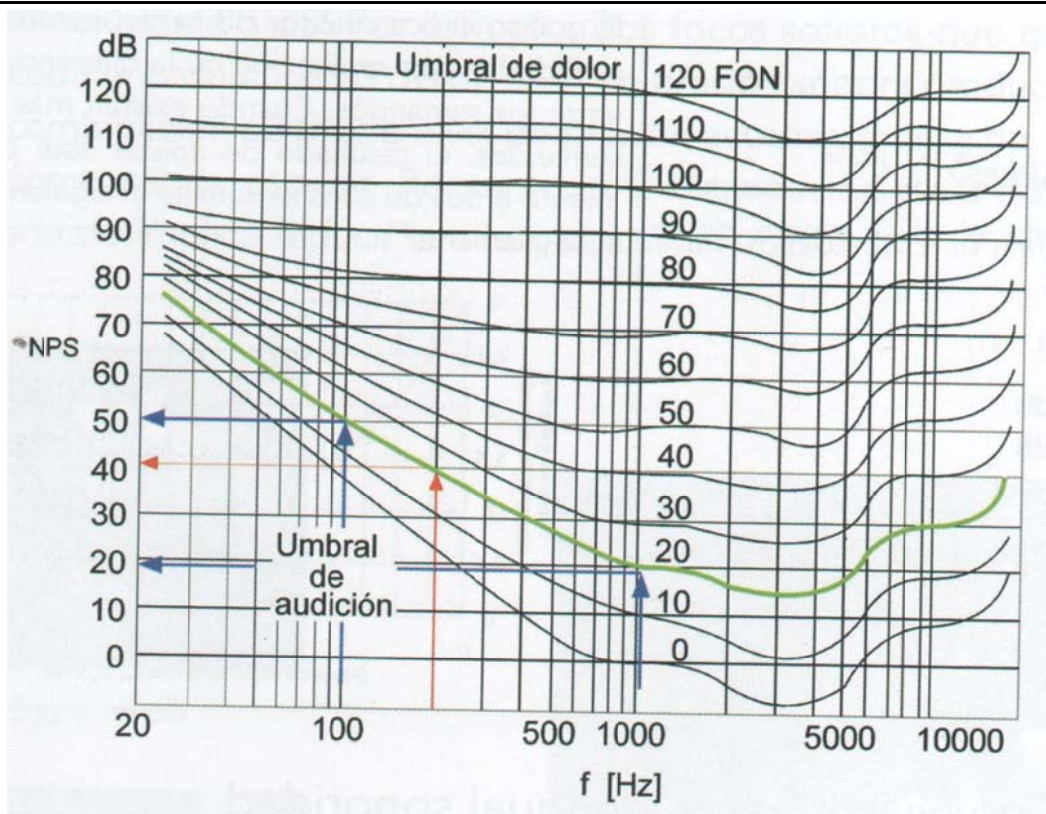


Figura 2. Curvas isofónicas del espectro audible.

Como hemos visto anteriormente el oído humano tiene unos límites para los cuales la audición es imposible ya que, de igual forma que un sonido excesivamente débil no se percibe, uno excesivamente fuerte nos produce una sensación dolorosa y molesta.

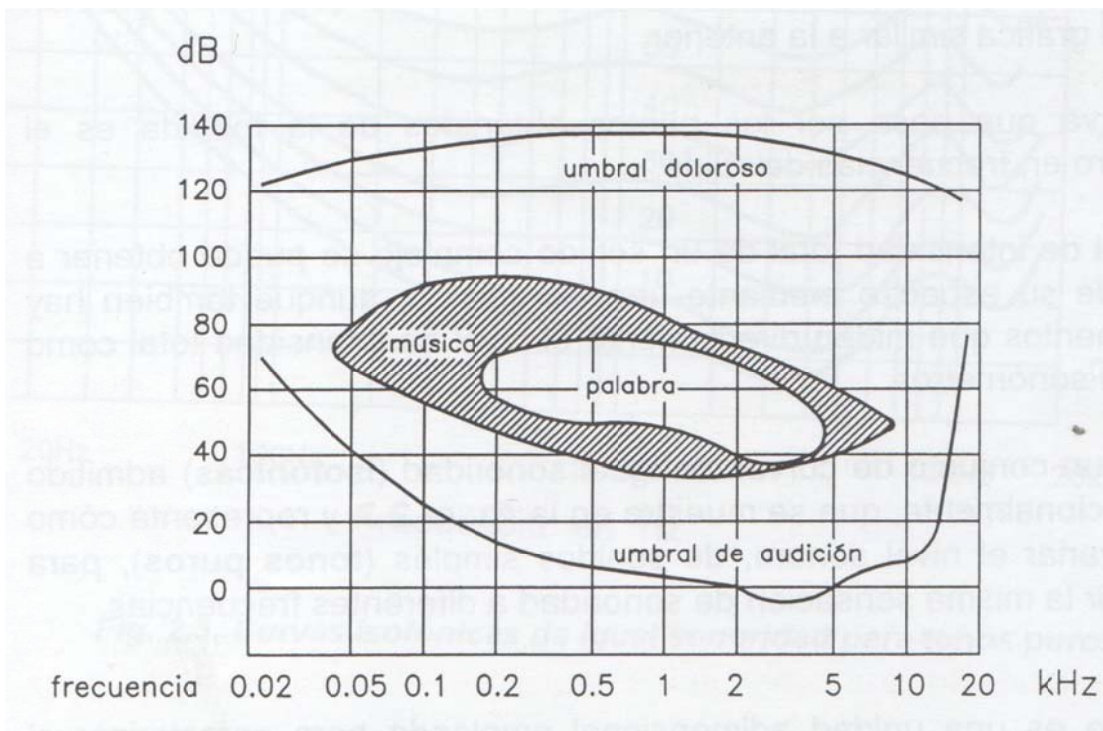


Figura 3. Límites de audición del oído humano.

En la figura 3, el área comprendida entre las dos curvas que representan los niveles superior e inferior es la denominada zona de audición; en estas curvas se puede apreciar la dependencia que existe entre la sensibilidad del oído y la frecuencia, encontrándose la máxima a 3000 Hz. **A 1000 Hz basta una presión de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (0 dB), tomándose este valor como nivel de referencia.**

Para frecuencias inferiores se necesitan mayores presiones; asimismo en la zona de altas frecuencias existe un crecimiento de la curva umbral. **El nivel de referencia para intensidades sonoras es de 10^{-12} W/m², tomado a 1000 Hz.**

El campo de respuesta del oído va desde los 20 a los 20000 Hz para una persona normal de 18 años, disminuyendo la frecuencia superior con la edad.

Los especialistas de la audición han considerado que el oído humano se comporta como un conjunto de 24 receptores independientes, dotados de cierta selectividad y ajustados a diferentes frecuencias. Zwicker llama banda crítica a la banda pasante de cada uno de los citados receptores. Las frecuencias centrales f_c de estas bandas se encuentran irregularmente repartidas entre los 50 y los 13500 Hz.

El ancho de banda Δf de cada uno de los receptores, ajustados a estas frecuencias, varía entre 100 y 3500 Hz al pasar de las bajas a las altas frecuencias. La figura 2 representa la variación del ancho f en función de la frecuencia, pudiéndose comprobar que el ancho de banda es prácticamente constante e igual a 100 Hz, para las frecuencias inferiores a 500 Hz, mientras que para las frecuencias superiores se duplica cuando la frecuencia se dobla.

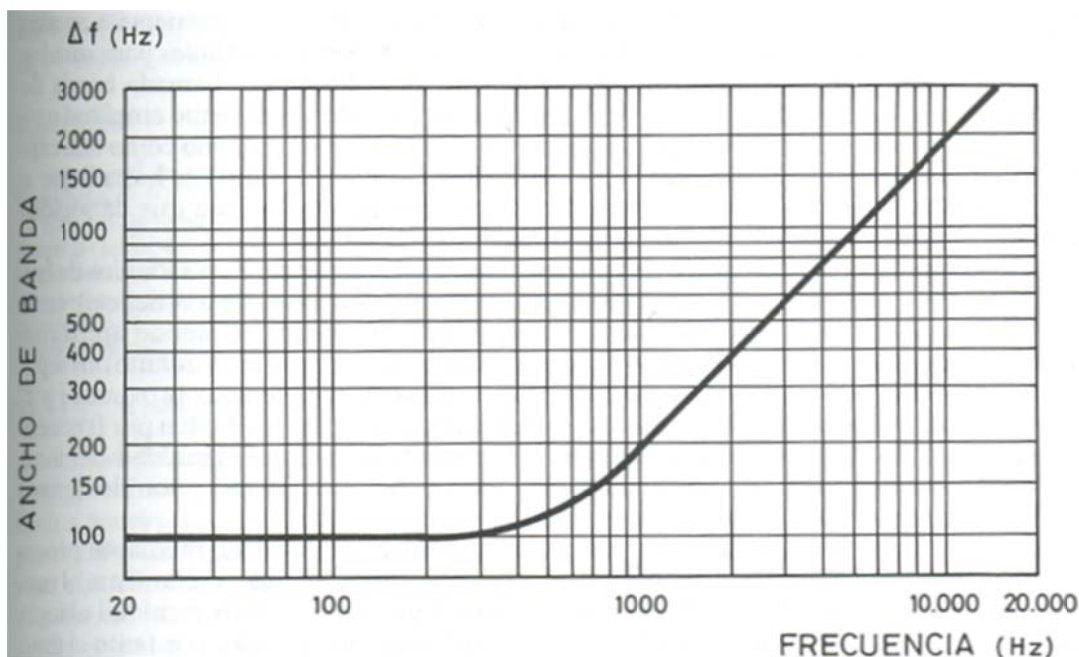


Figura 4. Relación entre el ancho de bandas críticas y su frecuencia central de los receptores del oído.

La intensidad subjetiva de un sonido queda definida de una forma relativa comparando la sensación originada por este sonido con la de otro sonido de referencia. Si las dos producen la misma sensación de intensidad, se puede decir que ambos tienen la misma intensidad subjetiva.

En la práctica se emplea como referencia los sonidos puros de 1000 Hz de frecuencia y nivel de presión sonora ajustable.

LA PROPAGACION DEL SONIDO EN CAMPO LIBRE

LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO

La ley de la inversa del cuadrado se refiere a algunos fenómenos físicos cuya intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia al centro donde se originan. En particular, se refiere a fenómenos ondulatorios (sonido y luz) y campos centrales.

Esta ley establece que para una onda que se propaga desde una fuente puntual en todas direcciones por igual, la intensidad de la misma disminuye de acuerdo con el cuadrado de la distancia a la fuente de emisión.

Se aplica naturalmente a la intensidad sonora y a la intensidad de luz (iluminación), puesto que tanto el sonido como la luz son fenómenos ondulatorios.

En el caso del sonido disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia como veremos ahora.

FUENTE PUNTUAL

En el caso de las fuentes sonoras puntuales, se considera que toda la potencia de emisión sonora está concentrada en un punto.

Para fuentes puntuales, la propagación del sonido en el aire se puede comparar a las ondas de un estanque. Las ondas se extienden uniformemente en todas direcciones, disminuyendo en amplitud según se alejan de la fuente.

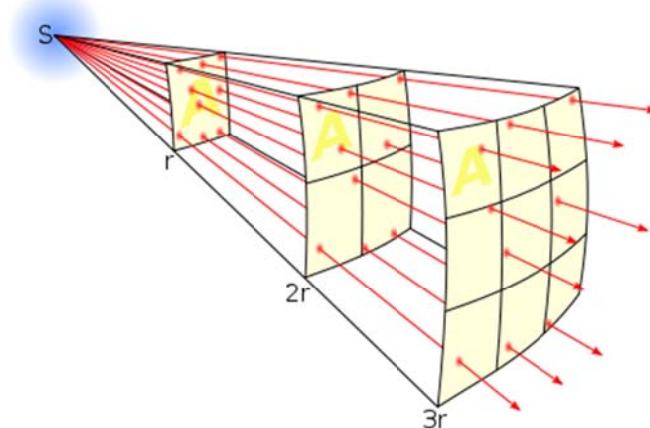


Figura 5. Fuente puntual.

A distancias suficientemente grandes de los emisores de luz o sonido, estos pueden ser vistos como fuentes puntuales.

En el caso ideal de que no existan objetos reflectantes u obstáculos en su camino, la energía a una distancia r de la fuente estará distribuida uniformemente sobre una corteza esférica de radio r y superficie

ATENUACIÓN DEL SONIDO CON LA DISTANCIA

Hemos visto que los emisores de sonido a suficiente distancia pueden considerarse fuentes puntuales, y que este tipo de fuentes sin obstáculos en su camino, distribuyen su energía en superficies esféricas.

Sabemos que la intensidad sonora es la potencia acústica transferida por una onda sonora por unidad de área normal a la dirección de propagación. Por lo tanto, para una superficie esférica (S) a una distancia r de una fuente de potencia acústica W , percibiremos una intensidad acústica:

$$I = \frac{W}{S}$$

Se puede relacionar la intensidad acústica con la presión acústica con la siguiente ecuación:

$$I = p^2 / \rho c$$

Siendo ρ la densidad del medio donde se propaga la onda y c su velocidad en ese medio. Como en este caso el medio de propagación es el aire:

$$\rho = 1,16 \text{ kg/m}^3 \quad \text{y} \quad c = 340 \text{ m/s.}$$

Vamos a expresar en decibelios la relación entre el nivel de potencia acústica de la fuente (L_w) y la presión sonora obtenida en un punto (L_p) alejado a una distancia r :

$$\text{nivel de potencia de la fuente } L_w = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right) \text{ (dB)}$$

$$\text{nivel de presión obtenido en el punto } L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ (dB)}$$

$$\text{nivel de intensidad acústica } L_I = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ (dB)}$$

Como:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

Se puede apreciar que $L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$, por lo tanto si se igualan las ecuaciones de nivel de presión con la de nivel de intensidad se elimina la parte de $10 \log$ y tenemos que:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) + 10 \log \left(\frac{4 \pi r^2}{W} \right)$$

Ya que: $L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$ →

Por lo tanto la atenuación producida por la lejanía en un punto p en dB se puede obtener con la siguiente ecuación:

A partir de esta relación, se puede deducir que para un medio homogéneo, cada vez que doblamos la distancia, el nivel de presión sonora disminuye 6 dB.

Como resumen sobre la percepción sonora se puede decir que el oído no se comporta igual para diferentes frecuencias de una onda con el mismo nivel sonoro, por lo que se han desarrollado unas curvas de igual sonoridad que producen la misma sensación sonora en el oído.

A 1000 Hz el oído tiene una sensación de 0 dB, se produce en él una presión sonora de p_0 Pa a una intensidad de W_0 W/m², generada por una fuente de potencia sonora W . esta frecuencia es la que se utiliza como referencia para los cálculos en acústica.

Los sonidos se atenúan conforme uno se aleja de la fuente sonora. La intensidad sonora disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Por último cabe destacar que por su característica fisiológica el oído tiene un comportamiento logarítmico frente a su percepción del sonido.

Con el auge de la electrónica, los amplificadores han adquirido una gran importancia ya que son dispositivos utilizados para aumentar la amplitud, o potencia, de una señal eléctrica.

Una aplicación útil es la captación de sonidos muy tenues a causa de la lejanía. Esto se puede lograr a través de la implementación de un dispositivo amplificador que capte sonidos a grandes distancias por medio de un micrófono que esté enfocado a un objetivo específico.

OBJETIVO

El objetivo de mi proyecto se trata de construir un micrófono direccional para conseguir captar conversaciones a larga distancia.

Como hemos visto anteriormente el oído humano tiene una capacidad limitada para captar sonidos lejanos, por lo tanto hará falta una manera de conseguir captar ese sonido y amplificarlo. El inconveniente principal es el ruido ambiente, por lo que será necesario eliminar ese ruido o atenuarlo lo máximo posible. Para ello aparte de amplificar la señal es posible que haya que filtrar la señal recibida.

MICRÓFONOS, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

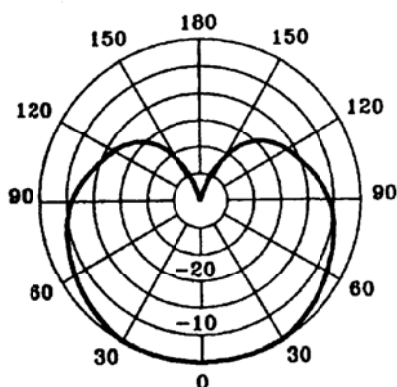
Un micrófono es un transductor electro-acústico que transforma ondas sonoras en señales eléctricas. Recibe la presión sonora en su membrana o diafragma, y la envía sobre un convertidor mecánico-eléctrico que la transforma en señal eléctrica. Si no hay sonido, no se genera señal eléctrica. Esta señal, una vez manipulada de manera conveniente, se puede volver a escuchar por medio de altavoces o auriculares.

Varias son las características que se pueden encontrar y valorar a la hora de seleccionar un micrófono; entre las principales se distinguen:

-Directividad: Es la característica que nos muestra la ganancia del micrófono dependiendo de la dirección de donde provenga el sonido, es decir que variará la sensibilidad del micrófono en función de la dirección de donde proceda la fuente sonora. La directividad de un micrófono se representa mediante los diagramas polares.

Según su directividad, los micrófonos se clasifican en:

-unidireccionales: sólo recogen sonidos frontalmente. Su sensibilidad para sonidos de procedencia frontal es máxima, disminuyendo esta según varía el ángulo de incidencia en el diafragma, e incluso llegando a ser nula para los sonidos recibidos por su parte posterior.



La curva característica de su directividad tiene forma de corazón, por lo que se denomina de tipo cardioide.

Figura 6. Curva característica de un micrófono unidireccional.

-bidireccionales: tiene la máxima sensibilidad cuando la fuente sonora está situada al frente o en la parte posterior del micrófono, quedando muy atenuada su respuesta con los sonidos que proceden de otras direcciones. En su construcción la membrana permite que sea accesible por dos caras por las que incide la presión sonora.

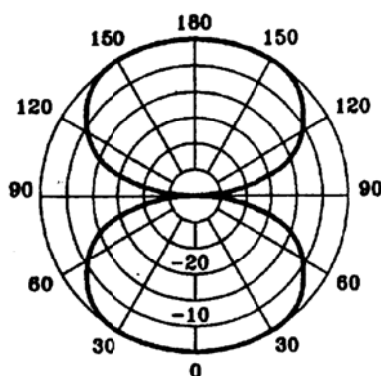


Figura 7. Curva característica de un micrófono bidireccional.

-omnidireccionales: es el que capta la señal acústica que procede de cualquier dirección, es decir 360° alrededor del diafragma, aunque haciéndolo dentro de una tolerancia.

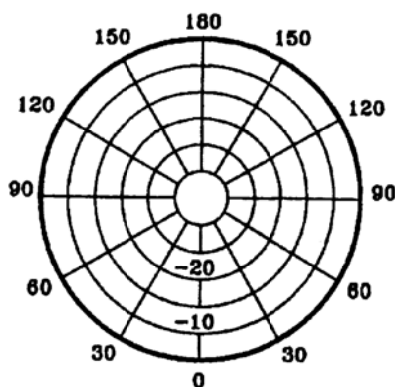


Figura 8. Curva característica de un micrófono unidireccional.

-Sensibilidad: La sensibilidad nos indica la eficiencia con que un micrófono transforma la presión sonora en tensión eléctrica, es decir, la cantidad de señal eléctrica que es capaz de proporcionar según la presión recibida.

Es la relación entre la tensión en circuito abierto generada por el micrófono, respecto de la presión recibida por el mismo. Se mide en V/Pa a 1KHz y con la señal en la dirección de máxima incidencia. Cuanto mayor sea la sensibilidad, mayor es el nivel de la señal de salida con igual presión incidente, de tal manera que el micrófono responderá a señales de menor nivel de presión sonora.

-Clases de micrófonos según su construcción: la cápsula microfónica es la que recoge el sonido. Emplear diferentes técnicas de construcción provocará diferentes formas de convertir la presión sonora en señal eléctrica. Según el proceso utilizado para su fabricación diferenciamos varios tipos de micrófonos:

-Micrófono de carbón: Fue el primer micrófono que se creó y se empleó durante mucho tiempo para la transmisión de la palabra. Tiene una calidad baja, y también un coste bajo, por eso son rentables en determinadas aplicaciones (porteros electrónicos, telefonía). Por el contrario también presenta inconvenientes, como el tamaño, fidelidad, y ruido de fondo.

Está formado por granos de carbón tratados térmicamente y situados en un recipiente metálico de reducidas dimensiones, y un electrodo móvil que cierra la cavidad de la caja y que es solidario a un diafragma. Cuando sobre el diafragma no inciden las ondas sonoras los granos de carbón están en reposo y su resistencia es constante, por lo tanto la corriente que recorre el primario del transformador también lo es y no induce ninguna tensión en el secundario del mismo.

En cambio cuando sobre el diafragma inciden las ondas sonoras presionándolo, este se mueve hacia dentro y hacia fuera a la frecuencia correspondiente. Al variar la presión en los granos de carbón su resistencia también varía y con ella la corriente a través del primario del transformador, la cual induce una tensión alterna en su secundario a la frecuencia o frecuencias del sonido recibido.

Para su funcionamiento se necesita una fuente de tensión continua. Un inconveniente que se puede encontrar en este tipo de micrófono es que el carbón en su desplazamiento puede provocar ruidos y, además, que estos granos de carbón pueden soldarse entre sí por la formación de arcos internos, reduciendo con ellos la sensibilidad del micrófono.

-Micrófono de cristal o piezoeléctrico: Basan su funcionamiento en efecto piezoeléctrico que presentan algunos materiales (sales de Rochéle, cuarzo). Cuando se les hace vibrar o se les aplica una fuerza entre sus caras, aparece entre éstas una tensión eléctrica que es variable y proporcional a dicha presión aplicada. Estas tensiones serán la señal eléctrica que proporcione este tipo de micrófonos. Constan de una cápsula que contiene una placa bicristal sujeta por tres puntos. En su extremo libre lleva una barrita rígida unida al cono del diafragma. Al moverse el diafragma, debido a la presión sonora, se mueve el cristal por su lado libre provocando la señal eléctrica de salida del micrófono.

Al tener alta impedancia de salida (1M Ω), necesita una adaptación de ésta, y en la actualidad no se fabrican por su elevado precio. Tampoco disponen de una característica muy lineal de frecuencia, es más bien irregular. Además se alteran sus propiedades con la temperatura.

-Micrófono dinámico o de bobina móvil: Son similares constructivamente a los de carbón. En este caso se sustituye los granos de carbón por una bobina situada en un estrecho entrehierro anular entre los polos de un imán. Al incidir las ondas sonoras en la membrana, ésta hará que se desplace la bobina dentro del campo magnético; cuanto mayores sean estos desplazamientos mayor será también la tensión generada por la bobina cuya amplitud depende de los sonidos captados por el micrófono y cuya frecuencia depende también de la de éstos. Su impedancia es baja (150 a 600 ohmios), esto permite que se puedan emplear con cables largos y conectarlos a cualquier sistema sin tener problemas de adaptación de impedancia. Son micrófonos muy robustos, por ello se emplean en exteriores, y tienen un coste bajo.

Su sensibilidad no es muy inferior a la de otros micrófonos. Además, permite un margen de frecuencias muy amplio (entre 20 y 20.000 Hz). Por todas estas ventajas son los más utilizados en la actualidad.

-Micrófono de condensador: Es de tipo electrostático, está formado por dos láminas muy próximas entre sí (aproximadamente 25 micras), las cuales forman un condensador, siendo una de ellas fija y la otra que es de aluminio y va unida al diafragma, por lo que es móvil. El condensador así formado por las dos láminas, se conecta en serie a una alimentación exterior de corriente continua y a una resistencia. Mientras no se emite ningún sonido, el condensador se encuentra cargado a un determinado potencial, y por tanto no circula corriente. Cuando el sonido aparece, la membrana variable oscila por efecto de la presión, y se acerca o aleja de la membrana fija, por lo que el condensador variará de capacidad y se

carga más o menos en función de estas variaciones, creando una corriente también variable que circula por la resistencia y produciéndose al mismo tiempo una caída de tensión en la misma, siendo estas variaciones de tensión de forma similar a las producidas por la fuente sonora. El Principal problema que plantea estos micrófonos es la necesidad de alimentación eléctrica. Existen dos formas de alimentación: AB y PHANTOM, siendo esta última la más habitual. Su tensión de alimentación está comprendida entre 12 y 48 voltios de corriente continua, aunque algunos micrófonos emplean pilas de 9 voltios. Esta alimentación se puede realizar mediante fuentes de corriente continua o mesas de mezclas y equipos que suministran esta tensión, usualmente de 48 voltios.

Un segundo problema es la adaptación de impedancias. La impedancia que presenta un micrófono es muy elevada, por ello se le inserta un preamplificador adaptador de impedancia que proporciona una impedancia de salida de unos 200 ohmios. Si no se dispone de este adaptador no se pueden usar cables de más de un metro de longitud porque crearían pérdidas en la transmisión. La distorsión que produce es mínima y no presenta ruidos de fondo. Son delicados, debiéndose preservar del polvo y la humedad. Son caros y su uso está restringido a estudios.

-Micrófono electret: Aunque es del tipo electrostático como el micrófono de condensador, utiliza una polarización propia para su funcionamiento. Está constituido por una membrana de policarbonato fluorado de 5mm de espesor y metalizada por su parte exterior haciendo las funciones de electrodo móvil. En su interior se encuentra la parte fija constituida por una placa metálica con unas perforaciones con fondo, de manera que así aumentamos la capacidad del condensador. La placa fija es un polímero (material plástico) llamado electret que ha sido sometido a una polarización en su fabricación, es decir, está cargado eléctricamente, manteniendo el campo eléctrico necesario para que funcione este tipo de micrófono. Su sensibilidad es independiente de la superficie de la membrana.

Como sus dimensiones son muy reducidas, disminuye también la capacidad del mismo, por lo que se aumenta la resistencia R para mantener la constante de tiempo del condensador y así disminuir la pérdida en las bajas frecuencias. Con ello lo que ocurre es que aumenta el ruido térmico en el micrófono siendo la relación señal/ruido menor que en micrófono de condensador. Necesitan un preamplificador que adapta las impedancias, y que aguarda en su interior la pila.

A diferencia de los micrófonos de condensador, éstos son poco sensibles a la humedad y a los cambios de temperatura, por lo que se pueden emplear en exteriores. Su impedancia es mayor que la de los micrófonos de condensador (1.000 a 1.500 ohmios) y su coste es bajo. Tienen una respuesta en frecuencia aceptable, para ciertos usos entre 50 y 15.000Hz. El micrófono electret es considerado un micrófono de propósito general.

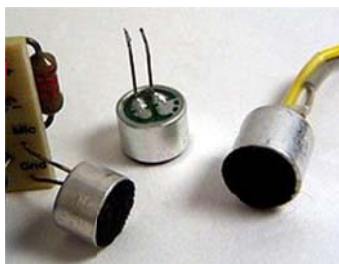


Figura 9. Micrófono de tipo electret.

MICRÓFONOS DIRECCIONALES

Cuando hablamos de micrófonos direccionales normalmente pensamos que la fuente de sonido está al aire libre y no hay efectos de resonancia. Por lo tanto el único factor importante es la distancia de la fuente al micrófono. A lo largo de la distancia el sonido disminuye significativamente e interfiere con otros sonidos como el aire u otros ruidos producidos en la atmósfera. Podemos decir que cuando la distancia es de 100 metros, la presión sonora disminuye más de 40 dB, comparando con una distancia de 1 metro. Debido a esta atenuación, el ruido ambiente es más alto y muchos micrófonos no tienen suficiente sensibilidad para ese nivel de sonido. Por lo tanto los micrófonos direccionales deben tener:

- Alta sensibilidad y selectividad de ruido ambiente, si éste es de mayor nivel que el del sonido a escuchar.
- Alta directividad para excluir señales de ruido más altas que la señal de uso. Gracias a la directividad se consiguen atenuar señales que proviene de otras direcciones que no sean la de la fuente de sonido.

Existen diferentes maneras de construir un micrófono direccional. Vamos a ver alguna de ellas a continuación.

TIPOS DE MICRÓFONOS DIRECCIONALES

En general existen cuatro tipos de micrófonos direccionales:

- Parabólico.
- Plano.
- De onda pasante.
- Gradiente.

-Micrófono Parabólico

Los micrófonos parabólicos tienen un reflector en forma de parábola que refleja las ondas sonoras sobre el foco de la misma, donde se coloca el micrófono. Es uno de los más usados y conocidos.

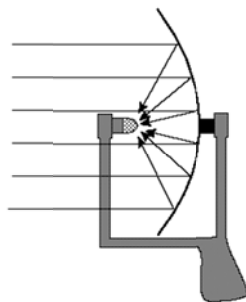


Figura 10. Micrófono parabólico.

Su funcionamiento es simple, una onda sonora llega a lo largo de los ejes direccionales y se refleja en el foco de la parábola. En este punto el nivel sonoro se amplifica debido a que los sonidos se acoplan en la misma fase. Sin embargo, las ondas sonoras que llegan desde otras direcciones no se amplifican mucho porque no se reflejan en el punto focal. El micrófono parabólico posee alta sensibilidad, pero su directividad no es muy alta.

-Micrófono Plano

El micrófono plano direccional está basado en la idea de recibir sonidos desde múltiples puntos localizados en una superficie plana, la cuál es perpendicular al sonido entrante.

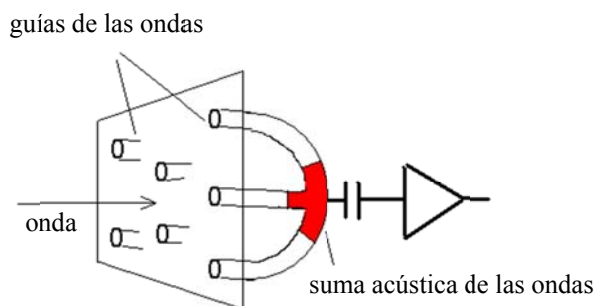


Figura 11. Micrófono plano.

La figura 11 no es exactamente el micrófono en sí, pero si nos da una idea de cómo puede funcionar. En cada agujero que hace de guía para las ondas pueden situarse, o bien micrófonos localizados donde las señales pueden sumarse eléctricamente, o también guías para que las ondas sonoras entren y se sumen en un punto, donde se convierten en señal eléctrica.

Las señales eléctricas o mecánicas tienen que tener la misma fase. Si todas las señales sonoras entrantes son unidireccionales, entonces poseerán la misma fase y su suma nos dará el máximo resultado. Por eso deben de ser perpendiculares. Si la dirección del sonido no es perpendicular, tendrá diferentes fases en cada agujero, con lo cuál su suma será débil.

Una ventaja de este tipo de micrófono direccional es que se puede esconder fácilmente, ya que se puede camuflar como una maleta, o mismamente como una pared.

-Micrófono de onda pasante

Los micrófonos de onda pasante o también llamados micrófonos de tubo, son diferentes a los explicados anteriormente, ya que no perciben el sonido perpendicularmente, si no a lo largo de la dirección de la onda.

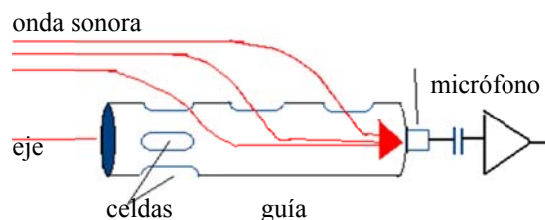


Figura 12. Micrófono parabólico.

La mayor parte de este micrófono es una guía para las ondas en forma de tubo con celdas especiales localizadas a lo largo de la longitud del tubo. Es obvio que el sonido que entra en cada agujero se acoplará con la misma fase. Si el sonido entra con diferente ángulo entonces la fase en cada celda será diferente debido a que la velocidad de cada onda no será la misma, por lo que la suma resultante perderá poder. La sensibilidad del micrófono dependerá de la longitud del tubo.

-Micrófono gradiente

Los micrófonos gradientes son de diferente constitución que los receptores de fase, donde la misma fase se acopla para conseguir la mayor sensibilidad. Este tipo de micrófono se basa en el cálculo por dirección. El método está limitado por la sensibilidad del micrófono, ya que aparte de las señales débiles también se suman los ruidos ambientales.

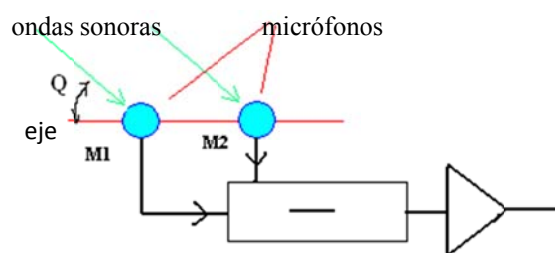


Figura 13. Micrófono parabólico.

Su construcción consiste en dos micrófonos de alta sensibilidad uno al lado del otro. Se recoge la señal de salida de cada micrófono y finalmente se calcula el diagrama $\cos(Q)$, donde Q es el ángulo formado por la onda entrante al micrófono.

Ahora analizaremos más a fondo el micrófono parabólico, ya que es el tipo de micrófono utilizado en el proyecto.

MICRÓFONO PARABÓLICO

Introducción

A finales del siglo XIX, el ser humano empezó a profundizar sobre la acústica. Se puede decir que J.W.S. Rayleigh fue el pionero en este campo, con la publicación de su libro “La Teoría del Sonido”. Un hombre importante en este aspecto fue también W.C. Sabine, con su teoría de la reverberación, trabajando como consultor acústico buscando la sala acústica ideal.

Aunque ya existía el conocimiento en esa época de cómo el sonido podía concentrarse en un reflector parabólico, no fue hasta la década de 1930 cuando comenzó el interés por las aplicaciones prácticas de los reflectores parabólicos. Olson y Wolf sugirieron el uso de la construcción parabólica como reflector a altas frecuencias y Hanson aportó su uso en conexiones para programas de radio. Más tarde con el avance en el diseño de micrófonos, el uso del reflector parabólico pasó a un segundo plano.

Comenzó a utilizarse para grabar sonidos en la naturaleza, principalmente animales. Estos sonidos son en general débiles y necesitan una amplificación electrónica sin incrementar el ruido ambiente para conseguir escucharlos bien, por lo que el reflector parabólico es una buena opción para hacerlo, ya que gracias a su directividad concentra muy bien el foco del sonido, aislándolo del ruido que hay a su alrededor. El profesor Peter Paul Kellogg habla acerca de esta aplicación del micrófono parabólico en una publicación de 1962:

“Durante el invierno de 1931-1932, Keane y yo, en esos tiempos un instructor de ornitología y un estudiante graduado, desarrollamos la idea de la parábola para el estudio biológico del sonido. Como el reflector parabólico tenía la conocida tendencia a discriminar las bajas frecuencias, al principio nuestra idea no fue aceptada con entusiasmo, pero nos sumergimos en nuestro experimentos de tamaño, longitud focal, peso, construcción, etc. En mayo de 1932 conseguimos grabar la voz del pájaro “Buscabreña”, en campo abierto, con un resultado excelente. Desde entonces, la parábola ha sido probada como un instrumento muy valioso en el método de grabación en campo abierto.” El micrófono construido por Kellogg tenía 0.81 m de diámetro, una medida usada desde entonces, aunque también se han utilizado parábolas menores, hasta 0.5 m. en sus publicaciones Kellogg realiza diagramas donde enseña la amplificación, pero no hay mención de cómo realizó ninguna deducción teórica de los resultados. Durante los años 30, la técnica de medida estaba aún en pañales, y el diagrama que el autor muestra en 1938 es solo un boceto. Las descripciones que podemos encontrar del reflector parabólico en la actualidad son acerca de grabaciones de vida salvaje. Muchos textos sólo explican cómo conseguir la directividad del reflector, y en ninguno hay definidas deducciones teóricas. Nuestro interés teórico sobre el reflector parabólico surge en los años 50, cuando aparecieron las primeras grabadoras de cinta e hicieron la grabación del sonido salvaje más fácil.



Figura 14. Kellogg realizando prácticas con su micrófono.

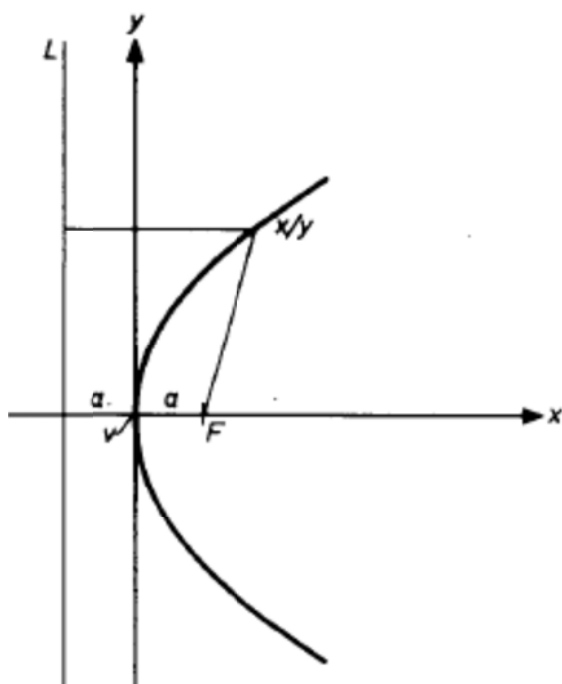
CARACTERÍSTICAS DE LA PARÁBOLA

La parábola

Lógicamente, el micrófono parabólico está basado en la parábola. A continuación vamos analizar un poco mejor esta superficie matemática.

Relaciones matemáticas de la parábola:

Definimos parábola como la localización geométrica de un punto cuya distancia a un punto dado, es la misma que la distancia a una línea recta dada.



Por definición la distancia x/y a la línea recta L es igual a la distancia desde x/y hasta el foco F .

a : distancia focal

v : vértice

eje x : eje de la parábola

Figura 15. Geometría de la parábola.

Si se realiza una rotación de la parábola sobre su eje, ésta describe una superficie denominada paraboloides.

Dos propiedades del paraboloides son fundamentales para su aplicación acústica, como explicamos en la figura 16:

Imaginemos que lanzamos un rayo desde el punto O y se refleja desde la superficie de la parábola hasta su foco F :

- 1) El ángulo formado entre OP y la tangente sobre P es igual al ángulo FP y dicha tangente.
- 2) Por una línea dada en ángulo recto con el eje de la parábola, la suma de OP y FP es constante.

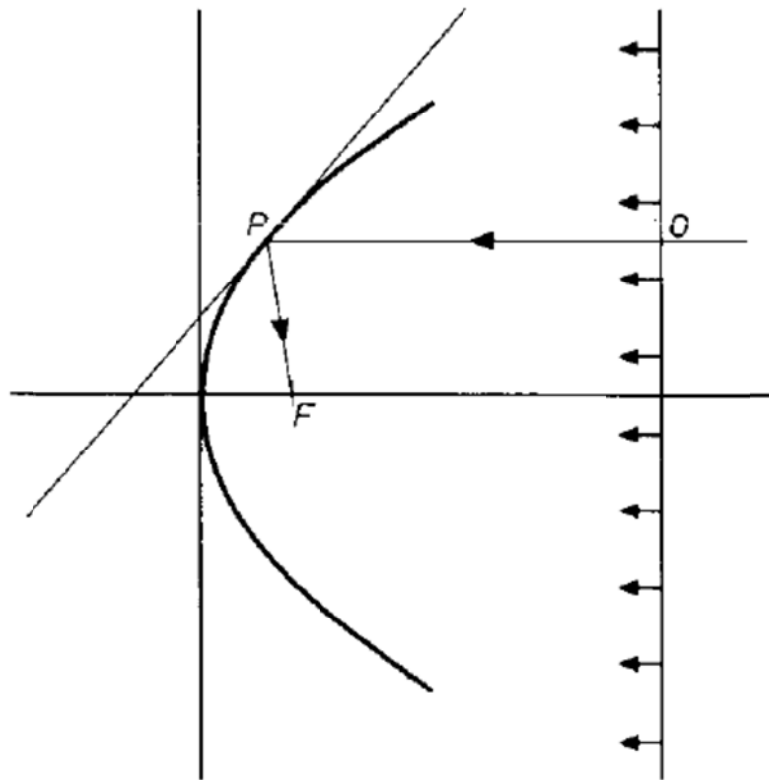
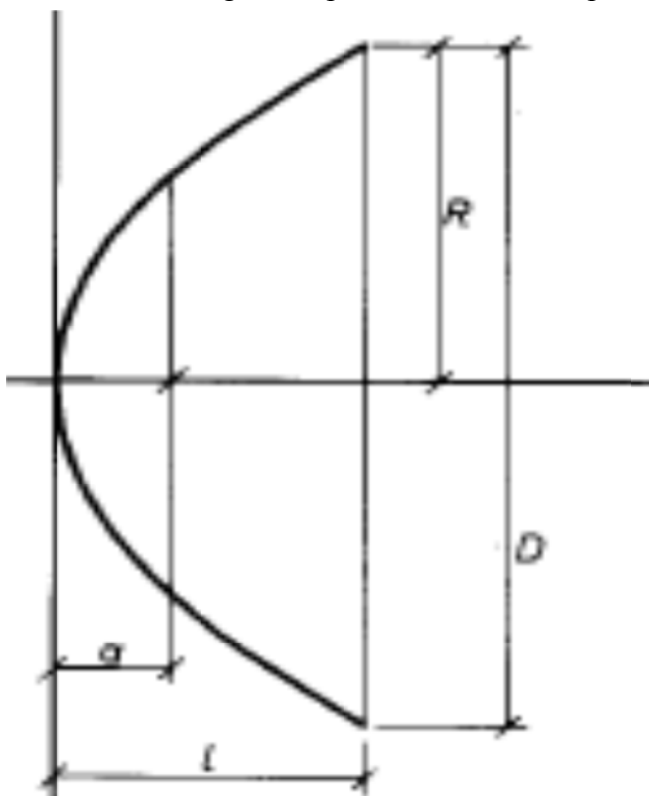


Figura 16. Propiedades del paraboloid.

Utilizaremos la figura 17 para dimensionar la parábola:



a: distancia del foco al vértice

l: distancia de la boca de la parábola al vértice

R: radio de la boca

D: diámetro de la boca, en particular, si $l = a$; $D =$

Figura 17. Dimensión de la parábola.

MODELO DE WAHLSTRÖM

Amplificación en el foco:

Para realizar el proyecto me he basado en la teoría desarrollada por el ingeniero eléctrico Sten Wahlström sobre el micrófono parabólico y su amplificación en el foco según el tipo y las características del reflector utilizado. El señor Wahlström ha formado parte del comité internacional de estandarización acústica como miembro del correspondiente comité nacional sueco, así como también ha sido especialista del comité sueco sobre el ruido del tráfico. Desde 1973 está a cargo de los problemas medioambientales de Estocolmo como jefe del departamento técnico de medioambiente y de la administración de salud pública.

La amplificación en el foco se puede ver en la figura 18:

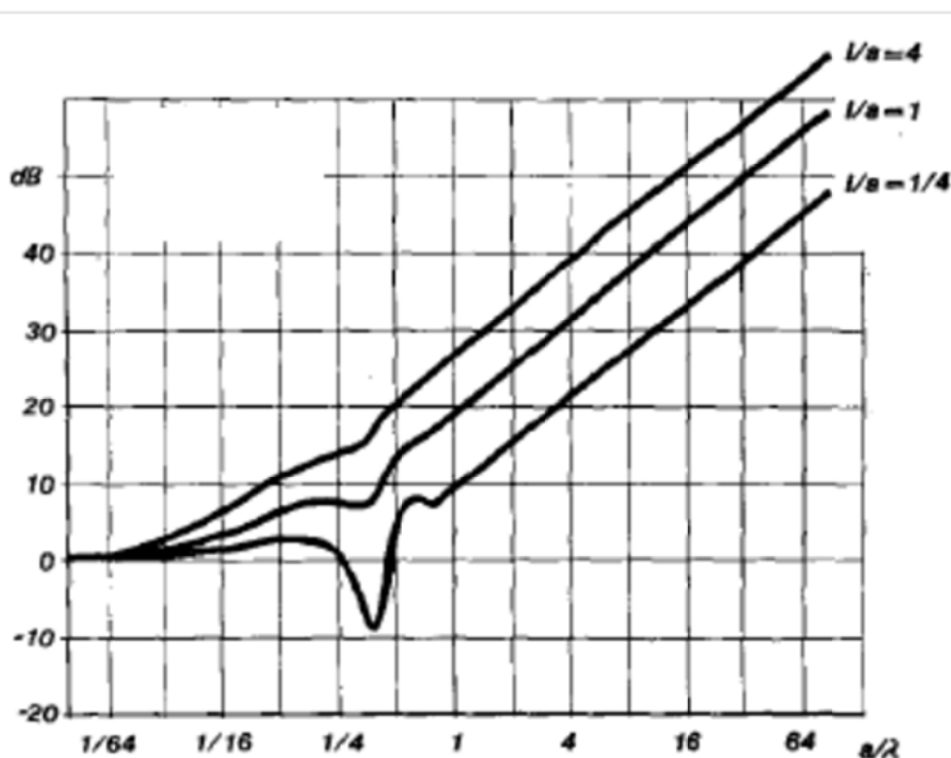


Figura 18. Amplificación en el foco de un reflector parabólico.

Como observamos en la gráfica, la amplificación dependerá de la relación l/a , y es función de la relación entre la distancia focal y la longitud de onda sonora, a/λ .

Para regiones donde la distancia focal es del mismo orden que la longitud de onda ($a/\lambda > 1$) podemos decir que la amplificación del reflector aumenta unos 6 dB por octava.

Para bajas frecuencias, $a/\lambda < 1/64$, la amplificación es prácticamente nula.

En el intervalo $1/64 < a/\lambda < 1$, la amplificación varía sinodalmente. Esto es a causa de la interacción entre el sonido directo al foco y el reflejado, que causa un patrón de onda estacionaria en frente del reflector cuando estos componentes son iguales en fuerza.

Omitiendo esta parte, podemos simplificar la gráfica en líneas rectas (figura 19), de ganancia 6 dB por octava, comenzando a diferentes frecuencias, dependiendo de la relación l/a :

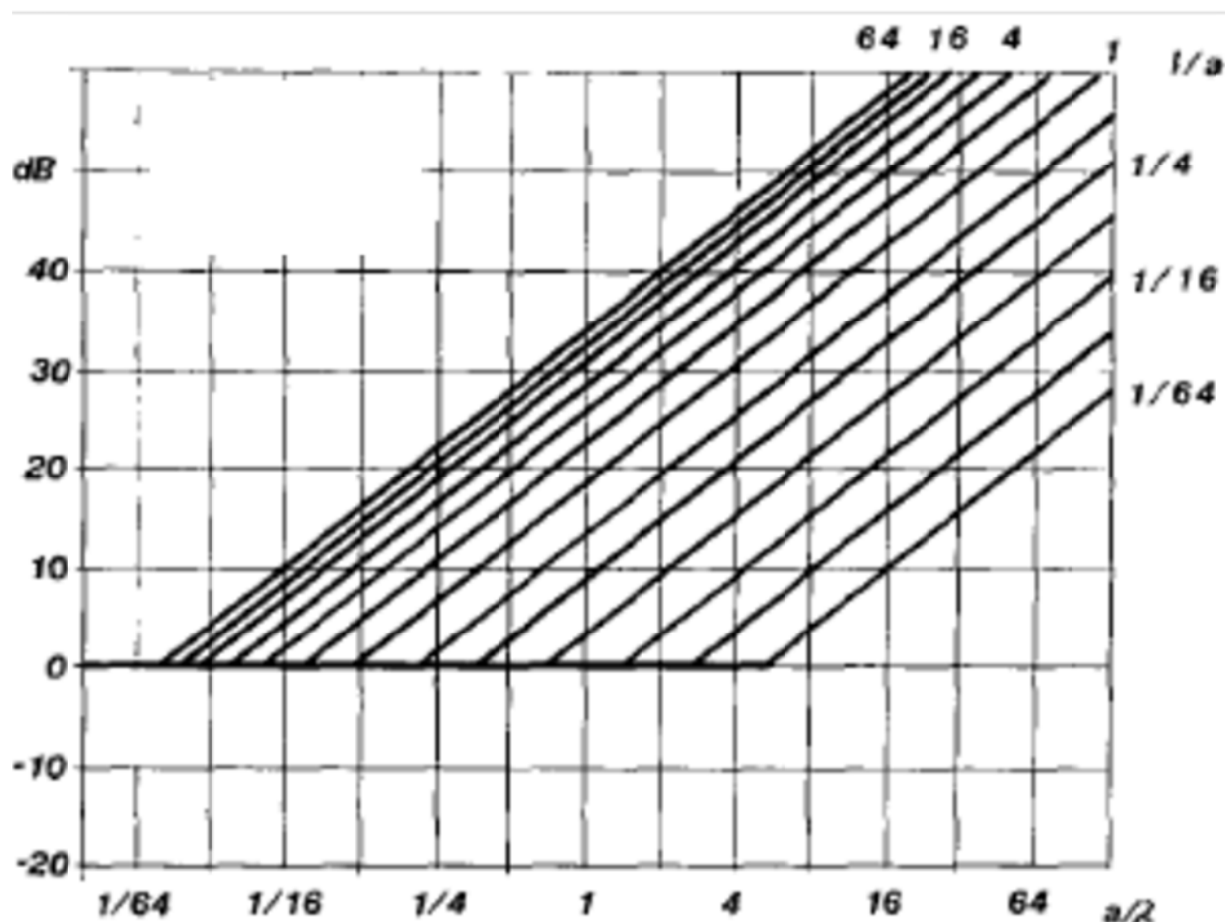


Figura 19. Gráfica simplificada de la amplificación en el foco.

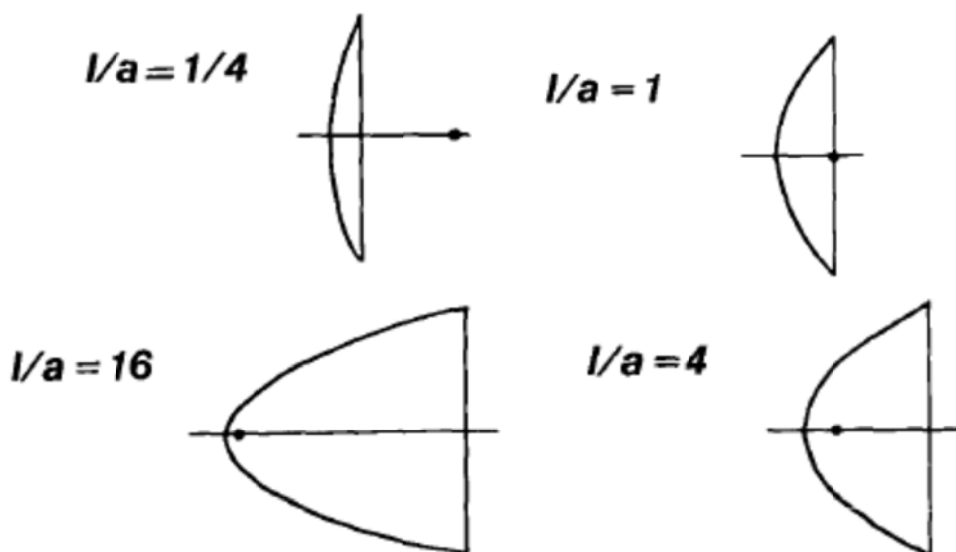


Figura 20. Tipos de reflectores según la relación entre su diámetro y la distancia focal.

Para reflectores con el mismo diámetro pero diferentes formas, como describimos en la figura anterior, podemos realizar una gráfica entre la amplificación conseguida y la relación l/a :

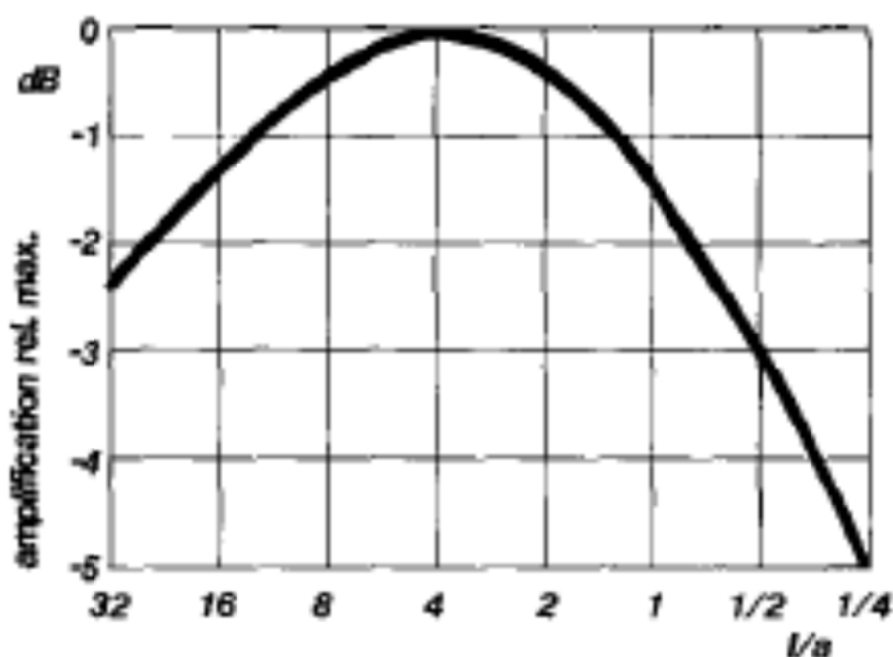


Figura 21. Amplificación en el foco de reflectores con el mismo diámetro pero diferentes distancias focales.

La figura 21 indica que el reflector más eficiente es el que tiene como relación $l/a = 4$. Aunque la variación es sin embargo muy pequeña, unos pocos decibelios. Por razones prácticas, la forma más usada es la de relación $l/a = 1$, ya que es fácil localizar el foco en el plano de la boca de la parábola, y no es demasiado aparatoso para transportar. Además la amplificación para este tipo es sólo 1,5 dB menor que el máximo, por lo que es una pérdida de amplitud razonable.

Directividad:

Los cálculos realizados por Wahlström para medir la directividad del reflector parabólico fueron realizados en una cámara aislada totalmente de cualquier ruido externo. El micrófono utilizado fue de tipo dinámico, colocado en el foco a diferentes frecuencias. El diámetro del reflector era de 0,5 m; $a = 0,125$ m; $l/a = 1$; la distancia de la fuente del sonido al reflector era de 4,5 m. El resultado se puede resumir según el siguiente diagrama polar:

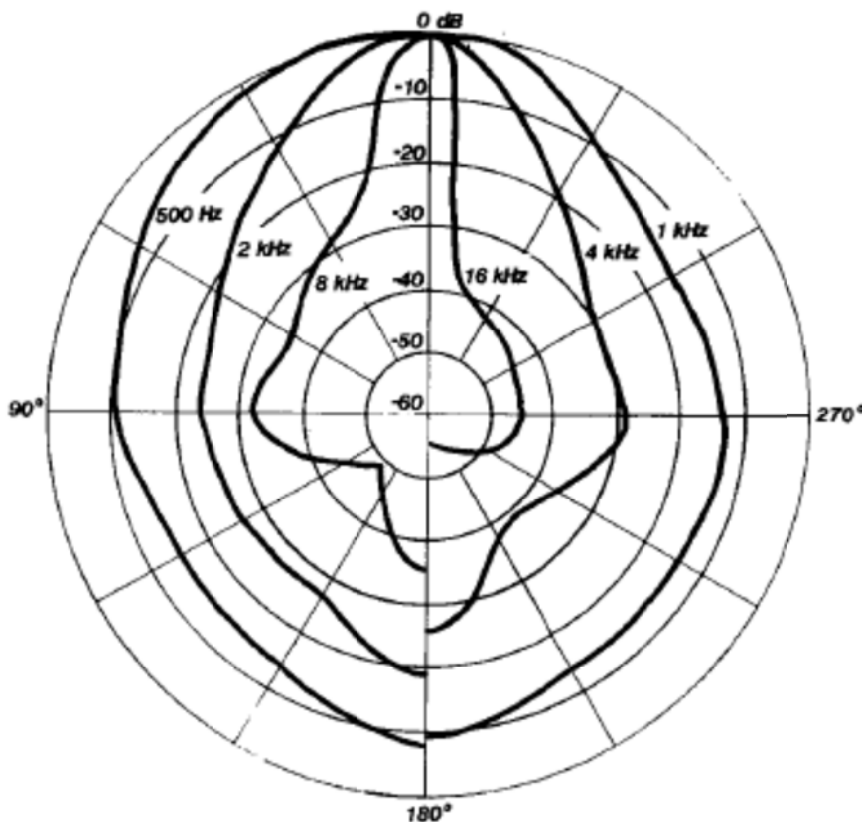
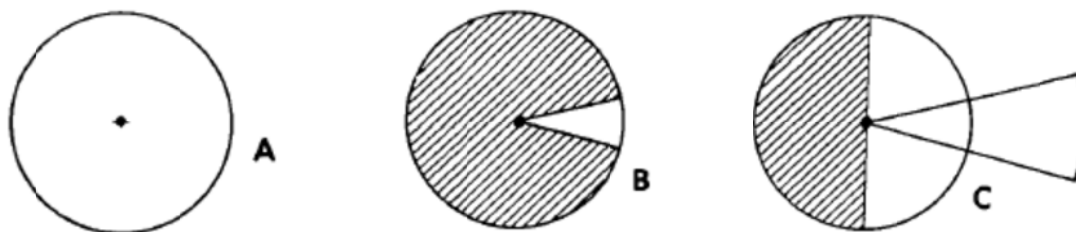


Figura 22. Diagrama polar de la directividad del micrófono parabólico utilizado por Wahlström.

Podemos comparar, de este modo, el efecto del sonido en un micrófono parabólico respecto a otros (Figura 23). Un micrófono de presión recibe el sonido de todas las direcciones, un micrófono direccional suprime el sonido de las direcciones no deseadas, y el micrófono parabólico amplifica el sonido que proviene de la dirección deseada, aunque puede recibir sonidos de otras direcciones.



A: micrófono de presión

B: micrófono direccional

C: reflector parabólico

Figura 23. Efecto direccional del sonido según el tipo de micrófono.

DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Para la fabricación del prototipo he decidido utilizar el micrófono parabólico, ya que es sencillo de desarrollar y sus características son adecuadas para la captación de sonidos lejanos, debido a que se puede aprovechar su amplificación en el foco y su directividad.

Dispongo de un micrófono electret y de un soporte para luminaria en forma de parábola, ideal para el propósito.

Colocando el micrófono en el foco, se observa que la amplitud sonora no es suficiente, por lo que va a ser necesaria alguna etapa de amplificación electrónica.

Por último, es necesario eliminar el ruido ambiente del micrófono, por lo que hará falta otra etapa de filtrado para obtener un sonido nítido a la salida.

Además el micrófono electret necesita polarización, por lo que también se deberá realizar una etapa para alimentar el micro.

Por lo tanto, mi idea para desarrollar el proyecto sigue el siguiente esquema:

POLARIZACIÓN → MICRO → AMPLIFICACIÓN → FILTRADO → AMPLIFICACIÓN

Se puede ver que se realizan dos etapas de amplificación. Esto es debido a que al inicio, es decir cuando recibes la señal, también llega el ruido, por lo tanto al amplificar también aumentas la señal no necesaria. Por ello, la primera amplificación intento que sea de poca ganancia para poder filtrarla e intentar eliminar el ruido. Una vez filtrada, la ganancia de la segunda amplificación será ya grande para recibir una señal de salida lo mayor limpia posible.

Para la alimentación del circuito utilizaré dos pilas de 9 V, colocándolas en serie para conseguir un circuito de 18 V.

La señal de salida se podrá escuchar a través de un par de cascos para escuchar música.

REFLECTOR PARABÓLICO

Dispongo de un soporte para alumbrado en forma de parábola que usaré como reflector parabólico. Dicho soporte tiene un agujero en la parte posterior, por lo que he desarrollado una pieza para tapanlo y colocar el micrófono en ella. Debido a que el micrófono electret es omnidireccional está rodeado de aislante sonoro para conseguir que el sonido llegue solamente por la parte posterior, es decir, captar sólo las ondas que llegan al foco.

Las medidas del reflector son las siguientes:

Distancia del foco: $a = 80$ mm.

Profundidad: $l = 300$ mm.

Diámetro: $D = 410$ mm.

Para ver que amplificación debo conseguir a la salida del circuito electrónico, me he basado en el modelo desarrollado por Wahlström sobre la amplificación en el foco.

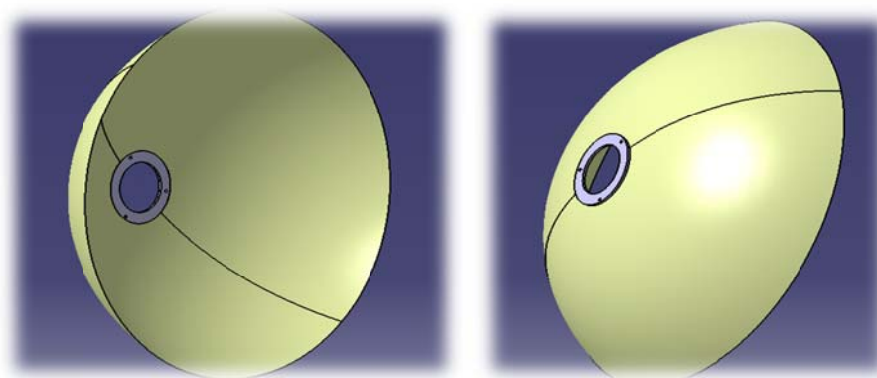


Figura 24. Reflector parabólico.

CÁLCULO DE LA AMPLIFICACIÓN

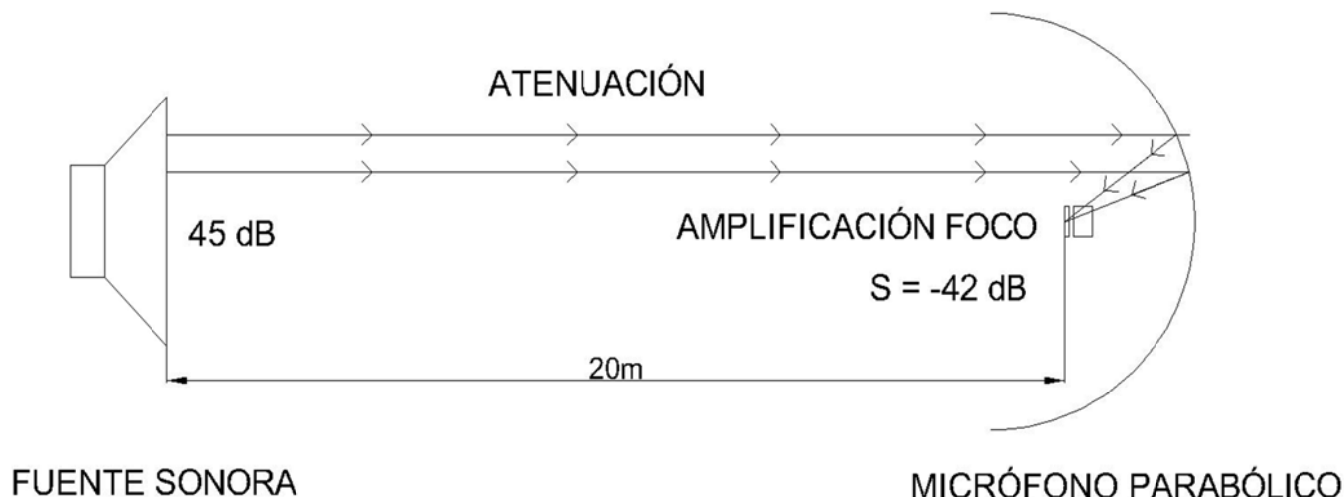


Figura 25. Sistema para el cálculo de la amplificación.

En mi sistema tengo dos partes. Por un lado tengo el nivel audio que llega al foco desde la fuente sonora y la amplificación que sucede en ese punto, que es la señal que el micrófono transformará en señal eléctrica. Por otro lado tengo esa señal eléctrica que produce el micrófono, que será la señal que tengo que tratar para poder escucharla en los auriculares.

Voy a intentar que el alcance del micrófono sea de 20 metros, por lo que tomaré como referencia de distancia hasta la fuente de sonido dichos 20 metros.

El nivel de una conversación varía entre 40 y 50 dB, así que he escogido 45 dB como nivel sonoro de la fuente.

La fórmula para la atenuación de un nivel sonoro respecto a la distancia de la fuente es la siguiente:

Siendo r la distancia en metros, L_r el nivel sonoro que se recibe en dB y L_0 el nivel sonoro producido por la fuente en dB.

Para 45 dB:

$$= 45 - 20 \log 20 - 11 = 8 \text{ dB}$$

Por lo tanto al reflector llegarán 8 dB.

Observando el modelo de Wahlström vemos la amplificación que se produce en el foco:

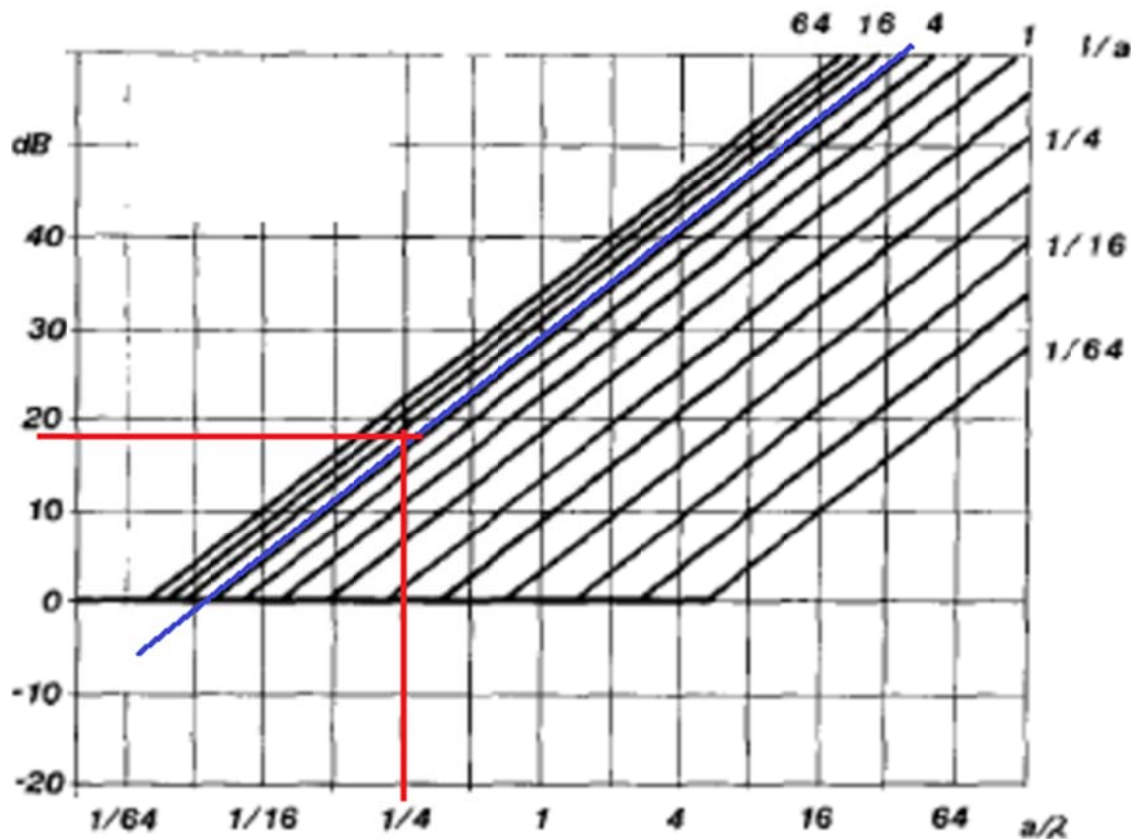


Figura 26. Amplificación en el foco de mi reflector.

He escogido para realizar los cálculos una frecuencia de 1000 Hz, ya que es la frecuencia que se utiliza de referencia en acústica como hemos visto anteriormente.

Para las características de mi reflector, $a = 0,08$ m, $l = 0,03$ m, $v = 340$ m/s y una frecuencia de 1000 Hz:

$$- ; \quad - \rightarrow \quad - \text{ sustituyendo:} \quad \text{---}$$

$$- \quad \text{---} \quad - ; - \quad \text{---}$$

Según la figura 23, para estos datos la amplificación en el foco será de unos 19 dB.

Por lo tanto el nivel sonoro que percibirá el micrófono será de $8 + 19 = 27$ dB.

El micrófono tiene una sensibilidad de -42 dB (Figura 28). El fabricante utiliza como medida 1V por pascal ejercido en el diafragma del micrófono.

Ahora calcularé la presión que ejercen los 27 dB en el micrófono para ver que tensión eléctrica habrá en la salida.

————— → despejando: Pa

Para esta presión:

1 Pa —————

Pa —————

————— →

A la salida del micrófono tengo 0,448 mV. El siguiente paso es calcular la tensión necesaria para que en los auriculares consiga los 45 dB deseados.

Habrá que tener en cuenta el rendimiento de transducción electroacústica de los auriculares, que es del 75%. Para 45 dB: ————. Por lo tanto para recibir los 45 dB en el oído hará falta una potencia de 60 dB

————— → despejando:

en este caso es ————, ya que en la parte electrónica estoy trabajando con mW de base.

Según las características de los auriculares que tengo, su resistencia es de 32 Ω.

Entonces para conseguir ———— :

— → ———— → ———— →

La ganancia necesaria por lo tanto será:

————— → G = 400

Como he mencionado anteriormente, la amplificación la dividiré en dos etapas. La primera con poca ganancia para amplificar poco el ruido y poder filtrarlo y la segunda ya de mayor ganancia.

He escogido para la primera etapa una ganancia de 3 y para la segunda una de 150. De este modo la ganancia total será:

$$G = 3 \cdot 150 \quad \mathbf{G = 450}$$

Al amplificar en la primera etapa, haciendo pruebas el ruido es considerablemente alto.

Como no estoy seguro que frecuencias de ruido afectan al micrófono, he realizado varias pruebas con diferentes tipos de filtro y frecuencias de corte. Los filtros implementados en las diferentes pruebas han sido:

-Filtro paso-bajo: frecuencias de corte de 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz.

-Filtro paso-alto: frecuencias de corte de 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz.

Realizando las pruebas consecuentes con los filtro paso bajo no se observa mejoría en la calidad del sonido, sin embargo para los de paso-alto sí que se consigue una señal relativamente limpia.

El filtro que parece comportarse de mejor manera es el de paso-alto con una frecuencia de corte de 1 kHz, por lo tanto realizaré el filtrado con un filtro de esas características.

CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN

El siguiente circuito será la base de la parte electrónica del proyecto. Con el conseguiremos una diferencia de potencial de +9 V por una parte y -9 V por otra, necesarios para alimentar los componentes electrónicos que se utilizan en la amplificación y el filtrado. También obtendremos la masa, la zona neutra del circuito.

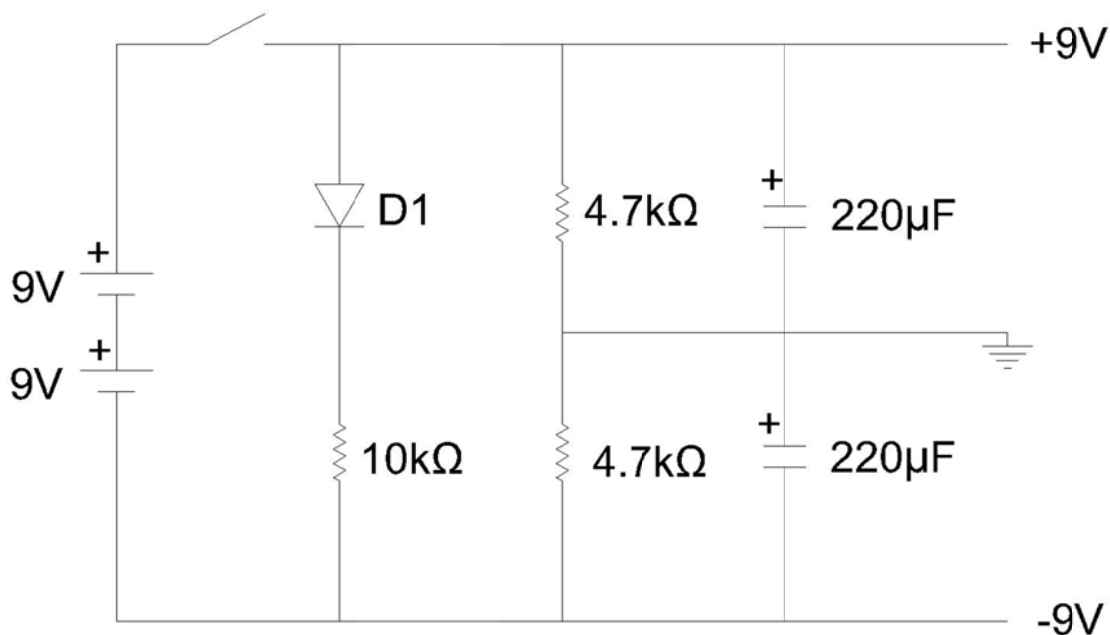


Figura 27. Circuito de alimentación.

Las dos resistencias de $4.7\text{ k}\Omega$ se comportan como un divisor de tensión de los 18 V que se obtienen de la suma de las baterías. Los condensadores sirven para desacoplar la fuente y crear la tierra virtual. El diodo es para indicar que el circuito está en funcionamiento.

POLARIZACIÓN DEL MICRÓFONO

El micrófono del que dispongo se trata de un micro electret (Figura 28). A continuación vemos sus características:

- Directividad: omnidireccional
- Tensión de operación estándar: 2 V
- Tensión máxima de operación: 10 V
- Impedancia de salida ($f=1\text{ kHz}$, 1 Pa): $<2,2\text{ k}\Omega$
- Corriente máxima de consumo: $0,5\text{ mA}$
- Frecuencia: 50 a 16000 Hz
- Sensibilidad (a $f=1\text{ kHz}$, $0\text{ dB}=1\text{ V/Pa}$): $-42\text{ } 3\text{ dB}$

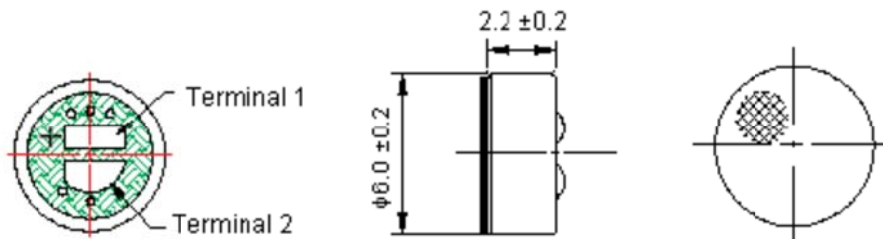
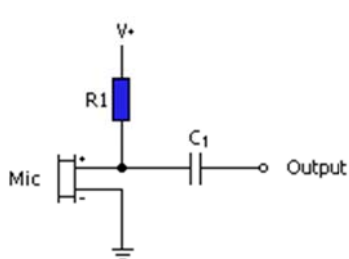


Figura 28. Micrófono electret.

La tensión de polarización del micrófono se consigue con un circuito sencillo:



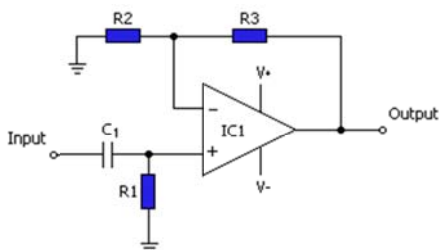
$$V+ = 9 \text{ V}; \quad R1 = 10 \text{ k}\Omega; \quad C1 = 3,3 \mu\text{F}$$

A través de la resistencia se produce la caída de tensión necesaria para obtener aproximadamente los 2 V con los que polarizamos el micro. El condensador se usa para bloquear la tensión continua parásita de la salida de audio.

Figura 29. Polarización.

PRIMERA ETAPA DE AMPLIFICACIÓN

La amplificación la realizaré por medio de amplificadores operacionales. A la entrada de la etapa amplificadora colocaré un potenciómetro que servirá de control de volumen. Además habrá una etapa de amplificación por cada auricular, es decir dos canales. De este modo conseguiré escuchar la misma señal por cada oído, produciendo una sensación más cercana a la realidad.



La ganancia obtenida a la salida será:

Figura 30. Amplificación.

En esta primera etapa realizaré una amplificación de ganancia 3, para lo que son necesarios unos valores de resistencias de: $R1 = 1,5 \text{ k}\Omega$ y $R3 = 3 \text{ k}\Omega$; valor estándar 3,3 kΩ.

Además añadiremos dos condensadores de 6,8 nF y de 10 μF que servirán como filtros paso alto y bajo de audio. De esta forma tenemos el esquema del circuito amplificador junto al de la polarización:

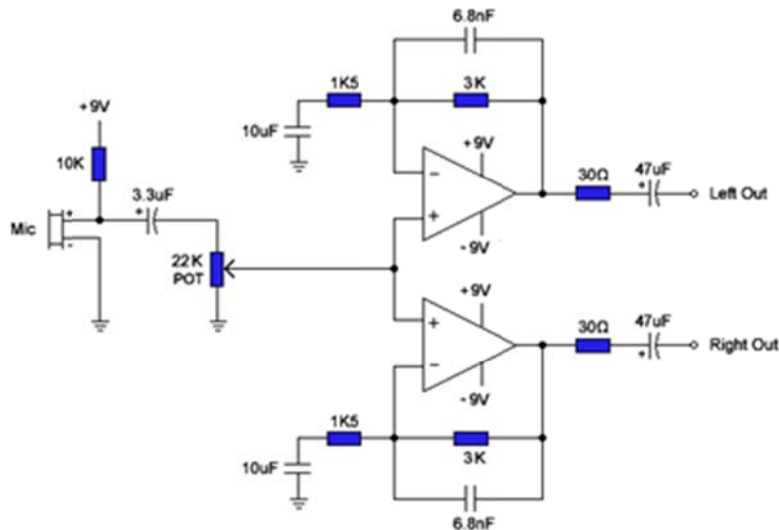


Figura 31. Polarización + amplificación por los dos canales.

FILTRADO

Una vez conseguida la señal y amplificada, el siguiente paso es intentar reducir el ruido ambiente lo máximo posible, para poder captar las conversaciones con un sonido lo más claro posible. El principal problema al realizar la prueba sin el filtrado, era que se escuchaba bastante ruido. Por eso, como hemos visto anteriormente, la idea es implementar un filtro paso alto para esas frecuencias no deseadas.

Tipos de filtros:

Un filtro eléctrico es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o una gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

Los filtros se pueden clasificar por:

- Orden
- Respuesta en frecuencia
- Activos o pasivos

Según su respuesta en frecuencia pueden ser:

- **Paso bajo:** Permite el paso de componentes cuyas frecuencias son inferiores a las de corte y rechaza las componentes que están por encima de dicha frecuencia. (Figura 32).
- **Paso alto:** Se comporta exactamente al contrario que el paso bajo. Permite el paso componentes cuya frecuencia es superior a la de corte y rechaza las que están por debajo. (Figura 33).

- **Paso banda:** Permite el paso de frecuencias en un rango o banda de frecuencias, comprendido entre una frecuencia de corte inferior y otra superior. (Figura 34).
- **Rechaza banda:** Dificulta el paso de frecuencias situadas entre una frecuencia de corte superior y una inferior. (Figura 35).

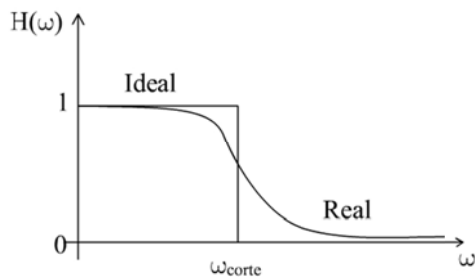


Figura 32. Filtro paso bajo.

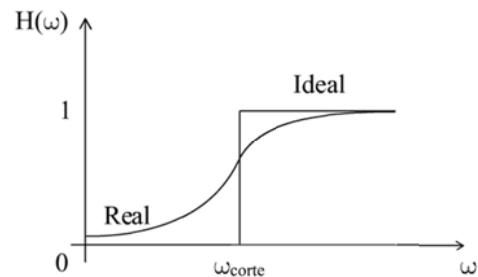


Figura 33. Filtro paso alto.

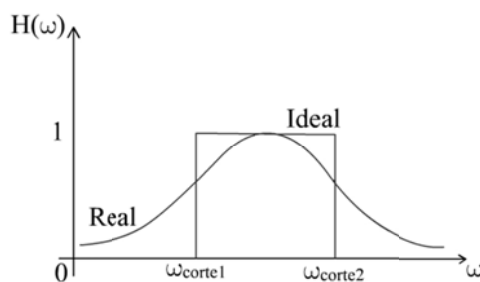


Figura 34. Filtro paso banda.

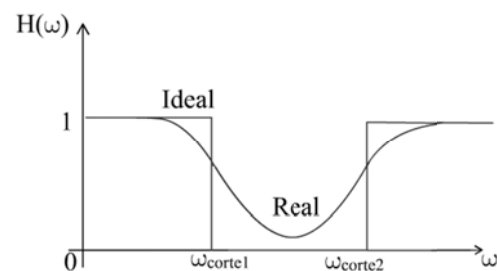


Figura 35. Filtro rechaza banda.

A partir de esta división general de los filtros por su respuesta en frecuencia podemos escoger el tipo de filtro necesario para nuestro propósito. A continuación explicaré un poco por encima la clasificación de filtros por otros aspectos.

FILTROS ACTIVOS O PASIVOS

La diferencia entre estos dos tipos de filtro es el tipo de componentes que los forman.

El filtro pasivo está formado únicamente por componentes pasivos, es decir, resistencias, condensadores e inductancias (R, C, L).

El filtro activo está constituido por elementos pasivos, pero además tiene también elementos activos, que pueden otorgarle cierta amplificación, como amplificadores operacionales o transistores.

Los filtros activos ofrecen las siguientes ventajas sobre los pasivos:

- *Flexibilidad en el ajuste de ganancia y frecuencia:* dado que los amplificadores operacionales proporcionan una ganancia de tensión, la señal de entrada en los filtros activos no se ve atenuada, como en los filtros pasivos. Los filtros activos son fáciles de ajustar o sintonizar.
- *Efecto de no carga:* debido a la alta resistencia de entrada y a la baja resistencia de salida de los amplificadores operacionales, los filtros activos no provocan efecto de carga en la fuente de entrada o en la carga.
- *Costo y tamaño:* los filtros activos son menos costosos que los pasivos por la disponibilidad de los amplificadores de bajo costo y la ausencia de inductores.
- *Efectos parásitos:* los efectos parásitos se reducen en los filtros activos por el menor tamaño de éstos.
- *Integración digital:* los filtros analógicos y los circuitos digitales se pueden incluir en el mismo circuito integrado.
- *Funciones de filtrado:* los filtros activos son capaces de realizar más funciones de filtrado que los pasivos.
- *Ganancia:* Un filtro activo puede proporcionar una ganancia, mientras que el filtro pasivo a menudo exhibe una pérdida significativa.

Los filtros activos presentan también algunas desventajas:

- *Ancho de banda:* los componentes activos tienen un ancho de banda finito, que limita las aplicaciones de los filtros activos al rango de frecuencia de audio. Los filtros pasivos no adolecen de tal limitación en frecuencia y pueden usarse hasta frecuencias aproximadamente de 500 MHz.
- *Derivas:* los filtros activos son sensibles a las derivas de los componentes, ocasionadas por las tolerancias de fabricación o cambios ambientales; en contraste, los filtros pasivos se ven menos afectados por tales factores.
- *Fuentes de alimentación:* los filtros activos requieren fuentes de alimentación, los pasivos no.
- *Distorsión:* los filtros activos sólo pueden manejar un rango limitado de magnitud de la señal; más allá de este rango, introducen distorsiones inaceptables.
- *Ruido:* los filtros activos utilizan resistores y elementos activos, los cuales producen ruido eléctrico.

En general, las ventajas de los filtros activos sobrepasan sus desventajas en aplicaciones de comunicación y voz y transmisión de datos. Los filtros activos se utilizan en casi todos los sistemas electrónicos complejos en aplicaciones de comunicación y procedimiento de señales, tales como televisión, teléfono, radar, satélites espaciales y equipo biomédico. Los filtros pasivos todavía son muy utilizados también.

- *Célula Sallen-Key*: es un tipo de filtro activo valioso debido a su simplicidad. El circuito produce un filtro paso bajo o paso alta usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador operacional. Para obtener filtros de mayor orden se ponen etapas en cascada. Los valores de las resistencias y los condensadores son iguales.

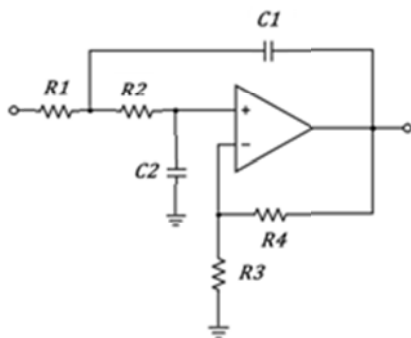


Figura 36. Célula Sallen-Key paso bajo.

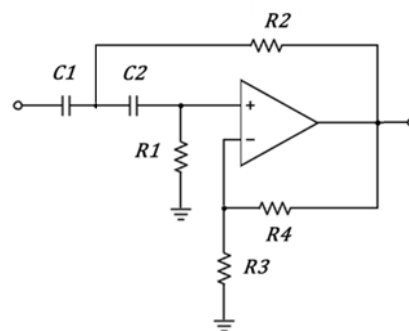


Figura 37. Célula Sallen-Key paso alto

ORDEN DE UN FILTRO

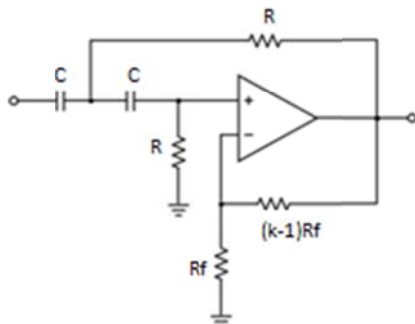
El orden de un filtro describe el grado de aceptación o rechazo de frecuencias por arriba o por debajo de su frecuencia de corte. Un filtro de primer orden, presentará una atenuación de 20 dB/dec (10 veces su frecuencia de corte). Uno de segundo orden presentará el doble de pendiente.

Visto este pequeño resumen acerca de los tipos de filtros y de sus características, necesitaré seleccionar qué tipo de filtro utilizar en el proyecto. Como se ha mencionado anteriormente, hará falta un filtro paso alto.

Debido a sus ventajas respecto a los filtros pasivos, he decidido decantarme por un filtro activo de tipo Sallen-Key. Como tengo dos canales de señal, tendré que filtrar por los dos lados, por lo que el circuito diseñado de filtrado será doble.

CIRCUITO DE FILTRADO

Circuito Sallen-Key:



La figura 34 muestra el filtro paso alto. Tomaré de valor de frecuencia de corte () 1 KHz.

El amplificador operacional y las resistencias de realimentación y $(k-1)R_f$ conforman un amplificador no inversor de ganancia k .

Figura 38. Circuito de filtrado.

En continua el condensador se comporta como un circuito abierto. En esa situación las resistencias R están en serie con los terminales de entrada del amplificador no inversor, por lo que no influyen en su ganancia. Para minimizar los efectos de la corriente de polarización, debemos seleccionar valores para los cuales la asociación en paralelo de R y $(k-1)R_f$ sea igual a $2R$.

La ganancia del filtro completo es el producto de los valores k de cada etapa. Dichos valores de k tanto para un filtro paso bajo, como para uno paso alto están estandarizados, correspondiendo con la siguiente tabla:

Orden	k	
2	1,586	Etapa 1
4	1,152	Etapa 1
	2,235	Etapa 2
6	1,068	Etapa 1
	1,586	Etapa 2
	2,483	Etapa 3
8	1,038	Etapa 1
	1,337	Etapa 2
	1,889	Etapa 3
	2,610	Etapa 4

Tabla 2. Valores k filtros.

Escogemos un valor de C : $C = 1 \text{ nF}$

Despejamos R en la ecuación: $\dots \rightarrow R = 160 \text{ k}\Omega$

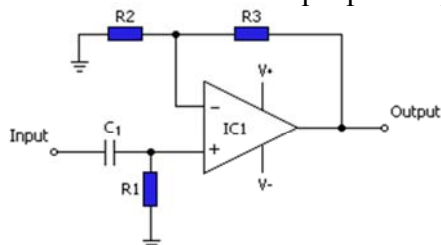
Por último damos un valor arbitrario a R_f : $R_f = 100 \text{ k}\Omega$

Buscando en la tabla vemos que para un filtro de segundo orden: $k = 1,586$, por lo tanto $(k-1)R_f = 58,6 \text{ k}\Omega$.

SEGUNDA ETAPA DE AMPLIFICACIÓN

Con la señal ya filtrada, sólo queda amplificarla de nuevo para llegar a un nivel audible.

El circuito es el mismo que para la primera etapa:



La ganancia obtenida a la salida será:

Figura 39. Amplificación.

En esta segunda etapa realizaré una amplificación de ganancia aproximadamente de 150, para lo que son necesarios unos valores de resistencias de:

$$= 1,5 \text{ k}\Omega \text{ y } = 223,5 \text{ k}\Omega \rightarrow \text{Valor estándar } 220 \text{ k}\Omega.$$

Obviamente la amplificación se realizará en los dos canales por lo que el circuito resultante es el siguiente:

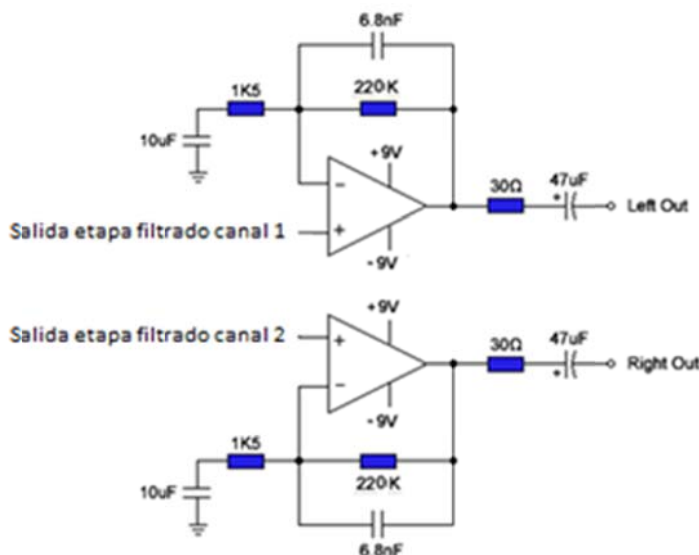


Figura 40. 2ª etapa de amplificación.

Los amplificadores utilizados para las etapas de amplificación son el NE5534 y para la etapa de filtrado el TL081.

Por último, conectando los auriculares a cada salida del circuito ya podemos escuchar la señal que recibe el micrófono.

EL PROTOTIPO

Dado que el micrófono electret es omnidireccional, lo he rodeado de material aislante sonoro para que solo reciba sonido de la parte posterior, es decir, las ondas reflejadas en el reflector parabólico.

He desarrollado una pieza para colocar el micro y tapar el agujero que hay en el soporte de la luminaria.

Además la parte electrónica la he colocado en una caja para protegerla de posibles golpes y para transportarla fácilmente.

A continuación vemos el resultado con las siguientes fotos:

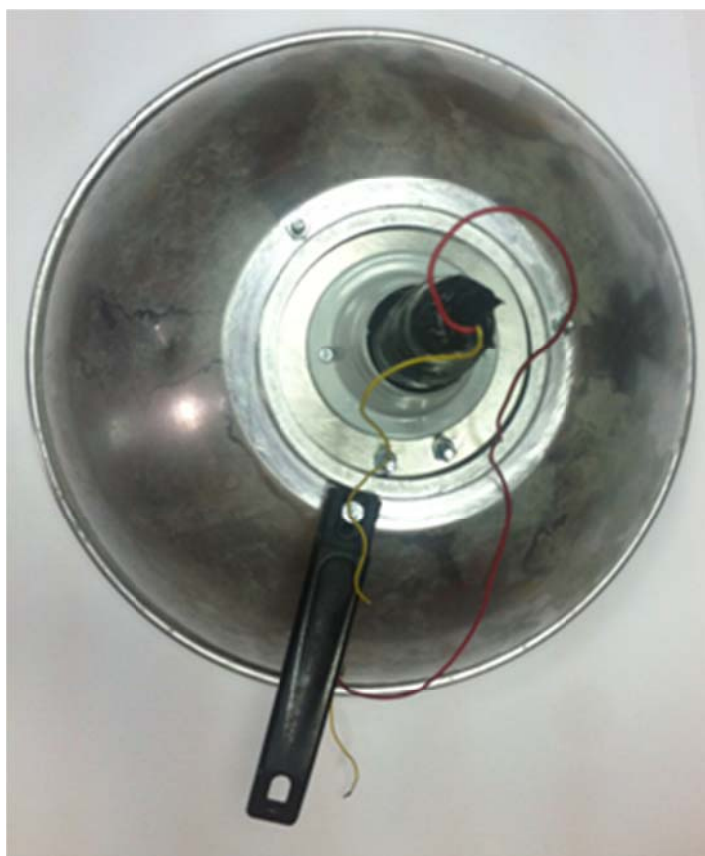


Foto 1. Vista posterior.



Foto 2. Vista frontal.



Foto 3. Reflector.

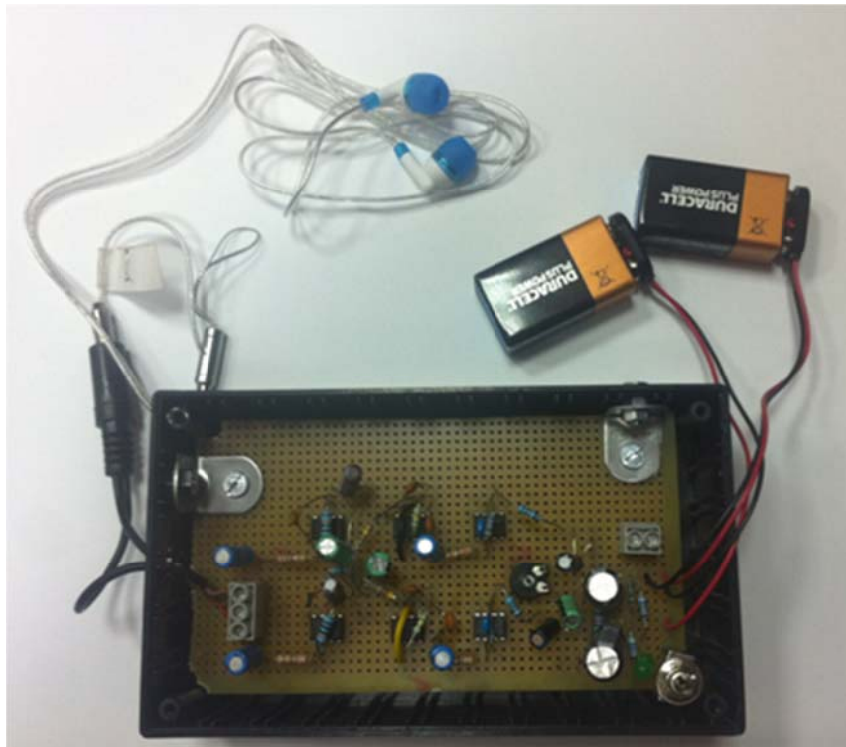


Foto 4. Circuito electrónico en su caja, baterías y auriculares.

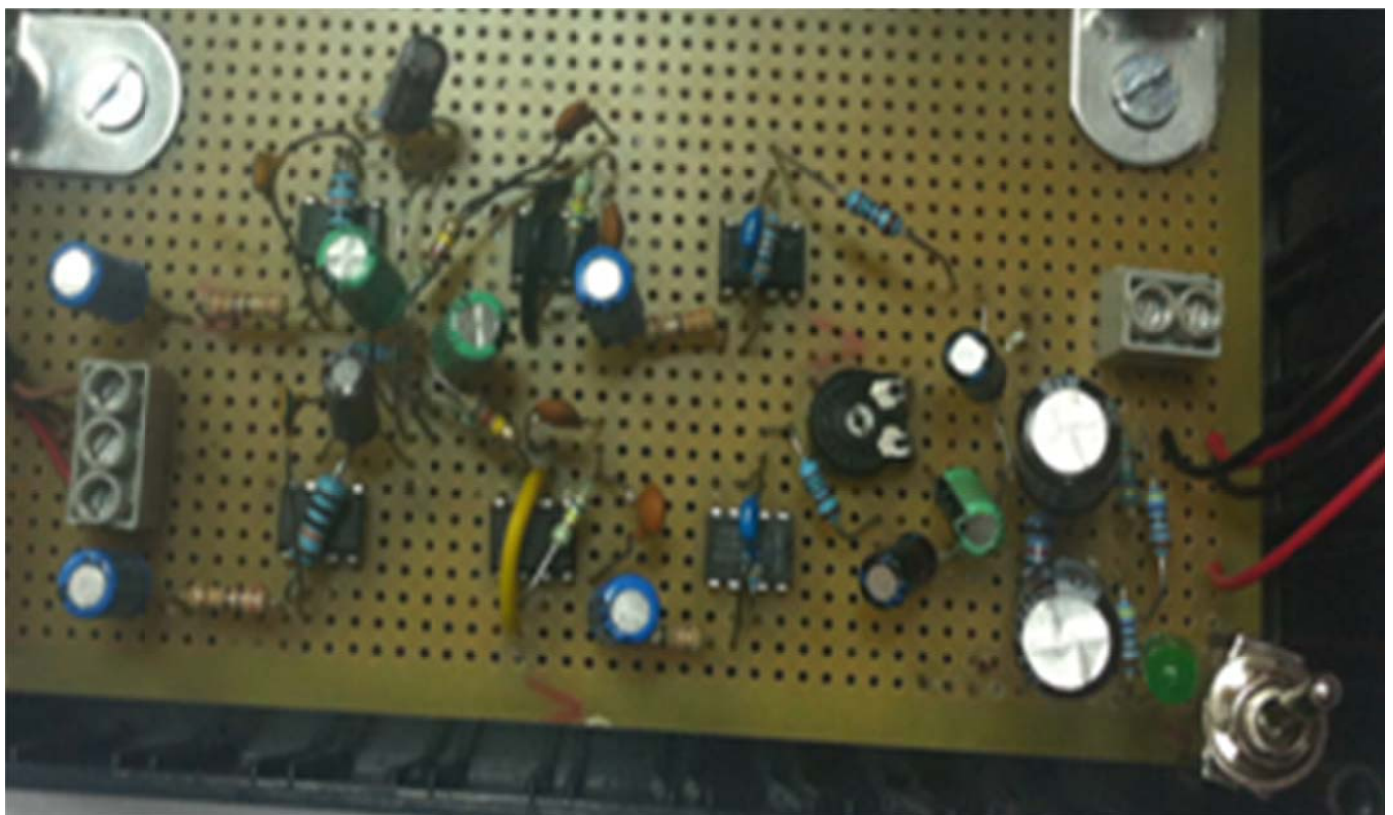


Foto 5. Circuito electrónico



Foto 6. Sujeción del micrófono en el foco.



Foto 7. Piezas de sujeción del micrófono.



Foto 8. Micrófono completo.

LISTADO DE PLANOS

Aparato reflector:

Plano 1: Reflector parabólico.....Pág. 49

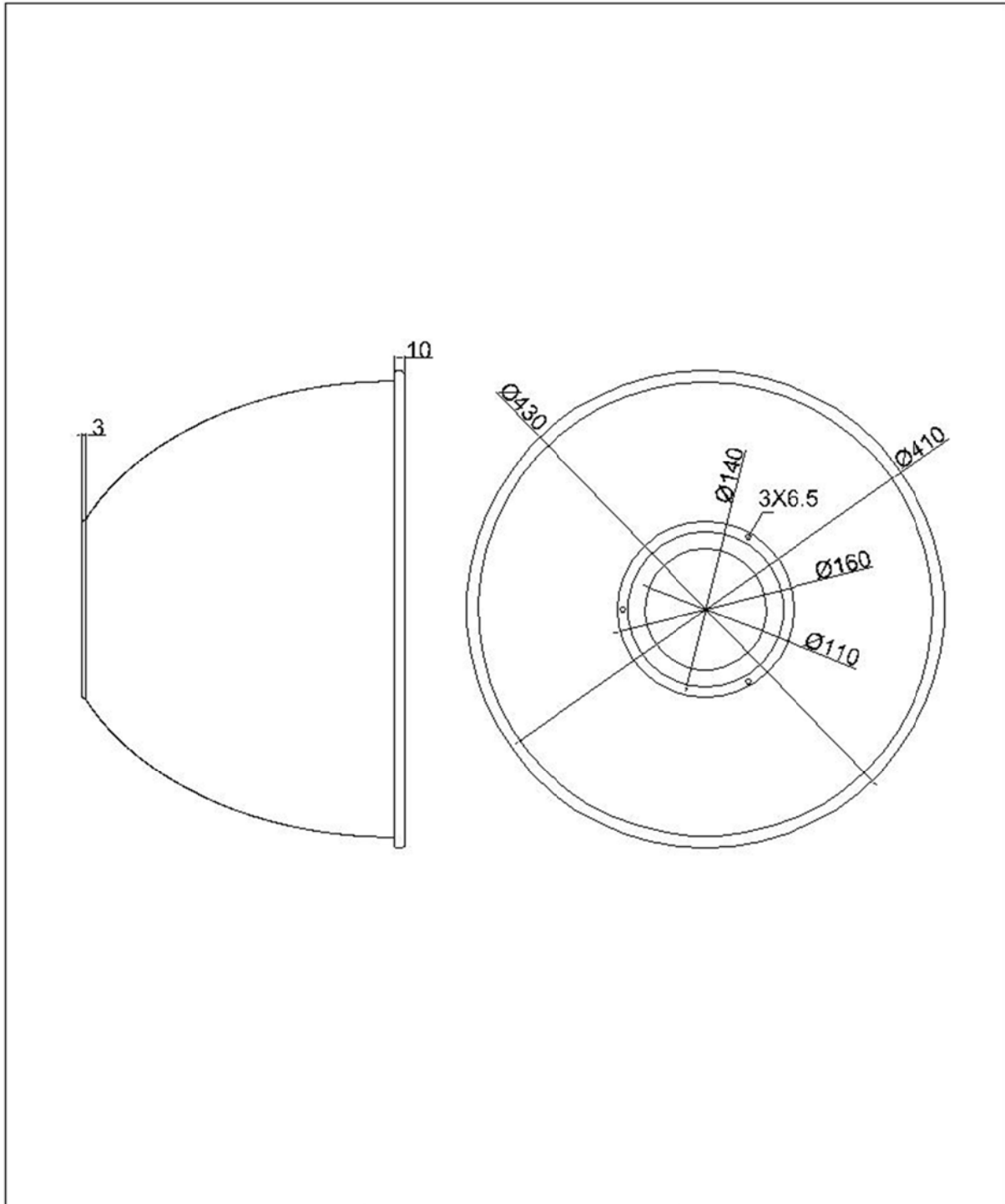
Plano 2: Pieza 1 sujeción del micrófono.....Pág. 50

Plano 3: Pieza 2 sujeción del micrófono.....Pág. 51

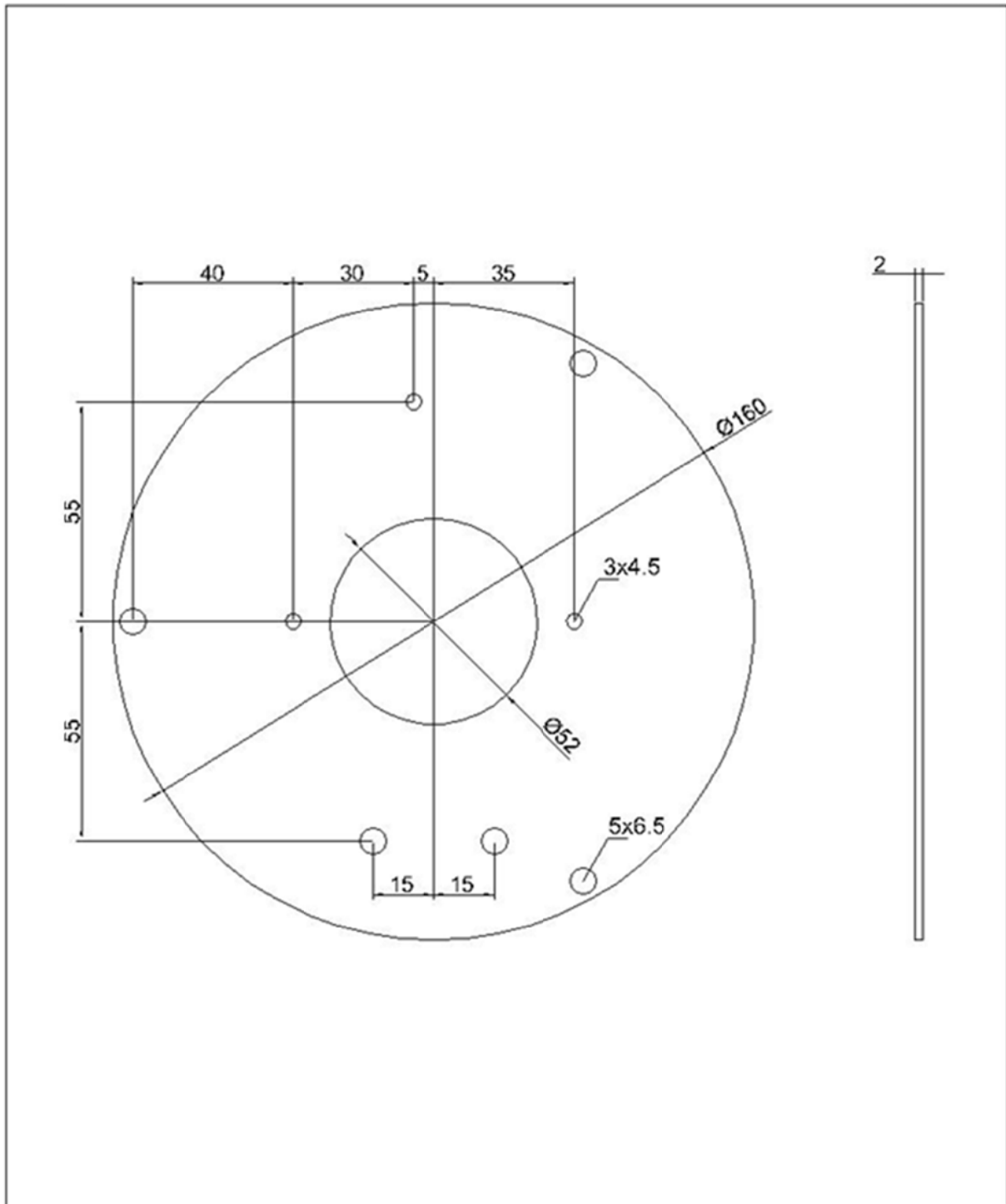
Circuito electrónico:

Plano 4: Circuito principal, polarización y amplificación.....Pág. 52

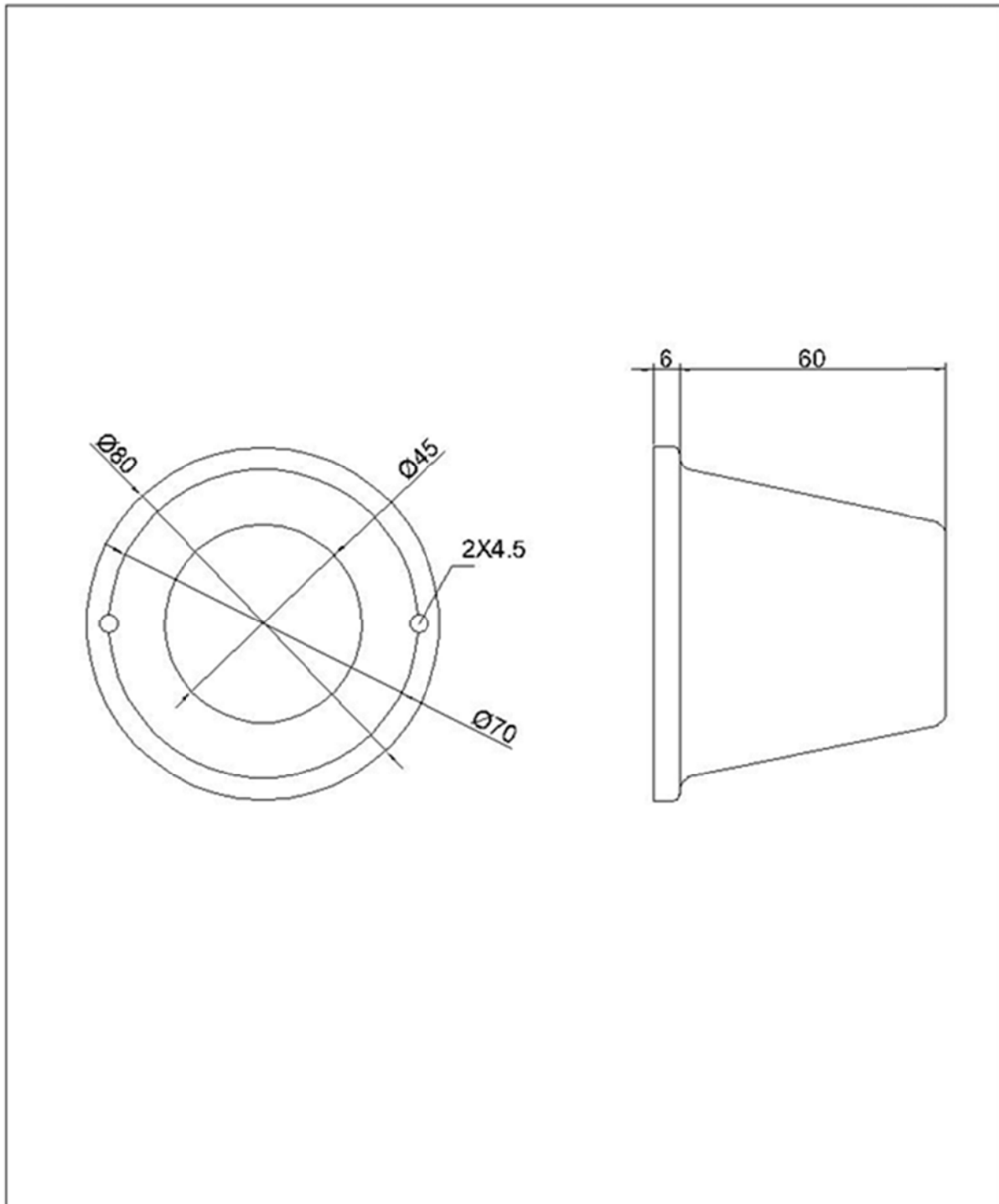
Plano 5: Filtrado y amplificación.....Pág. 53



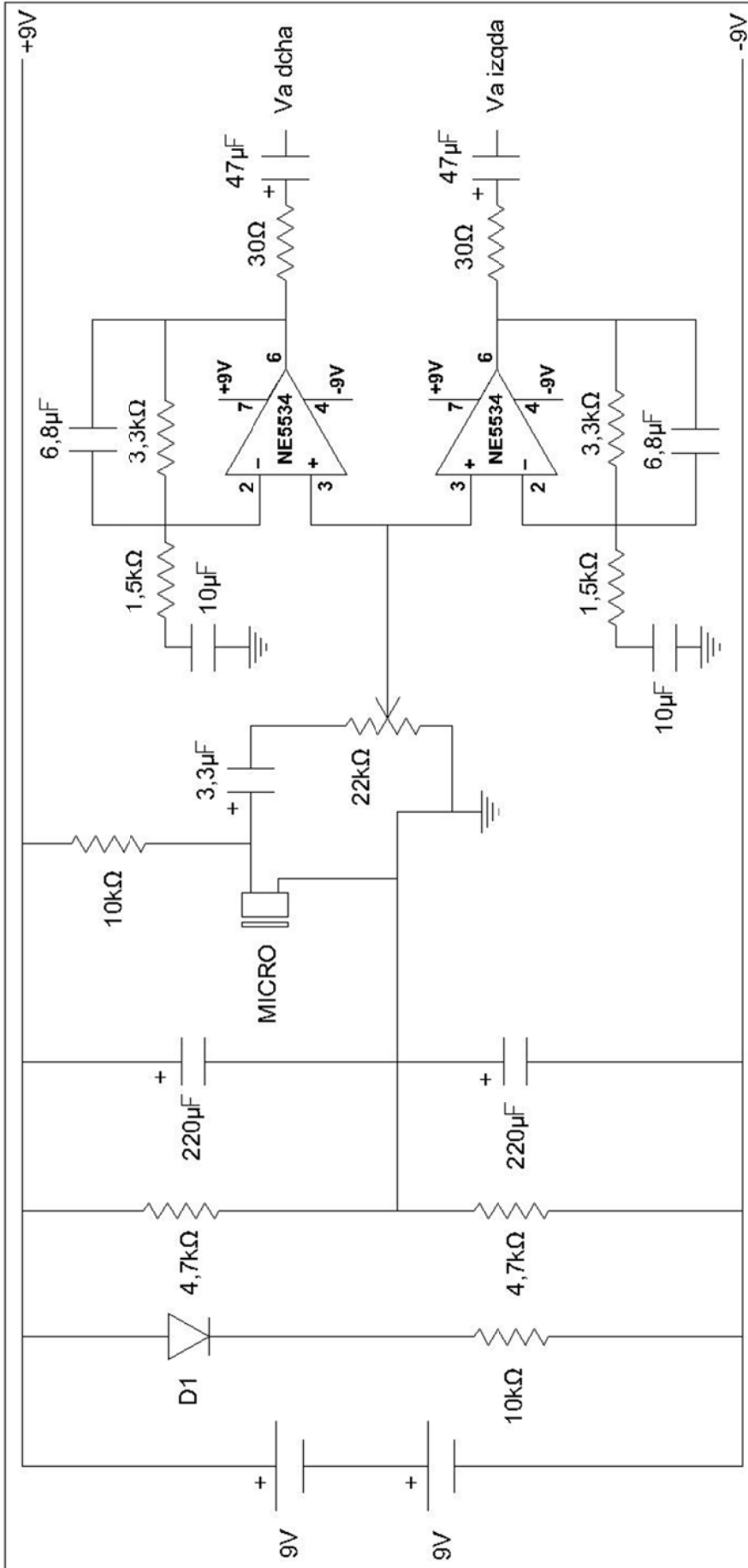
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL E.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA			
	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICRÓFONO DIRECCIONAL		REALIZADO: Bruno Arpón Elvira		
PLANO: REFLECTOR PARABÓLICO		FIRMA:	FECHA: 7/9/2012	ESCALA: 1:10	Nº PLANO: 1



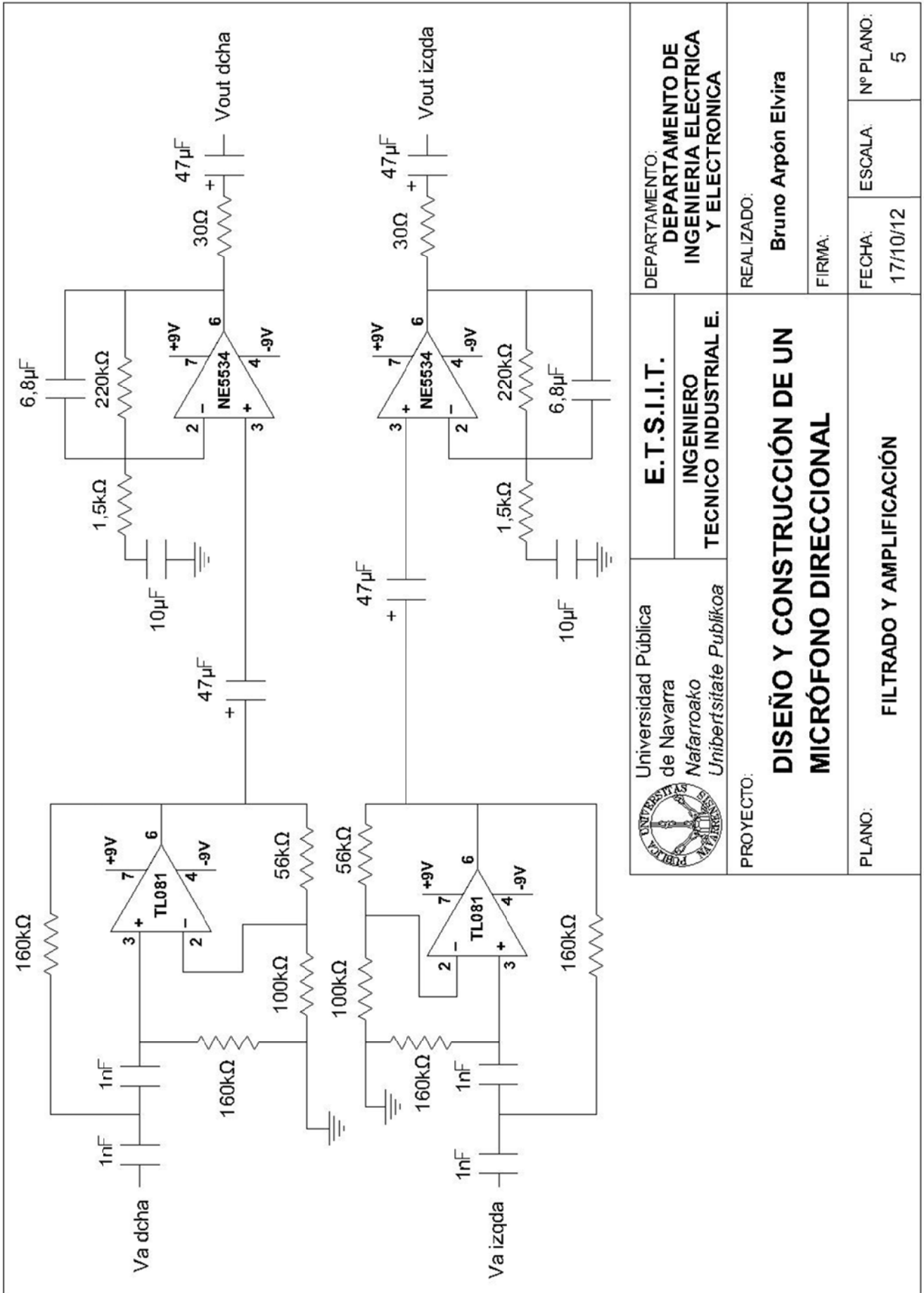
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL E.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA		
	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICRÓFONO DIRECCIONAL		REALIZADO: Bruno Arpón Elvira	
PLANO: PIEZA 1 SUJECIÓN MICRÓFONO		FECHA: 7/9/2012	ESCALA: 1:20	Nº PLANO: 2



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL E.	REALIZADO: Bruno Arpón Elvira	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICRÓFONO DIRECCIONAL		FIRMA:	
PLANO: PIEZA 2 SUJECIÓN MICRÓFONO	FECHA: 7/9/2012	ESCALA: 1:10	Nº PLANO: 3



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL E.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
	REALIZADO: Bruno Arpón Elvira	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICRÓFONO DIRECCIONAL		FIRMA: (Signature)
PLANO: CIRCUITO PRINCIPAL, POLARIZACIÓN Y AMPLIFICACIÓN		FECHA: 17/10/12
		ESCALA: N° PLANO: 4



	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL E.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
	REALIZADO: Bruno Arpón Elvira	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICRÓFONO DIRECCIONAL		FIRMA: _____
PLANO: FILTRADO Y AMPLIFICACIÓN		FECHA: 17/10/12
		ESCALA: _____
		Nº PLANO: 5

BIBLIOGRAFÍA

- Circuitos microelectrónicos: Análisis y diseño. Ed. Thompson. Autor: Muhammad H. Rasid.
- Manual of active filter design. Ed. Mc Graw Hill. Autores: John L. Hilburn, David E. Johnson.
- Electrónica. Ed. Pearson. Autor: Allan R. Hambley.
- Acústica de la edificación. Ed. Fundación Escuela Edificación. Autores: Carlos de la Colina Tejeda, Antonio Moreno Arranz.
- Guía acústica de la construcción. Ed. CIE Dossat. Autores: Francisco Javier Rodríguez Rodríguez, Javier de la Puente Crespo.
- Acústica musical. Ed. Ópera 3. Autor: Francisco Estévez Díaz.
- The parabolic reflector as an acoustical amplifier. Autor Sten Whalström.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- <http://www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/remy/L5C-05-champlibre.pdf>
- http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/contaminacion_acustica_tcm7-1705.pdf
- <http://www.scienceprog.com/long-range-directional-microphones-myth-and-reality/>
- <http://www.openobject.org/objectsinflux/?p=22>



UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICRÓFONO DIRECCIONAL

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
PROYECTO FIN DE CARRERA



Autor: Bruno Arpón Elvira

Tutor: Vicente Senosiáin Miquélez

INTRODUCCIÓN

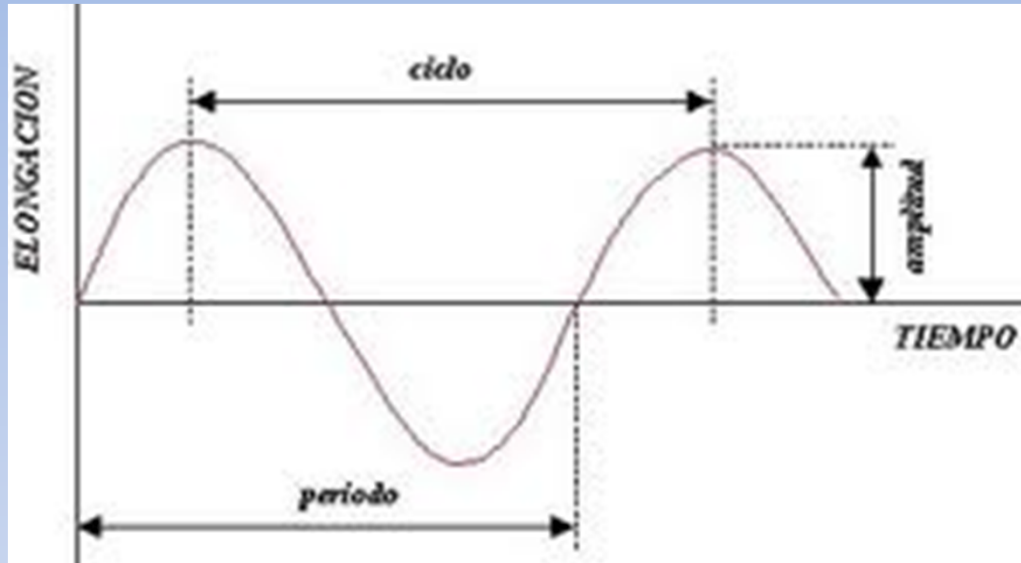
- El sonido.
- Características del sonido.
- Magnitudes del sonido.
- Sonido y oído humano.
- Atenuación del sonido con la distancia.

EL SONIDO

- Alteración de las partículas en un medio elástico.
- Producido por un elemento en vibración (fuente de sonido).
- Transmitido en el medio (generalmente aire) en forma de ondas.

CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

ONDAS SONORAS: PERIODO, FRECUENCIA Y AMPLITUD



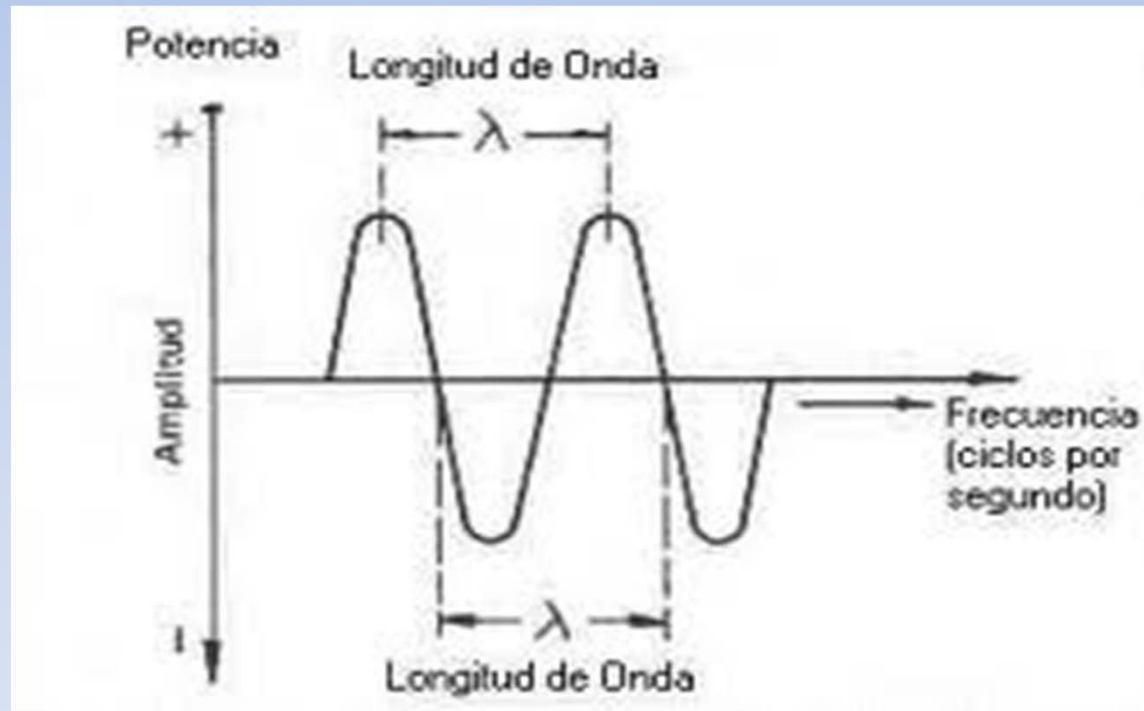
$$f = \frac{1}{T}$$

- Al tiempo que tarda en repetirse una oscilación se le llama periodo (T) medida en segundos.
- La frecuencia es el número de ciclos que se repite una onda en un segundo (f) medida en hercios (Hz).
- Amplitud: valor máximo que alcanza la onda.

CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

ONDAS SONORAS: LONGITUD DE ONDA

- Longitud de onda (λ): distancia entre dos valores máximos o mínimos sucesivos (ciclo) en metros.



CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO

- Depende de la temperatura y del medio donde se propaga.

- Siendo el medio de propagación el aire:

$$0^{\circ} \text{ C} = 331 \text{ m/s}; 20^{\circ} \text{ C} = 343 \text{ m/s}.$$

- Se considera como valor estándar para los cálculos **340 m/s**.

- Relación entre la frecuencia, el periodo, la longitud de onda y la velocidad de propagación.

$$\lambda = vT = \frac{v}{f}$$

MAGNITUDES DEL SONIDO

- Presión sonora: variaciones de presión producidas por una onda sonora en el medio.
- Intensidad sonora: energía que fluye por unidad de tiempo a través de una superficie unidad situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras.

$$I = P \cdot v = \frac{P^2}{\rho \cdot v}$$

ρ = densidad del medio en que se propaga la onda.

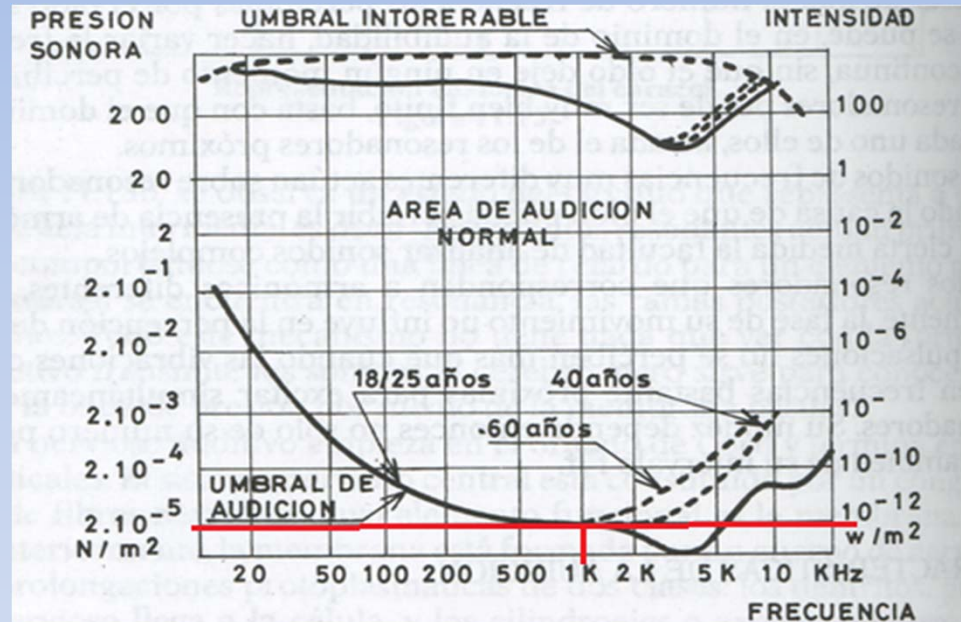
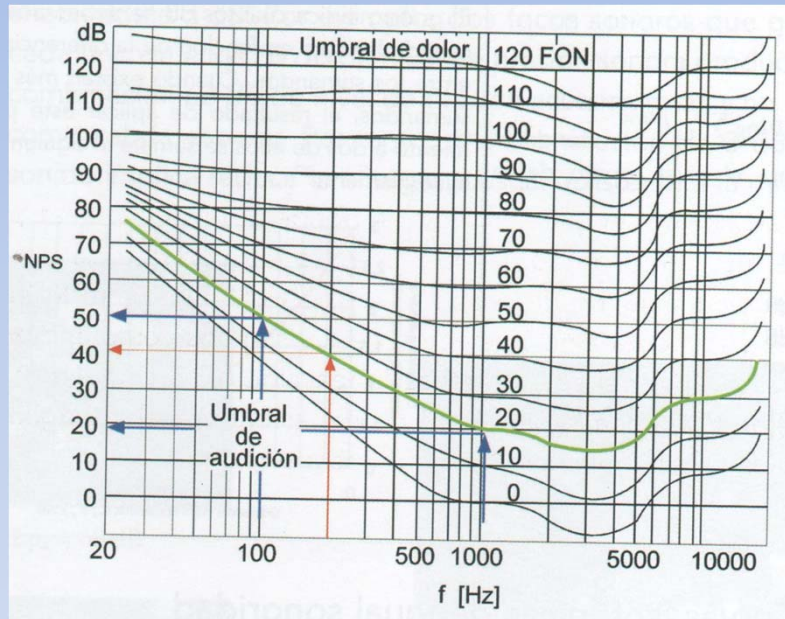
- Potencia sonora: potencia producida por una fuente sonora.

EL SONIDO Y EL OÍDO HUMANO

- Sonido humanamente audible: Ondas sonoras convertidas en el oído humano en ondas mecánicas percibidas por el cerebro.
- Comportamiento del oído humano: más cercano a una función logarítmica que a una lineal. Decibelio como unidad de medida.
- El oído no se comporta igual para diferentes frecuencias de una onda con el mismo nivel sonoro.
- Espectro audible: 16 Hz a 20 kHz (0 – 120 dB).

EL SONIDO Y EL OÍDO HUMANO

- Curvas de igual sonoridad que producen la misma sensación sonora en el oído.



- 1000 Hz: sensación de 0 dB, presión sonora de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa a una intensidad de 10^{-12} W/m², generada por una fuente de potencia sonora 10^{-12} W.
- Es la frecuencia que se utiliza como referencia para los cálculos en acústica.

EL SONIDO Y EL OÍDO HUMANO

- Nivel de presión sonora:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 20 \log \frac{p}{p_{ref}}$$

P: Presión sonora (Pa)
Pref: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

- Nivel de intensidad sonora:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{ref}}$$

I: Intensidad sonora (W/m^2)
Iref: 10^{-12} W/m^2

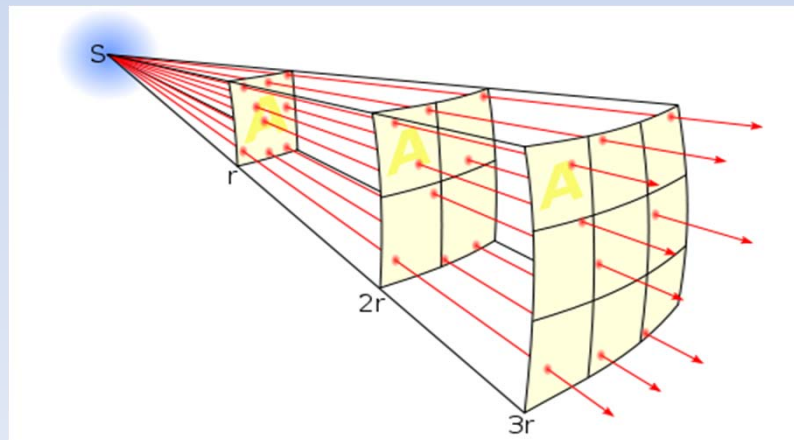
- Nivel de potencia sonora:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_{ref}}$$

W: Potencia sonora (W)
Wref: 10^{-12} W

ATENUACIÓN DEL SONIDO CON LA DISTANCIA

- Onda propagada desde una fuente puntual: intensidad disminuye con la distancia a la fuente.
- Fuente puntual de sonido:
 - Ondas esféricas en todas direcciones.
 - Energía a una distancia r de la fuente distribuida uniformemente sobre una corteza esférica de radio r y superficie $4 \cdot \pi \cdot r^2$. (Sin obstáculos).



ATENUACIÓN DEL SONIDO CON LA DISTANCIA

- A suficiente distancia, una fuente de sonido puede considerarse como una fuente puntual.
- L_p : potencia sonora en dB percibida por el oyente, a una distancia r (m) de una fuente sonora con un nivel de potencia (L_w) en dB:

$$L_p = L_w - 20 \log r - 11$$

OBJETIVO

- Capacidad limitada del oído para percibir sonidos lejanos.
- Captación de sonidos a distancia por medio de un micrófono.
- Aprovechamiento de la electrónica para amplificarlos y convertirlos en audibles.
- Llegar a escuchar conversaciones a distancia.

MICRÓFONOS

- Características de los micrófonos.
- Micrófono parabólico.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MICRÓFONOS

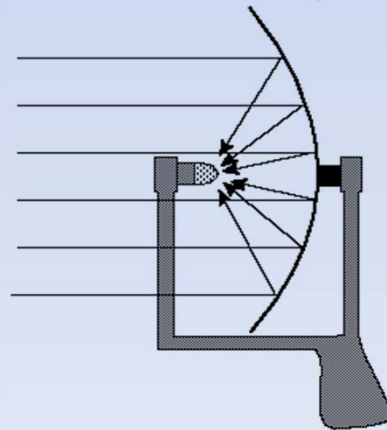
- **Micrófono:** transductor electro-acústico que transforma ondas sonoras en señales eléctricas.
- **Directividad:** ganancia del micrófono dependiendo de la dirección del sonido.
- **Sensibilidad:** capacidad de transducción del micrófono (dB).

DIRECTIVIDAD

- Unidireccionales o direccionales: recogen sonidos sólo frontales.
- Bidireccionales: recogen sonidos frontales y posteriores.
- Omnidireccionales: recogen sonidos de cualquier dirección.

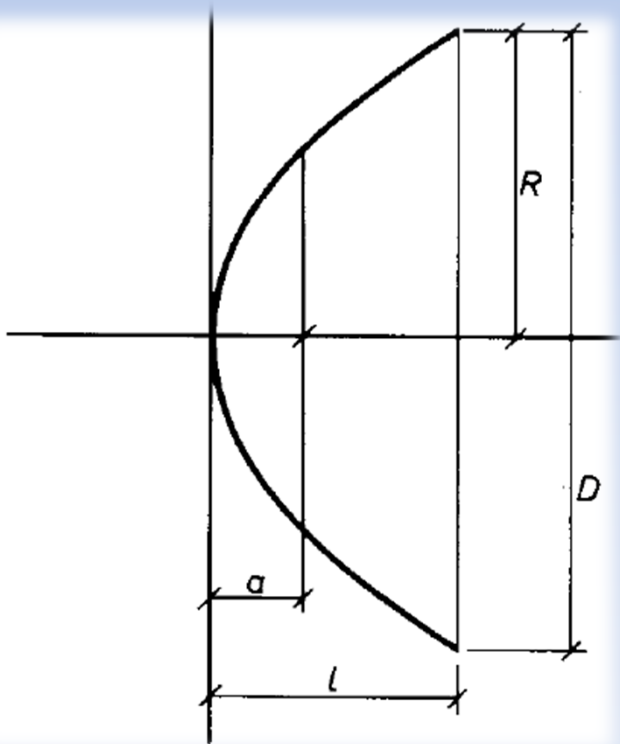
MICRÓFONO PARABÓLICO

- Tipo de micrófono direccional.
- Aprovecha las propiedades de la parábola.
- Concentración ondas en un mismo punto.
- Situación del micrófono en el foco y aprovechamiento de su amplificación.



MODELO DE WAHLSTRÖM

- Teoría desarrollada por Sten Wahlström.
- Estudio sobre el micrófono parabólico y su amplificación en el foco según el tipo y las características del reflector utilizado.



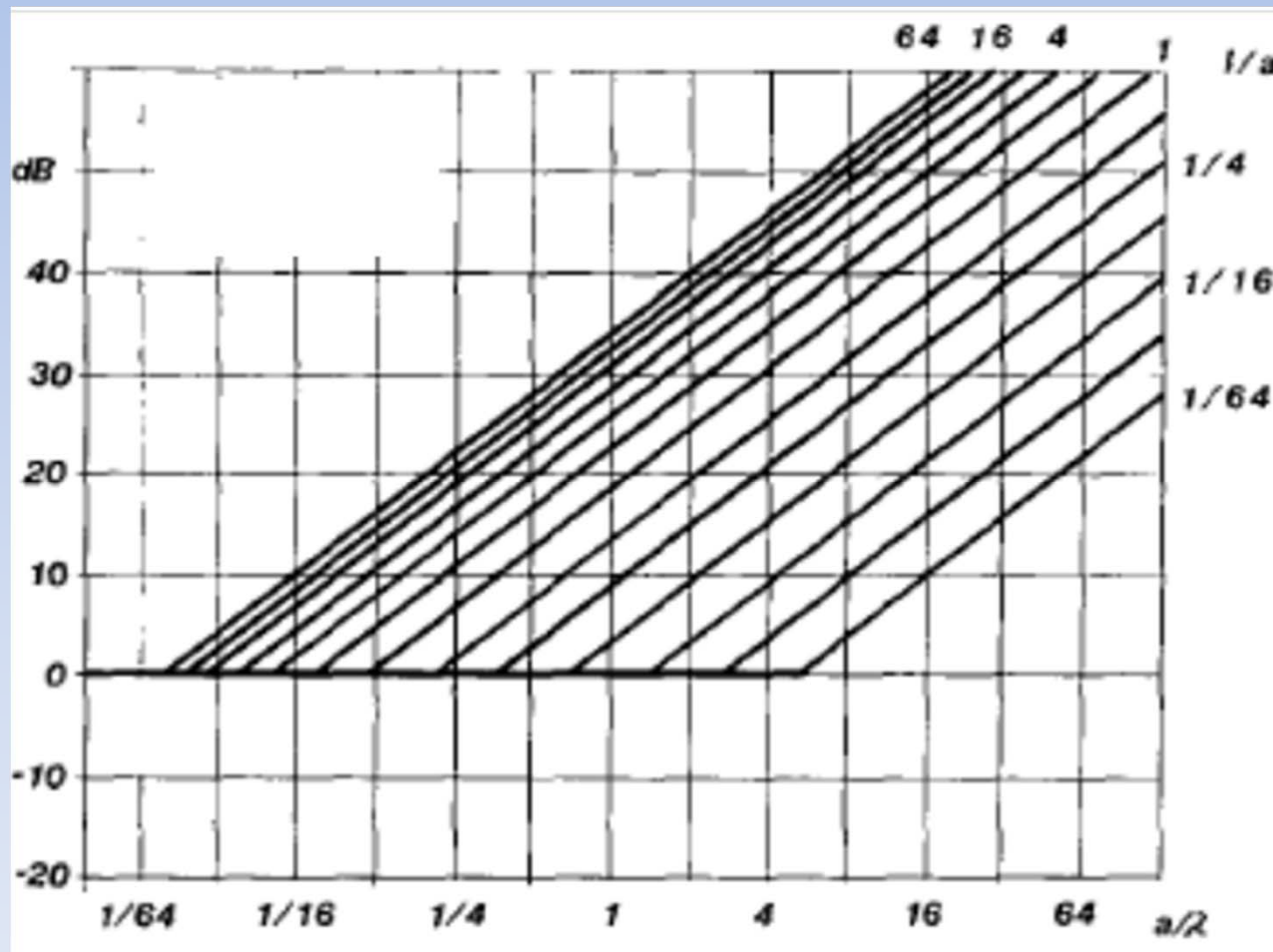
L : profundidad de la parábola.

a : distancia focal.

D : diámetro.

MODELO DE WAHLSTRÖM

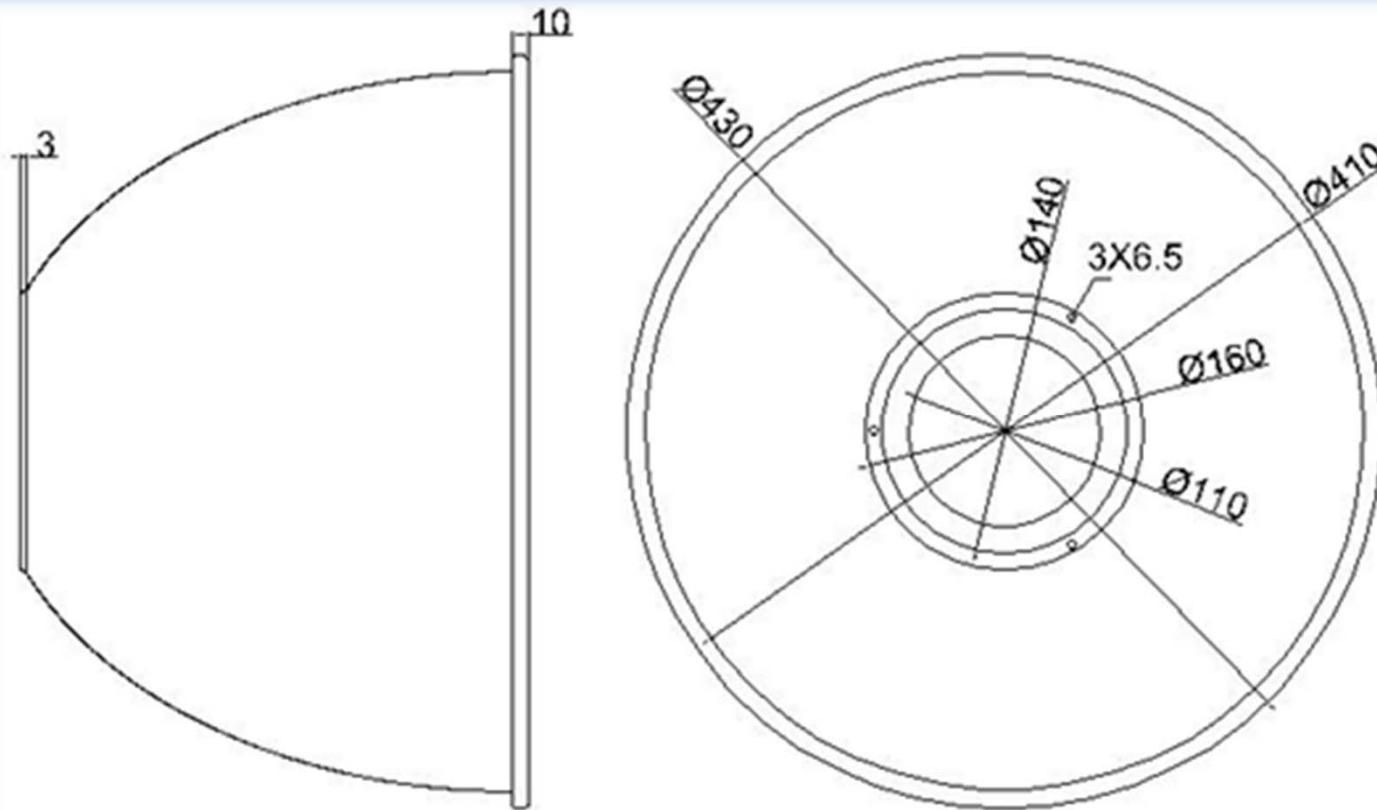
- Amplificación en el foco: dependerá de la distancia focal, profundidad y longitud de onda (l/a , a/λ).



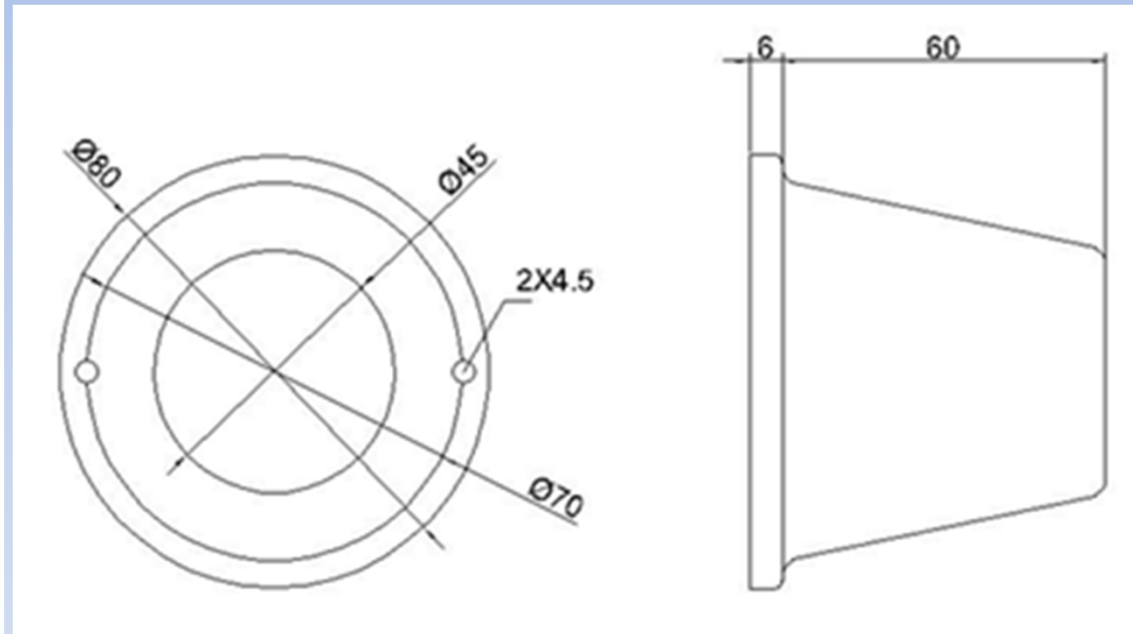
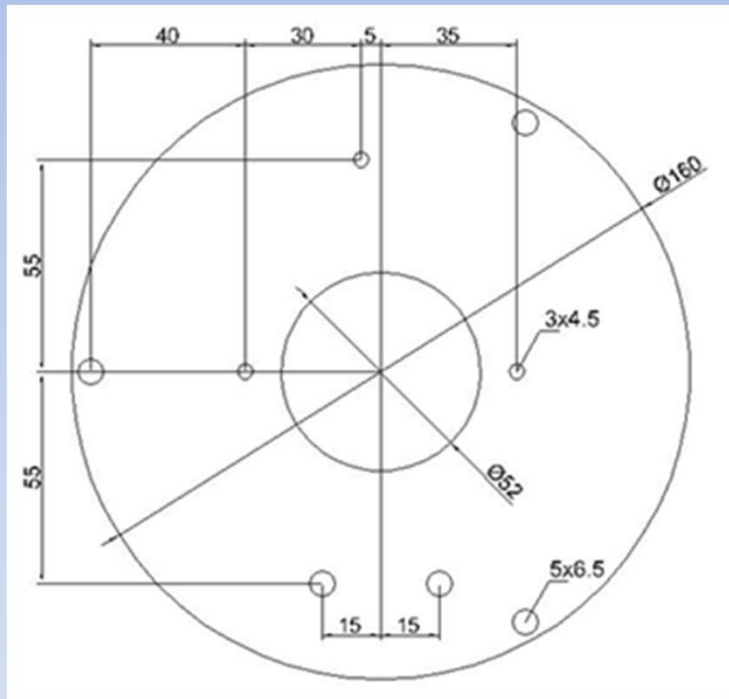
DESARROLLO DEL PROTOTIPO

- MICRÓFONO PARABÓLICO.
- REFLECTOR: SOPORTE PARA LUMINARIA EN FORMA DE PARÁBOLA.
- MICRÓFONO ELECTRET.
- PARTE ELECTRÓNICA.

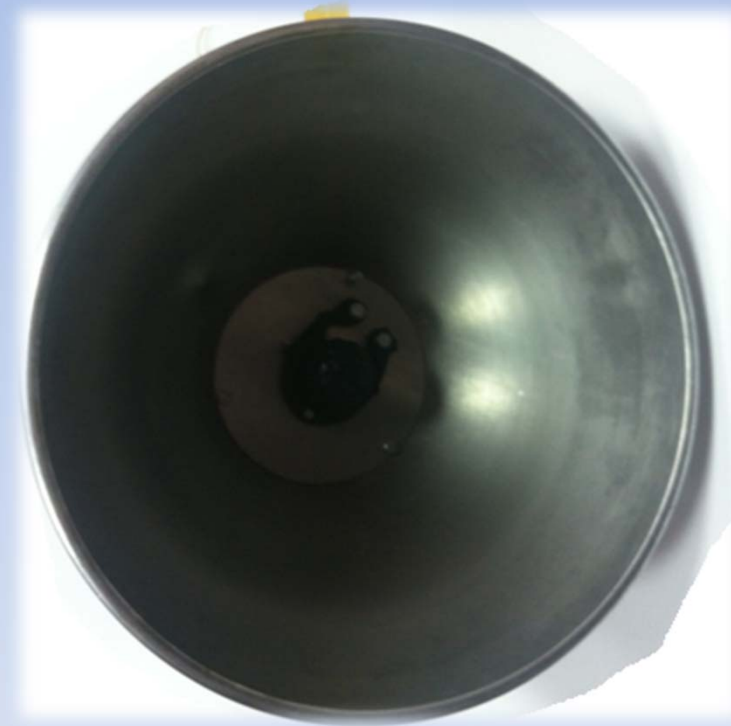
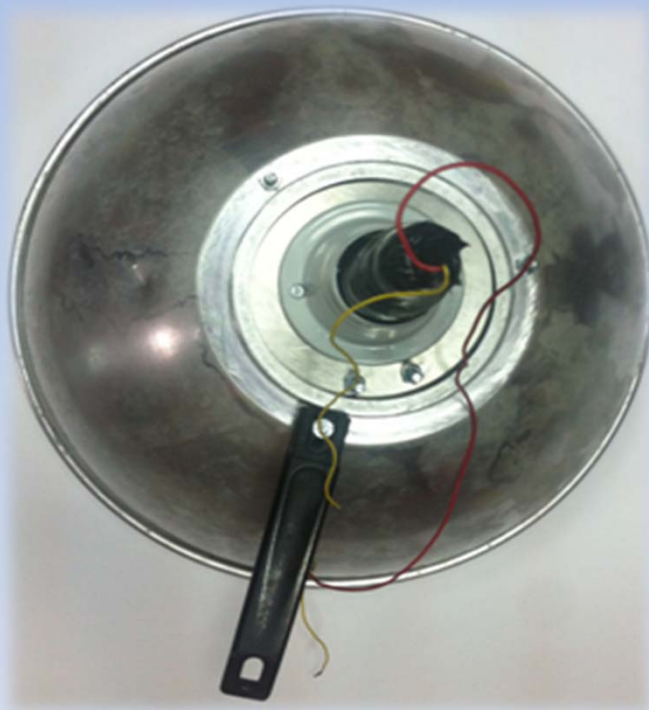
REFLECTOR PARABÓLICO



REFLECTOR PARABÓLICO

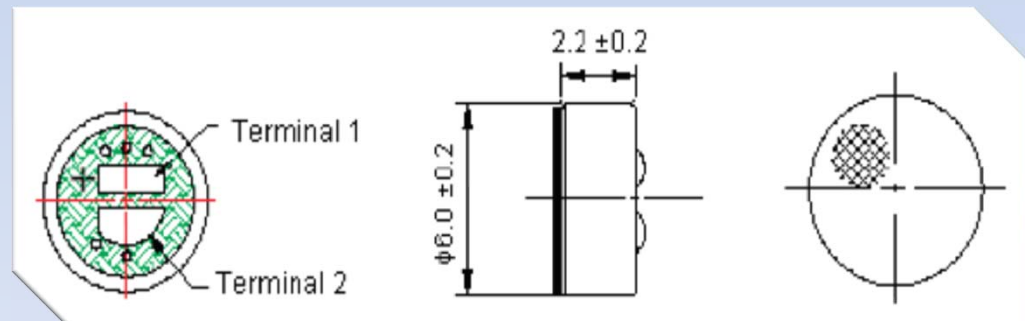


REFLECTOR PARABÓLICO



MICRÓFONO ELECTRET

- NECESITA POLARIZACIÓN: $V_{\text{ESTÁNDAR}}=2\text{V}$, $V_{\text{MÁX}}=10\text{V}$.
- OMNIDIRECCIONAL (AISLADO SONORO, UNIDIRECCIONALIDAD).
- SENSIBILIDAD = -42dB.
- $I_{\text{MÁX}} = 0,5 \text{ mA}$.
- $Z_{\text{SALIDA}} < 2,2 \text{ k}\Omega$.

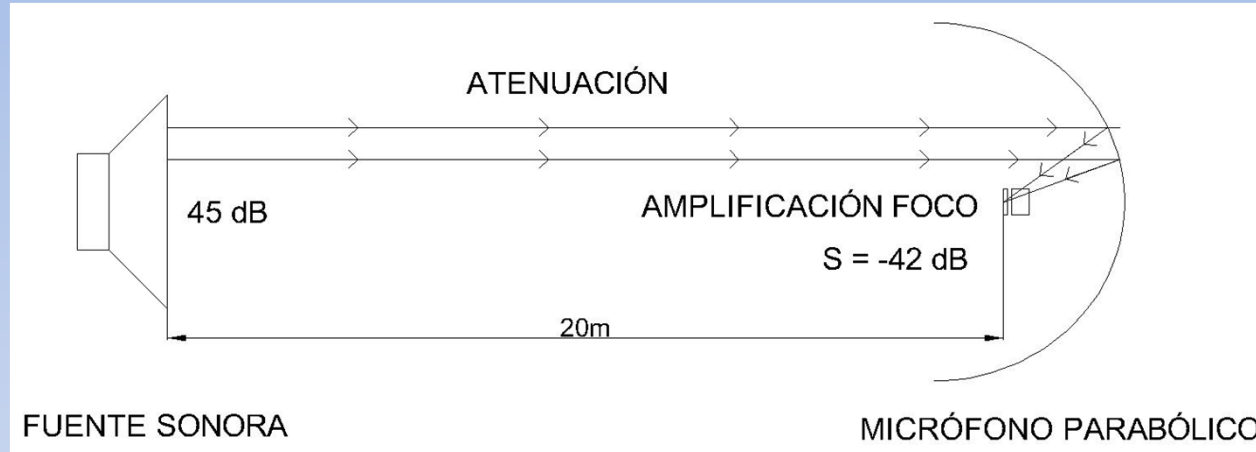


PARTE ELECTRÓNICA

- Cálculo amplificación necesaria.
- Circuito electrónico:
 - Alimentación $\pm 9V$.
 - Polarización del micro electret.
 - Tratamiento de la señal.

CÁLCULO AMPLIFICACIÓN

- Sistema:



- Dos partes:

- Parte mecánica: Fuente sonora + atenuación + amplificación foco + transducción en el micrófono y obtención de señal eléctrica.
- Parte eléctrica: Tratamiento señal eléctrica para conseguir potencia suficiente para escuchar en los auriculares.

CÁLCULO AMPLIFICACIÓN

PARTE MECÁNICA

- ALCANCE 20m.
- 45 dB: Nivel sonoro aproximado de una conversación.
- Atenuación con la distancia.
- Amplificación en el foco.
- Capacidad transducción micrófono: obtención de señal eléctrica.

CÁLCULO AMPLIFICACIÓN

- Atenuación: $L_p = L_w - 20 \log r - 11$
Para 20 m y 45 dB: $L_p = 45 - 20 \log r - 11 = 8 \text{ dB}$

- Modelo de Wahlström:

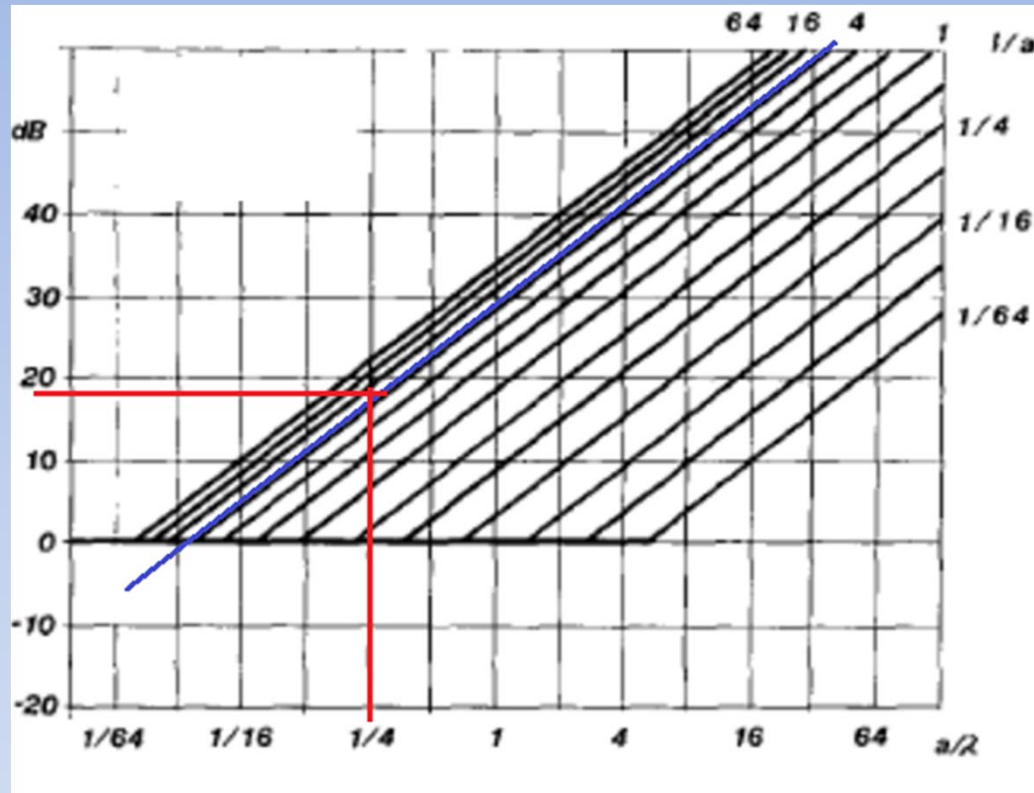
$l = 0,3\text{m}$, $a = 0,08 \text{ m}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $f = 1000 \text{ Hz}$:

$$v = \frac{\lambda}{T}; f = \frac{1}{T} \rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{1000 \text{ s}^{-1}} = 0.34 \text{ m}$$

$$\frac{a}{\lambda} = \frac{0.08 \text{ m}}{0.34 \text{ m}} = 0.24 \simeq \frac{1}{4}$$

$$\frac{l}{a} = \frac{0.3}{0.08} = 3.75 \simeq 4$$

CÁLCULO AMPLIFICACIÓN



- Gráfica: Amplificación en el foco ≈ 19 dB.
- Nivel sonoro en el micrófono: $8 + 19 = 27$ dB.

CÁLCULO AMPLIFICACIÓN

- 27 dB de nivel sonoro en el micrófono.

$$27 \text{ dB} = 20 \log \frac{P}{2 \cdot 10^{-5}} \rightarrow P = 4.48 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$$

- 1V \rightarrow 1 Pa; 0,448 mPa \rightarrow 0,448 mV.
- A la salida del micrófono tendré 0,448 mV.

CÁLCULO AMPLIFICACIÓN

PARTE ELÉCTRICA

- Necesito 45 dB de potencia en los auriculares. (Rendimiento transducción 75%).

$$60dB = 10\log \frac{W}{1 \cdot 10^{-3}} \rightarrow W = 1000mW$$

- Resistencia auriculares, 32 Ω :

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow V = \sqrt{P \cdot R} \rightarrow V = 178,89mV$$

- En el micrófono obtengo: 0,448 mV; necesito: 178,89 mV:

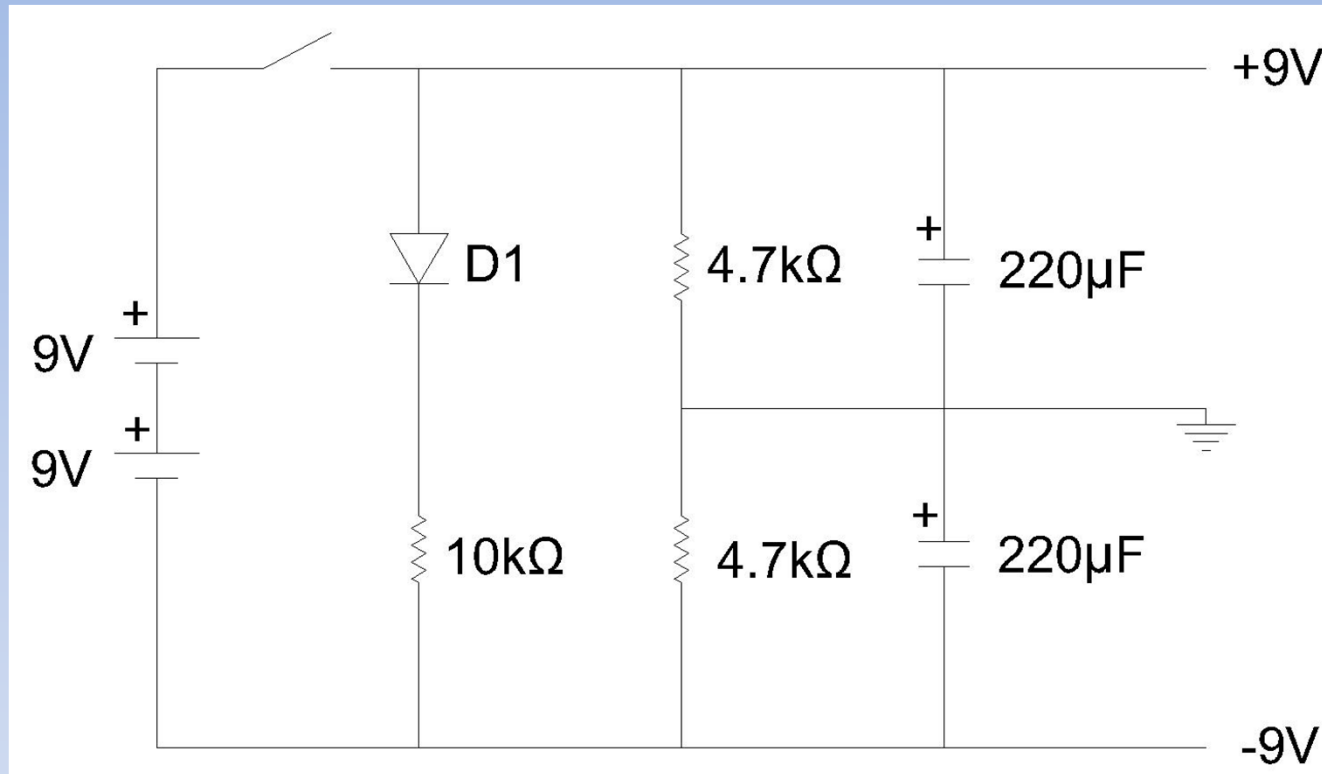
$$G = \frac{178,89mV}{0,448mV} \rightarrow G = 400$$

TRATAMIENTO DE LA SEÑAL

- Circuito obtención $\pm 9V$ para alimentación de los componentes.
- Polarización del micrófono.
- Dos etapas de amplificación:
 - Primera etapa poca ganancia: no amplificar mucho el ruido para filtrar la señal. $G = 3$.
 - Segunda etapa: una vez filtrada, amplificar la señal “limpia” hasta el nivel necesario. $G = 150$.

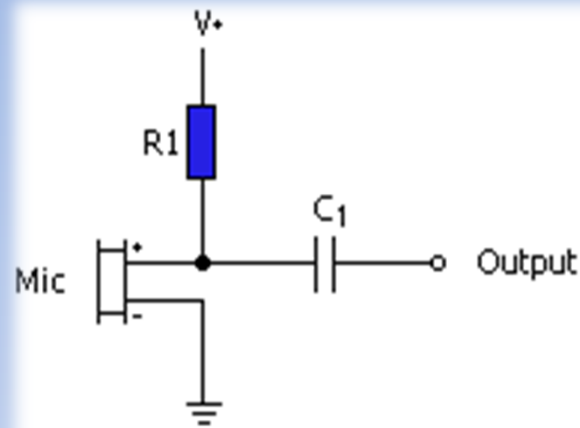
Ganancia total = 450.
- Filtrado.

CIRCUITO OBTENCIÓN $\pm 9V$



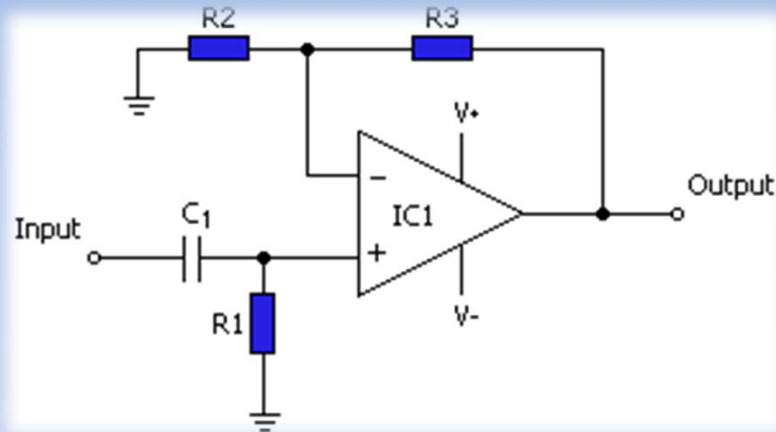
- Divisor de tensión en las resistencias 4,7 kΩ.
- Condensadores para desacoplar la fuente y crear la tierra virtual.
- Diodo indicador de que el circuito está en funcionamiento.

POLARIZACIÓN DEL MICRÓFONO



- $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 3,3 \text{ }\mu\text{F}$.
- Caída de tensión en la resistencia para conseguir la tensión de polarización.
- C_1 bloqueo de la componente continua.

PRIMERA ETAPA DE AMPLIFICACIÓN



$$G = \frac{R_2 + R_3}{R_2}$$

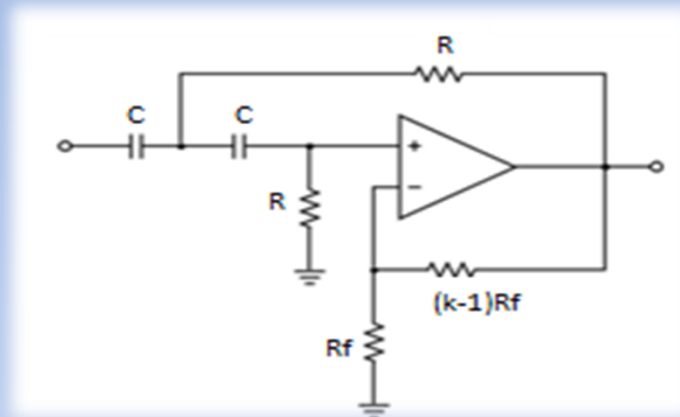
- Dos canales de amplificación
- Amplificación ganancia = 3:

$R_2 = 1,5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega \rightarrow$ Estándar $3,3 \text{ k}\Omega$.

FILTRADO

- Diferentes pruebas con filtro paso-alto y filtro paso-bajo a diferentes frecuencias de corte.
- $f_c = 500\text{Hz}, 1\text{ kHz}, 2\text{ kHz}$.
- Filtro paso-alto, $f_c = 1\text{ kHz}$.
- Célula Sallen-Key.

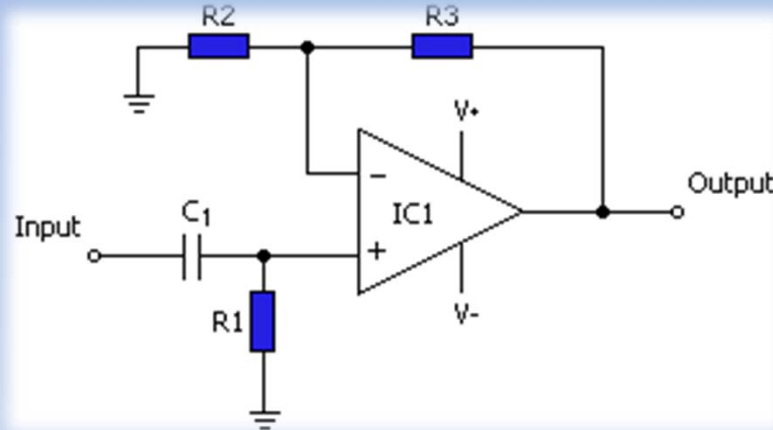
CIRCUITO Sallen-Key



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

- $f_c = 1 \text{ kHz} \rightarrow C = 1 \text{ nF}$ (valor arbitrario).
- $R = 160 \text{ k}\Omega$, tabla $\rightarrow k = 1,586$:
 - $R_f = 100 \text{ k}\Omega$
 - $(k-1)R_f = 58,6 \text{ k}\Omega$
- Filtrado por ambos canales.

SEGUNDA ETAPA DE AMPLIFICACIÓN



$$G = \frac{R_2 + R_3}{R_2}$$

- Dos canales de amplificación
- Amplificación ganancia = 150:

$R_2 = 1,5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 223,5 \text{ k}\Omega \rightarrow$ Estándar $220 \text{ k}\Omega$.

FIN DE PRESENTACIÓN

- GRACIAS POR VUESTRA ASISTENCIA

- ¿¿PREGUNTAS??



- PRUEBA DEL PROTOTIPO.