



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

---

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
TRANSDUCTOR EÓLICO**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**INGENIERO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO**

PRESENTAN:

**CEJA PINEDA JESÚS FRANCISCO  
CUEVAS MEMBRILLO JONATHAN ISAAC  
MARTÍNEZ MORENO ALBERTO  
REYES MARTÍNEZ JOSÉ ADÁN  
SÁNCHEZ ESPINOSA ISRAEL**



DIRECTORA DE TESIS  
**M.I. NORMA ELVA CHÁVEZ RODRÍGUEZ**

CIUDAD UNIVERSITARIA

NOVIEMBRE 2009

---

---

El inventor agradece a los autores de esta tesis el apoyo para hacer posible la construcción y esta documentación profunda de su invento la cual brinda un valor agregado al Transductor Eólico.

Es importante mencionar que la idea y el diseño de los diagramas del Transductor Eólico, son propiedad y autoría de Daniel Aspuru Guzik. La idea de realizar este invento surge a partir de la experiencia del inventor en el ámbito de la música combinado con su experiencia en el manejo de la electrónica aplicada al arte. La electrónica de este invento es única y está protegida a favor de su autor intelectual Daniel Aspuru. Durante el proceso de realización de este invento, apoyado por el Fondo Nacional para la Cultura y las Artes en su programa Jóvenes Creadores en su edición 2004, el inventor agradece a los autores de esta tesis su colaboración para el efecto de la construcción, documentación y creación del marco teórico de este invento.

Para más información del invento y contacto directo con el autor, se recomienda visitar la página de internet [www.danielaspuru.com](http://www.danielaspuru.com) y el correo electrónico [daspuru@gmail.com](mailto:daspuru@gmail.com).

---

---

## AGRADECIMIENTOS:

Quiero dedicar esta tesis a la mujer más hermosa de este planeta a ti moxita Alondra Yatziri Cuevas Cisneros que eres mi fuente de inspiración para lograr este y muchos más objetivos.

Mi más grande agradecimiento al “Doc” Daniel Aspúru Guzik por haberme permitido ser parte de este proyecto y poder presentar este trabajo, por todas tus enseñanzas, reflexiones y por hacerme creer en el destino.

Agradezco también a mi asesora la profesora Norma Elva Chávez Rodríguez por su guía, sus consejos y todo su apoyo para la realización de este trabajo de Tesis.

A la UNAM y a la Facultad de Ingeniería por toda mi formación tanto profesional como moral y personal desde que era un adolescente hasta este momento de mi vida, por brindarme tantas amistades, conocidos, amores y desamores, por darme un camino y una guía. Te lo agradezco UNAM, te lo debo todo. ¡Bendita Universidad!. ¡Gooya. gooya.....Universidad!.

A ti Margarita por todo tu apoyo, amor, cariño y comprensión en estos difíciles años y por brindarme la dicha de tu presencia y darme el regalo más hermoso del mundo que es nuestra hija. Te amo.

A ti “Mamá Chabela” por tus cuidados, por tomarme de la mano en mis primeros pasos y haberme brindado tu amor, tu cariño, tus valores y esta hermosa familia. Por haber sido siempre un apoyo en mi vida cuando más lo he necesitado y ser siempre parte de mí.

A mis padres Amelia y Joaquín por haberme dado la vida, una educación, una familia y haberme guiado en este difícil y duro camino de la vida. Gracias por todo su apoyo y comprensión en estos 28 años.

A ti “May”(Miguel Ángel) por brindarme siempre y a cada momento tú apoyo y enseñarme a ser un hombre de bien. Esto es también para ti. A toda la familia Cuevas (para no omitir a nadie).

A Israel ¡mi amigo! Amigo, este logro es de los 2 después de 23 años juntos. Aunque me hayas copiado siempre. Gracias Isra por tu sincera e incondicional amistad desde la cuna. ¡Arriba las Chivas! . ¡Vino mujeres y orgía!

A mis hermanos Ivan y Jocelyn por su cariño y amor para conmigo, su compañía y por hacerme parte de nuestra familia.

A mis compañeros Adán, Paco y Alberto por ayudarme a lograr esta meta. ¡Mucho éxito!

A todos mis amigos (Ufff!) ¿Por quién empezar?: ¡Al Master Serch!, amigo, gracias por estar siempre ahí al pie del cañón, por enseñarme ambos lados de la Fuerza (jajaja). Al Panzas (Eduardo Gutiérrez) por todas las noches en vela que pasamos en el banquito de las penas jejeje. A Sol por todos sus consejos, a Nasheli por aguantarme siempre, a Lili por todos los momentos lindos a tu lado, Alín (amigocho) y a mi pandawin Nidia (ánimo tú también lo lograrás). Al “Nayarita” y sus secuaces, Hugo, Esteban, Morris y todo Manchester, a mi amigo Mike y toda la banda del Kaguama Mecánica. A mi amigo Paul y a todos los primos de la secundaria. A mi compadre Jair, por todos los goles que metió con mis pases de fantasía (los milimétricos) y todas las horas libres que nos tomamos. A todos mis amores prohibidos.

A ti Perla, por una tercera parte de mi vida junto a ti. ¡Sé feliz!, Podéis ir en paz, el acoso ha terminado. Ya puedes ser mencionada.

Al tenis –el deporte más hermoso del mundo- Gracias Roger Federer por estas 5 finales de ensueño y al deporte en general. Al Ajedrez. A los más de 300 Pokémon por brindarme tantos ratos agradables, a los Caballeros del Zodiaco, a Naruto, Claymore y a Kevin Arnold. Al Dr. House por sus infinitas enseñanzas, a la Fuerza por llevarme a conocer ambos lados y mostrarme que en la vida siempre debe haber un equilibrio. A los bailes y todos los grupos románticos: Temerarios, Bryndis, Los Acosta, etc, A toda la música en general. Gracias a contraanálisis por cambiar mi vida.

JONATHAN ISAAC

---

---

**AGRADECIMIENTOS:**

Agradezco a mi esposa Adriana, a mis hijas Ana Mercedes, Carmen y Andrea por el apoyo.

Por su paciencia a la maestra Norma Elva Chávez Rodríguez.

ALBERTO

---

---

## **AGRADECIMIENTOS:**

Dedico esta tesis a mi madre Silvia Espinosa Mejía, ya que sin su apoyo esto no hubiera sido posible. ¡Gracias mamá!

Agradezco a mi abuelita Adela Mejía García por todas sus enseñanzas.

A mi hermano Francisco de Jesús Ríos Espinosa ya que es un ejemplo de dedicación y esfuerzo a seguir.

Quiero agradecer especialmente a la familia Flores Ibarra ya que en momentos muy difíciles he contado con su apoyo.

Karla te agradezco infinitamente cada momento de tu vida a mi lado. ¡Gracias por todo!

Por último quiero agradecer a toda mi familia y a todos mis amigos.

Muchas gracias maestra Norma Elva Chávez Rodríguez por el apoyo que nos dio en la realización de este trabajo.

Gracias a Dios por la dicha de mi vida y por darme sabiduría y entereza para realizar este trabajo.

ISRAEL

---

---

## **AGRADECIMIENTOS:**

Gracias a Dios ante todo por haberme dado una familia que me ha apoyado en todo y porque en los momentos más difíciles nunca nos ha abandonado, su providencia siempre estará con nosotros.

Gracias a mi madre por sacarnos adelante aun en las situaciones más difíciles, por su valentía, amor, entusiasmo, cansancio y sobre todo por la paciencia que siempre me ha tenido. Te quiero mucha madre.

Gracias a mis hermanos y sobre todo a mis hermanas por su apoyo y sacrificio para que saliéramos adelante por renunciar a tantas cosas por amor a la familia. Siempre estaré contento y orgulloso de ustedes.

Gracias a todas las personas que nos han tendido la mano en el trayecto de nuestra vida, creo que son bastantes y eso me estimula a ayudar de la misma manera a quien lo necesité. A mis amigos por el apoyo, comprensión y su amistad incondicional, a mi tía Gloria por sus consejos y cariño,

Gracias a Viridiana por su Amor y comprensión durante todo este tiempo, por apoyarme para ser cada vez más una mejor persona.

A mis profesores , especialmente a mi asesora la profesora Norma Elva por su apoyo en la realización de este trabajo

Cada día le agradezco a Dios por ponerlos en mi vida .

ADÁN

---

---

## **AGRADECIMIENTOS:**

Gracias Mamá por ayudarme a lo largo de toda la vida cuando niño, en mi juventud y aún ahora sé que cuento en todo momento contigo, por ser siempre un apoyo en toda mi vida por las fuerzas que impregnaste en los objetivos que me fui planteando y aunque a veces teníamos algunas diferencias siempre fueron superadas. Gracias José.

A mis tres hermanas Mimi Alejandra y Rebeca por compartir algunos de los momentos más grandes de mi existencia. Y ahora también a todos mis sobrinos Alex, Reycito, Mariana, y Emmanuel Bebé. Esperando que todos lleguen a cumplir sus metas por difíciles que estas sean

A mis Primas Hilda, Lulú y José por ser en ocasiones como unas segundas hermanas.

A los seres que ya no están con nosotros pero que sin sus momentos de vida no hubiese sido posible madurar y vivir mi niñez. Gracias Abuelitos dónde quiera que se encuentren. Gracias también a ti Tio Nico.

**JESUS FRANCISCO CEJA PINEDA**

---

---

**ÍNDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>I</b>
---------------------	----------

**CAPÍTULO 1  
TRANSDUCTORES Y TEORÍA DE ONDAS ACÚSTICAS**

<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.2 EL TRANSDUCTOR EÓLICO</b>	<b>1</b>
<b>1.3 DEFINICIÓN Y TIPO DE TRANSDUCTORES</b>	<b>2</b>
1.3.1 Definición	2
1.3.2 Tipos de transductores	2
<b>1.4 TIPOS DE ONDAS Y SUS CARACTERÍSTICAS</b>	<b>4</b>
1.4.1 Definición	4
1.4.2 Tipos de Ondas	5
<b>1.5 SONIDO Y ONDAS SONORAS</b>	<b>6</b>
1.5.1 Sonido	6
1.5.2 Características físicas del sonido	7
<b>1.6 TRANSDUCTORES EN EL TRANSDUCTOR EÓLICO</b>	<b>11</b>
1.6.1 Micrófono	11
1.6.2 La electroválvula.	17

**CAPÍTULO 2  
AMPLIFICADOR OPERACIONAL Y PIC**

<b>2.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>22</b>
<b>2.2 EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL</b>	<b>23</b>
2.2.1 Amplificador Operacional Ideal	23
2.2.2 Configuraciones Básicas Utilizadas	25
2.2.3 Parámetros Generales	27
<b>2.3 SEÑALES ELÉCTRICAS ANALÓGICA Y DIGITAL</b>	<b>29</b>
2.3.1 Manejo de la señal eléctrica analógica	31
<b>2.4 CONVERTIDORES DIGITAL/ANALÓGICOS</b>	<b>37</b>
<b>2.5 PIC</b>	<b>42</b>

---

## **CAPÍTULO 3 SEÑALES DE AUDIO**

<b>3.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>46</b>
<b>3.2 SEÑALES DE AUDIO</b>	<b>49</b>
<b>3.3 AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES DE AUDIO</b>	<b>54</b>
<b>3.4 CONTROL DE SEÑALES DE AUDIO</b>	<b>59</b>
<b>3.5 DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES DE AUDIO</b>	<b>63</b>
3.5.1 Ancho de Banda	64
3.5.2 Frecuencia	65
<b>3.6 CONVERSIÓN DE SEÑALES DE AUDIO</b>	<b>67</b>

## **CAPÍTULO 4 SECCIÓN NEUMÁTICA**

<b>4.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>71</b>
<b>4.2 VÁLVULAS</b>	<b>72</b>
4.2.1 Válvula de control	73
4.2.2 Clasificación de válvulas	75
4.2.3 Válvulas reguladoras de presión	75
<b>4.3 COMPRESORES</b>	<b>78</b>
4.3.1 Tipos de Compresores	79
4.3.2 Funcionamiento	82
<b>4.4 BAMBÚES</b>	<b>84</b>
4.4.1 Características distintivas de los Bambúes	85
4.4.2 Localización de los Bambúes	86

---

## **CAPÍTULO 5 CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DEL TRANSDUCTOR EÓLICO**

<b>5.1 DESCRIPCIÓN</b>	<b>87</b>
<b>5.2 SECCIONES DEL TRANSDUCTOR EÓLICO</b>	<b>93</b>
5.2.1 Sección de Entrada	93
5.2.2 Sección Display	94
5.2.3 Sección de Alimentación	95
5.2.4 Sección de Distribución	97
5.2.5 Sección Panel de Control	100
5.2.6 Sección Digital	100
5.2.7 Sección Analógica	103
5.2.8 Sección de Potencia	103
5.2.9 Sección Neumática	105
5.2.10 Sección de Salida	106
<b>5.3 ELECTRÓNICA DEL PANEL</b>	<b>107</b>
5.3.1 Sección Naranja	108
5.3.2 Sección Café	108
5.3.3 Sección Verde	110
5.3.4 Sección de Control	
<b>5.4 ACOPLAMIENTO</b>	<b>112</b>
<b>5.5 IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>113</b>

## **CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

<b>6.1 CONCLUSIONES</b>	<b>117</b>
<b>6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y MEJORAS</b>	<b>118</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>119</b>

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente proyecto tiene como finalidad el diseño, construcción y creación de un marco teórico de un instrumento musical llamado transductor eólico que convierte ondas acústicas en señales de audio y a su vez en un flujo de aire que produce sonidos en unos bambúes resonantes, de tal modo que se pueda ofrecer una alternativa a la música electrónica moderna a través de un instrumento electrónico musical de alta tecnología, con un sonido único y peculiar que pueda usarse en conciertos, espectáculos y exhibiciones.

El transductor eólico utiliza un micrófono o cualquier instrumento musical como fuente de energía de ondas acústicas (señales de audio), las cuales se convierten en un flujo de aire por medio de un complejo sistema electro-neumático produciendo sonidos resonantes dentro de ocho pipas de bambú. En el instrumento cada músico posee posibilidad de controlar el sistema, grabar patrones, reproducirlos y cambiarlos, todo esto sin presionar ningún botón.

En el primer capítulo se da una breve explicación de lo que son los transductores y de la teoría de ondas acústicas para que el lector se involucre en las distintas formas de transmisión de sonido y los distintos tipos de válvulas y electroválvulas que se manejan.

En el segundo capítulo se muestra una introducción a los conceptos básicos de los amplificadores operacionales y de la conversión analógica-digital que se utilizaron en el proyecto así como del manejo de los PIC.

En el tercer capítulo se tiene una descripción del manejo de señales de audio así como sus diferentes subdivisiones; así mismo se menciona su manejo matemático mediante la teoría de muestreo.

En el cuarto capítulo se hace referencia a la sección neumática del proyecto abarcando el manejo y funcionamiento de válvulas reguladoras de presión y diferentes tipos de compresores. También en este capítulo se describe la localización y características distintivas de los bambúes.

En el quinto capítulo se desarrollan las distintas secciones que conforman el transductor eólico las cuales son: sección analógica-digital, sección de potencia, sección de alimentación, neumática, así como la de entrada y salida.

Finalmente en el sexto capítulo se presentan las conclusiones del proyecto y se plantean algunas mejoras que se pueden realizar.

## CAPITULO I

### TRANSDUCTORES Y TEORÍA DE ONDAS ACÚSTICAS

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, el hombre ha buscado la forma de conocer, inicialmente, los fenómenos naturales y cómo estos se comportan, mientras avanzaba en sus observaciones empezó a tener la necesidad de medir variables físicas y de otra índole como son el tiempo y la temperatura, así fue creando instrumentos que lo ayudaron en sus observaciones.

De esta manera con los adelantos y descubrimientos de la ciencia han surgido necesidades para medir e interpretar con precisión muchos parámetros como son temperatura, presión y tiempo y por lo mismo se han creado los transductores, aparatos que sirven para conocer las características de un medio y para controlar sus condiciones obteniendo un resultado predeterminado.

En la actualidad existe tal cantidad de transductores de excelentes características que se han empezado a utilizar en aplicaciones para las que no fueron específicamente diseñados y se pueden idear muchas aplicaciones más para conseguir una mejor calidad en algún proceso o para facilitar determinado trabajo.

Los aparatos electrónicos para música o sonido se pueden clasificar en: generadores, procesadores, grabadores, reproductores y transductores. Cada uno de ellos tiene una misión determinada: los generadores producen un sonido, los procesadores lo modifican, los grabadores lo almacenan en un medio determinado para su posterior reproducción en los reproductores. Lo que tienen todos en común, es que operan o producen sonido no como onda de presión, sino como una representación de esta en forma de fluctuación de tensión eléctrica. El enlace entre ambas se realiza mediante transductores.

#### 1.2 EL TRANSDUCTOR EÓLICO

Este proyecto de tesis se basa en crear música a partir de ondas acústicas mediante la generación, manejo, amplificación y transducción de señales eléctricas a presión de aire mediante el uso de un sistema electrónico-neumático en donde se utilizan varios transductores como el micrófono y la electroválvula.

##### **Descripción**

El transductor eólico es un instrumento que fue construido para ser usado en presentaciones, conciertos y exhibiciones. Es una obra de arte tanto electrónica como musical cuyo fin es ofrecer un espectáculo variado, novedoso e interesante a quien lo escucha ya que hace de la música el lenguaje de comunicación entre los músicos, el transductor eólico y el público.

Los músicos en el escenario son los que controlan al transductor eólico desde sus instrumentos musicales. El Transductor Eólico es un instrumento electrónico, neumático y acústico que convierte señales de audio cualesquiera en flujo de aire. Este flujo produce sonidos resonantes dentro de ocho pipas de bambú. Las resonancias armónicas producidas dentro de los bambúes generan timbres reminiscentes a músicas ancestrales, o música clásica. Estos diferentes timbres combinados con la velocidad y la perfección de la alta tecnología crean un sonido único e inigualable.

Un simple micrófono, o cualquier instrumento musical es una fuente infinita de posibilidades para controlar el sistema. Los músicos tienen distintas posibilidades para controlar el sistema al seleccionar tanto diversas entradas como salidas requiera o desee. Ellos también pueden ejecutar el transductor eólico a través de sus instrumentos, grabar patrones musicales, reproducirlos y cambiarlos, todo esto sin presionar ningún botón. Solo a través de un panel de control que se maneja a voluntad y gusto del músico.

### 1.3 DEFINICIÓN Y TIPOS DE TRANSDUCTORES

#### 1.3.1 Definición

Se llama transducción a la transformación de una determinada señal o estímulo exterior a otra señal o respuesta específica. Un transductor es un dispositivo capaz de convertir una señal de entrada de un tipo de energía en otro tipo de energía diferente a la salida.

La base es sencilla, se puede obtener la misma información de cualquier secuencia similar de oscilaciones, ya sean ondas sonoras, vibraciones mecánicas de un sólido, corrientes y voltajes alternos en circuitos eléctricos, vibraciones de ondas electromagnéticas o las marcas permanentes grabadas en un disco o una cinta magnética.

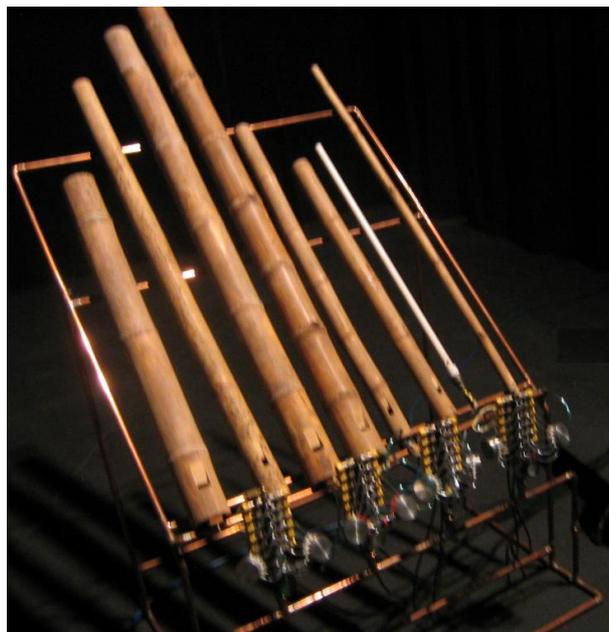
En electrónica la transducción es la transformación de cualquier tipo de estímulo de un medio mecánico o físico a una señal eléctrica o viceversa por medio de un transductor.

#### 1.3.2 Tipos de transductores

Existen diferentes tipos de transductores, según la aplicación que se les dará, de manera general se pueden clasificar principalmente en:

- **Electroacústico:** Convierte la energía mecánica de las ondas acústicas en una señal eléctrica y viceversa. Los más conocidos son el micrófono y la bocina
- **De Presión:** Convierte la presión de cierto medio en una señal ya sea mecánica o eléctrica. Por ejemplo: El tubo de Bourdon que por medio de un tubo de sección elíptica en forma de anillo y cerrado por un extremo y que al aumentar la presión interna del tubo tiende a estirarse, generando un movimiento que se transmite a la aguja indicadora y los transductores capacitivos en los que hay una variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión.

- **De Temperatura:** Nos indica la temperatura de un elemento, por ejemplo el de mercurio que consta de un tubo de vidrio al vacío y según la temperatura del medio el mercurio se expande dando así la lectura y el termistor, que mediante un semiconductor varía la resistencia del circuito.
- **Piezoeléctricos:** Este tipo de transductores se utilizan principalmente en ultrasonidos, acelerómetros, sistemas de sonar. En donde la fricción entre las partículas del material (titanio de bario, cuarzo, cerámica, poliéster, carbón) generan sobre la superficie del mismo una tensión eléctrica.
- **Electrodinámicos:** Que constan de una bobina que se desliza dentro de un imán fijo, lo que genera un campo electromagnético.
- **Electrostáticos:** Que constan de una membrana ó diafragma que al moverse dentro de dos placas entre las que se encuentra (condensador), genera una corriente eléctrica.
- **Optoelectrónicos:** Gracias al adelanto de la ciencia, se han creado una gran cantidad de este tipo de transductores, como el LED (Light Emitter Diode) que emite luz, el diodo láser, el LCD (Liquid Crystal Display) display de cristal líquido, fototransistores que responden a la luz, optoacopladores que se pueden manejar señales tanto digitales como analógicas.
- **Eólico:** Este tipo de transductor es único en su género ya que a partir de una señal eléctrica analógica y mediante un complejo sistema electrónico-neumático, se consigue un sonido específico. En la figura 1.1 se observan los bambúes del transductor eólico.



**Figura 1.1 Transductor Eólico.**

## 1.4 TIPOS DE ONDAS Y SUS CARACTERÍSTICAS

### 1.4.1 Definición

Una onda se define como una perturbación u oscilación periódica que se desplaza a través de un medio, material o incluso en el vacío transportando energía de un lugar a otro a medida que avanza y que se define por su amplitud, fase y frecuencia. Las ondas se clasifican según el medio de propagación, su frente de onda, la dirección de la perturbación y según su periodicidad.

### 1.4.2 Tipos de Ondas

Atendiendo a sus características, las ondas se pueden clasificar según:

#### El medio de propagación

- **Ondas Mecánicas:** Se propagan en un medio elástico (sólido, líquido o gas) haciendo que las partículas del medio oscilen alrededor de un punto fijo. La velocidad de propagación depende de las características del medio como son: homogeneidad, elasticidad, densidad y temperatura. Las ondas mecánicas pueden ser: elásticas, sonoras y de gravedad.
- **Ondas Electromagnéticas:** Estas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio. Esto es porque las ondas son producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico, en relación con un campo magnético asociado. Estas ondas viajan a una velocidad alrededor de 300,000 Km /s.
- **Ondas Gravitacionales:** Son perturbaciones que alteran la geometría misma del espacio-tiempo.

#### El frente de onda

- **Ondas Unidimensionales:** Son aquellas que se propagan a lo largo de una sola dirección del espacio, como en una cuerda. Si la onda se propaga en una dirección única, sus frentes de onda son planos y paralelos.
- **Ondas Bidimensionales o Superficiales:** Son aquellas ondas que se propagan en dos direcciones. Pueden propagarse en cualquier dirección de una superficie. Por ejemplo las que se producen en una superficie líquida al dejar caer una piedra en ella.
- **Ondas Tridimensionales o Esféricas:** Son las ondas que se propagan en tres direcciones, conocidas también como esféricas, porque sus frentes de onda viajan como esferas concéntricas que salen de la fuente generadora expandiéndose en todas direcciones. Son tridimensionales las ondas sonoras y las electromagnéticas.

#### La dirección de la perturbación

- **Ondas Longitudinales:** Se caracterizan porque las partículas del medio vibran paralelamente a la dirección de la propagación.
- **Ondas Transversales:** Se caracterizan porque las partículas del medio vibran perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.

## Su periodicidad

- **Ondas Periódicas:** La perturbación que las origina se produce en ciclos repetitivos. Como puede ser una onda senoidal.
- **Ondas No Periódicas:** Las perturbaciones que las originan tienen propiedades diferentes y aisladas. Pueden llamarse también pulsos.

### 1.4.3 Características de las Ondas

Las características más relevantes de las ondas son la reflexión y la refracción

#### Reflexión

Cuando una onda incide sobre la superficie de separación entre dos medios diferentes, una parte de su energía se transmite al segundo medio en forma de una onda transmitida de características similares a la incidente, mientras que otra parte de la energía incidente rebota en dicha superficie y se propaga hacia atrás, al primer medio, para constituir una onda reflejada. Este fenómeno se denomina reflexión y es común tanto a las ondas mecánicas como a la luz y otras ondas electromagnéticas.

#### Refracción

Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio a otro distinto. Este cambio de dirección se produce como consecuencia de la diferente velocidad de propagación que tiene la onda en ambos medios. Solo se produce si la onda choca oblicuamente sobre la superficie de separación y si los medios tienen índices de refracción distintos.

El índice de refracción es la relación entre la velocidad de la onda en el medio de referencia y su velocidad en el medio que se trate. En las figuras 1.2a y 1.2b se muestran estos fenómenos.

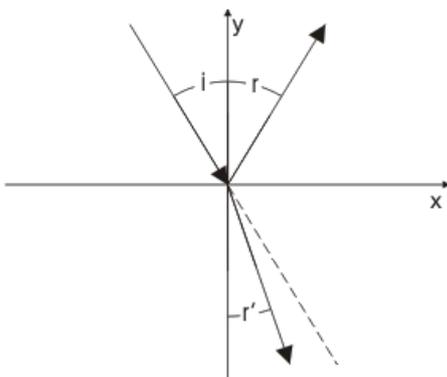


Figura 1.2.a. Refracción de una Onda.

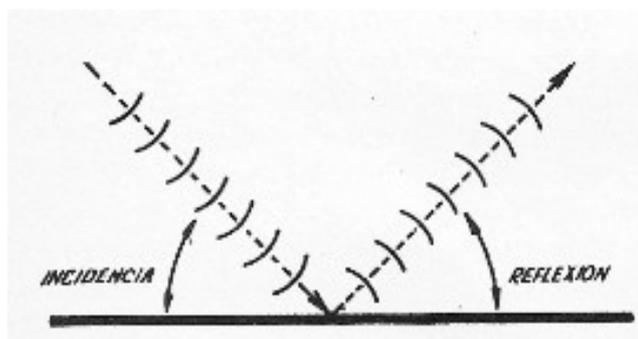


Figura 1.2.b. Reflexión de una onda

**Figura 1.2 Reflexión y refracción de una onda.**

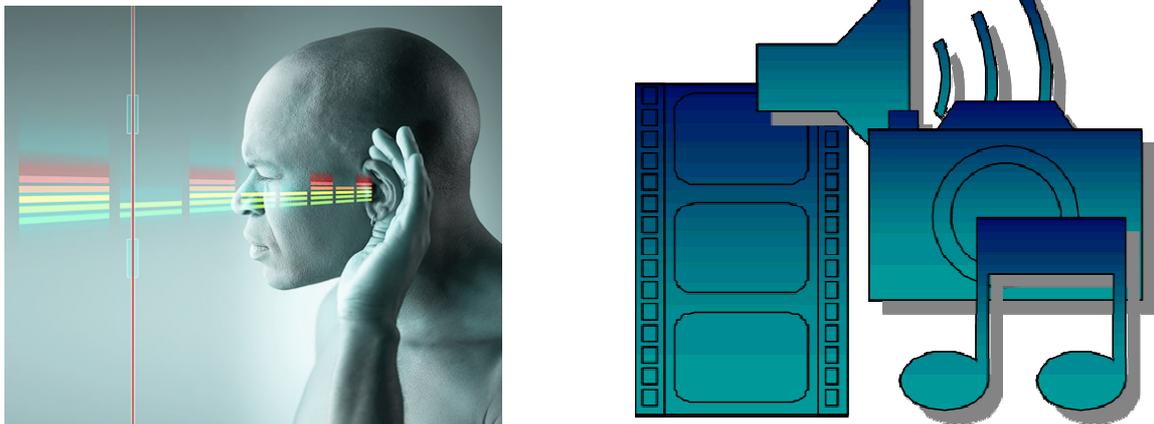
## 1.5 SONIDO Y ONDAS SONORAS

Las ondas sonoras constituyen un tipo de ondas mecánicas que tienen la virtud de estimular el oído humano y generar la sensación sonora. En el estudio del sonido se deben distinguir los aspectos físicos de los aspectos fisiológicos relacionados con la audición. Desde un punto de vista físico el sonido comparte todas las propiedades características del comportamiento ondulatorio, por lo que puede ser descrito utilizando los conceptos sobre ondas. A su vez el estudio del sonido sirve para mejorar la comprensión de algunos fenómenos típicos de las ondas. Desde un punto de vista fisiológico sólo existe sonido cuando un oído es capaz de percibirlo.

### 1.5.1 Sonido

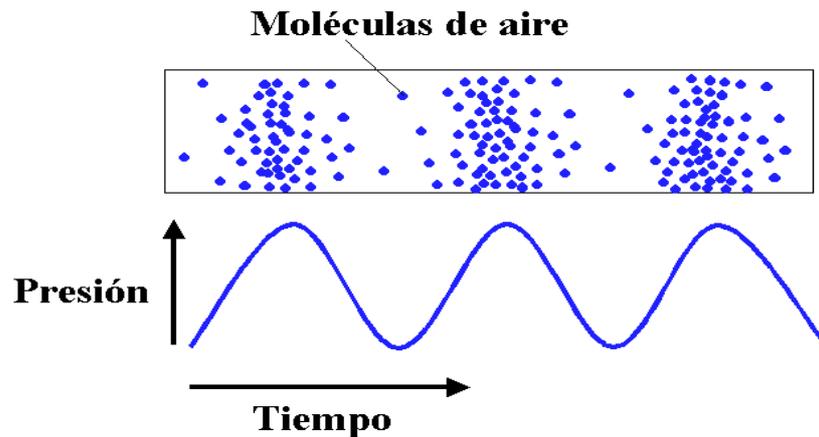
A pesar de la naturaleza diversa de las perturbaciones que pueden originar las ondas, todas tienen un comportamiento semejante. El sonido es un tipo de onda que se propaga únicamente en presencia de un medio que haga de soporte de la perturbación y es el resultado de una perturbación originada por los cambios de presión que se propagan en un medio elástico.

Por ejemplo cuando en alguna región del aire se produce una perturbación de presión, dicha región tiende a expandirse hacia las regiones vecinas. Esto produce a su vez una compresión en dichas regiones, que volverán a expandirse creando una compresión más lejos todavía. Este proceso se desarrolla en forma continua haciendo que la perturbación original se propague a través del aire alcanzando en algún momento la posición que ocupa algún receptor (por ejemplo un micrófono o un oído) como se ilustra en la figura 1.3. El exceso de presión característico de la perturbación descrita se denomina presión sonora.



**Figura 1.3 Representación del sonido en la naturaleza.**

El sonido se produce mediante un tipo de ondas longitudinales, esto es, las moléculas de un medio que vibran en la misma dirección de propagación como se muestra en la figura 1.4. El sonido es un fenómeno físico y la acústica es la ciencia que estudia sus propiedades y características.



**Figura 1.4 Moléculas de aire que vibran en una misma dirección.**

Una onda de sonido es una onda longitudinal. A medida que la energía del movimiento ondulatorio se propaga alejándose del centro de la perturbación, las moléculas de aire individuales que transmiten el sonido se mueven hacia delante y hacia atrás, de forma paralela a la dirección del movimiento ondulatorio. Por tanto, una onda de sonido es una serie de compresiones y enrarecimientos sucesivos del aire. Cada molécula individual transmite la energía a las moléculas vecinas, pero una vez que pasa la onda de sonido, las moléculas permanecen más o menos en la misma posición.

### 1.5.2 Características físicas del Sonido

Cualquier sonido, como una nota musical, puede describirse especificando tres características de su percepción: el tono, la intensidad y el timbre. Estas características corresponden a las tres características físicas: la frecuencia, la amplitud y la composición armónica o timbre. El ruido es un sonido complejo, una mezcla de diferentes frecuencias o notas sin relación armónica.

#### ➤ Frecuencia

La frecuencia de una onda de sonido es una medida del número de vibraciones por segundo de un punto determinado. Existen distintos métodos para producir sonido de una frecuencia deseada. Por ejemplo, un sonido de 440Hz puede crearse alimentando un altavoz con un oscilador sintonizado a esa frecuencia. Los sonidos de un altavoz y una sirena de la misma frecuencia tendrán un timbre muy diferente, pero su tono será el mismo, equivalente al *la* situado sobre el *do* central en un piano. El siguiente *la* del piano, la nota situada una octava por encima, tiene una frecuencia de 880Hz.

Las notas situadas una y dos octavas por debajo tienen frecuencias de 220 y 110Hz respectivamente. Por definición, una octava es el intervalo entre dos notas cuyas frecuencias tienen una relación de uno a dos.



La intensidad del sonido percibido es la propiedad que hace que éste se capte como fuerte o como débil, está relacionada con la intensidad de la onda sonora correspondiente, también llamada intensidad acústica.

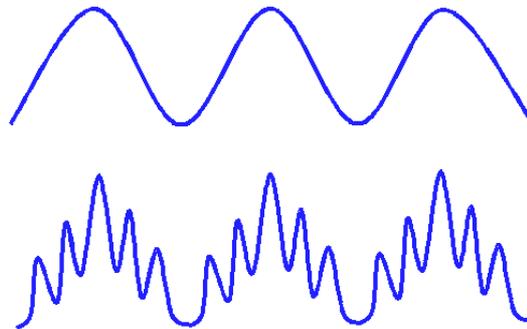
➤ **Timbre**

El timbre es la cualidad del sonido que permite distinguir sonidos procedentes de diferentes instrumentos, aun cuando posean igual tono e intensidad. Debido a esta cualidad es posible reconocer a una persona por su voz, que resulta característica de cada individuo.

El timbre está relacionado con la complejidad de las ondas sonoras que llegan al oído. Pocas veces las ondas sonoras corresponden a sonidos puros, sólo los diapasones generan este tipo de sonidos, que son debidos a una sola frecuencia y representados por una onda armónica. Los instrumentos musicales, por el contrario, dan lugar a un sonido más rico que resulta de vibraciones complejas como se puede observar en la figura 1.7.

Cada vibración compleja puede considerarse compuesta por una serie de vibraciones armónicas simples de una frecuencia y de una amplitud determinada, cada una de las cuales, si se considerara separadamente, daría lugar a un sonido puro. Esta mezcla de tonos parciales es característica de cada instrumento y define su timbre.

Debido a la analogía existente entre el mundo de la luz y el del sonido, al timbre se le denomina también color del tono. La figura 1.7 muestra como en el sonido existen ondas que a pesar de ser del mismo tono pueden tener diferente frecuencia.



**Figura 1.7 Formas de onda del mismo tono pero diferente frecuencia.**

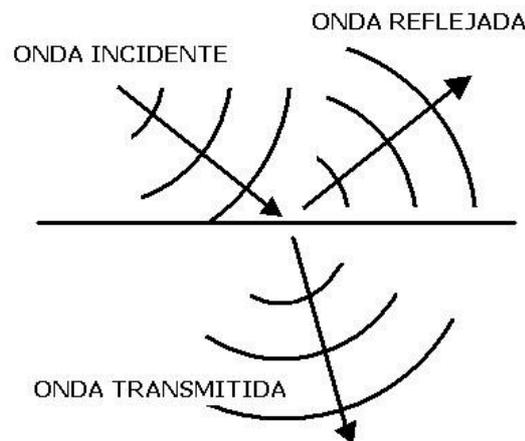
**Refracción, reflexión e interferencias**

El sonido avanza en línea recta cuando se desplaza en un medio de densidad uniforme, sin embargo, igual que la luz, el sonido está sometido a la refracción, es decir, la desviación de las ondas de sonido en su trayectoria original. En las regiones polares, por ejemplo, donde el aire situado cerca del suelo es más frío que el de las capas más altas, una onda de sonido ascendente que entra en la región más caliente, donde el sonido avanza a más velocidad, se desvía hacia abajo por la refracción.

La velocidad del aire suele ser mayor en las alturas que cerca del suelo; una onda de sonido ascendente que avanza a favor del viento se desvía hacia el suelo, mientras que una onda similar que se mueve en contra del viento se desvía hacia arriba, por encima de la persona que escucha. El sonido también se ve afectado por la reflexión, y cumple la ley fundamental de que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Un eco es el resultado de la reflexión del sonido.

El sonido también experimenta difracción e interferencia. Si el sonido de una única fuente llega a un oyente por dos trayectorias diferentes —por ejemplo, una directa y otra reflejada—, los dos sonidos pueden reforzarse, sin embargo, si no están en fase pueden interferir de forma que el sonido resultante sea menos intenso que el sonido directo sin reflexión. Las trayectorias de interferencia son distintas para sonidos de diferentes frecuencias, con lo que la interferencia produce distorsión en sonidos complejos. Dos sonidos de distintas frecuencias pueden combinarse para producir un tercer sonido cuya frecuencia es igual a la suma o diferencia de las dos frecuencias originales.

En la figura 1.8 se observa la reflexión y la refracción de una onda de sonido.



**Figura 1.8 Reflexión y refracción de una onda de sonido.**

### **Tono**

El tono es la cualidad del sonido mediante la cual el oído le asigna un lugar en la escala musical, permitiendo, por tanto, distinguir entre los graves y los agudos. La magnitud física que está asociada al tono es la frecuencia. Los sonidos percibidos como graves corresponden a frecuencias bajas, mientras que los agudos son debidos a frecuencias altas. Así el sonido más grave de una guitarra corresponde a una frecuencia de 82,4 Hz y el más agudo a 698,5 Hz.

Junto con la frecuencia, en la percepción sonora del tono intervienen otros factores de carácter psicológico. Así sucede por lo general que al elevar la intensidad se eleva el tono percibido para frecuencias altas y se baja para las frecuencias bajas. Para frecuencias comprendidas entre 1,000 y 3,000 Hz el tono es relativamente independiente de la intensidad.

Para una persona joven normal, se comprueba que su oído es sensible a todos los sonidos entre 15 y 20,000 Hertz. El oído de las personas mayores es menos agudo, sobre todo en las frecuencias más elevadas. El oído es especialmente sensible en la gama que va desde el *la* situado por encima del *do* central hasta el *la* que está cuatro octavas por encima. El grado en que un oído sensible puede distinguir entre dos notas puras que difieran ligeramente en intensidad o frecuencia varía en los diferentes rangos de intensidad y frecuencia de las notas.

## 1.6 TRANSDUCTORES EN EL TRANSDUCTOR EÓLICO

El Transductor Eólico genera música mediante el uso de varios transductores como son el Micrófono y la Electroválvula. No necesariamente se utiliza un micrófono ya que la fuente de entrada puede provenir de una fuente analógica musical, pero la electroválvula es indispensable para el funcionamiento de este instrumento.

### 1.6.1 Micrófono

Un micrófono es un elemento capaz de captar ondas sonoras convirtiendo la potencia acústica en eléctrica de similares características ondulatorias. Independientemente del mecanismo particular con el que funciona, un micrófono puede caracterizarse por varios aspectos relacionados con su respuesta a las ondas sonoras. Los más importantes de estos aspectos son: rango dinámico, respuesta en frecuencia.

Los Micrófonos se pueden clasificar de acuerdo con la forma de transducción, en otras palabras, dependiendo de la forma como se transforma la señal acústica en eléctrica. Se dividen en:

- **Micrófonos de carbón**
- **Micrófonos piezoeléctricos**
- **Micrófonos dinámicos (de bobina móvil)**
- **Micrófono de cinta**
- **Micrófono capacitivo (de condensador)**
- **Micrófono electret**

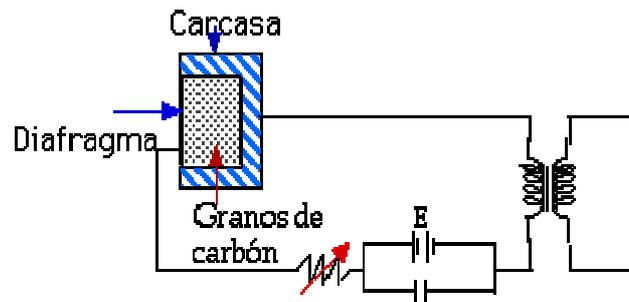
A continuación se presentan las características de estos micrófonos.

#### ➤ **Micrófonos de Carbón**

Se utilizaron por mucho tiempo para comunicación telefónica, donde es más importante su bajo costo y durabilidad que la fidelidad. Su operación resulta de la variación en resistencia de una pequeña cápsula llena de granos de carbón (el capullo de carbón).

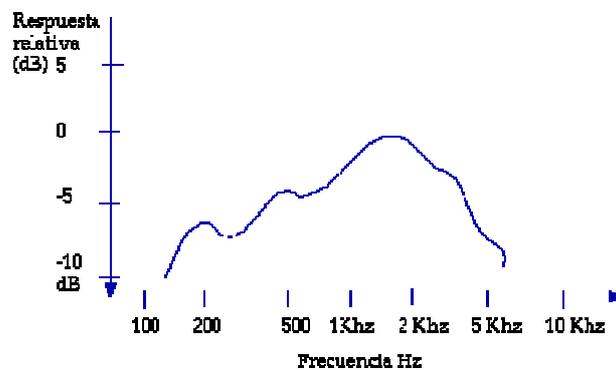
Conforme vibra el diafragma, el émbolo varía la fuerza aplicada a los granos de carbón y por consiguiente la resistencia de grano a grano, de tal manera que la resistencia total a través del capullo de carbón (aproximadamente 100 ohmios), varía de manera más o menos lineal.

En la figura 1.9 se ilustra la representación de un micrófono de carbón.



**Figura 1.9 Representación del micrófono de carbón.**

En la figura 1.10 se muestra la mala respuesta en frecuencia del micrófono de carbón por lo que ha ido desapareciendo del mercado.



**Figura 1.10 Respuesta en frecuencia del micrófono de carbón.**

### ➤ Micrófonos Piezoeléctricos

Su característica es que emplean cristales o cerámicas, que cuando vibran por la acción de ondas incidentes, se polarizan eléctricamente y producen voltajes relacionados linealmente con las deformaciones mecánicas. Como el efecto piezoeléctrico es reversible, estos micrófonos funcionarán como fuentes de sonido al aplicarse un voltaje alterno a sus terminales. Son transductores recíprocos. En la figura 1.11 se puede observar el micrófono piezoeléctrico.

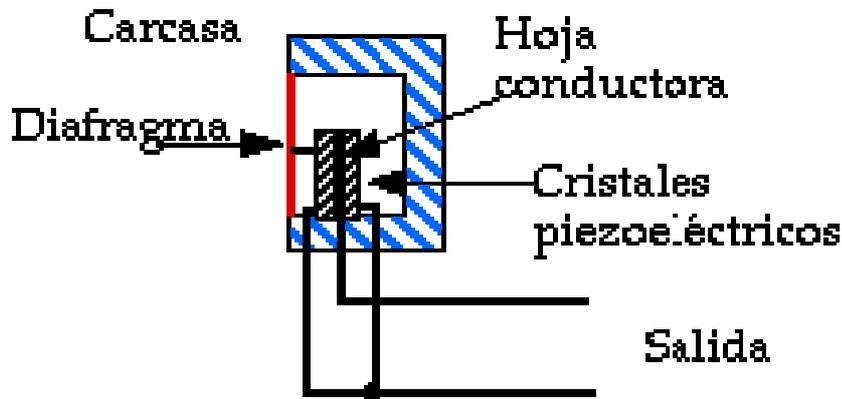


Figura 1.11 Micrófono piezoeléctrico.

Se han usado ampliamente mono cristales de sal de Roxhelle en la fabricación de este tipo de micrófonos. Desafortunadamente, tales cristales se deterioran en la presencia de humedad y se dañan permanentemente si se someten a temperaturas por encima de  $46^{\circ}$  C. Otras opciones son cristales cortados de fosfato de dihidrógeno y amonio (ADP), o bien materiales cerámicos. En la figura 1.12 se muestra su respuesta en frecuencia.

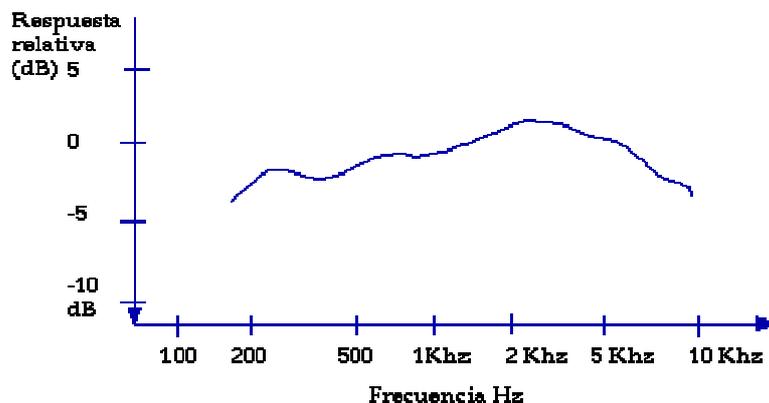
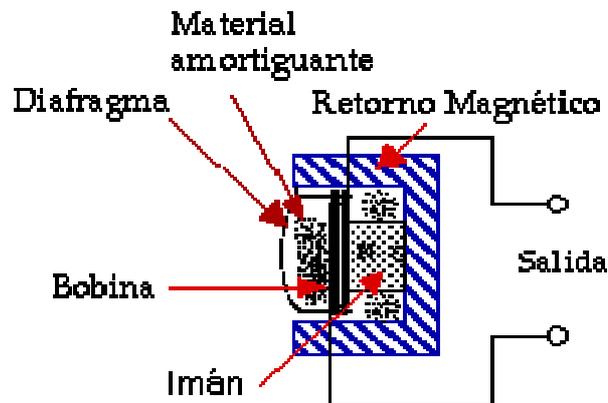


Figura 1.12 Respuesta en frecuencia del micrófono piezoeléctrico.

Aunque la respuesta en frecuencia de los micrófonos piezoeléctricos es mejor que la del micrófono de carbón, no es suficiente para grabaciones profesionales.

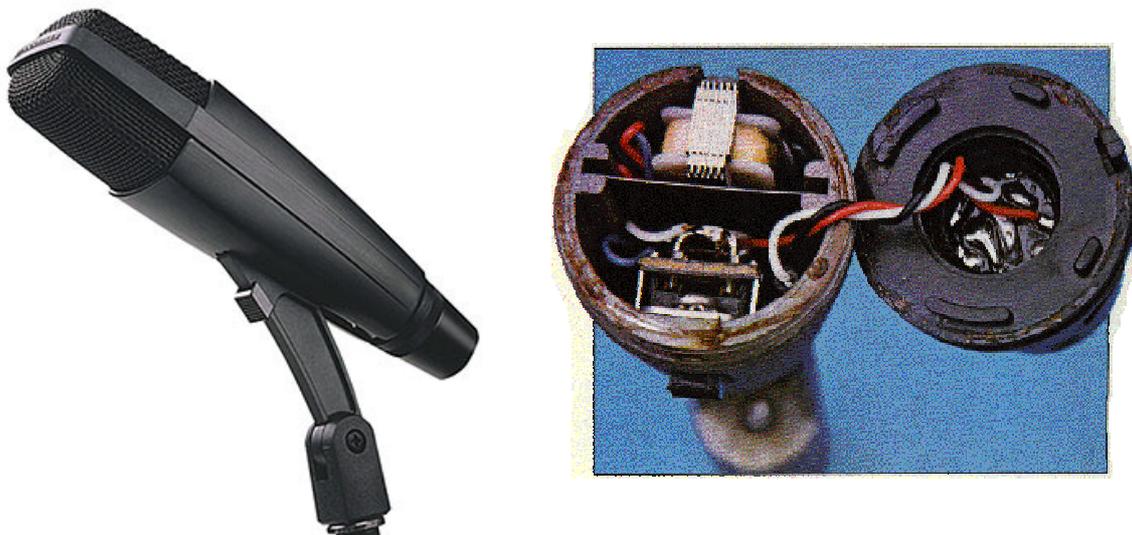
#### ➤ Micrófonos Dinámicos (Bobina móvil)

Este tipo de micrófonos es el más usado para grabación profesional de sonido, difusión, voceo y sistemas de sonorización pública. Es muy resistente para el uso en campo y los hay diseñados para dar respuestas en frecuencia de alta calidad. A diferencia del micrófono capacitivo o de condensador, no es necesaria una fuente de alimentación, la impedancia de salida es baja (alrededor de 600 ohm), por lo que no es necesario pre amplificar la señal, aún en lugares con cableados largos. La representación del micrófono dinámico se observa en la figura 1.13.



**Figura 1.13 Representación del micrófono dinámico.**

Su funcionamiento está basado en el principio de inducción electromagnética en donde, gracias a la vibración del diafragma, una bobina se mueve dentro del campo magnético de un imán permanente, generando así un voltaje alterno, que se puede enviar en forma balanceada a través de líneas muy largas. Se utilizan mucho por su resistencia, buena respuesta en frecuencia, confiabilidad y precio. Este tipo de transductor, que se puede observar en la figura 1.14 es la versión inversa del que se utiliza en la bocina convencional de bobina móvil.

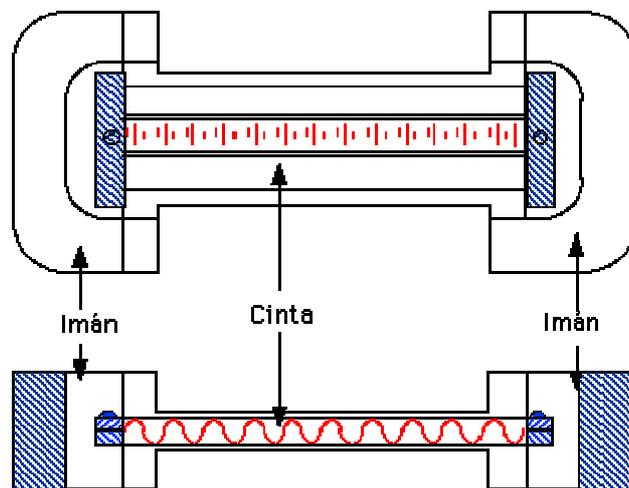


**Figura 1.14 Micrófono dinámico.**

**➤ Micrófono de cinta:**

También trabaja bajo el principio de inducción magnética, pero en este caso, responde a la diferencia de presión que genera la onda sonora entre los dos lados de la cinta, por lo que recibe también el nombre de micrófono de gradiente de presión.

Su funcionamiento se basa en una fina cinta de metal, que actúa como diafragma y se suspende de una ranura entre dos piezas de material magnético que se unen a un imán permanente en forma de "U". La cinta es típicamente de 1" de longitud, 1/16" de ancho y 0.0001" de grueso. El campo magnético fluye a través de las ranuras entre los extremos de la cinta, en dirección paralela a su ancho. Cuando una onda acústica incide en la cinta, ésta vibra en dirección perpendicular al campo magnético. Esta vibración genera una fuerza en los electrones libres de la cinta, que se mueven en dirección longitudinal, causando un voltaje alterno entre los extremos de la cinta. Este voltaje es la salida eléctrica del transductor. En la figura 1.15 se muestra su representación.



**Figura 1.15 Representación del micrófono de cinta.**

Este micrófono difiere del capacitivo y del dinámico en que no hay una cápsula que aisle la parte posterior del diafragma de su parte delantera. Por tanto la vibración de la onda acústica actúa en ambos lados de la cinta. Esto hace que la fuerza neta en la cinta sea proporcional al gradiente de la presión generada. De ahí el nombre que también se le da: Micrófono de gradiente de presión.

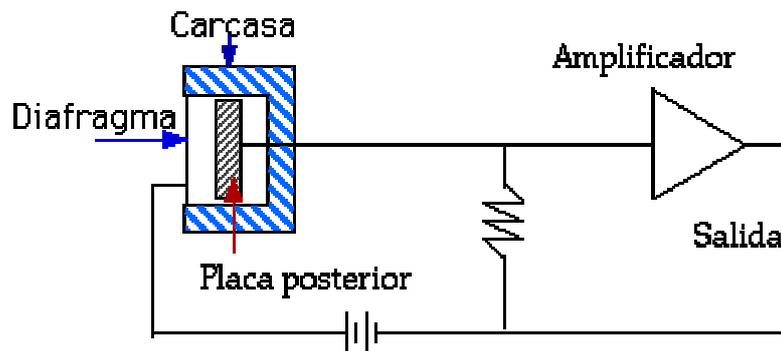
De la misma forma y en virtud de que la velocidad de una partícula en una onda es proporcional al gradiente de presión, también se le llama micrófono de velocidad.

En este caso el micrófono responde a la diferencia de presión y tiene una respuesta máxima en el eje perpendicular a la lámina, pero su respuesta en frecuencia es muy pobre a los sonidos laterales por lo que no es recomendable su uso a nivel profesional.

➤ **Micrófono Capacitivo (condensador):**

En este tipo de transductores hay una placa posterior que está fija, puesto que el interior del micrófono está a una presión constante igual a la presión atmosférica, mientras que la otra (el diafragma) se mueve al recibir variaciones de presión.

Por otra parte, de la misma forma que un condensador almacena carga cuando se le suministra un potencial eléctrico, la variación de la capacitancia al cambiar la distancia entre las placas, producirá una variación de voltaje. Y como consecuencia, esta variación de voltaje corresponde a la salida eléctrica del transductor. En la figura 1.16 se puede observar la representación del micrófono capacitivo.



**Figura 1.16 Representación del micrófono capacitivo.**

En las ecuaciones 1 y 2 se describe el fenómeno:

$$Q = CV \quad \text{Ecuación 1.1}$$

En donde:

Q = carga en culombios

C = capacidad en faradios

V = potencial en voltios.

$$V + \Delta V = \frac{Q}{C + \Delta C}$$

$$\text{Ecuación 1.2}$$

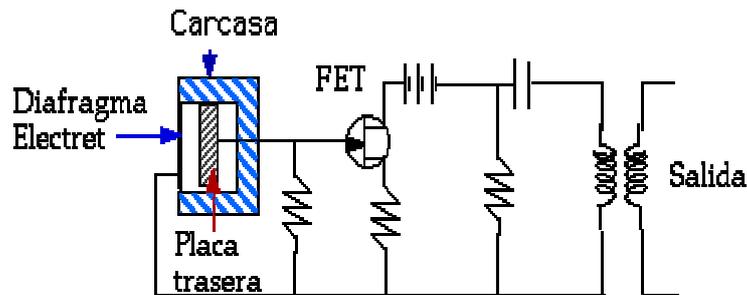
El micrófono capacitivo convencional usa una fuente de alimentación externa que proporciona el voltaje directo al elemento transductor.

Así mismo, este micrófono tiene una alta impedancia de salida, por lo que es necesario usar una etapa amplificadora como interfaz entre el cable de salida y la carga. Esta etapa es normalmente parte del propio micrófono. Entre todos los tipos de micrófonos, el capacitivo produce la mejor respuesta en frecuencia, por lo cual es el más utilizado en grabaciones profesionales, donde la fidelidad es un factor preponderante.

### ➤ **Micrófono Electret:**

Dentro de los micrófonos capacitivos, existe otro sistema que usa como diafragma un material de polarización permanente y que no requiere alimentación externa.

Se utiliza un material llamado Electret que tiene como característica su capacidad de mantener carga sin necesidad de una fuente de polarización, por lo cual tiene cada vez mayor popularidad por razones de economía. En la figura 1.17 se muestra su representación.



**Figura 1.17** Micrófono electret.

Este micrófono es una variante del micrófono de condensador pero que utiliza un diafragma (fluorocarbonato o policarbonato de fluoruro) que al estar polarizado no necesita alimentación. La carga electrostática fue inducida durante el proceso de fabricación, sometiéndolo a una temperatura de 220 grados centígrados, al tiempo que se le aplicaban 4 KV.

La existencia de esta carga electrostática hace que para alimentar el diafragma ya no sean necesarias las baterías para su funcionamiento, sin embargo, sí se requieren para polarizar al preamplificador. La respuesta en frecuencia del micrófono electret está más cerca de la que proporciona uno de bobina móvil, que de la que ofrece el de condensador convencional, por lo que no es recomendable para grabaciones profesionales. Los micrófonos electret son robustos, por lo que soportan la manipulación y su tamaño puede ser muy reducido, El principal inconveniente que presenta es que es muy sensible a los cambios de humedad y temperatura.

### **1.6.2 La Electroválvula**

Antes de entrar en el funcionamiento de la electroválvula, veamos brevemente las generalidades y los tipos de válvulas. Las válvulas son elementos que mandan o regulan el arranque, el paro y la dirección, del fluido enviado por una bomba hidráulica.

Según su función las válvulas se subdividen en 5 grupos:

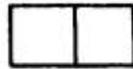
- **Válvulas distribuidoras**
- **Válvulas de bloqueo**
- **Válvulas de presión**
- **Válvulas de caudal**
- **Válvulas de cierre**

Para nuestro estudio se presentan las características de las válvulas más importantes que son las válvulas distribuidoras y las electroválvulas.

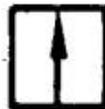
➤ **Válvulas distribuidoras**

Estas válvulas determinan la dirección que ha de tomar la corriente de aire. Para representar las válvulas distribuidoras se utilizan símbolos que indican su función. Las posiciones de las válvulas distribuidoras se representan por medio de cuadrados.

La cantidad de cuadrados indica la cantidad de posiciones de la válvula distribuidora.



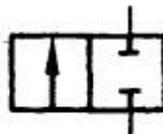
El funcionamiento se representa esquemáticamente en el interior de las casillas



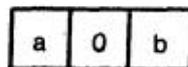
Las líneas representan tuberías o conductos. Las flechas, el sentido de circulación del fluido. Las posiciones de cierre se representan mediante líneas transversales y la unión de conductos o tuberías se representa mediante un punto



La otra posición se obtiene desplazando lateralmente los cuadrados, hasta que las conexiones coincidan.



Válvula de 3 posiciones: Posición intermedia = Posición de reposo.



➤ **Accionamiento de válvulas**

Según el tiempo de accionamiento pueden ser:

Accionamiento permanente: Señal continua. La válvula es accionada durante todo el tiempo hasta que tiene lugar el reposicionamiento.

Accionamiento momentáneo: Pulso. La válvula es accionada por una señal breve (pulso) y permanece en esa posición, hasta que otra señal la coloca en su posición anterior.

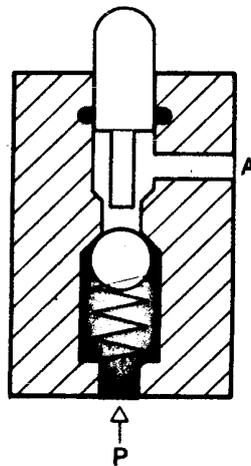
#### Características de construcción de válvulas distribuidoras

Las características de construcción de las válvulas determinan su duración, fuerza de accionamiento y tamaño. Según su construcción, las válvulas se dividen en: Válvulas de asiento y de corredera.

Válvulas de asiento: En estas, los empalmes se abren y cierran por medio de bolas, discos, placas o conos. Los elementos de desgaste son muy pocos y, por tanto, estas válvulas tienen gran duración. Son insensibles a la suciedad y muy robustas. La fuerza para accionarlas es elevada. Pueden ser: asiento esférico y asiento plano

Válvulas de corredera: Que son las que tienen elementos deslizables y se dividen en: émbolo, émbolo y cursor y disco giratorio.

Válvulas de asiento esférico: Son de fabricación simple y, por tanto, muy económicas. Se distinguen por sus dimensiones muy pequeñas. Como se observa en la figura 1.18 un resorte mantiene apretada la bola contra el asiento; el aire comprimido no puede fluir de la entrada P hacia la tubería de trabajo A. Al accionarla, la bola se separa del asiento y el aire puede fluir.



**Figura 1.18 Válvula de asiento esférico.**

#### Válvulas de asiento plano:

Tienen una junta simple que asegura el sello necesario. El tiempo de respuesta es muy pequeño, puesto que un desplazamiento corto determina un gran caudal, estas válvulas también son insensibles a la suciedad y tienen larga duración.

Como se observa en la figura 1.19, al accionarla, con poco margen se une P y A, de esta forma fluye una gran cantidad de aire comprimido.

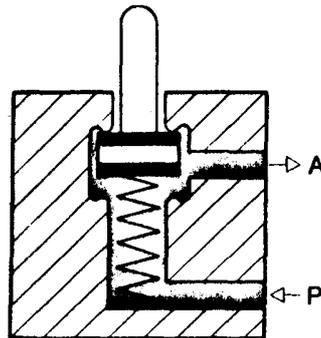


Figura 1.19 Válvula de asiento plano.

Válvula de corredera con Émbolo:

En estas válvulas, no se pierde aire cuando la conmutación tiene lugar de forma lenta. Al accionarla se cierra primeramente el conducto de escape de A hacia R, al seguir apretando, el disco se separa del asiento, y el aire puede circular de P hacia A. El reposicionamiento se realiza mediante un resorte, como se observa en la figura 1.20.

En el caso de una válvula abierta en reposo (abierta de P hacia A), al accionar se cierra con un disco el paso de P hacia A. Al seguir apretando, otro disco se levanta de su asiento y abre el paso de A hacia R. El aire puede escapar entonces por R. Las válvulas pueden accionarse manualmente o por medio de elementos mecánicos, eléctricos o neumáticos.

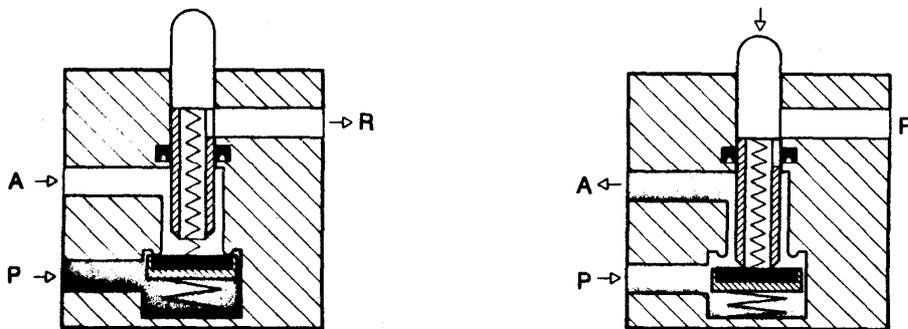


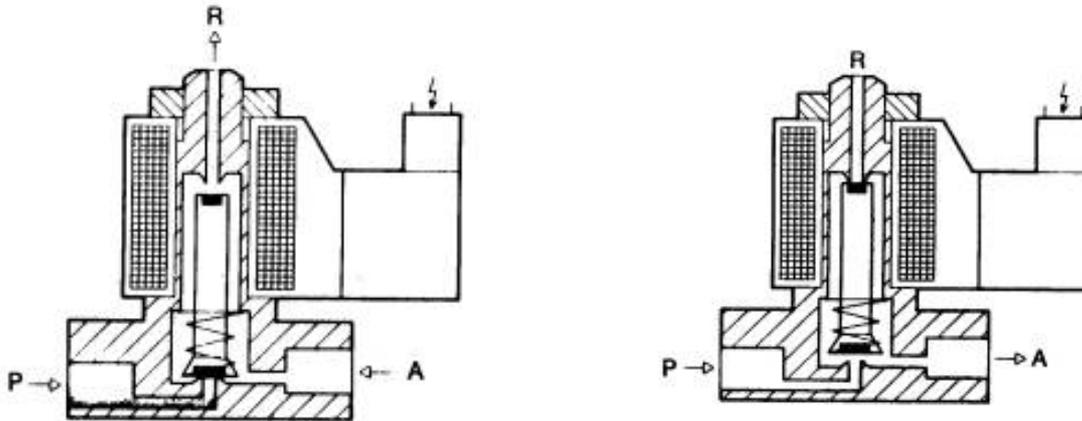
Figura 1.20. Válvula de corredera con émbolo.

### ➤ La electroválvula

Estas válvulas, también llamadas electromagnéticas, se utilizan cuando se tiene una señal eléctrica que proviene de un temporizador eléctrico, presostatos o mandos electrónicos. Generalmente se eligen para controles a distancia y tiempos muy rápidos de acción. Su funcionamiento es como sigue:

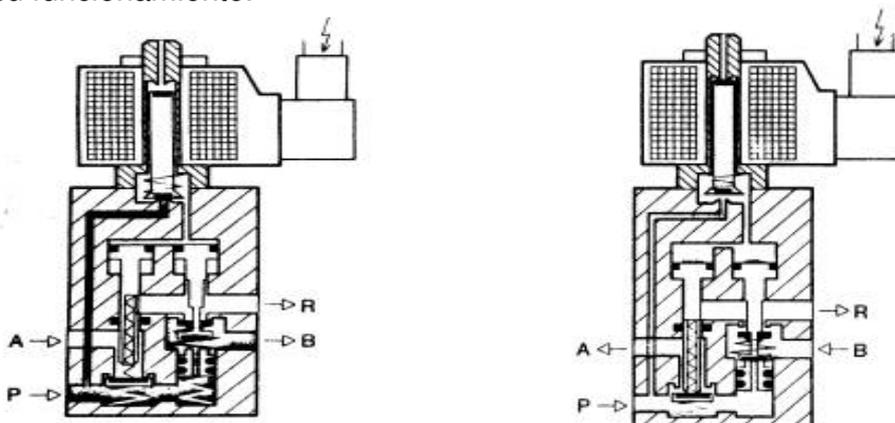
Al energizar el imán, el núcleo es atraído hacia arriba venciendo la resistencia del resorte. Se unen los ductos de P y A. El núcleo cierra, con su parte trasera, la salida R.

Al desconectar el electroimán, el resorte empuja al núcleo hasta su asiento inferior y cierra el paso de P hacia A. El aire de la tubería de trabajo A puede escapar entonces hacia R. Su funcionamiento se puede observar en la figura 1.21.



**Figura 1.21 Funcionamiento de la electroválvula.**

Para reducir el tamaño de los electroimanes, se utilizan válvulas de mando indirecto, que se componen de dos válvulas: Una electromagnética y una de mando neumático. Funcionamiento: El conducto de alimentación P de la válvula principal tiene una derivación interna hacia el asiento de la válvula de mando indirecto. Un resorte empuja el núcleo contra el asiento de esta válvula. Al excitar el electroimán, el núcleo es atraído, y el aire fluye hacia el émbolo de mando de la válvula principal, empujándolo hacia abajo y levantando los discos de válvula de su asiento. Primeramente se cierra la unión entre P y R (la válvula no tiene solapo). Entonces, el aire puede fluir de P hacia A y escapar de B hacia R. Al desconectar el electroimán, el resorte empuja el núcleo hasta su asiento y corta el paso del aire de mando. Los émbolos de mando en la válvula principal son empujados a su posición inicial por los resortes. En la figura 1.22 se muestra su funcionamiento.



**Figura 1.22 Funcionamiento de la electroválvula con mando indirecto.**

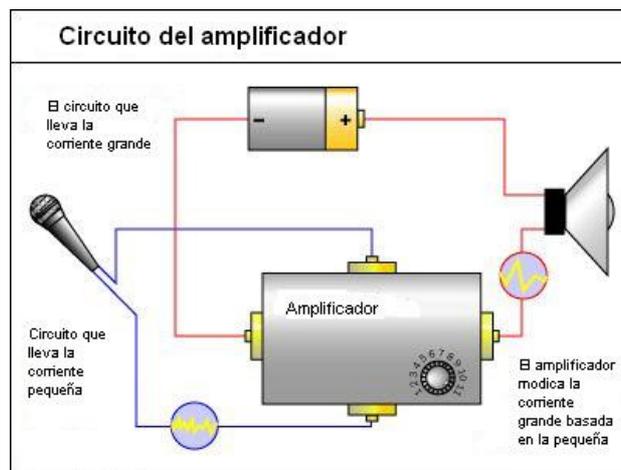
## CAPITULO 2

### AMPLIFICADOR OPERACIONAL Y PIC

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

El trabajo de un amplificador de audio es tomar una señal de audio débil y mejorarla para generar una señal suficientemente potente para hacer funcionar un altavoz. Esto es una descripción precisa cuando se considera al amplificador como un dispositivo general, pero el proceso dentro del amplificador es algo más complejo. La realidad es que el amplificador genera una señal de salida completamente nueva basada en la señal de entrada. Podemos entender estas señales como dos circuitos separados. La figura 2.1 muestra un amplificador

El circuito de salida es generado por la fuente de alimentación del amplificador, que recibe la energía de una batería o un enchufe eléctrico. Si el amplificador es alimentado desde una corriente alterna que puede encontrarse en una casa, esta fuente de alimentación la convertirá en una corriente directa. La fuente también suaviza la corriente para que la señal sea continua e ininterrumpida. La carga de este circuito de salida es mover el cono del altavoz.



**Figura 2.1 Concepto de un amplificador.**

El circuito de entrada es la señal de audio eléctrica grabada en una cinta, CD o desde un micrófono. Su carga está modificando el circuito de salida. Aplica una resistencia variable al circuito de salida para recrear las fluctuaciones de voltaje de la señal de audio original.

A lo largo de la construcción de este proyecto de tesis se utilizaron una gran cantidad de amplificadores operacionales en diversas configuraciones sobre todo en la sección analógica por lo que resulta importante explicar de manera sencilla algunos conceptos y características más importantes de estas configuraciones y del propio amplificador operacional.

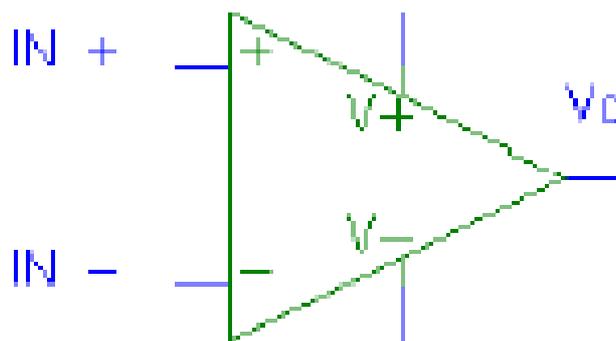
## 2.2 EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Es un circuito electrónico que tiene dos entradas y una salida (figura 2.2). La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor (G) llamado ganancia.

El primer amplificador operacional (A. O.) monolítico data de los años 1960, era el Fairchild  $\mu$ A702 (1964), diseñado por Bob Widlar; seguido por el Fairchild  $\mu$ A709 (1965), también de Widlar, y que constituyó un gran éxito comercial. Más tarde sería sustituido por el popular Fairchild  $\mu$ A741(1968), de David Fullagar, y fabricado por numerosas empresas, basado en tecnología bipolar. Que hasta ahora es el más popular y de uso más común en los proyectos básicos de la ingeniería.

Originalmente los amplificadores operacionales se empleaban para operaciones matemáticas (suma, resta, multiplicación, división, integración, derivación, etc.) en calculadoras analógicas. De ahí su nombre.

Las terminales del amplificador operacional se muestran a continuación en la figura 2.2.



**Figura 2.2 Símbolo del A.O.**

Los terminales son:

- IN +: entrada no inversora
- IN -: entrada inversora
- V<sub>OUT</sub>: salida
- V+: alimentación positiva
- V-: alimentación negativa

### 2.2.1 Amplificador Operacional Ideal

El A.O. ideal tiene una ganancia infinita, una impedancia de entrada infinita, un ancho de banda también infinito, una impedancia de salida nula, un tiempo de respuesta nulo y ningún ruido. Como la impedancia de entrada es infinita también se dice que las corrientes de entrada son cero.

En el modelo de amplificador ideal, la salida del amplificador se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$V_o = A(V_+ - V_-) = AV_d \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación (2.1)}$$

En esta expresión la salida del amplificador es directamente proporcional a la diferencia de potencial  $V_d$  en la entrada. Designaremos a la constante de proporcionalidad  $A$  como ganancia en lazo abierto. Con esta definición podemos decir también que el amplificador operacional es diferencial ya que la salida depende de la diferencia de voltaje en sus entradas.

### Características Ideales

1. La ganancia en lazo abierto  $A$  es infinita.
2. Las resistencias que se ven desde cada uno de los terminales de entrada son infinitas o, lo que es lo mismo, las intensidades de entrada  $I$  e  $I'$  son nulas.
3. Es un amplificador de corriente continua y alterna.
4. Es capaz de amplificar la señal de entrada independientemente de su frecuencia. El ancho de banda es por tanto infinito.

Por la primera característica, tendríamos que si  $A$  es infinito como  $V_d$  es un valor finito debería ser  $V_o$  infinito. Como esto no puede ser debe ocurrir que  $V_d = 0$  es decir  $V_- = V_+$ .

### Comportamiento en continua (DC)

#### Lazo abierto

Si no existe realimentación la salida del A.O. será la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor. Este factor suele ser del orden de 100.000 (que se considerará infinito en cálculos con el componente ideal). Por lo tanto si la diferencia entre los dos voltajes es de 1V la salida debería ser 100.000V. Debido a la limitación que supone no poder entregar más tensión de la que hay en la alimentación, el A.O. estará saturado si se da este caso. Si la tensión más alta es la aplicada a la patilla + la salida será la que corresponde a la alimentación  $V_{S+}$ , mientras que si la tensión más alta es la del pin - la salida será la alimentación  $V_S$ .

#### Lazo cerrado

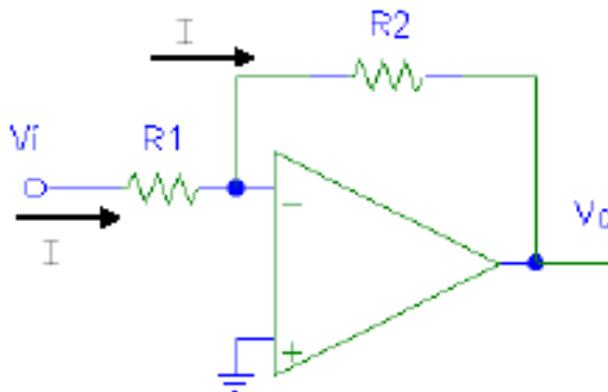
Se conoce como lazo a la realimentación en un circuito. Aquí se supondrá realimentación negativa. Para conocer el funcionamiento de esta configuración se parte de las tensiones en las dos entradas exactamente iguales, se supone que la tensión en la patilla + sube y, por tanto, la tensión en la salida también se eleva. Como existe la realimentación entre la salida y la patilla -, la tensión en esta patilla también se eleva, por tanto la diferencia entre las dos entradas se reduce, disminuyéndose también la salida. Este proceso pronto se estabiliza, y se tiene que la salida es la necesaria para mantener las dos entradas, idealmente, con el mismo valor.

Los A. O. se suelen utilizar con realimentación ya que esto hace que podamos controlar su ganancia. Como veremos la ganancia en lazo cerrado no depende nada más que del circuito externo aplicado. Según como sea este circuito tendremos varias configuraciones de amplificador.

### 2.2.2 Configuraciones Básicas Utilizadas

Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: las configuraciones inversora y no inversora. Casi todos los demás circuitos con amplificadores operacionales están basados, de alguna forma, en estas dos configuraciones básicas. Además, existen variaciones estrechamente relacionadas de estos dos circuitos, más otro circuito básico que es una combinación de los dos primeros: el amplificador diferencial.

1. Amplificador inversor: La configuración más sencilla es la inversora (figura 2.3). Dada una señal analógica (por ejemplo de audio) el amplificador inversor constituye el modo más simple de amplificar o atenuar la señal.



**Figura 2.3 Amplificador inversor.**

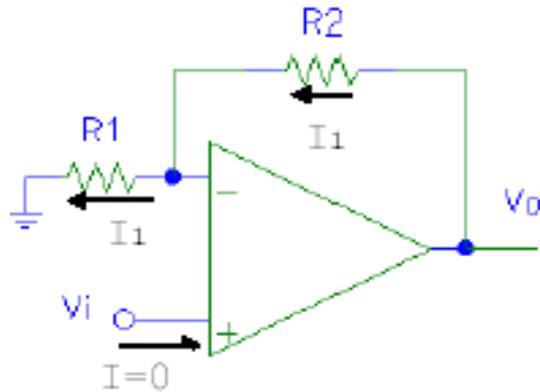
Se denomina inversor ya que la señal de salida es igual a la señal de entrada (en forma) pero con la fase invertida 180 grados.

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} = G \quad \text{.....Ecuación (2.2)}$$

#### **Ganancia en amplificador inversor**

Por lo cual se controla la impedancia de entrada mediante la elección de una resistencia  $R_1$ . Esta configuración es una de las más importantes, porque gracias a ella, se puede elaborar otras configuraciones tales como las del derivador, integrador y sumador.

2. Amplificador no inversor: Este circuito presenta como característica más destacable su capacidad para mantener la fase de la señal.



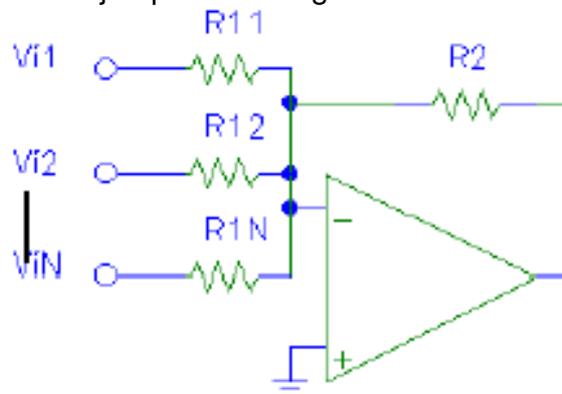
**Figura 2.4 Amplificador no inversor.**

En esta configuración (figura 2.4) el voltaje de entrada, ingresa por el pin positivo, pero como conocemos que la ganancia del amplificador operacional es muy grande, el voltaje en el pin positivo es igual al voltaje en el pin negativo, conociendo el voltaje en el pin negativo podemos calcular, la relación que existe entre el voltaje de salida con el voltaje de entrada haciendo uso de un pequeño divisor de tensión.

$$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (2.3)}$$

**Salida en un amplificador no inversor**

Sumador inversor: Esencialmente no es más que un amplificador en configuración inversora. Difiere de este último en la red resistiva empleada en sustitución de la resistencia R1 utilizada en el ejemplo de configuración inversora (Figura 2.5)



**Figura 2.5 Sumador inversor.**

La salida de este amplificador es proporcional a la suma de las señales de entrada. Dado que  $V_{-} = 0$  por ser igual a  $V_{+}$  que sí es igual a cero, las intensidades que circulan por cada rama son independientes de las demás y no se produce redistribución de intensidad alguna. Con ello la intensidad total que atraviesa  $R_2$  será la suma de las intensidades de cada una de las ramas de entrada.

$$V_o = -I_T R_2 = -\frac{V_{i1}}{R_{i1}} R_2 - \frac{V_{i2}}{R_{i2}} R_2 \dots - \frac{V_{iN}}{R_{iN}} R_2$$

**Ecuación (2.4)**

**Voltaje de salida en un amplificador no inversor**

### 2.2.3 Parámetros Generales

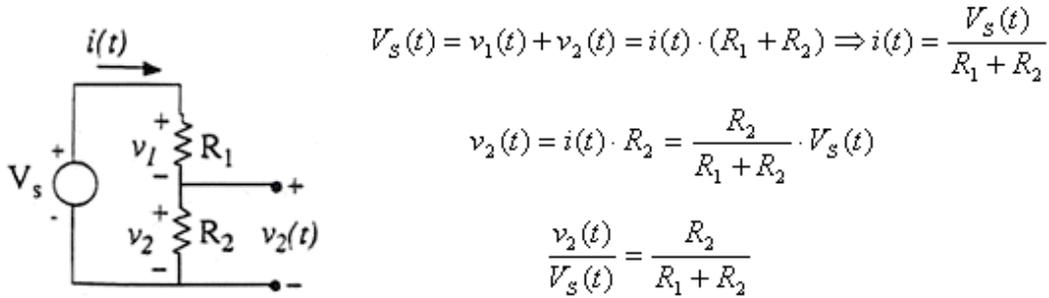
A continuación se muestran algunas de las características más importantes de los amplificadores operacionales.

#### Características de los amplificadores Operacionales

- Ganancia en lazo abierto. Indica la ganancia de tensión en ausencia de realimentación. Se puede expresar en unidades naturales (V/V, V/mV) o logarítmicas (dB). Son valores habituales 100.000 a 1.000.000 V/V.
- Tensión en modo común. Es el valor medio de tensión aplicado a ambas entradas del operacional.
- Tensión de Offset. Es la diferencia de tensión, aplicada a través de resistencias iguales, entre las entradas de un operacional que hace que su salida tome el valor cero.
- Corriente de Offset. Es la diferencia de corriente entre las dos entradas del operacional que hace que su salida tome el valor cero.
- Margen de entrada diferencial. Es la mayor diferencia de tensión entre las entradas del operacional que mantienen el dispositivo dentro de las especificaciones.
- Corrientes de polarización (*Bias*) de entrada. Corriente media que circula por las entradas del operacional en ausencia de señal.
- *Slew Rate (SR)*. Es la relación entre la variación de la tensión de salida máxima respecto de la variación del tiempo. El amplificador será mejor cuanto mayor sea el Slew Rate. Se mide en V/μs, kV/μs o similares. El slew rate está limitado por la compensación en frecuencia de la mayoría de los amplificadores operacionales. Relación de Rechazo en Modo Común (RRMC ó CMRR en sus siglas en inglés). Relación entre la ganancia en modo diferencial y la ganancia en modo común.

De igual manera en la sección final de Amplificación del proyecto se utiliza una compleja red de alimentación para los transistores de potencia TIP cuya alimentación es proporcionada por una serie de divisores de Voltaje por lo que de manera breve se muestra a continuación su definición y características.

**Divisor de voltaje:** un divisor de voltaje es un circuito que divide el voltaje en varias partes en cada uno de sus componentes. Se muestra en la figura 2.6.

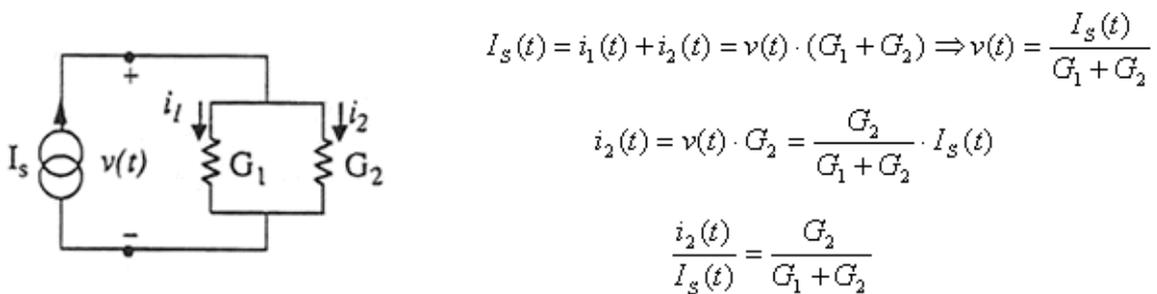


**Figura 2.6 Divisor de voltaje.**

El voltaje  $V_s(t)$  se divide en los voltajes que caen en las resistencias  $R_1$  y  $R_2$ . Esta fórmula sólo es válida si la salida  $v_2(t)$  está en circuito abierto (no circula corriente por los terminales donde se mide  $v_2(t)$ ).

**Divisor de corriente:** Un divisor de corriente es una configuración presente en circuitos eléctricos que puede fragmentar la corriente eléctrica de una fuente en diferentes impedancias conectadas en paralelo.

Análogamente, la corriente  $I_s(t)$  se divide en las corrientes que atraviesan las dos conductancias. La figura 2.7 ilustra a un divisor de corriente con sus ecuaciones características.



**Figura 2.7 Divisor de corriente.**

## 2.3 SEÑALES ELÉCTRICAS ANALÓGICA Y DIGITAL

### Diferencia entre analógico y digital

El término **analógico** en telecomunicaciones y computación significa todo aquel proceso entrada/salida cuyos valores son **continuos**. Algo continuo es todo aquello que puede tomar una infinidad de valores continuamente dentro de un cierto límite, superior e inferior.

El término **digital** de la misma manera involucra valores de entrada/salida *discretos*. Algo discreto es algo que puede tomar valores fijos. El caso de las comunicaciones digitales, esos valores son el CERO (0) o el UNO (1) o Bits. Lo anterior se ilustra en la figura 2.8 siguiente.

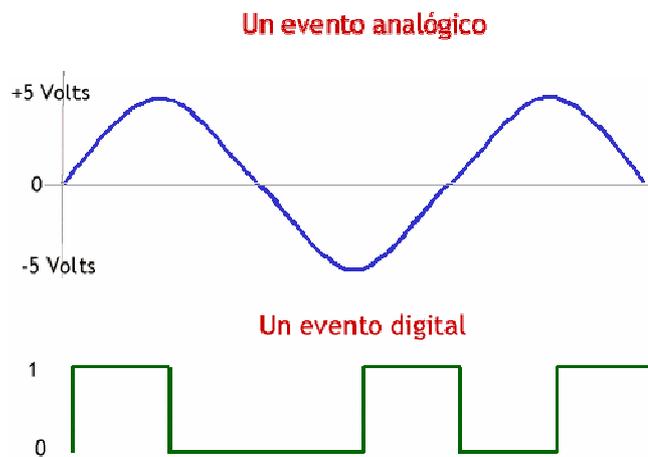


Figura 2.8 Diferencia entre señales analógica y digital.

Una **señal analógica** es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo en función del tiempo. Algunas magnitudes físicas comúnmente portadoras de una señal de este tipo son eléctricas como la intensidad, la tensión y la potencia, pero también pueden ser hidráulicas como la presión, térmicas como la temperatura, mecánicas, etc.

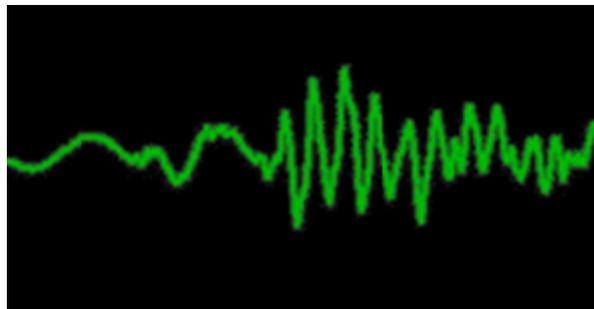
Las señales eléctricas analógicas se representan de manera general por una onda senoidal debido a que los valores de la voltaje varían constantemente en forma de corriente alterna incrementando su valor con signo eléctrico positivo (+) durante medio ciclo y disminuyéndolo a continuación con signo eléctrico negativo (-) en el medio ciclo siguiente.

La **señal digital** es un tipo de señal generada por una fuente electromagnética en la que cada signo que codifica el contenido de la misma se analiza en términos de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango. Por ejemplo, el interruptor de la luz sólo puede tomar dos valores o estados: abierto o cerrado, por lo que la codificación será 0 o 1 respectivamente o según sea la convención.

Muchos equipos y dispositivos modernos requieren procesar las señales analógicas que reciben y convertirlas en señales digitales para poder funcionar.

El sonido se compone de variaciones de presión o vibraciones de moléculas de aire que llegan hasta nuestro sentido del oído en forma de ondas acústicas. Esas ondas serán audibles siempre que su frecuencia se limite a un rango superior a los 20 Hertz o ciclos por segundo, para los sonidos más graves e inferior de los 20 mil Hertz (20 kHz) o ciclos por segundo, para los más agudos. Cualquier cuerpo que vibre dentro de esa gama de frecuencias, podrá ser captado por nuestro sentido del oído como una onda sonora audible. Más allá de los 20 kHz, las ondas se convierten en ultrasonidos, cuyas frecuencias el oído humano es incapaz de percibir, no así algunos animales como el perro, por ejemplo, que puede captar sonidos de hasta unos 30 kHz de frecuencia.

El sonido, independientemente que sea natural o artificial, posee intensidad, tono, timbre y frecuencia, lo cual los diferencia a unos de los otros y permite representarlos gráficamente como una onda senoidal, de amplitud y frecuencia variable. A continuación aparece una representación gráfica de una onda sonora analógica producida por dos instrumentos musicales de percusión. Las pequeñas irregularidades visibles en el contorno de la línea que va formando el trazado de la senoide (semejante a pequeños dientes de una sierra), representan los armónicos que definen los timbres y los tonos característicos del sonido que producen ambos instrumentos de percusión cuando se mezclan. Las variaciones en amplitud y altura de las ondulaciones de la propia senoide representan la intensidad del sonido y la frecuencia en Hertz (Hz).



**Figura2. 9 Señal senoidal.**

En la figura 2.9, el trazado o forma que toma esta onda senoidal en su mitad izquierda, corresponde a un tono grave, con una intensidad de sonido de bajo volumen, mientras que la mitad derecha responde a un tono agudo, con una intensidad de volumen de sonido más alta.

Si uno o varios sonidos diferentes presentes en una onda sonora son captados, por ejemplo, por un micrófono, obtendremos señales eléctricas analógicas de baja frecuencia o audiodiferencia, es decir, frecuencias audibles, similares en su forma a las ondas sonoras que le dieron origen. Esas señales eléctricas las podemos amplificar y/o enviar a través de un cable (como sucede con el teléfono, por ejemplo), o transmitirla también por vía inalámbrica, tal como ocurre con las ondas que emiten las estaciones de radio.

Pero si además de la amplificación o transmisión de las ondas de sonido, contamos con un equipo adecuado de registro, esas señales eléctricas analógicas de audiofrecuencia también se pueden grabar y guardar en un medio masivo de almacenamiento, como pudiera ser una cinta magnetofónica, una videocinta, un CD, un DVD, etc., para su posterior reproducción.

### 2.3.1 Manejo de la señal eléctrica analógica

El cambio constante de polaridad de positivo a negativo en las señales analógicas provoca que se cree un trazado en forma de onda senoidal. Por tanto, una onda eléctrica de sonido puede tomar infinidad de valores positivos y negativos (superiores e inferiores), dentro de cierto límite de volt también positivos o negativos, representados siempre dentro de una unidad determinada de tiempo, generalmente medida en segundos (s).

La figura 2.10 es la representación gráfica de una onda senoidal o sinusoidal alterna con una frecuencia de 3 Hz (hertz) o ciclos por segundo. Cada ciclo está formado por: amplitud de onda (A), siendo positiva (+) cuando la senoide alcanza su máximo valor de tensión o voltaje de pico (por encima de "0" volt) y negativa (-) cuando decrece (por debajo de "-0" volt). El valor máximo que toma la señal eléctrica de una onda sinusoidal recibe el nombre de "cresta" o "pico" (P), mientras que el valor mínimo o negativo recibe el nombre de "vientre" o "valle" (V). La distancia existente entre una cresta o pico y el otro, o entre un valle o vientre y el otro se denomina "período" (T).

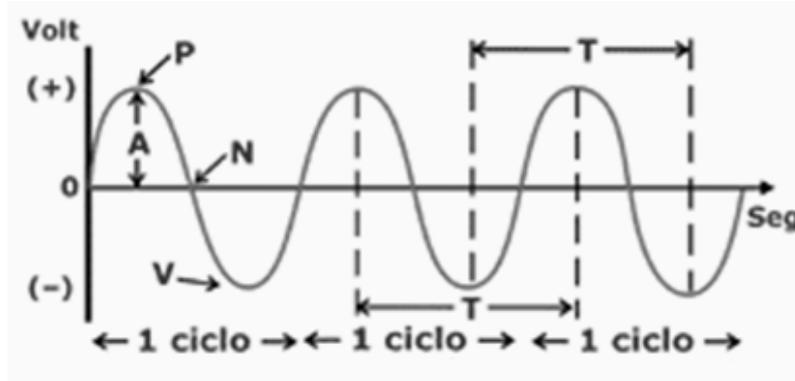


Figura 2.10 Gráfica de la onda senoidal.

#### ***Digitalización de una señal analógica***

En una señal eléctrica analógica, los valores de tensión positivos y negativos pueden mantenerse con un valor constante, o también pueden variar en una escala que va de "0" volts, hasta el valor máximo que tenga fijado, pasando por valores intermedios. Sin embargo, en la señal digital, a diferencia de la analógica, solamente existen dos condiciones: hay voltaje o no hay voltaje y su variación no ocurre de forma continua, sino de forma discreta, a intervalos de tiempo determinados.

Las variaciones que sufren los valores de tensión o voltaje en una señal analógica, al convertirse en digital se transforma en código numérico binario, representado exclusivamente por los dígitos “0” y “1”. En ese caso, el “0” significa que no existe ningún impulso eléctrico de tensión o voltaje, mientras que el “1” significa que sí hay voltaje con un mismo valor siempre en volt.

La figura 2.11 es una Representación gráfica una señal digital integrada por valores discretos binarios de ceros y unos.



**Figura 2.11 Señal digital con valores discretos.**

### Muestreo de la señal analógica

La figura 2.12 es la representación gráfica de medio ciclo positivo (+), correspondiente a una señal eléctrica analógica de sonido, con sus correspondientes armónicos. Como se podrá observar, los valores de variación de la tensión o voltaje en esta senoide pueden variar en una escala que va de “0” a “7” volt.

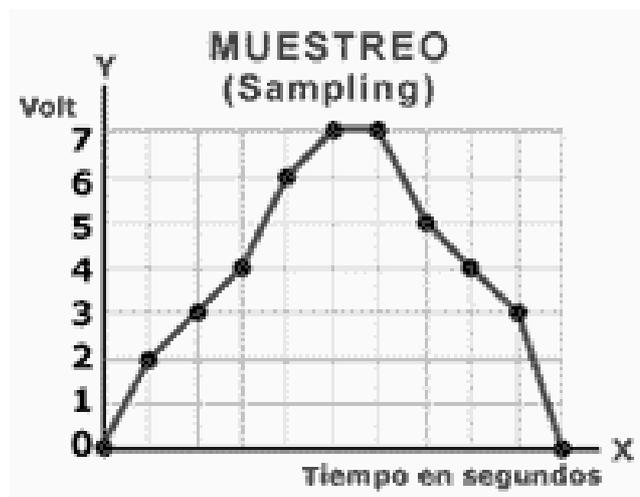


**Figura 2.12 Semiciclo positivo de una señal analógica.**

Para convertir una señal analógica en digital, el primer paso consiste en realizar un muestreo de ésta, o lo que es igual, tomar diferentes muestras voltajes en diferentes puntos de la onda senoidal. La frecuencia a la que se realiza el muestreo se denomina razón, tasa o también frecuencia de muestreo y se mide en kilohertz (kHz). En el caso de una grabación digital de audio, a mayor cantidad de muestras tomadas, mayor calidad y fidelidad tendrá la señal digital resultante.

Durante el proceso de muestreo se asignan valores numéricos equivalentes a la tensión o voltaje existente en diferentes puntos de la sinusoide, con la finalidad de realizar a continuación el proceso de cuantización. Para realizar el muestreo de una señal eléctrica analógica y convertirla después en digital, el primer paso consiste en tomar valores discretos de tensión o voltaje a intervalos regulares en diferentes puntos de la onda senoidal. La figura 2.13 muestra un ejemplo del muestreo. Las tasas o frecuencias de muestreo más utilizadas para audio digital son las siguientes:

- 24 000 muestras por segundo (24 kHz)
- 30 000 muestras por segundo (30 kHz)
- 44 100 muestras por segundo (44,1 kHz) (Calidad de CD)
- 48 000 muestras por segundo (48 kHz)



**Figura 2.13 Muestreo.**

Una señal cuyo muestreo se realice a 24 kHz, tendrá menos calidad y fidelidad que otra realizada a 48 kHz. Sin embargo, mientras mayor sea el número de muestras tomadas, mayor será también el ancho de banda necesario para transmitir una señal digital, requiriendo también un espacio mucho mayor para almacenarla en un CD o un DVD.

### Condición de Nyquist

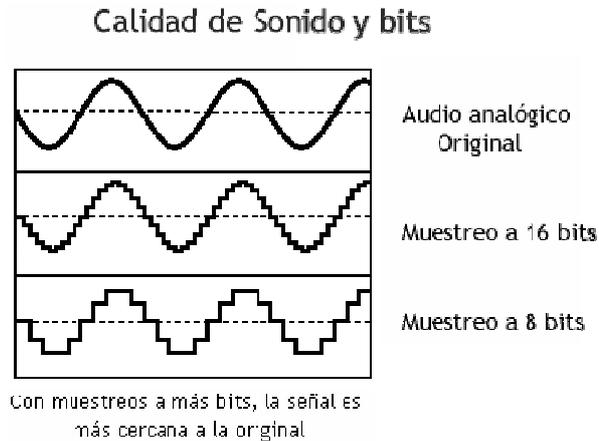
El ingeniero sueco Harry Nyquist formuló el siguiente teorema para obtener una grabación digital de calidad

*“La frecuencia de muestreo mínima requerida para realizar una grabación digital de calidad, debe ser igual al doble de la frecuencia de audio de la señal analógica que se pretenda digitalizar y grabar”.*

Este teorema recibe también el nombre de “Condición de Nyquist”.

Es decir, que la tasa de muestreo se debe realizar, al menos, al doble de la frecuencia de los sonidos más agudos que puede captar el oído humano que son 20 mil hertz por segundo (20 kHz).

Por ese motivo se escogió la frecuencia de 44,1 kHz como tasa de muestreo para obtener “calidad de CD”, pues al ser un poco más del doble de 20 kHz, incluye las frecuencias más altas que el sentido del oído puede captar. Ello se muestra en la figura 2.14.

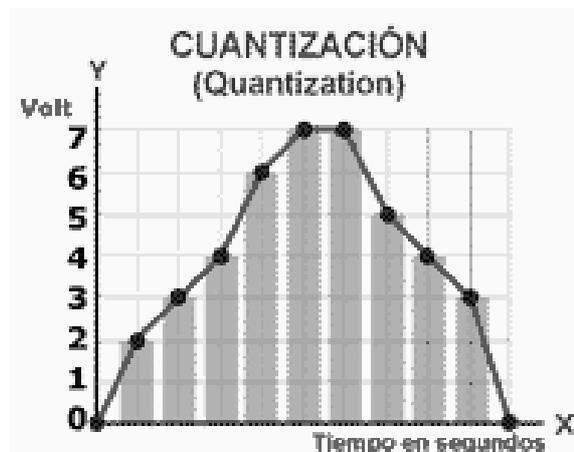


**Figura 2.14 Calidad de una señal con diferentes tipos de muestreo.**

### Quantización de la señal analógica

Una vez realizado el muestreo, el siguiente paso es la cuantización de la señal analógica. Para esta parte del proceso los valores continuos de la senoide se convierten en series de valores numéricos decimales discretos correspondientes a los diferentes niveles o variaciones de voltajes que contiene la señal analógica original. Por tanto, la cuantización representa el componente de muestreo de las variaciones de valores voltajes tomados en diferentes puntos de la onda sinusoidal, que permite medirlos y asignarles sus correspondientes valores en el sistema numérico decimal, antes de convertir esos valores en sistema numérico binario.

La figura 2.15 muestra el Proceso de cuantización de la señal eléctrica analógica para su conversión en señal digital.



**Figura 2.15 Cuantización de una señal.**

### Codificación de la señal en código binario

Después de realizada la cuantización, los valores de las tomas de voltajes se representan numéricamente por medio de códigos y estándares previamente establecidos. Lo más común es codificar la señal digital en código numérico binario. La codificación permite asignarle valores numéricos binarios equivalentes a los valores voltajes que conforman la señal eléctrica analógica original. Lo anterior se puede observar en la figura 2.16

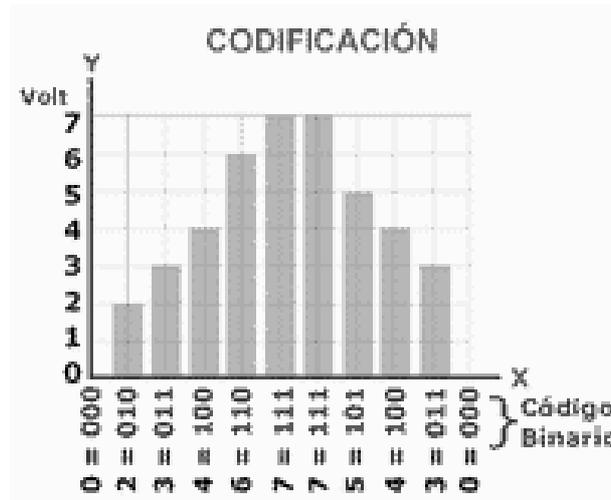


Figura 2.16 Codificación de una señal.

### Codificación

La codificación es la representación numérica de la cuantización utilizando códigos ya establecidos y estándares. El código más utilizado es el código binario, pero también existen otros tipos de códigos que son empleados.

A continuación se presenta una tabla donde se representan los números del 0 al 7 con su respectivo código binario. Como se ve, con 3 bits, podemos representar ocho estados o niveles de cuantización.

En general

$$2^{(n)} = \text{Niveles o estados de cuantización}$$

donde  $n$  es el número de bits.

### Ventajas y desventajas de la comunicación digital

La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos, en un sistema de comunicación. La información de la fuente original puede estar ya sea en forma digital o en señales analógicas que deben convertirse en pulsos digitales, antes de su transmisión y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado del receptor.

Algunas de las **ventajas** de la transmisión digital, con respecto a la analógica, son:

**1.-** La ventaja principal de la transmisión digital es la **inmunidad al ruido**. Las señales analógicas son más susceptibles que los pulsos digitales a la amplitud, frecuencia y variaciones de fase. Esto se debe a que con la transmisión digital, no se necesita evaluar esos parámetros, con tanta precisión, como en la transmisión analógica. En cambio, los pulsos recibidos se evalúan durante un intervalo de muestreo y se hace una sola determinación si el pulso está arriba (1) o abajo de un umbral específico (0).

**2.- Almacenamiento y procesamiento:** Las señales digitales se pueden guardarse y procesarse fácilmente que las señales analógicas.

**3.-** Los sistemas digitales utilizan la **regeneración de señales**, en vez de la amplificación, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.

**4.-** Las señales digitales **son más sencillas de medir y evaluar**. Por lo tanto es más fácil comparar el rendimiento de los sistemas digitales con diferentes capacidades de señalización e información, que con los sistemas analógicos comparables.

**5.-** Los sistemas digitales están mejor equipados para evaluar un rendimiento de error (por ejemplo, **detección y corrección de errores**), que los analógicos.

**6.-** Los equipos que procesan digitalmente consumen menos potencia y son más pequeños, y muchas veces con más económicos.

**7.-**Facilidad para el procesamiento de la señal. Cualquier operación es fácilmente realizable a través de cualquier software de edición o procesamiento de señal.

**8.** Las señales digitales se ven menos afectadas a causa del ruido ambiental en comparación con las señales analógicas.

Algunas de las **desventajas** de la transmisión digital son las siguientes:

**1.-** La transmisión de las señales analógicas codificadas de manera digital **requieren de más ancho de banda** para transmitir que la señal analógica.

**2.-** Las señales analógicas deben convertirse en códigos digitales, antes que su transmisión y convertirse nuevamente a analógicas en el receptor.

**3.-**La transmisión digital **requiere de sincronización precisa**, de tiempo, entre los relojes del transmisor y receptor.

La conversión analógica digital tiene como función principal realizar medidas de amplitud de la señal periódicamente y traducirlas a un lenguaje numérico.

Para realizar la conversión digital interfieren varios procesos que son: el muestreo: que toma muestras constantemente de la amplitud de la onda; la retención: que retiene las muestras que toma el muestreo a través de un circuito de retención. Estas evalúan el nivel de estas muestras minuciosamente; la cuantificación: aquí se mide el nivel del voltaje de todas las muestras de forma individual. A cada una de las muestras se le concede un margen de valor (de una señal que ya ha sido evaluada), a un nivel de salida; y la codificación: que traduce los valores que se consiguieron durante la cuantificación al código binario. A partir de la cuantificación, proceso en que la señal analógica toma los valores finitos, es que se convierte en señal digital.

En términos electrónicos las desventajas de las señales analógicas son:

- Las señales de cualquier circuito o comunicación electrónica son susceptibles de ser modificadas de forma no deseada mediante el ruido, lo que ocurre siempre en mayor o menor medida.
- La gran desventaja respecto a las señales digitales, es que en las señales analógicas, cualquier variación en la información es de difícil recuperación, y esta pérdida afecta en gran medida al correcto funcionamiento y rendimiento del dispositivo analógico

## 2.4 CONVERTIDORES DIGITAL/ANALÓGICOS

En la sección de Potencia del Transductor eólico se debe realizar una conversión digital/analógica que proporcione las señales de voltaje necesarias para hacer funcionar las válvulas de control de flujo de aire comprimido que crea el sonido en los cada uno de los 8 bambúes. De esta manera es importante hablar en esta tesis sobre la conversión analógica/ digital y digital/analógica ya que a lo largo del circuito principal se lleva a cabo un manejo de la señal de entrada que cambia su naturaleza analógica a digital en cierta sección del transductor y que funcionara también como señal de control para el manejo de las salidas a los bambúes.

Por lo que a continuación se presentan algunos métodos de cómo realizar dicha conversión.

### **Método de resistencias ponderadas**

El esquema de un circuito, denominado comúnmente CDA de resistencias ponderadas, y que usa un amplificador operacional en configuración inversora como sumador de salida, se muestra en la figura 2.17. Por simplicidad, se han reemplazado los interruptores semiconductores (transistores de conmutación FET) por sus equivalentes simbólicos. Si el AO forma parte del circuito integrado, el tiempo de establecimiento de la salida es mayor.

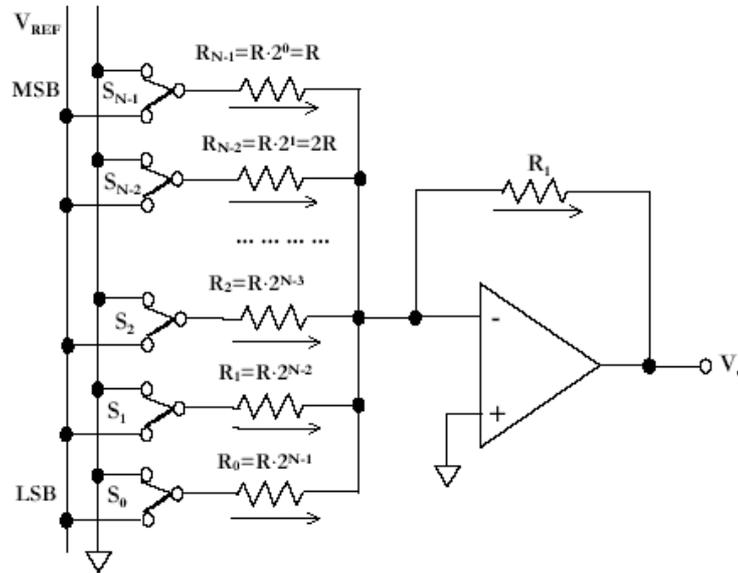


Figura 2.17 Método de resistencias ponderadas.

El análisis del circuito de la figura 2.18 se realiza aplicando el principio de suma de Corrientes en la entrada inversora del AO, el cual se considera operando en régimen lineal (aplicamos cortocircuito virtual en sus entradas). Con el sentido seleccionado en la figura se obtiene:

$$-\frac{V_o}{R_1} = \frac{V_{ref}}{R_0} \cdot S_0 + \frac{V_{ref}}{R_1} \cdot S_1 + \frac{V_{ref}}{R_2} \cdot S_2 + \dots + \frac{V_{ref}}{R_{N-2}} \cdot S_{N-2} + \frac{V_{ref}}{R_{N-1}} \cdot S_{N-1}$$

**Ecuación (2.5)**

Al sustituir cada valor resistivo se obtiene:

$$-\frac{V_o}{R_1} = \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^{N-1}} \cdot S_0 + \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^{N-2}} \cdot S_1 + \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^{N-3}} \cdot S_2 + \dots + \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^1} \cdot S_{N-2} + \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^0} \cdot S_{N-1}$$

**Ecuación (2.6)**

Si el número de bits del circuito CDA es N=4 la expresión anterior se reduce a:

$$-\frac{V_o}{R_1} = \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^3} \cdot S_0 + \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^2} \cdot S_1 + \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^1} \cdot S_2 + \frac{V_{ref}}{R \cdot 2^0} \cdot S_3 = \frac{V_{ref}}{8R} \cdot S_0 + \frac{V_{ref}}{4R} \cdot S_1 + \frac{V_{ref}}{2R} \cdot S_2 + \frac{V_{ref}}{R} \cdot S_3$$

**Ecuación (2.7)**

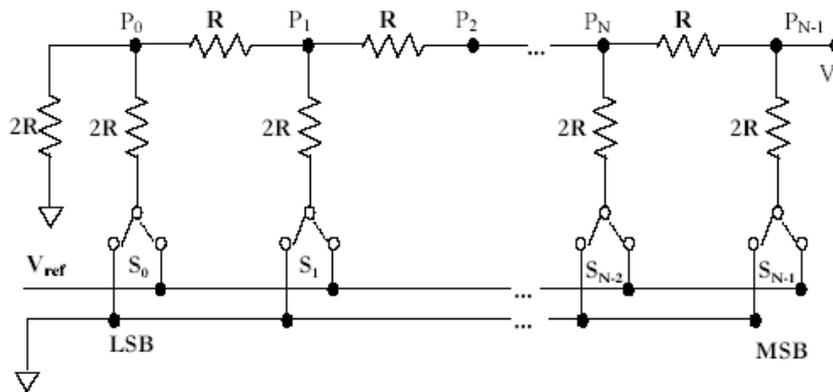
Obsérvese que la menor corriente es la que circula por el interruptor menos significativo (el de mayor resistencia ponderada). En consecuencia, la expresión general resultante es la suma ponderada de la tensión de referencia presente en cada entrada:

$$V_o = - \sum_{i=0}^{N-1} S_i \cdot \frac{V_{ref}}{2^{N-1-i}} \cdot \frac{R_1}{R} = -V_{ref} \cdot \frac{R_1}{2^{N-1} \cdot R} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} S_i \cdot 2^i$$

**Ecuación (2.8)**

**Método de red o escalera**

Los CDA de resistencias ponderadas son adecuados para conversiones de pocos bits. Para resoluciones mayores de 8 bits los valores óhmicos integrados son complicados de obtener y las derivas térmicas difíciles de compensar. De ahí que se empleen modelos de redes R-2R, también con un formato paralelo. Estos poseen sólo dos valores distintos de resistencias y pueden extenderse a cuantos bits se quiera. La figura 4.2 muestra un circuito prototipo. Al igual que el modelo de resistencias ponderadas, consta de una red de conmutadores, una referencia estable de voltaje y la red o escalera R-2R de precisión, como aquella mostrada en la figura 2.18. La salida se conecta a un circuito aislador que permite conectarlo sin carga a la siguiente etapa.



**Figura 2.18 red R-2R en escalera.**

donde voltaje de salida es:

$$V_{\text{sal}} = \frac{V_{\text{ref}}}{2^N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} S_i \cdot 2^i$$

.....Ecuación (2.9)

**Parámetros de los CDA**

Los principales parámetros que condicionan la selección de un convertidor son el número de bits y en tiempo de conversión. El primero determina la resolución de la interfaz. Así, un CDA de 12 bits posee 4096 intervalos de cuantificación. Así por ejemplo, en una aplicación de control de flujo existirán 4096 posiciones de apertura-cierre de una válvula controladas directamente por tensiones analógicas, que provienen de palabras digitales.

La velocidad del CDA se denomina tiempo de conversión y el caso más desfavorable se da cuando todos los bits de la palabra digital de entrada cambian de estado simultáneamente. Este parámetro se mide desde que se produce un cambio en la palabra digital de entrada hasta que se produce un cambio apreciable en la salida equivalente a 1 LSB (Least Significant Bit; bit menos significativo).

En general se establecen tres grupos de parámetros: de entrada, de salida y de transferencia. Además, el fabricante indicará datos sobre consumo y alimentación, y características ambientales.

➤ **Características de entrada**

La más importante es el número de bits, que determina la resolución del circuito. Ésta se define como el menor cambio en la entrada que produce un cambio apreciable en la salida. En la práctica es el menor cambio analógico en la salida cuando cambia el bit menos significativo en la entrada.

➤ **Características de salida**

Interesan el número de canales (normalmente uno) y el tipo de señal (de tensión o de corriente). El valor de la tensión o corriente dependen de la tensión de referencia.

➤ **Características de transferencia**

Son las relativas a la exactitud y la velocidad. Las principales fuentes de error son las derivas térmicas, la precisión con que se obtienen las resistencias integradas y las tensiones y corrientes de polarización y de “offset” de los amplificadores operacionales. Esto hace que el fabricante suministre errores de temperatura, ganancia y no linealidad.

La velocidad está limitada por el “Slew Rate” (velocidad máxima de cambio de la salida) y el “settling time” (tiempo de asentamiento) de los amplificadores operacionales; suele proporcionarse el tiempo de establecimiento de la salida.

**CAD de rampa digital**

El convertidor CAD de rampa digital es relativamente lento debido a que el contador tiene que volver a ponerse en cero al inicio de cada conversión. Utiliza un contador ascendente / descendente para reducir este tiempo desperdiciado, el contador reemplaza al contador ascendente que proporciona las entradas al DAC.

**CAD de voltaje a frecuencia**

Es más sencillo que los otros CAD, debido a que no hace uso de un DAC. En lugar de éste se emplea un oscilador lineal controlado por voltaje que produce como salida una frecuencia que es proporcional al voltaje aplicado en su entrada. Una de las principales aplicaciones de este tipo de convertidor se encuentra en ambientes industriales con mucho ruido y donde se tienen que transmitir señales analógicas de poca amplitud desde los circuitos transductores hacia la computadora de control.

**CAD de doble pendiente**

Es uno de los que tienen mayor tiempo de conversión, pero ofrece la ventaja de un costo relativamente bajo ya que no requiere de componentes de precisión tales como un DAC o un VCO. La operación básica de este convertidor se apoya en la carga y descarga, ambas en forma lineal, de un capacitor mediante el uso de corrientes de valor constante.

Otra ventaja es su baja sensibilidad al ruido y las variaciones en los valores de sus componentes causados por los cambios de temperatura.

### Parámetros de los CAD

- Impedancia de entrada
- Rango de entrada
- Número de bits
- Resolución
- Tensión de fondo de escala
- Tiempo de conversión
- Error de conversión

### Tiempo de conversión

Es el tiempo que tarda en realizar una medida el convertidor en concreto, y dependerá de la tecnología de medida empleada. Evidentemente nos da una cota máxima de la frecuencia de la señal a medir. Este tiempo se mide como el transcurrido desde que el convertidor recibe una señal de inicio de conversión hasta que en la salida aparece un dato válido. Para que tengamos constancia de un dato válido tenemos dos caminos:

1. Esperar el tiempo de conversión máximo que aparece en la hoja de características.
2. Esperar a que el convertidor nos envíe una señal de fin de conversión.

Si no respetamos el tiempo de conversión, en la salida tendremos un valor, que dependiendo de la constitución del convertidor será Un valor aleatorio.

### Principios operativos de los convertidores analógico/digital

En la automatización e instrumentación industrial, se producen señales analógicas que varían constantemente, con variaciones que pueden ser muy rápidas o lentas. Estas señales no son fáciles de tratar, como sumar almacenar, comparar etc. Por lo que se recurre a estos dispositivos en circuito integrado. Estos realizan el paso de señales analógicas a digitales asignando a cada nivel de tensión un número digital para ser utilizado por el sistema de procesamiento. Las características fundamentales de un convertidor analógico digital (CAD) son la precisión y la velocidad. En el ámbito industrial son bastante comunes los conversores de 4, 8, 10 y 12 bits aunque la tendencia es a convertidores de mayor precisión (14 ó 16 bits). La velocidad de conversión depende de las necesidades de la aplicación pero hay que tener en cuenta que está en contraposición con la precisión. Por último, un factor a tener en cuenta en la elección de un convertidor AD es la tecnología utilizada que dependerá de las necesidades de precisión y velocidad.

En nuestro caso el circuito integrado para realizar esta función es el llamado PIC, en donde uno de los más comunes a utilizar es el PIC16F84; así como los grabadores de audio ISD, circuitos especializados en las funciones, características y necesidades enfocadas a las aplicaciones y manejo de señales de audio.

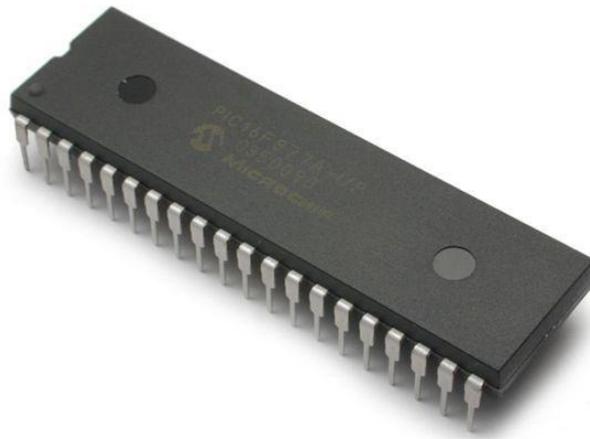
## 2.5 PIC

Los PIC son una familia de micro controladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como *Peripheral Interface Controller* (controlador de interfaz periférico).

El PIC original se diseñó para ser usado con la nueva CPU de 16 bits CP16000. Siendo en general una buena CPU, ésta tenía malas prestaciones de E/S, y el PIC de 8 bits se desarrolló en 1975 para mejorar el rendimiento del sistema quitando peso de E/S a la CPU. El PIC utilizaba microcódigo simple almacenado en ROM para realizar estas tareas; y aunque el término no se usaba por aquel entonces, se trata de un diseño RISC que ejecuta una instrucción cada 4 ciclos del oscilador.

En la figura 2.19 se puede observar uno de los tantos PICs con los que cuenta el Transductor Eólico.



**Figura 2.19 PIC.**

En 1985 la división de microelectrónica de General Instrument se separa como compañía independiente que es incorporada como filial (el 14 de diciembre de 1987 cambia el nombre a Microchip Technology y en 1989 es adquirida por un grupo de inversores) y el nuevo propietario canceló casi todos los desarrollos, que para esas fechas la mayoría estaban obsoletos. El PIC, sin embargo, se mejoró con EPROM para conseguir un controlador de canal programable. Hoy en día multitud de PICs vienen con varios periféricos incluidos (módulos de comunicación serie, UARTs, núcleos de control de motores, etc.) y con memoria de programa desde 512 a 32.000 palabras (una *palabra* corresponde a una instrucción en ensamblador, y puede ser 12, 14 o 16 bits, dependiendo de la familia específica de PICmicro).

El PIC usa un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número puede variar desde 35 para PICs de gama baja a 70 para los de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada *sleep*. Microchip proporciona un entorno de desarrollo freeware llamado MPLAB que incluye un simulador software y un ensamblador. Otras empresas desarrollan compiladores C y BASIC. Microchip también vende compiladores para los PICs de gama alta ("C18" para la serie F18 y "C30" para los dsPICs) y se puede descargar una edición para estudiantes del C18 que inhabilita algunas opciones después de un tiempo de evaluación.

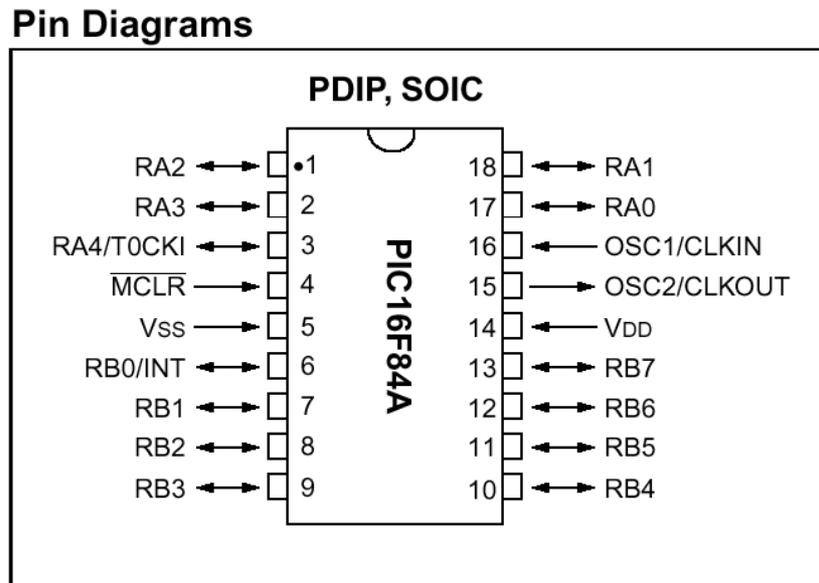
Para el lenguaje de programación Pascal existe un compilador de código abierto, JAL, lo mismo que PicForth para el lenguaje Forth. GPUTILS es una colección de herramientas distribuidas bajo licencia GNU que incluye ensamblador y enlazador, y funciona en Linux, MacOS y Microsoft Windows. GPSIM es otra herramienta libre que permite simular diversos dispositivos hardware conectados al PIC.

Para transferir el código de un ordenador al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de PICs que Microchip distribuye hoy en día incorporan ICSP (*In Circuit Serial Programming*, programación serie incorporada) o LVP (*Low Voltage Programming*, programación a bajo voltaje), lo que permite programar el PIC directamente en el circuito destino. Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7 como reloj y datos y el MCLR para activar el modo programación aplicando un voltaje de 13 voltios. Existen muchos programadores de PICs, desde los más simples que dejan al software los detalles de comunicaciones, a los más complejos, que pueden verificar el dispositivo a diversas tensiones de alimentación e implementan en hardware casi todas las funcionalidades. Muchos de estos programadores complejos incluyen ellos mismos PICs preprogramados como interfaz para enviar las órdenes al PIC que se desea programar. Uno de los programadores más simples es el TE20, que utiliza la línea TX del puerto RS232 como alimentación y las líneas DTR y CTS para mandar o recibir datos cuando el microcontrolador está en modo programación. El software de programación puede ser el ICprog, muy común entre la gente que utiliza este tipo de microcontroladores.

El PIC16F84 es un microcontrolador de la familia PIC, uno de los microcontroladores más populares del mercado, ideal para principiantes, debido a su arquitectura de 8 bits, 18 pines, y un set de instrucciones RISC muy amigable para memorizar y fácil de entender, internamente consta de:

- Memoria Flash de programa (1K x 14).
- Memoria EEPROM de datos (64 x 8).
- Memoria RAM (68 registros x 8).
- Un temporizador/contador (timer de 8 bits).
- Un divisor de frecuencia.
- Varios puertos de entrada-salida (13 pines en dos puertos, 5 pines el puerto A y 8 pines el puerto B).

La figura 2.20 muestra un diagrama de pines de un PIC 16F84, uno de los PICs más comunes de uso por su fácil manejo y su set instrucciones fácil de comprender. Es por ello que en este proyecto del Transductor Eólico se utilizan varios de éstos integrados.



**Figura 2.20 PIC 16F84.**

Otras características son:

- Manejo de interrupciones (de 4 fuentes).
- Perro guardián (watchdog).
- Bajo consumo.
- Frecuencia de reloj externa máxima 10MHz. (Hasta 20MHz en nuevas versiones). La frecuencia de reloj interna es un cuarto de la externa, lo que significa que con un reloj de 20Mhz, el reloj interno sería de 5Mhz y así pues se ejecutan 5 Millones de Instrucciones por Segundo (5 MIPS)
- No posee conversores analógicos-digital ni digital-analógicos.
- Pipe-line de 2 etapas, 1 para búsqueda de instrucción y otra para la ejecución de la instrucción (los saltos ocupan un ciclo más).
- Repertorio de instrucciones reducido (RISC), con tan solo 30 instrucciones distintas.

En los últimos años se ha popularizado el uso de este microcontrolador debido a su bajo costo y tamaño. Se ha usado en numerosas aplicaciones, que van desde los automóviles a decodificadores de televisión. Es muy popular su uso por los aficionados a la robótica y electrónica. Puede ser programado tanto en lenguaje ensamblador como en Basic y principalmente en C, para el que existen numerosos compiladores.

A continuación veremos algunas de las instrucciones más importantes, o al menos más empleadas en la programación de **PICs**, en **ASM**.

- Manejo de registros
- `clrf f`: limpia el registro f, es decir, pone todos sus bits a 0.
- `comf f,d`: complementa el registro fuente f cambia los 1 por 0 y viceversa) y el resultado lo deposita en el destino.  
Si  $d = 0$  el destino es W y si  $d = 1$ , el destino es el registro fuente f.
- Manejo de bits
- `bcf f,b`: pone a 0 el bit b del registro f.
- `bsf f,b`: pone a 1 el bit b del registro f.
- **Brinco**
- `Btfsc f, b`: explora el bit b del registro f y salta si vale 0
- `Btfss f, b`: explora el bit b del registro f y salta si vale 1
- Control y especiales
- Goto etiqueta: sitúa el cursor del programa (PCL), en etiqueta

En el siguiente esquema 2.21 se puede observar la circuitería básica, es decir, el **circuito mínimo** para que el **PIC** empiece a funcionar

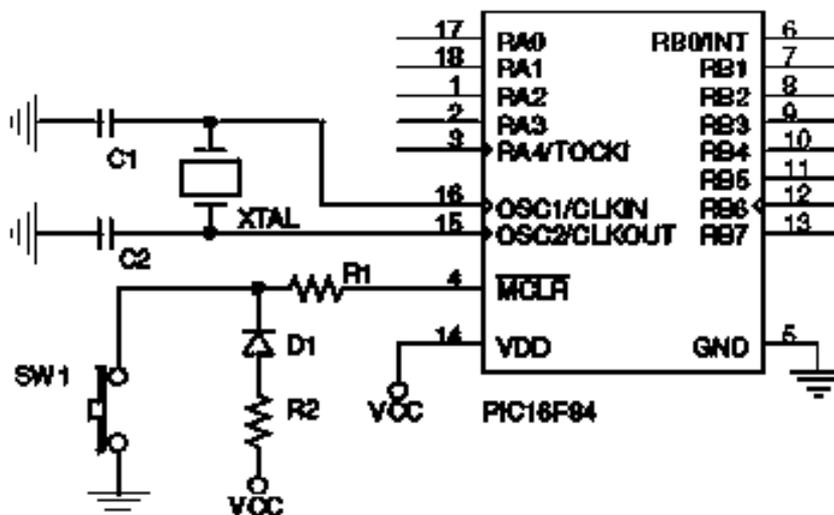


Figura 2.21 Configuración básica.

### Alimentación

Se emplean para ello dos pines: 14 VDD y 5 GND . Se incluye además un pulsador, conectado al pin 4: cuando se introduce un nivel alto de tensión (pulsador abierto) el **PIC** funciona normalmente y cuando se introduce un nivel bajo (pulsador cerrado) se resetea el **PIC**.

### Oscilación

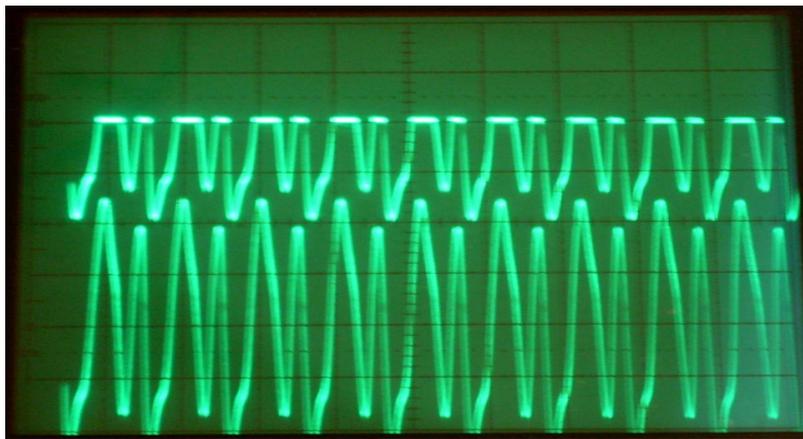
La lleva a cabo el cristal de cuarzo (de 20 Mhz en nuestro caso) junto con los dos capacitores cerámicos (27pF).

## CAPÍTULO 3

### SEÑALES DE AUDIO

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

La naturaleza cuenta con un universo de señales que pueden ser analizadas; existen eléctricas, digitales, analógicas, biológicas, determinísticas, aleatorias, periódicas, aperiódicas, lineales, no-lineales, pares, impares, estables, inestables etc. En el presente capítulo se describirá a la **señal de audio**, la cual es una señal analógica eléctricamente exacta a una señal sonora; normalmente está delimitada al rango de frecuencias audibles, el ser humano puede escuchar en promedio el equivalente a 10 octavas es decir un rango de 20 a 20,000 Hz aproximadamente. Mediante el apoyo de un osciloscopio puede visualizarse a una señal de audio común, capaz de ser captada por el ser humano, esto se muestra en la figura 3.1.

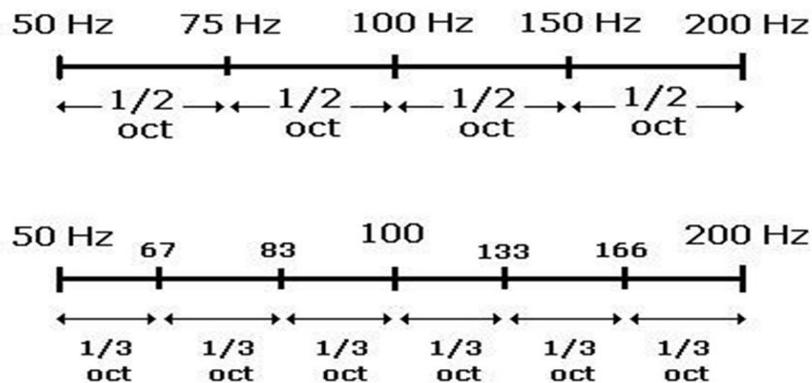


**Figura 3.1 Visualización de una señal de audio.**

Una **octava** es el intervalo que separa dos sonidos cuyas frecuencias fundamentales tienen una relación de dos a uno. Ejemplo de octava: el  $la_5$  de 880 Hz está una octava por encima respecto a  $la_4$  de 440 Hz. También se denomina **octava** al rango de frecuencias entre dos notas que están separadas por una relación 2:1.

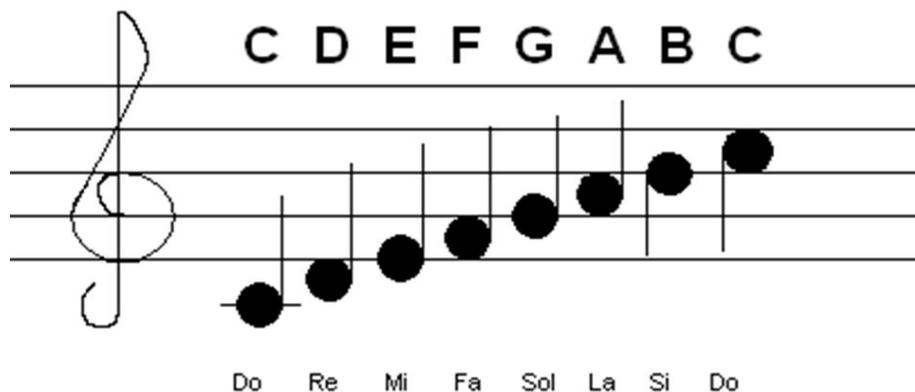
La diferencia con la definición anterior es que aquí se habla de octava como una región y no como una distancia. Por ejemplo, decimos que el *re* que está una novena por encima del *do*, está dentro de la «siguiente octava».

El nombre de octava obedece al hecho de que después de siete pasos desiguales la escala recorre esta distancia de tono y semitono, sin embargo cada octava a su vez puede ser subdividida, creándose nuevos semitonos, observando esto en la figura 3.2.



**Figura 3.2 Representación de las octavas.**

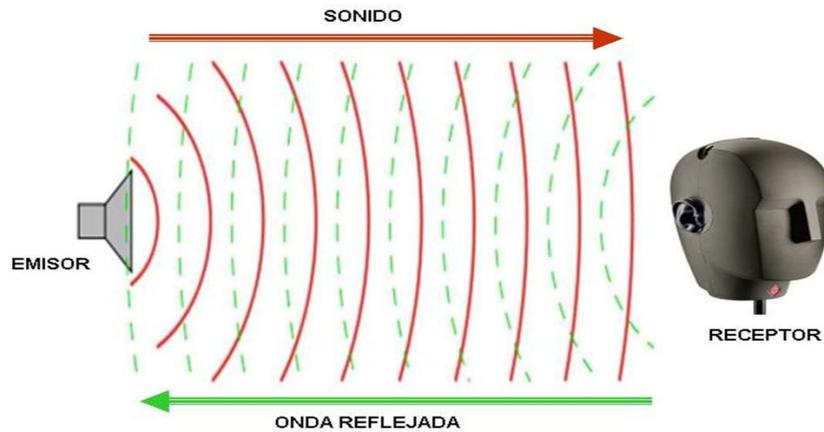
Como los intervalos se cuantifican por una cifra que expresa el número de notas que comprende, incluidas las dos notas de los extremos, este intervalo se denomina octava (por ejemplo **do-re-mi-fa-sol-la-si-do**). El intervalo u octava de la figura 3.3 consta de todas las notas.



**Figura 3.3 Notas musicales.**

De manera que una señal de audio se puede caracterizar, por su dinámica (valor de pico, rango dinámico, potencia, relación señal-ruido) o por su composición espectral (ancho de banda, frecuencia fundamental, armónicos, distorsión armónica, etc.).

La conversión contraria se realiza mediante un altavoz, llamado también bocina que convierte las señales eléctricas en ondas de presión de aire. El sonido se propaga a través del aire y debido a la distancia va disminuyendo su tono como puede apreciarse en la figura 3.4.



**Figura 3.4 Emisor y receptor en una señal de audio.**

Un sólo micrófono puede captar adecuadamente todo el rango audible de frecuencias, en cambio para reproducir fidedignamente ese mismo rango de frecuencias suelen requerirse dos altavoces (de agudos y graves) o más.



(a)



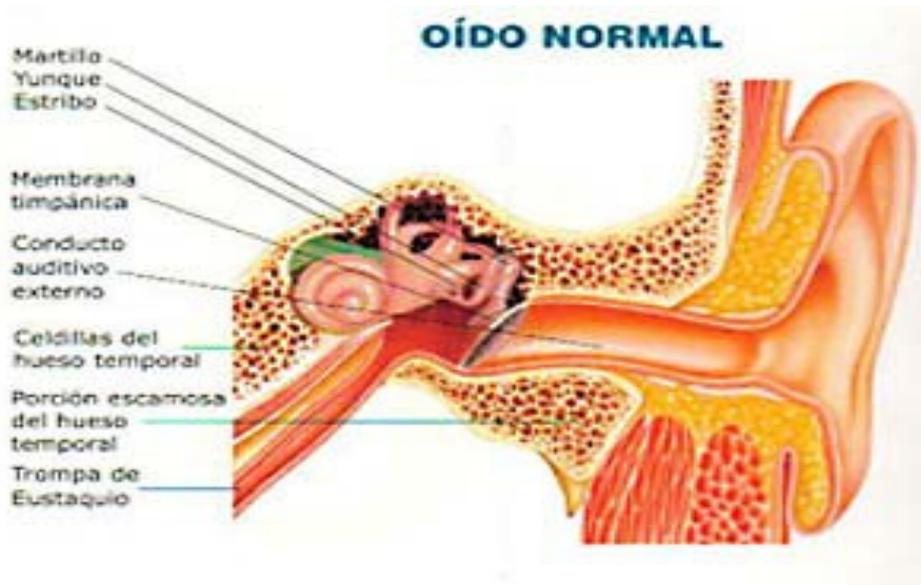
(b)

**Figura 3.5 (a, b) Micrófono y bocinas.**

Dado que el sonido es una onda de presión se requiere un transductor de presión (un micrófono) que convierte las ondas de presión de aire (ondas sonoras) en señales eléctricas (señales analógicas). Con este concepto principia el camino para el funcionamiento del transductor eólico, es decir, la señal de audio inicia su entrada por medio de este primer transductor tan importante como lo es el micrófono, pero aunque esta señal de audio puede ser también una señal externa no necesariamente proviene del micrófono, sino que pudiera ser una señal de audio previamente grabada y guardada en algún dispositivo de almacenamiento.

### 3.2 SEÑALES DE AUDIO.

El espectro audible lo conforman las audiodfrecuencias, es decir, toda la gama de frecuencias que pueden ser percibidas por el ser humano. El oído humano, que se muestra en la figura 3.6, no puede percibir todas las ondas sonoras. Éste es sensible únicamente a aquellas ondas cuya frecuencia está comprendida entre los 20 y los 20.000 Hz. Esta respuesta en frecuencia del oído humano es lo que se conoce como **audiodfrecuencias**.



**Figura 3.6 Oído humano.**

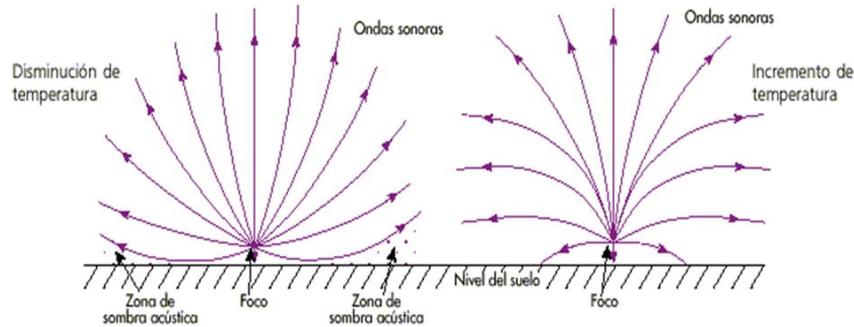
Por encima de las audiodfrecuencias, estarían ultrasonidos (sonidos superiores a los 20 khz.) y, por abajo, los infrasonidos (sonidos inferiores a los 20 Hz). La figura 3.6 muestra una imagen del oído humano.

El sonido se compone de variaciones de presión o vibraciones de moléculas de aire que llegan hasta nuestro sentido del oído en forma de ondas acústicas. Esas ondas serán audibles siempre que su frecuencia se limite a un rango superior a los 20 Hertz o ciclos por segundo, para los sonidos más graves e inferior de los 20 mil Hertz (20 khz.) o ciclos por segundo, para los más agudos.

La figura 3.7 ilustra como el sonido también es influenciado por la temperatura, mostrando cuál es el camino que siguen las ondas sonoras según el grado de calor en el medio.

**Influencia de la temperatura**

El sonido tiende a "curvarse" en función del gradiente de temperatura.  
 Su efecto puede llegar a ser importante para distancias grandes.

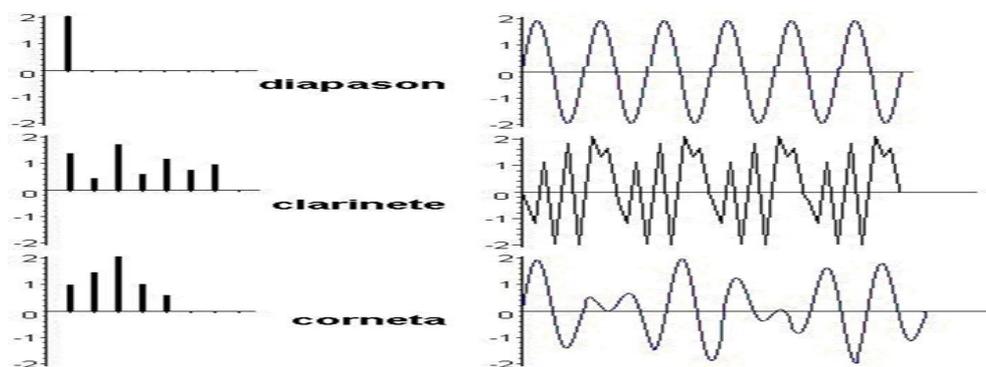


**Figura 3.7 Ondas sonoras influenciadas por la temperatura.**

Cualquier cuerpo que vibre dentro de esa gama de frecuencias, podrá ser captado por nuestro sentido del oído como una onda sonora audible. Más allá de los 20 khz., las ondas se convierten en ultrasonidos, cuyas frecuencias el oído humano es incapaz de percibir, no así algunos animales como el perro, por ejemplo, que puede captar sonidos de hasta unos 30 kHz de frecuencia.

El sonido, independientemente que sea natural o artificial, posee intensidad, tono, timbre y frecuencia, lo cual los diferencia a unos de los otros y permite representarlos gráficamente como una onda senoidal, de amplitud y frecuencia variable.

En una representación gráfica de la forma de onda producida por tres instrumentos musicales de viento, puede apreciarse que todos ellos, poseen una onda sonora característica. Se observan las diferentes formas de sus ondas en la figura 3.8.



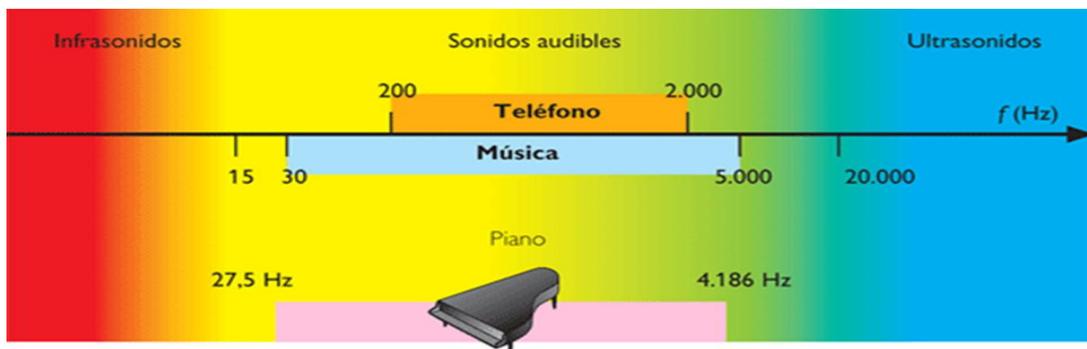
**Figura 3.8 Timbres característicos de tres instrumentos.**

Las pequeñas irregularidades visibles en el contorno de la línea que va formando el trazado de la sinusoide (semejante a pequeñitos dientes de una sierra), representan los armónicos que definen los timbres y los tonos característicos del sonido que producen tales instrumentos cuando se mezclan. Las variaciones en amplitud y altura de las ondulaciones de la propia sinusoide representan la intensidad del sonido y la frecuencia en Hertz o kilohertz de la onda sonora.

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 20 Hz).

La figura 3.9 muestra los rangos de frecuencia en dónde se localizan las ondas sonoras que corresponden a los infrasonidos, audibles y ultrasonidos respectivamente.



**Figura 3.9 Rango de sonidos audibles.**

El espectro audible se subdivide en función de los tonos:

- Tonos graves (frecuencias bajas, correspondientes a las 4 primeras octavas, esto es, desde los 16 Hz a los 256 Hz).
- Tonos medios (frecuencias medias, correspondientes a las octavas quinta, sexta y séptima, esto es, de 256 Hz a 2 kHz).
- Tonos agudos (frecuencias altas, correspondientes a las tres últimas octavas, esto es, de 2 kHz hasta poco más 16 kHz).

En la figura 3.10 se observan los rangos de los sonidos graves, medios y agudos, estos sólo se pueden apreciar dentro del intervalo de los sonidos audibles, los infrasonidos así como los ultrasonidos no cuentan con las subdivisiones de los audibles.

No hay que confundir las audiofrecuencias con las ondas de radiofrecuencias. Las audiofrecuencias, son ondas de baja frecuencia (BF- 20Hz- 20kHz) y, por consiguiente, no tienen capacidad radiante; mientras que las radiofrecuencias, son ondas electromagnéticas con capacidad radiante, siendo además ondas de altas frecuencias cuyo margen va de los 3 kHz de las ondas largas a los 300 GHz de las microondas.

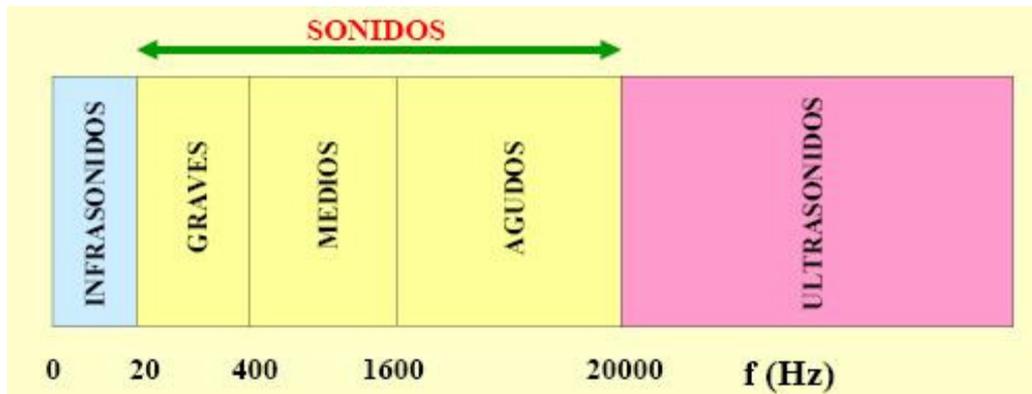


Figura 3.10 División de los sonidos.

El espectro audible se subdivide en 11 secciones llamadas octavas. El término de *octava* se toma de una escala musical. La octava es el intervalo entre dos sonidos que tienen una relación de frecuencias igual a 1:2 y que corresponde a ocho notas de dicha escala musical. Por ejemplo: si comenzamos con una nota como DO, la octava completa será: DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI-DO. Si el primer LA estaba afinado en 440 Hz el segundo LA (octava siguiente) estará en 880 Hz. Una variación de la octava Do y su manera de escribirse puede apreciarse en la figura 3.11.

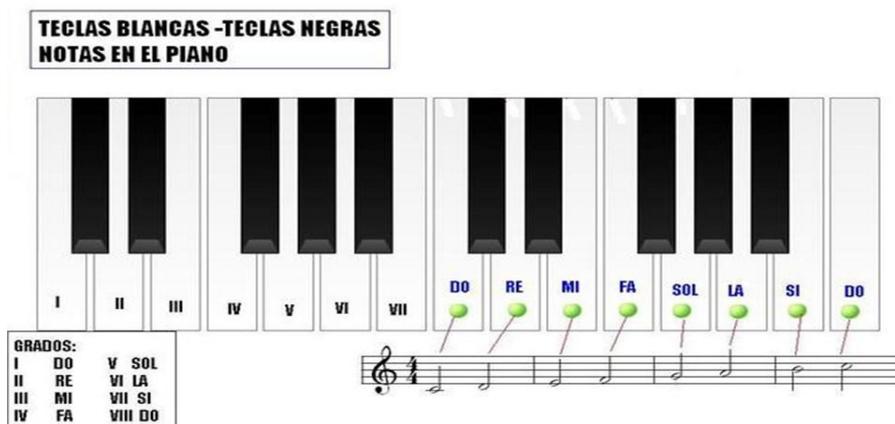
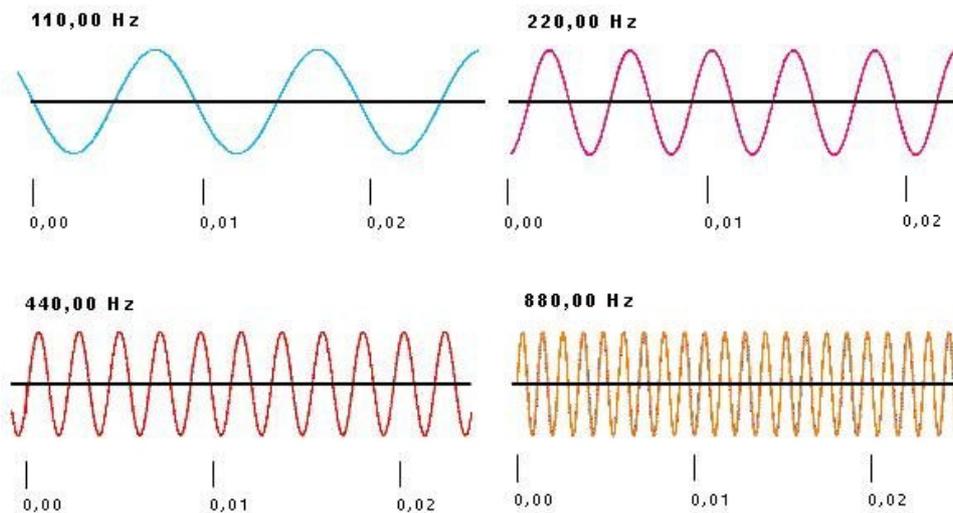


Figura 3.11 Representación de las octavas.

Para comparar dos octavas es necesario que las notas sean las mismas, es decir, no se puede comparar una nota Re con una Si, debido a que si esto llegara a suceder, no se cumpliría la definición de octava, es decir suponiendo que la nota Re está afinada a una frecuencia de 260 Hz y la nota Si a otra frecuencia cualquiera, la siguiente octava estaría cada una al doble de su nota respectiva y no una nota con otra que no sea la misma pero en la octava anterior.

El valor máximo de las frecuencias cada octava es el doble del de la anterior. En la figura 3.12 es posible observar cómo a intervalos de tiempo iguales, en éste caso a una décima y posteriormente a dos décimas de segundo las octavas van modificando su respuesta en frecuencia.



**Figura 3.12 Frecuencia contra tiempo.**

- La primera y segunda octava (los tonos más graves, 16 - 64 Hz). No todas las personas son capaces de percibirlos.
- La tercera y cuarta octava (tonos graves medios, 64 - 250 Hz)
- La quinta, sexta y séptima octava (tonos medios, 250 Hz – 2.000 Hz). Contienen el tono fundamental y los primeros armónicos de la mayoría de las fuentes sonoras.
- La octava *octava* (tonos agudos, 2.000 Hz – 4.000 Hz). Comprende el margen en que el oído humano tiene mayor sensibilidad.
- La novena y décima octava (tonos agudos de frecuencia alta, 4.000 a 16.000 Hz).
- La undécima octava (los tonos más agudos del espectro audible, por encima de los 16.000 Hz). No todas las personas son capaces de percibirlos, depende de la sensibilidad del oído de cada persona.

La octava se puede dividir en valores más pequeños, por ejemplo: la **media octava** (divide cada octava en dos) y el **tercio de octava** (cada intervalo de la octava se divide en tres partes).

La octava suele dividirse en una escala cromática, compuesta por 12 semitonos que determina lo que se conoce como altura musical.

### 3.3 AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES DE AUDIO.

El trabajo de un amplificador es recoger una señal de audio débil y mejorarla para generar una señal suficientemente potente para hacer funcionar una bocina. Esto es una descripción precisa cuando se considera al amplificador como un dispositivo general, pero el proceso dentro del amplificador es algo más complejo. La realidad es que el amplificador genera una señal de salida completamente nueva basada en la señal de entrada. Podemos entender estas señales como dos circuitos separados.

En el proyecto del *Transductor Eólico* se utilizó un amplificador de audio en la sección analógica, debido principalmente a sus características especiales fue muy importante su uso. A continuación algunas de sus características. La figura 3.13 muestra al Amplificador Operacional LM386, el cuál es recurrentemente usado en proyectos en los que se requiere transformar el tamaño de una corriente con el fin de hacerla manejable.

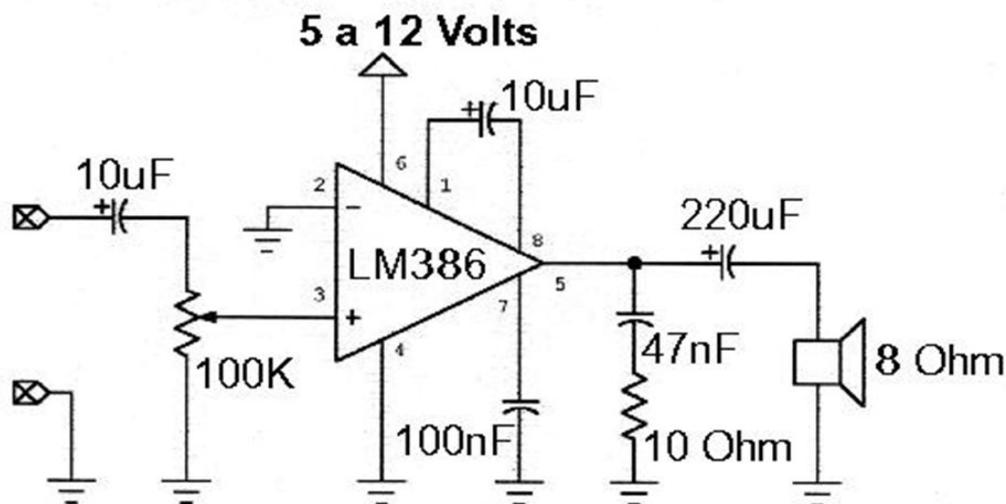


Figura 3.13 Amplificador de audio.

El circuito de salida es generado por la fuente de alimentación del amplificador, que recibe la energía de una batería o un enchufe eléctrico. Si el amplificador es alimentado desde una corriente alterna que puede encontrarse en una casa, donde el flujo cambia de dirección, esta fuente de alimentación la convertirá en una corriente directa, donde la carga siempre fluye en la misma dirección.

Para el caso del *Transductor Eólico*, esta sección se encuentra formada por la red de amplificadores de audio y posteriormente la parte de potencia de los transistores TIP.

La fuente también suaviza la corriente para que la señal sea continua e ininterrumpida. La carga de este circuito de salida es mover el cono de la bocina. La corriente más grande es modificada por una más pequeña. Para la mayoría de los amplificadores, esta carga es demasiado trabajo para la señal de audio original. Debido a esto, la señal es potenciada por un *pre-amplificador*, el cual envía una señal de salida más fuerte al dispositivo.

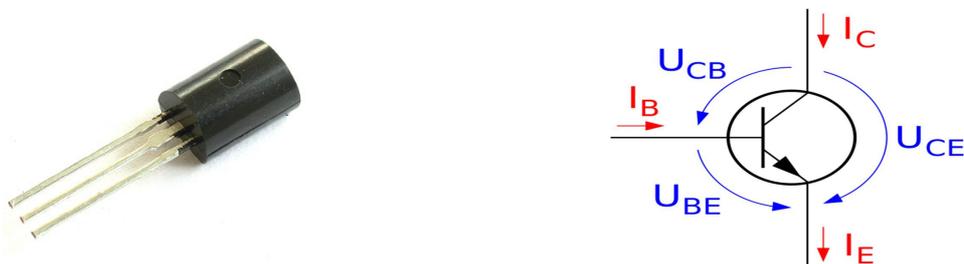
El pre-amplificador funciona de una manera muy parecida al amplificador: el circuito de entrada aplica una resistencia variable a un circuito de salida generado por la fuente de alimentación. Algunos sistemas de amplificadores usan varios pre-amplificadores para gradualmente construir una señal de salida de alto voltaje. Se aprecia la imagen de un sencillo preamplificador en la figura 3.14.



**Figura 3.14 Preamplificador.**

Un amplificador operacional no es capaz por sí solo de entregar corrientes muy grandes por la salida, por lo que no se puede conectar directamente un altavoz y oír música.

Los amplificadores inversores y no inversores tienen una ganancia en tensión  $A_v$ , pero su corriente no es la requerida, por lo tanto es necesario entonces añadir algún dispositivo que sea capaz de amplificar esa corriente. El dispositivo capaz de hacer esto es el transistor, y la forma más sencilla de utilizarlo es la siguiente:



**Figura 3.15 El Transistor.**

Con el apoyo de transistores, es posible incrementar la ganancia en corriente que necesita el Amplificador Operacional, sus símbolos así como su imagen son tratadas en la figura 3.15.

Para la sección de potencia del *Transductor Eólico*, se usan estos dispositivos de manera conjunta con los amplificadores de audio y así tener a la salida la corriente de trabajo necesaria para hacer funcionar las válvulas de la sección neumática. El transistor está hecho a base de silicón, sus elementos principales son los semiconductores, todos sus átomos se entrelazan perfectamente a sus vecinos, no dejando electrones libres para conducir corrientes eléctricas.

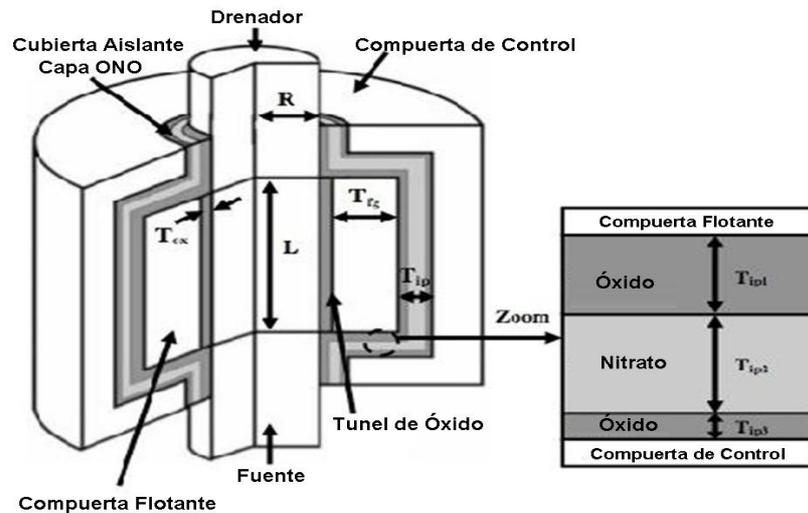
Añadiendo algunos átomos de silicón tratado, Su comportamiento se modifica, sumando nuevos átomos libres o creando agujeros donde van los electrones. La carga eléctrica se mueve cuando los electrones se mueven de agujero en agujero, por lo que cualquiera de estos dos casos harán que el material sea más conductor. Los semiconductores de tipo N, están caracterizados por sus electrones extra, los cuales tienen una carga negativa.

Los del tipo P tienen una abundancia de agujeros extra, los cuales son de carga positiva. Si echamos un vistazo a un transistor de juntas bipolares, veremos que hay tres capas, que para el ejemplo formaremos con dos semiconductores del tipo N con uno del tipo P en medio. Nos lo podemos imaginar como un bocadillo con los tipos de N haciendo de pan y el tipo P de relleno.

La primera capa del tipo N se llama emisor, la capa P es la base y la segunda capa N se llama el colector. El circuito de salida (el que hace funcionar al altavoz) es conectado con electrodos al emisor y colector del transistor. El circuito de entrada conecta con el emisor y la base. Los electrones libres en las capas de tipo N quieren de forma natural, rellenar los hoyos en la capa del tipo P. Hay más electrones libres que agujeros, por lo que son llenados rápidamente.

Esto crea zonas de vaciado en los bordes de los materiales N y los materiales P. En una zona de vaciado, el material semiconductor es devuelto a su estado original de aislamiento – todos los agujeros son llenados, por lo que no hay electrones libres o espacios vacíos para los electrones, y la carga no puede fluir.

Cuando las zonas de vaciado son gruesas, la carga que se mueve del emisor al colector es poca, aunque hay una diferencia de voltaje entre los dos electrodos. Una descripción de la parte interna del transistor, puede verse en la figura 3.16, la cual muestra las diferentes capas con las que cuenta.



**Figura 3.16 Capas en el transistor.**

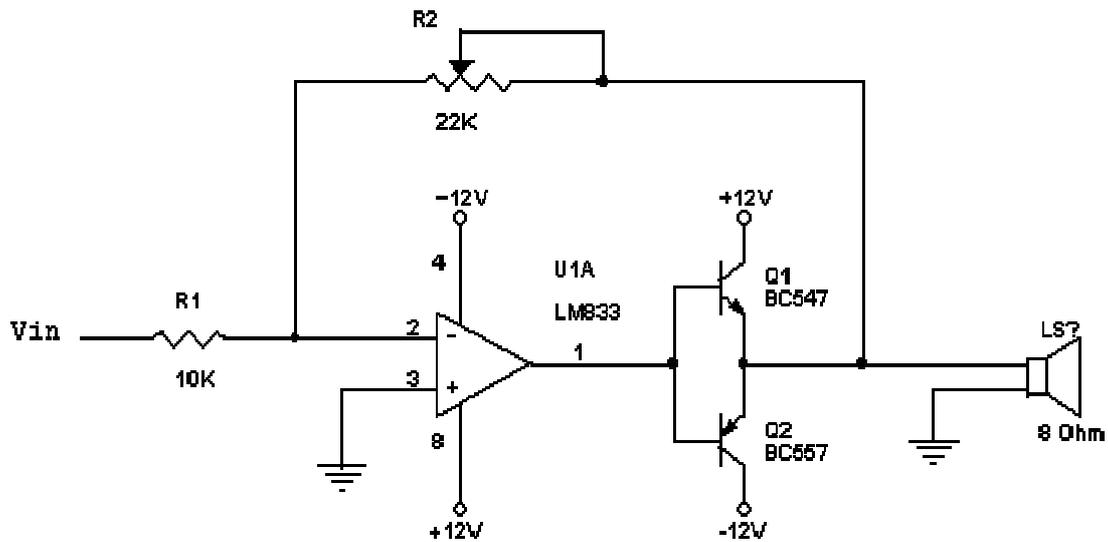
Cuando las zonas de vaciado son gruesas, se puede incrementar el voltaje en la base del electrodo. La corriente de entrada es quién controla el voltaje en este electrodo. Cuando dicha corriente está fluyendo, la base del electrodo tiene una relativa carga positiva, por lo que empuja hacia si los electrones desde el emisor. Esto libera algunos agujeros, lo cual disminuye las zonas de vaciado. Según estas zonas son reducidas, la carga puede moverse desde el emisor al colector más fácilmente volviendo al transistor más conductor.

El tamaño de las zonas de vaciado, y por tanto la conductividad del transistor, es determinado por el voltaje en la base del electrodo. De esta manera, la corriente de entrada en la base del electrodo, varía la corriente de salida en el colector. La salida entonces activa la bocina ó en nuestro caso la salida de aire por las válvulas.

La meta de un buen amplificador es causar la menor distorsión posible. La señal final que activa las bocinas debe imitar la señal original de entrada lo más perfectamente posible, aunque haya sido potenciada varias veces.

En la figura 3.17, se puede apreciar un amplificador inversor en el que se han hecho algunos cambios. El amplificador operacional empleado es un LM833, especial para audio.

La etapa de transistores formada por Q1 y Q2 tiene como única finalidad suministrar toda la corriente que no puede el operacional. Los transistores empleados en el dibujo, son los BC547 y BC557 estos no son de mucha potencia.



**Figura 3.17 Amplificador inversor.**

La realimentación, está conectada directamente a la salida pasando por encima de los dos transistores. Esto soluciona algunos problemas de falta de linealidad en la etapa de los transistores.

$$V_{out} = -V_{in} (R2/R1)$$

Además, R2 es una resistencia variable, que puede hacerlo de 0 a 22K. Esto hace que la ganancia en tensión ( $A_v$ ) del circuito varía desde 0 hasta -2,2 variando así el volumen de la bocina. La figura 3.18 muestra una cascada de transistores los cuáles ayudan a modificar la corriente que es requerida por el circuito amplificador, se observan también en la imagen los diferentes tamaños de capacitares.



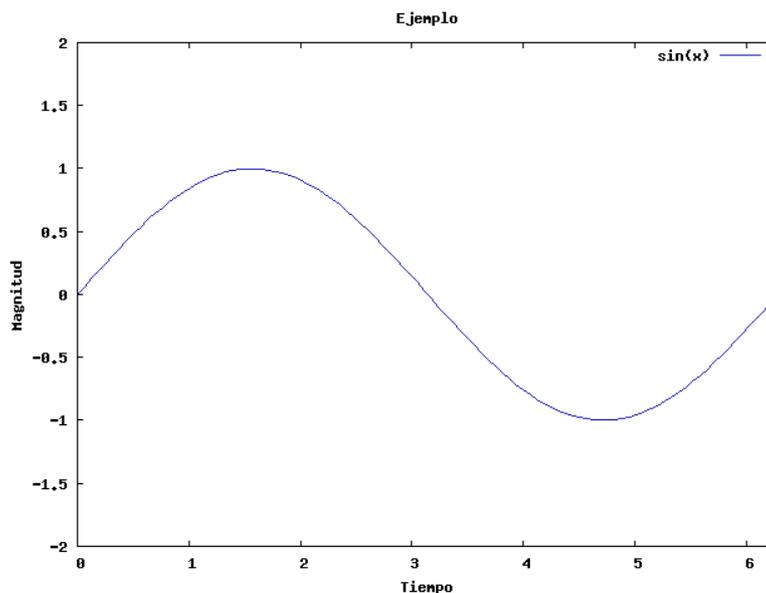
**Figura 3.18 Etapa de transistores en un amplificador de audio.**

### 3.4 CONTROL DE SEÑALES DE AUDIO.

Las primeras técnicas utilizadas para la grabación y el procesamiento del sonido eran analógicas: inicialmente cilindros y discos mecánicos y posteriormente hilo magnético, cinta y banda sonora de película. La grabación magnética analógica tal como es conocida en la actualidad, fue desarrollada fundamentalmente bajo el empuje de la segunda guerra mundial, en conjunto con el turborreactor, el radar y la bomba atómica.

Desde entonces el procesamiento y grabación analógicos del sonido se ha perfeccionado, estudiando cada defecto del proceso y aplicando las medidas necesarias para reducirlo. Existen varios métodos para convertir una forma de onda analógica en una secuencia de bits, métodos que están relacionados entre sí y en algunos casos, en sistemas de conversión avanzados, pueden trabajar en forma complementaria.

La figura 3.19 muestra a una señal analógica es continua en el tiempo e infinitamente variable en tensión, mientras que una señal digital es discreta en el tiempo y su tensión varía por pasos.



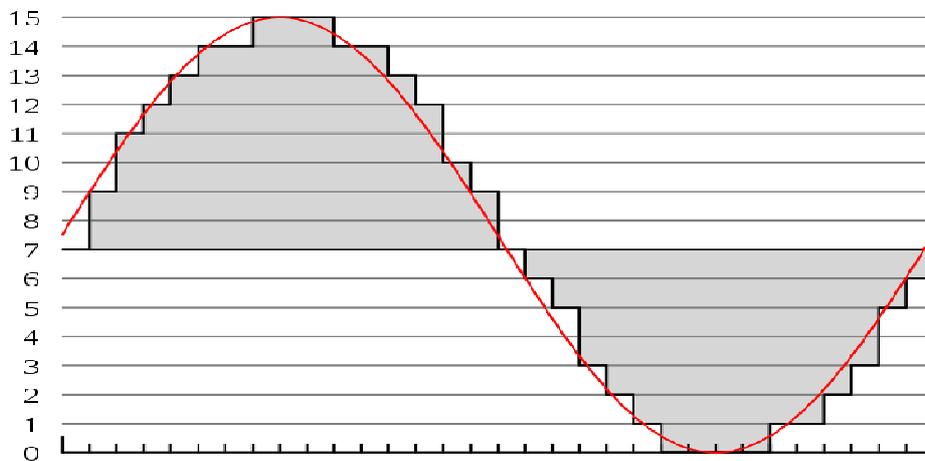
**Figura 3.19 Señal analógica.**

Una representación en la figura 3.19 de la magnitud de la forma de onda en un intervalo de tiempo. La conversión en el tiempo, de continuo a discreto, se conoce como muestreo, el proceso inverso se conoce como reconstrucción. La representación mediante un número de valor analógico de una muestra se conoce como cuantificación.

Cuando la altura de estos impulsos es cuantificada y expresada mediante un código numérico, el resultado es conocido como modulación por impulsos codificados (*pulse code modulation*) o PCM. (En principio, esto es equivalente a registrar las variaciones de una tensión, anotando las lecturas de un voltímetro digital cada pocos segundos).

Este se puede apreciar en la figura 3.20. La amplitud de la señal que puede ser transmitida de éste modo depende únicamente de la capacidad del cuantificador y es independiente de la frecuencia de la señal de entrada.

Análogamente, la amplitud de las señales no deseadas introducidas en el proceso de cuantificación es también en gran parte independiente de la señal de entrada.



**Figura 3.20 Señal cuantificada por Modulación por Código de Pulsos (PCM).**

Al igual que en la figura anterior, la 3.20 es ahora cuantificada mediante intervalos de tiempo más pequeños, así como su magnitud es medida para esos mismos intervalos.

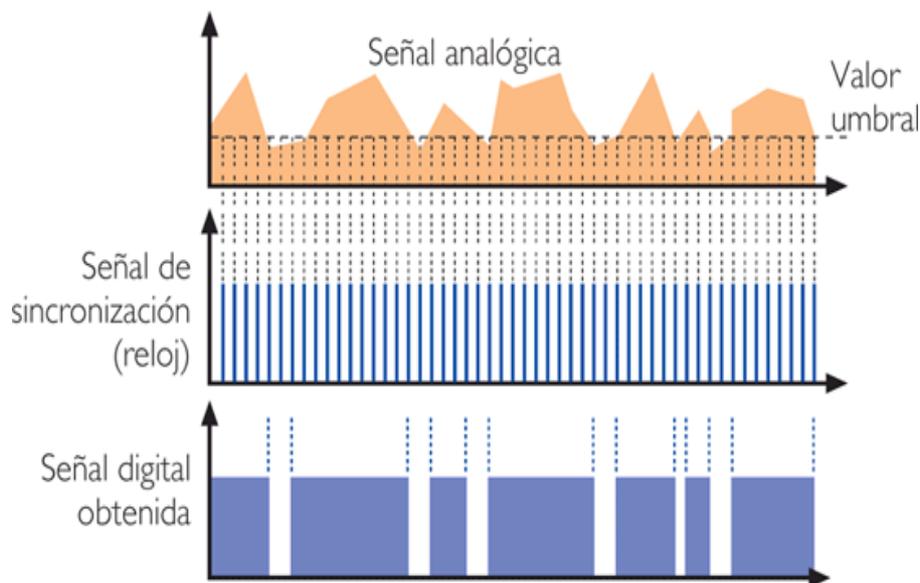
El método usado para convertir una señal analógica en un código digital, se llama *Modulación por Código de Pulsos*. La señal analógica se muestrea, es decir, se mide periódicamente. En un convertidor analógico/digital, los valores medidos se cuantifican, se convierten en un número binario y se descodifican en un tren de impulsos. Este tren de impulsos es una señal de alta frecuencia portadora de la señal analógica original.

El primer paso en la codificación Analógico-Digital se llama PAM. Esta técnica recoge información analógica, la muestra (ó la prueba), y genera una serie de pulsos basados en los resultados de la prueba.

El término prueba se refiere a la medida de la amplitud de la señal a intervalos iguales. El proceso de muestreo consiste en que un tren de pulsos de amplitud constante es modulado por la señal de entrada, de aquí el término modulación de impulsos en amplitud (*pulse amplitude modulation*), abreviado como PAM.

El método de prueba usado en PAM es más eficaz en otras áreas de ingeniería que en la comunicación de datos (informática). Aunque PAM está en la base de un importante método de codificación Analógica-Digital llamado modulación de código de pulso (PCM).

La elección de la frecuencia de muestreo, es decir, la velocidad a la que debe examinarse la tensión de entrada para transmitir la información de una señal variable; es importante en cualquier sistema: si es demasiado baja, la señal se verá degradada, y si es demasiado alta, el número de muestras a registrar crecerá innecesariamente. La figura 3.21 representa al proceso de muestreo.



**Figura 3.21 Digitalización por muestreo de una señal analógica.**

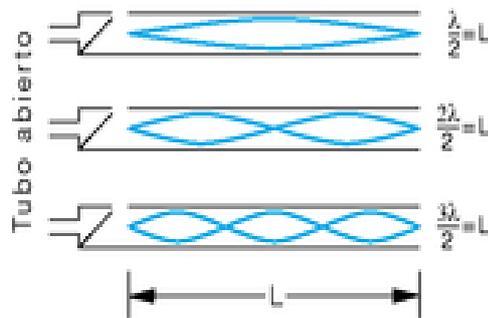
Se observa ahora en la figura 3.21 a la misma imagen pero ésta vez, mediante una señal de sincronización (reloj) es posible convertirla de señal analógica a señal digitalizada, con valores muy puntuales, llamados: *Discretos*.

Son llamados tubos sonoros a los tubos cilíndricos o prismáticos, de paredes metálicas o de madera, que son capaces de producir sonidos al entrar en vibración la columna de aire que contienen.

Esta vibración tiene su origen en la corriente de aire que se transmite por uno de sus extremos, proviniendo en este caso del compresor como en el caso del órgano de un fuelle.

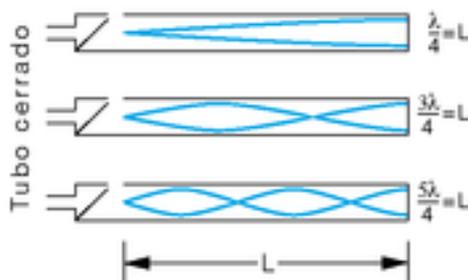
Los tubos pueden ser de embocadura de flauta o de embocadura de lengüeta. Los de embocadura de flauta pueden ser abiertos o cerrados (según que el extremo del tubo opuesto a la embocadura sea abierto o cerrado), mientras que los de lengüeta son siempre abiertos, para permitir la salida del aire insuflado. En el caso de los tubos abiertos la frecuencia fundamental es  $v/2L$ , siendo  $L$  la longitud del tubo y  $v$  la velocidad del sonido en el aire.

El tubo abierto puede emitir, además del sonido fundamental, la serie completa de todos sus armónicos, que tendrán las frecuencias  $n = nv/2L$  (con  $n = 2, 3, 4$ , etc.). Puede verse esto en la figura 3.22.



**Figura 3.22 Tubos abiertos.**

En el caso de los tubos cerrados, la frecuencia fundamental es  $v/4L$ . El tubo abierto puede emitir además del sonido fundamental la serie de los armónicos impares, que tendrán las frecuencias  $n = v(2n - 1)/4L$  (con  $n = 2, 3, 4$ , etc.), como se aprecia en la figura 3.23, ahora los tubos van cerrados por, un extremo.

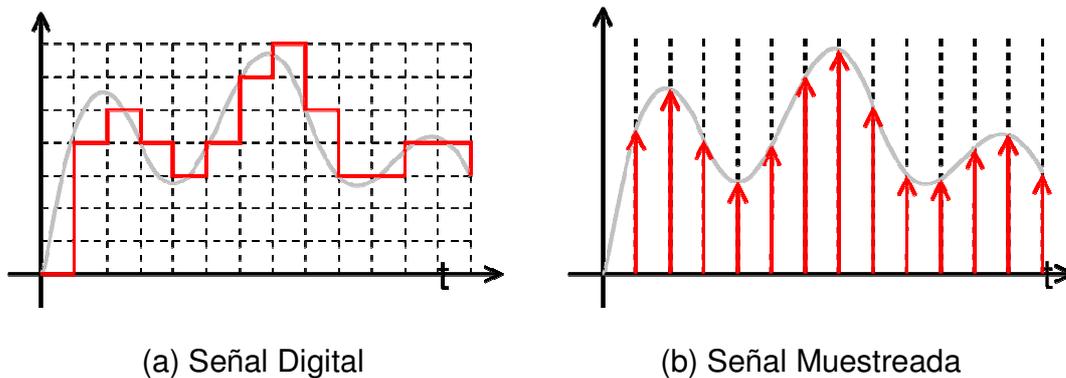


**Figura 3.23 Tubos cerrados.**

Para el control de las señales de audio deben tenerse en cuenta algunos parámetros, tales como: ancho de banda, frecuencia, distorsión armónica, relación señal-ruido, potencia, valor pico, rango dinámico, compresión de datos, etc.

### 3.5 DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES DE AUDIO.

En un sistema analógico la información sonora está contenida en las infinitas variaciones de algún parámetro continuo, tal como la tensión o la intensidad de flujo magnético. Un determinado parámetro puede ser una exacta representación del original solamente si el proceso de conversión es lineal, por lo que la señal de audio analógica inevitablemente sufre degradaciones, dependiendo del número de etapas o procesos por los que dicha señal atraviesa. Se observa en la figura 3.24 como los pulsos de reloj digitalizan una señal analógica.



**Figura 3.24 (a, b). Digitalización de una señal analógica.**

La figura 3.24 ilustra, como una señal digital llega a ser muestreada para diferentes tamaños de tiempo. En un sistema de audio digital, la señal es discreta en función del tiempo (corresponde a muestras de la señal original en un intervalo de tiempo) y en función de la amplitud (los valores numéricos de la señal digitalizada se encuentran en pasos discretos).

En un sistema de audio digital, la información se encuentra en forma binaria. Las señales enviadas tienen solamente dos estados y cambian en determinados momentos de acuerdo con una señal de reloj estable.

Si la señal binaria resulta afectada por el ruido, éste será rechazado en el receptor, ya que solamente se considera si la señal está por encima o por debajo de un determinado umbral.



En general, si la señal periódica tiene componentes en varias frecuencias, su ancho de banda es mayor, y su variación temporal depende de sus componentes frecuenciales.

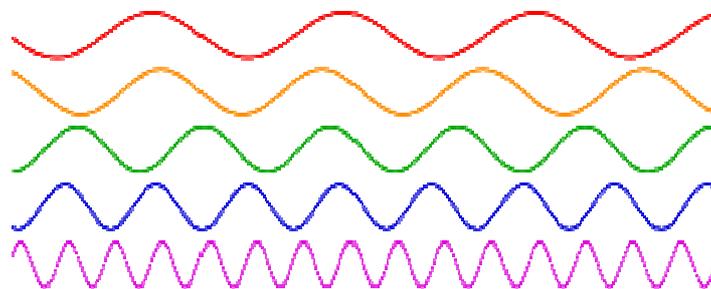
Normalmente las señales generadas en los sistemas electrónicos, ya sean datos informáticos, voz, señales de televisión, etc. son señales que varían en el tiempo y no son periódicas, pero se pueden caracterizar como la suma de muchas señales periódicas de diferentes frecuencias en este caso se tiene que el ancho de banda viene dado por las frecuencias comprendidas entre  $f_1$  y  $f_2$ .

### 3.5.2 Frecuencia.

Frecuencia, es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo. Para calcular la frecuencia de un evento, se contabilizan un número de ocurrencias de este teniendo en cuenta un intervalo temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido.

Según el Sistema Internacional, el resultado se mide en Hertz (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz. Un hertz es aquel suceso o fenómeno repetido una vez por segundo, 2 Hz son dos sucesos (períodos) por segundo, 3 Hz son tres sucesos (períodos) por segundo, 4 Hz son cuatro sucesos (períodos) por segundo, 5 Hz son cinco sucesos (períodos) por segundo, con esto demostramos teóricamente que casi siempre hay una relación en el número de Hertz con las ocurrencias. Esta unidad se llamó originariamente como ciclo por segundo (cps) y aún se sigue utilizando.

Otras unidades para indicar la frecuencia son revoluciones por minuto (rpm) y radianes por segundo (rad/s). Las pulsaciones del corazón o el *tempo* musical se miden como golpes por minuto. La figura 3.26 muestra distintas frecuencias de onda observándose la relación inversa con la longitud de onda.



**Figura 3.26 Tipos de frecuencias.**

La frecuencia se puede calcular midiendo el tiempo entre dos repeticiones (periodo) y luego calculando el recíproco, siendo T el periodo de la señal:

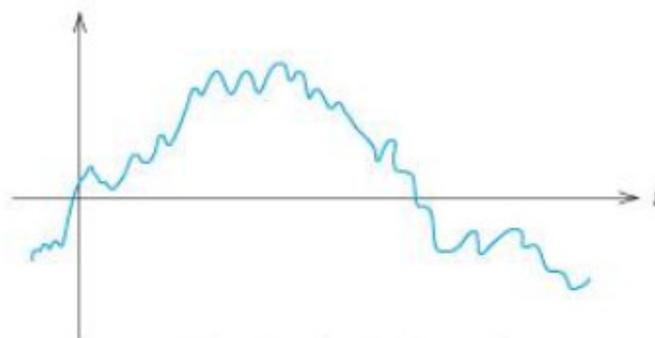
$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}} \dots\dots\dots\text{Ecuación I}$$

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots\text{Ecuación II}$$

La magnitud del ruido generado por un dispositivo electrónico, por ejemplo un amplificador, se puede expresar mediante la denominada **figura de ruido (F)**, que es el resultado de dividir la **relación señal/ruido** en la entrada **(S/R) ent** por la relación señal/ruido en la salida **(S/R) sal**, cuando los valores de señal y ruido se expresan en números simples:

$$F = \frac{(S/R)_{ent}}{(S/R)_{sal}} \dots\dots\dots\text{Ecuación III}$$

La figura 3.27 representa a una señal con ruido sin embargo, como los valores de relación señal/ruido suelen expresarse en forma logarítmica, normalmente en decibelios, la figura de ruido en decibelios será, por tanto, la diferencia entre las relaciones S/R en la entrada y en la salida del elemento bajo prueba, como lo prueba la ecuación IV:



**Figura 3.27 Ruido de una señal.**

$$10 \cdot \log F = 10 \log (S/R)_{ent} - 10 \log (S/R)_{sal} \dots\dots\text{Ecuación IV}$$

En lugar de  $dB_{SPL}$ , también es común efectuar la medida de la figura de ruido en decibelios A ( $dB_A$ ) ponderados en función de la (curva 3.26) La figura de ruido es un parámetro importante en los sistemas de transmisión, ya que mientras el ruido externo nunca se podrá eliminar totalmente, la reducción del ruido generado por los equipos depende del cuidado de su diseño.

### 3.6 CONVERSIÓN DE SEÑALES DE AUDIO.

La forma de producir música ha cambiado radicalmente en los últimos 20 años. La tecnología de hoy en día permite hacer música de calidad en la comodidad del hogar. Una computadora de prestaciones medianas y el software adecuado, son suficientes para grabar, mezclar y modificar todo tipo de sonidos. Tomando en cuenta el punto de vista físico, todas las ondas que afectan nuestros sentidos se pueden convertir en impulsos o señales eléctricas y representar gráficamente como sinusoides, cuyos valores varían de forma continua en una línea de tiempo. Desde la aparición de los circuitos compuestos por válvulas electrónicas y/o con transistores estos se consideraron simplemente como “circuitos electrónicos”. Una representación de los circuitos electrónicos actuales se tiene en la siguiente figura 3.28.

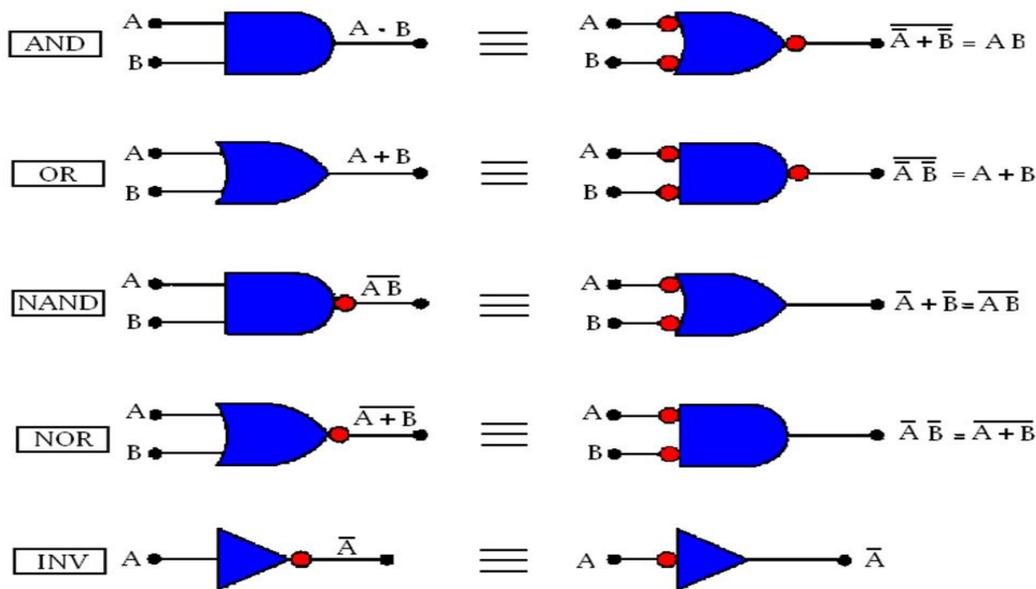
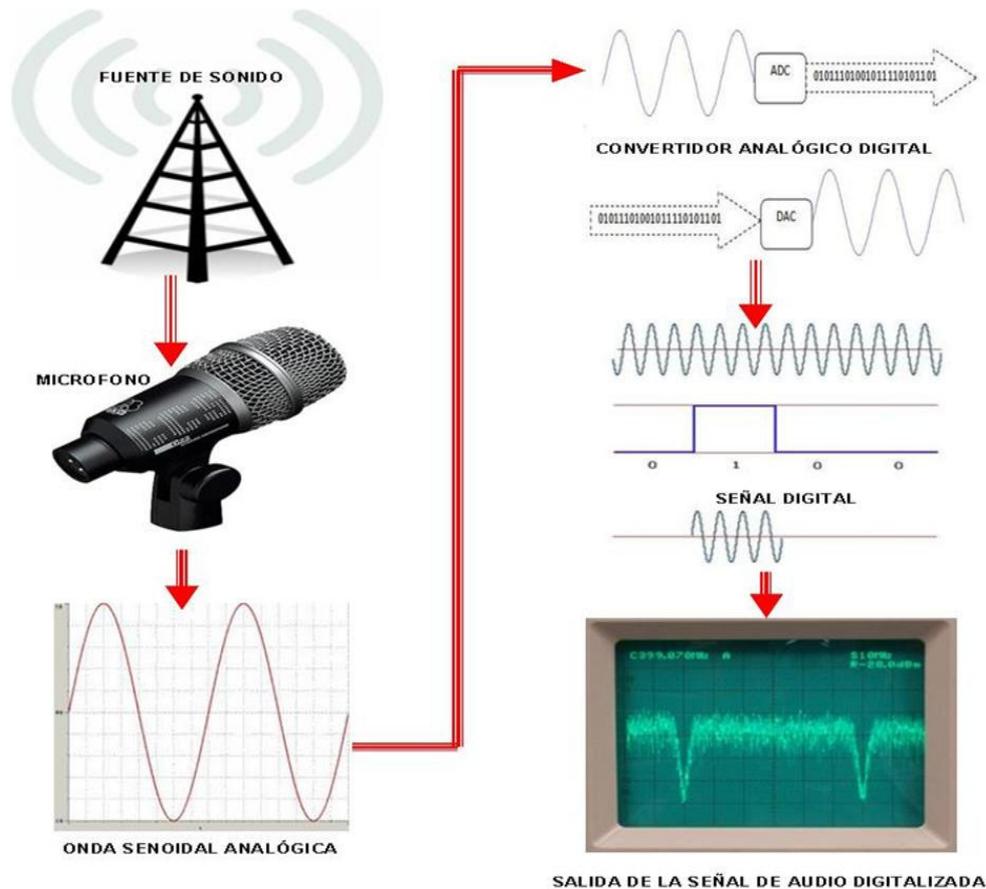


Figura 3.28 Circuitos lógicos.

Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo pasado, con el desarrollo de la tecnología digital aplicada a los microprocesadores, los circuitos correspondientes a esa nueva rama de la electrónica comenzaron a llamarlos “circuitos lógicos”. Esa denominación se debe a que los principales componentes internos de los microprocesadores actúan como “compuertas lógicas”, que permiten ser programadas; de esa forma son capaces de tomar decisiones sucesivas de “verdadero” o “falso”, gracias al empleo de la tecnología digital de los números binarios uno respectivamente “1, 0”.

Para realizar la conversión, se utiliza, como elemento intermedio, un dispositivo denominado conversor analógico-digital o **ADC** (*Analogic to Digital Converter*), que recibe primeramente las señales eléctricas en forma de onda senoidal analógica (como la que proporciona el micrófono) y a continuación las convierte en señales digitales, codificadas en valores numéricos binarios, es decir, en "ceros" y "unos" ( 0 - 1 ). El camino que debe de recorrer una Señal de Audio desde su inicio hasta que es analizada por un dispositivo capaz de separar sus partes se mira en la figura 3.29.

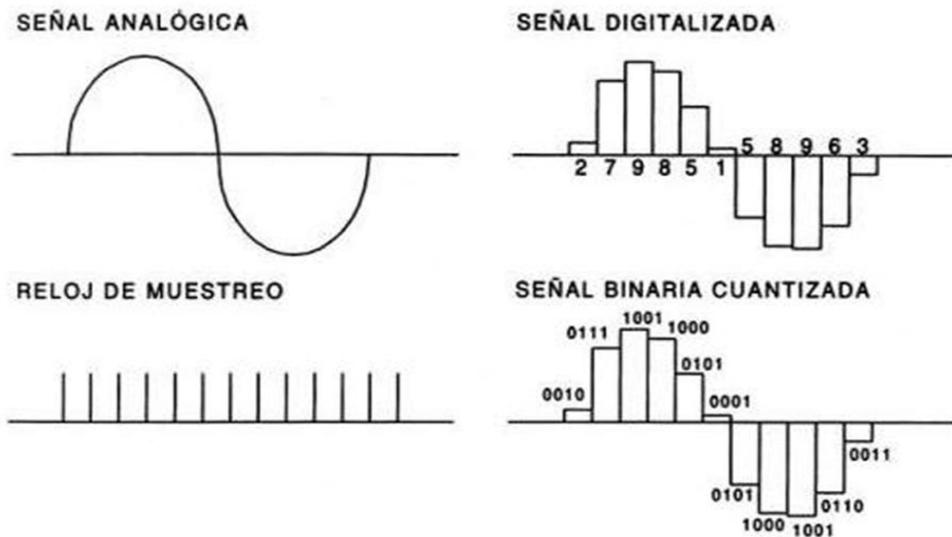


**Figura 3.29 Manejo de una señal analógica-digital.**

- Onda sonora o acústica (voz, música, efectos, etc.).
- Micrófono.
- Onda senoidal analógica que se obtiene después de que el micrófono convierte los sonidos en señales eléctricas de audiofrecuencia.
- ADC (*Analogic to Digital Converter*- Conversor Analógico Digital).
- Señal digital formada por ceros y unos, obtenida después de que la señal analógica es procesada por el ADC.
- Salida de la señal de audio digitalizada, lista para ser grabada.

Llegado ese punto, fue necesario escoger un término con el que se pudiera nombrar y reconocer a la antigua electrónica tradicional de válvulas y transistores, y que al mismo tiempo la diferenciara de la nueva electrónica digital aplicada a los microprocesadores. Por tanto, al término “lógico” aplicado a la electrónica digital acordaron anteponerle el prefijo “ana-” (contra) para aplicárselo a la electrónica tradicional. De esa forma nació el término “analógico” como antónimo o contrario a “lógico”. Existen muchos dispositivos, como por ejemplo el propio módem y las grabadoras de sonido y de imágenes digitales, las cuáles poseen también un **DAC** (*Digital-to-Analog Converter* – Conversor digital-analógico) que realiza después el proceso inverso, es decir, convierten las señales digitales en señales analógicas.

Esa nueva conversión de digital a analógico es estrictamente necesaria hacerla, porque el sonido analógico es el único audible, es decir, el único que reconoce nuestro sentido de oído. Igualmente, los impulsos eléctricos analógicos son los únicos capaces de mover el cono de una bocina para reproducir de nuevo los sonidos originales, cosa que no pueden hacer los impulsos eléctricos de “1” y “0” del código binario o digital. En la figura 3.30 la señal analógica alcanza valores binarios, que son asignados mediante el muestreo y la digitalización de la señal.

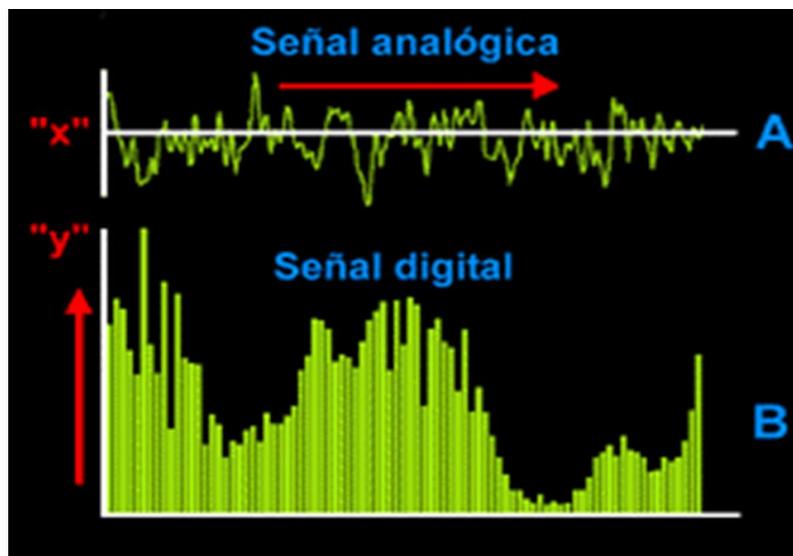


**Figura 3.30 Digitalización de una señal analógica.**

Por tanto, para hacer audible la codificación de los sonidos digitales por el/los altoparlantes, es necesario convertirlos de nuevo en señales eléctricas analógicas, con sus correspondientes variaciones de tensiones o voltajes. A partir de ese momento, todas las magnitudes o valores que en un circuito electrónico varían de forma continua en una unidad de tiempo, con frecuencia, amplitud y longitud de onda propia (como las ondas de sonido, la luz, el calor, etc.), se denominan “analógicas”.

De esa forma se establece una diferenciación con las señales lógicas o digitales que, contrariamente, son discontinuas en el tiempo y están formadas, solamente, por cadenas numéricas de unos "1" y ceros "0" (correspondientes al sistema matemático binario de base 2). Como aclaración, el término analógico no guarda ninguna relación con el término "análogo", cuyo significado es diferente.

En la figura 3.31, las magnitudes variables de la señal "analógica" (A) se mueven de forma continua a todo lo largo de la línea de tiempo correspondiente al eje "x", mientras que la señal digital "lógica" (B), formada por barras individuales (correspondientes a los valores numéricos binarios de una onda analógica digitalizada), se mueve de forma discontinua siguiendo la dirección del eje "y".



**Figura 3.31** Magnitudes variables de una señal analógica.

En una señal eléctrica analógica, los valores de tensión positiva y negativa pueden mantenerse con un valor constante, o también pueden variar en una escala que va de "0" volt, hasta el valor máximo que tenga fijado, pasando por valores intermedios.

Sin embargo, en la señal digital, a diferencia de la analógica, solamente existen dos condiciones: hay voltaje o no hay voltaje y su variación no ocurre de forma continua, sino de forma discreta, a intervalos de tiempo determinados.

Las variaciones que sufren los valores de tensión o voltaje en una señal analógica, al convertirse en digital se transforman en código numérico binario, representado exclusivamente por los dígitos "0" y "1". En ese caso, el "0" significa que no existe ningún impulso eléctrico de tensión o voltaje, mientras que el "1" significa que sí hay voltaje con un mismo valor siempre en volt.

## CAPITULO 4

### SECCIÓN NEUMÁTICA

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire es un material elástico y por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según la ley de los gases ideales.

Los mandos neumáticos están constituidos por elementos de señalización, elementos de mando y un aporte de trabajo. Los elementos de señalización y mando modulan las fases de trabajo de los elementos de trabajo y se denominan válvulas. Los sistemas neumáticos e hidráulicos están constituidos por:

- Elementos de información.
- Órganos de mando.
- Elementos de trabajo.

En este caso el Transductor Eólico emplea este sistema para su funcionamiento en la sección final donde debe hacer funcionar unos bambúes por medio de un flujo de aire comprimido, y es por ello también que se dice que el transductor es un instrumento electrónico neumático.

Para el tratamiento de la información de mando es preciso emplear aparatos que controlen y dirijan el fluido de forma preestablecida, lo que obliga a disponer de una serie de elementos que efectúen las funciones deseadas relativas al control y dirección del flujo del aire comprimido. En este caso esa función está a cargo de las válvulas reguladoras de presión.

En los principios de la automatización, los elementos rediseñados se mandan manual o mecánicamente. Cuando por necesidades de trabajo se precisaba efectuar el mando a distancia, se utilizan elementos de comando por símbolo neumático (cuervo).

Actualmente, además de los mandos manuales para la actuación de estos elementos, se emplean para el comando procedimientos servo-neumáticos, electro-neumáticos y automáticos que efectúan en su totalidad el tratamiento de la información y de la amplificación de señales.

La gran evolución de la neumática y la hidráulica han hecho, a su vez, evolucionar los procesos para el tratamiento y amplificación de señales, y por tanto, hoy en día se dispone de una gama muy extensa de válvulas y distribuidores que nos permiten elegir el sistema que mejor se adapte a las necesidades.

Hay veces que el comando se realiza manualmente, y otras nos obliga a recurrir a la electricidad (para automatizar) por razones diversas, sobre todo cuando las distancias son importantes y no existen circunstancias adversas.

## 4.2 VÁLVULAS

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20000 lb/in<sup>2</sup> (140 Mpa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500 °F (815 °C). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

En la figura 4.1 se aprecia la imagen de un sistema de válvulas empleadas en la sección neumática del Transductor Eólico.



**Figura. 4.1 Válvulas del Transductor Eólico.**

Las válvulas en términos generales, tienen las siguientes funciones:

- Distribuir el fluido
- Regular caudal
- Regular presión

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por el compresor o almacenado en un depósito.

Según su función las válvulas se subdividen en 5 grupos:

- Válvulas de vías o distribuidoras
- Válvulas de bloqueo
- Válvulas de presión
- Válvulas de caudal
- Válvulas de cierre

La palabra flujo expresa el movimiento de un fluido, pero también significa la cantidad total de fluido que ha pasado por una sección determinada de un conducto. Caudal es el flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de fluido que circula por una sección determinada del conducto en la unidad de tiempo.

#### 4.2.1 Válvula de control.

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

Para el transductor constituye el penúltimo elemento en el proceso de manejo de las señales ya que controlará el flujo de aire que llegará al sumador de presión y que recibirá el bambú.

#### Partes de la válvula de control.

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

- **Actuador:** el actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuaciones.

Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. La figura 4.2 muestra las partes de un actuador.

Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte tal como se muestra en la figura (1-a.). Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 lbs/pulg<sup>2</sup> en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 lbs/pulg<sup>2</sup>, produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.

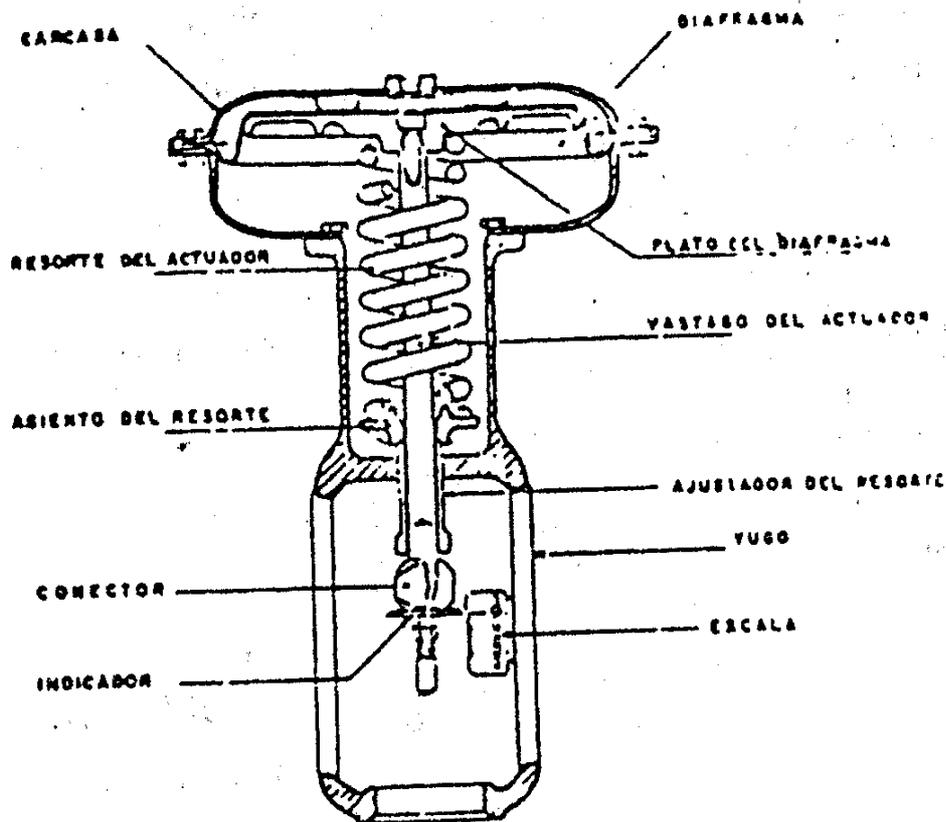


Figura 4.2 Actuador de una válvula de control.

- **Cuerpo de la válvula:** este está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

### 4.2.2 Clasificación de válvulas.

Las válvulas se pueden clasificar por su funcionamiento en:

**1. Válvulas de distribución.** Como su propio nombre indica son las encargadas de distribuir el aire comprimido en los diferentes actuadores neumáticos, por ejemplo, los cilindros.

Se pueden clasificar de varias maneras, por su construcción interna, por su accionamiento y por el número de vías y posiciones. La clasificación más importante es por el número de vías y posiciones, aunque en este tipo de clasificación no se tiene presente su construcción ni el pilotaje que lleva. Si tenemos la clasificación de estas válvulas por su tipo de accionamiento, tendremos la información precisa para saber si la válvula acciona directamente o indirectamente. En cambio, si hacemos una clasificación por su construcción física, sabremos si es de corredera, de disco o de asiento

**2. Válvulas de bloqueo.** Son válvulas con la capacidad de bloquear el paso del aire comprimido cuando se dan ciertas condiciones en el circuito. En este tipo de válvulas encontraremos, válvulas antirretorno, de simultaneidad, de selección de circuito y de escape.

**3. Válvulas de Caudal.** Estas válvulas influyen sobre la cantidad de circulación de aire comprimido; el caudal se regula en ambos sentidos del flujo.

**4. Válvulas de Cierre.** Son elementos que abren o cierran el paso del caudal, sin escalones.

**5. Válvulas reguladoras.** Aquí nos encontramos con las válvulas que regulan el caudal y las válvulas que regulan la presión. En esta clase de válvulas encontraremos que tipo de regulación hacen, si son con aire de entrada o de salida, y las válvulas de presión.

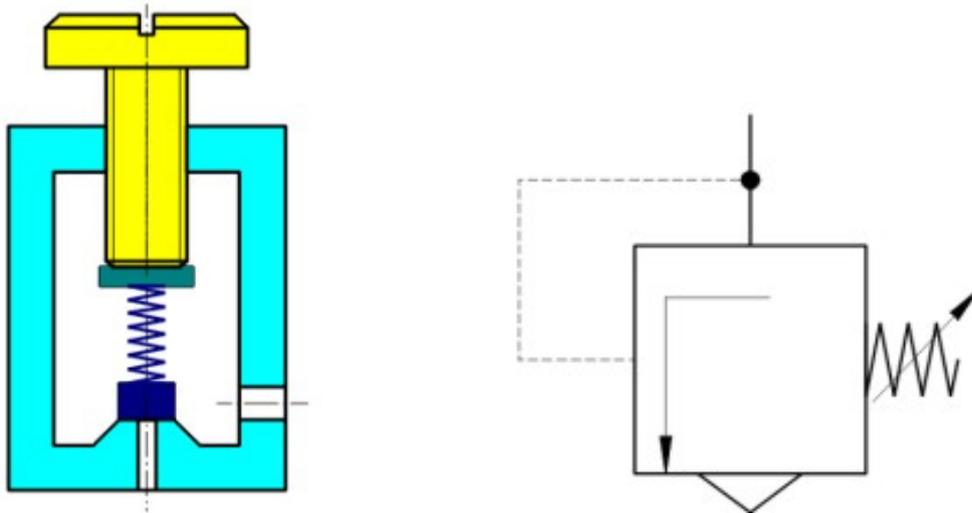
### 4.2.3 Válvulas reguladoras de presión

La función de estas válvulas es la de controlar la presión del aire desde un valor nulo hasta el valor máximo de alimentación.

Las válvulas reguladoras de presión se pueden clasificar en:

- Válvulas limitadoras de presión o de seguridad
- Válvulas de secuencia
- Válvulas reguladoras de presión o reductoras

Hace que la presión en el circuito de aplicación no sea superior a la que previamente se ha fijado manualmente mediante la actuación sobre un tornillo. Cuando la presión es superior a la presión máxima de regulación, la válvula permite la salida del aire a la atmósfera, esto provoca la reducción de la presión con lo cual se vuelve a cerrar la salida del aire a la atmósfera. Ello se ilustra en la figura 4.3 a continuación.



**Figura 4.3 Principio de funcionamiento y símbolo de la válvula reguladora de presión.**

Estas válvulas se encargan de regular la presión que recibe para enviar la presión ideal obtenida al actuador (sea cilindro o motor). Notablemente hay diferentes tipos: válvula reguladora de presión, válvula limitadora de presión, válvula de secuencia.

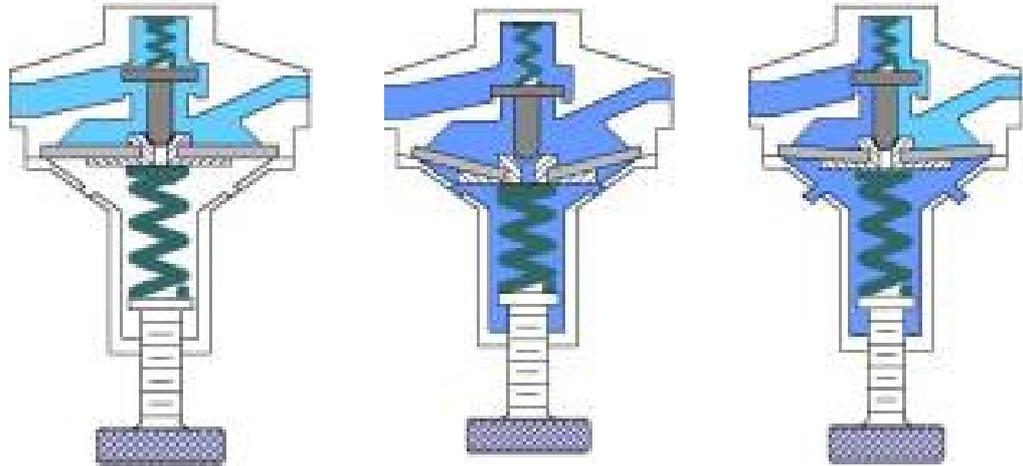
En la figura 4.4 se ilustra un ejemplo de una válvula de presión de de toda la gama de uso comercial común.



**Figura 4.4 Válvula de presión.**

### 1. Válvula reguladora de presión

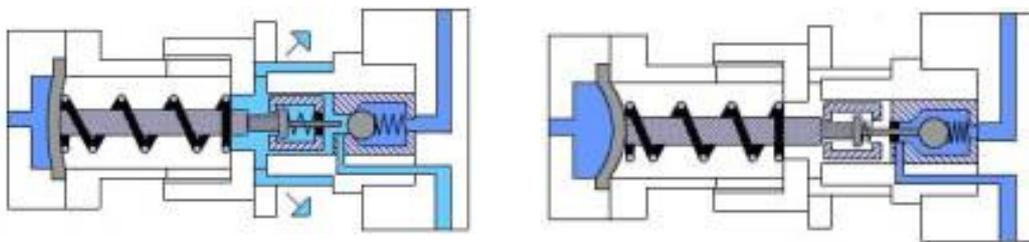
Es una válvula con dos vías: el aire entra por la entrada y si la presión es más elevada de la que queremos entonces la fuerza del muelle hace reducirla, luego el aire comprimido sale hacia el actuador. Lo anterior se puede apreciar en la figura 4.4.



**Figura 4.4 Válvula reguladora de presión.**

### 2. Válvula de secuencia:

Esta válvula cuando alcanza cierta presión, que está ajustada por un muelle, entrega una señal neumática como salida. Se usa para controlar presiones distintas para luego ejecutar unas u otras funciones (es decir que esta válvula simplemente calcula la presión y envía una señal). La figura 4.5 muestra un ejemplo de las válvulas de secuencia.



**Figura 4.5 Válvula de secuencia-**

### 3. Válvula limitadora de presión o de seguridad:

A este tipo de válvula también se la conoce como válvula de seguridad, porque cuando se supera la presión se ponen a descargar. Este tipo de válvulas se ilustran en la figura 4.6

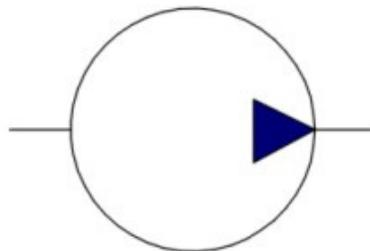


**Figura 4.6 Válvulas de seguridad.**

### 4.3 COMPRESORES

La presión atmosférica es una presión muy pequeña como para poder ser utilizada en los circuitos neumáticos. Por ello es necesario disponer de aire a presiones superiores, obteniendo de esta forma lo que se conoce como aire comprimido. El elemento cuya función es la de elevar la presión del aire se denomina compresor. De esta forma podemos definir como compresor a una máquina que toma el aire en unas determinadas condiciones y lo impulsa a una presión mayor a la de entrada. El compresor para poder realizar este trabajo de compresión debe tomar la energía de un motor eléctrico.

En los esquemas neumáticos cada uno de los elementos que lo forman son representados por símbolos. En la figura 4.7 se representa en el símbolo correspondiente al compresor.



**Figura. 4.7 Símbolo del compresor.**

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central. Entonces no es necesario calcular ni proyectar la transformación de la energía para cada uno de los consumidores. El aire comprimido viene de la estación compresora y llega a las instalaciones a través de tuberías.

En el transductor eólico se utiliza aire comprimido que es proporcionado por un compresor de 3 cabezas de poder, especialmente diseñado para este proyecto ya que en el mercado no existía uno que soportará la demanda del transductor.

Los compresores móviles se utilizan en el ramo de la construcción o en máquinas que se desplazan frecuentemente. En el momento de la planificación es necesario prever un tamaño superior de la red, con el fin de poder alimentar aparatos neumáticos nuevos que se adquieran en el futuro. Por ello, es necesario sobredimensionar la instalación, al objeto de que el compresor no resulte más tarde insuficiente, puesto que toda ampliación ulterior en el equipo generador supone gastos muy considerables.

Es muy importante que el aire sea puro. Si es puro el generador de aire comprimido tendrá una larga duración. También debería tenerse en cuenta la aplicación correcta de los diversos tipos de compresores.

### 4.3.1 Tipos de Compresores

Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro, se pueden emplear diversos tipos de compresores. Se distinguen dos tipos básicos de compresores:

El primero trabaja según el principio de desplazamiento. La compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto hermético, donde se reduce luego el volumen. Se utiliza en el compresor de émbolo (oscilante o rotativo). El otro trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos. El aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).

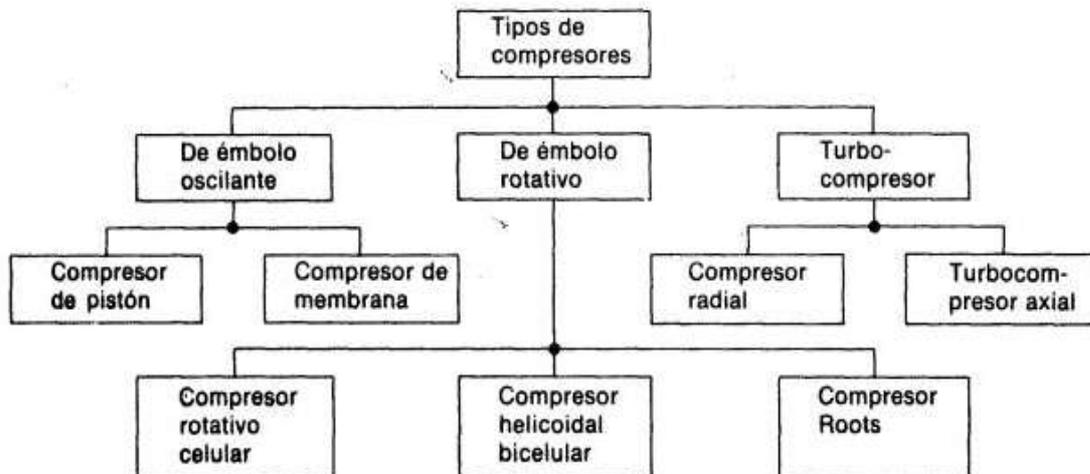


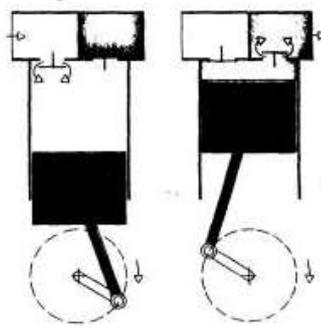
Figura 4.8 Clasificación de los compresores.

➤ Compresor de émbolo

Compresor de émbolo oscilante. Este es el tipo de compresor más difundido actualmente. Es apropiado para comprimir a baja, media o alta presión. Su campo de trabajo se extiende desde unos 1 .100 kPa (1 bar) a varios miles de kPa (bar).

Para obtener el aire a presiones elevadas, es necesario disponer varias etapas compresoras. El aire aspirado se somete a una compresión previa por el primer émbolo, seguidamente se refrigera, para luego ser comprimido por el siguiente émbolo. El volumen de la segunda cámara de compresión es, en conformidad con la relación, más pequeño. Durante el trabajo de compresión se forma una cantidad de calor, que tiene que ser evacuada por el sistema refrigeración.

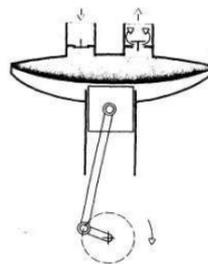
Los compresores de émbolo oscilante pueden refrigerarse por aire o por agua, se ilustran en la figura 4.9 y según las prescripciones de trabajo las etapas que se precisan son:



**Figura. 4.9 Compresor de émbolo oscilante.**

➤ Compresor de membrana

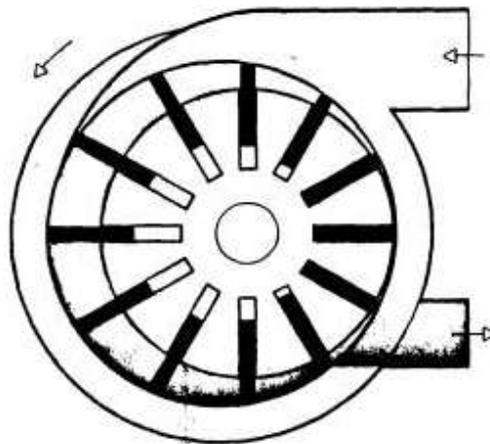
Este tipo forma parte del grupo de compresores de émbolo. Una membrana separa el émbolo de la cámara de trabajo; el aire no entra en contacto con las piezas móviles. Por tanto, en todo caso, el aire comprimido estará exento de aceite. Estos, compresores se emplean con preferencia en las industrias alimenticias farmacéuticas y químicas. La figura 4.10 ilustra este tipo de compresores.



**Figura 4.10 Compresor de Membrana.**

➤ Compresor rotativo multicelular

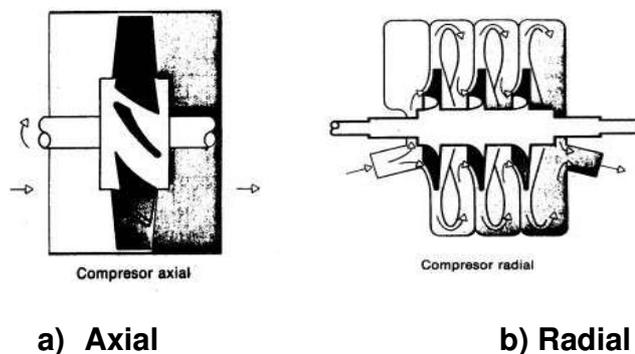
Un rotor excéntrico gira en el interior de un cárter cilíndrico provisto de ranuras de entrada y de salida. Las ventajas de este compresor residen en sus dimensiones reducidas, su funcionamiento silencioso y su caudal prácticamente uniforme y sin sacudidas. Para el caudal véase la figura 14 (diagrama). El rotor está provisto de un cierto número de aletas que se deslizan en el interior de las ranuras y forman las células con la pared del cárter. Cuando el rotor gira, las aletas son oprimidas por la fuerza centrífuga contra la pared del cárter, y debido a la excentricidad el volumen de las células varía constantemente. Este compresor se puede observar en la siguiente figura 4.11.



**Figura 4.11 Compresor rotativo multicelular.**

Turbocompresores

Trabajan según el principio de la dinámica de los fluidos, y son muy apropiados para grandes caudales. Se fabrican de tipo axial y radial. El aire se pone en circulación por medio de una o varias ruedas de turbina. Esta energía cinética se convierte en una energía elástica de compresión. La rotación de los alabes acelera el aire en sentido axial de flujo. Estos compresores se aprecian en las figuras 4.12 a y b



**a) Axial**

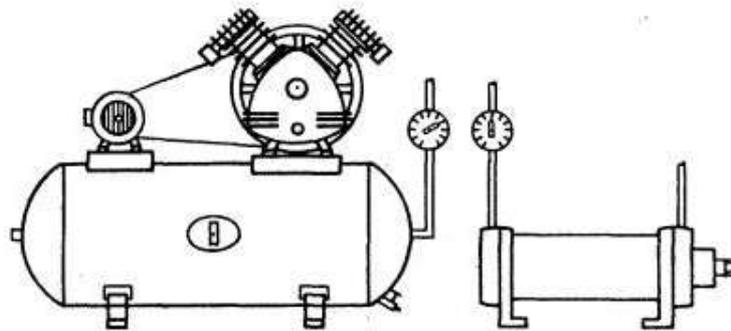
**b) Radial**

**Figura 4.12 Compresor Axial y Radial**

### Presión

La presión de servicio es la suministrada por el compresor o acumulador y existe en las tuberías que alimentan a los consumidores. La presión de trabajo es la necesaria en el puesto de trabajo considerado. En la mayoría de los casos, es de 600 kPa (6 bar). Por eso, los datos de servicio de los elementos se refieren a esta presión.

Importante: Para garantizar un funcionamiento fiable y preciso es necesario que la presión tenga un calor constante. De ésta dependen: - la velocidad - las fuerzas - el desarrollo secuencial de las fases de los elementos de trabajo. En la figura 4.13 se ilustra la imagen de un compresor.



**Figura 4.13 Compresor o acumulador**

### 4.3.2 Funcionamiento

Los compresores se accionan, según las exigencias, por medio de un motor eléctrico o de explosión interna. En la industria, en la mayoría de los casos los compresores se arrastran por medio de un motor eléctrico. Si se trata de un motor móvil, éste en la mayoría de los casos se acciona por medio de un motor de combustión (gasolina, diesel).

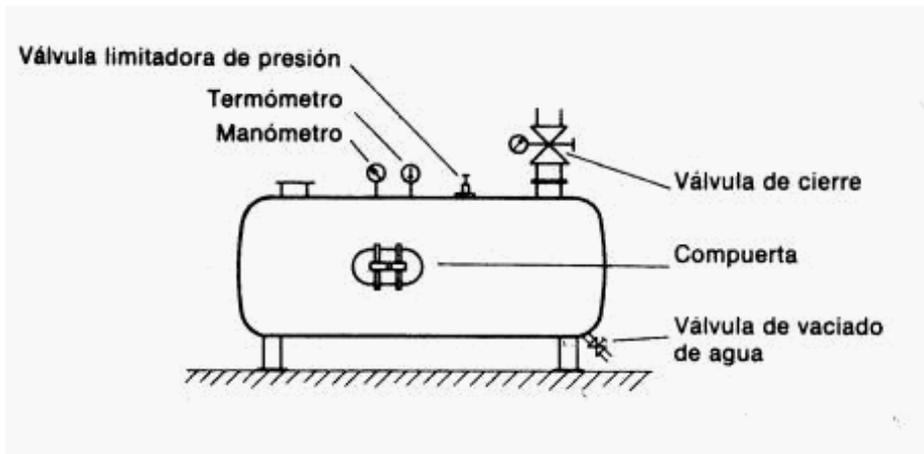
#### Refrigeración.

Por efecto de la compresión del aire se desarrolla calor que debe evacuarse. De acuerdo con la cantidad de calor que se desarrolle, se adoptará la refrigeración más apropiada. En compresores pequeños, las aletas de refrigeración se encargan de irradiar el calor. Los compresores mayores van dotados de un ventilador adicional, que evacua el calor.

Cuando se trata de una estación de compresión de más de 30 kW de potencia, no basta la refrigeración por aire. Entonces los compresores van equipados de un sistema de refrigeración por circulación de agua en circuito cerrado o abierto. A menudo se temen los gastos de una instalación mayor con torre de refrigeración. No obstante, una buena refrigeración prolonga la duración del compresor y proporciona aire más frío y en mejores condiciones. En ciertas circunstancias, incluso permite ahorrar un enfriamiento posterior del aire u operar con menor potencia.

### Acumulador de aire comprimido

El acumulador o depósito sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido. Compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume aire comprimido. Gracias a la gran superficie del acumulador, el aire se refrigera adicionalmente. Por este motivo, en el acumulador se desprende directamente una parte de la humedad del aire en forma de agua.



**Figura 4.14 Acumulador de aire comprimido**

El tamaño de un acumulador de aire comprimido depende:

- Del caudal de suministro del compresor
- Del consumo de aire
- De la red de tuberías (volumen suplementario)
- Del tipo de regulación
- De la diferencia de presión admisible en el interior de la red.

Para nuestro proyecto utilizamos 3 acumuladores (cabezas de poder) de aire comprimido lo que hace del transductor aún más una pieza única, la cual se puede apreciar en la figura 4.15.



**Figura 4.15 Acumulador de aire comprimido.**

## 4.4 BAMBÚES

Con el nombre de Bambú (Bambúes.- plural (Etim. *Bambú*, palabra de origen Martí (India); se designa a un grupo de especies de plantas que pertenecen a la familia de las Gramíneas ( *Poaceae* ), una de las familias botánicas, más extensas e importantes para el hombre. Los bambúes pueden ser plantas pequeñas de menos de 1 m de largo y con los tallos (culmos) de medio centímetro de diámetro, también los hay gigantes de unos 25 m de alto y 30 cm de diámetro. Aunque los verdaderos bambúes siempre tienen sus tallos leñosos, hay especies donde esto no es evidente.

Erróneamente se ha manejado el nombre de Bambú para designar solo a aquellas plantas que son utilizadas en construcción o bien a bambúes exóticos ornamentales. Sin embargo, es importante señalar que cuando nos referimos - al bambú - no se está especificando de qué especie se trata. La palabra bambú se ha usado por tradición para señalar a todo el grupo de plantas que presentan las características morfológicas descritas abajo, es decir que se ha usado tradicionalmente a la palabra Bambú como un término en plural, cuando el plural verdadero es - bambúes o bambús –.

Los bambúes pertenecen a su vez a las Bambusoideae que son una subfamilia dentro de la familia de las gramíneas o *Poaceae*. Las bambúes, en sentido restringido, poseen tanto plantas herbáceas como leñosas, y están presentes de manera natural en todos los continentes a excepción de Europa. Presentan dos tipos de hojas: a) de las ramas, que son verdes y pseudopeciadas y b) del tallo que son cafés, basales y coriáceas. Presentan 3 lodículas y un androceo con 6 estambres, raramente de 2 a 14. El ovario contiene 2 ó 3 estigmas, raramente 1. La primera hoja de las plántulas no presenta lámina. Los números cromosómicos básicos son  $x=7$  y  $x=9$  a 12. Incluye 126 géneros con aproximadamente 970 a 1.200 especies tropicales a templadas.

La diversificación dentro de los bambúes ocurrió hace 30 a 40 millones de años. Los bambúes leñosos forman un grupo monofilético hermano del clado que contiene a las especies herbáceas. Los bambúes leñosos, con sus tallos de hasta 25 metros de altura, ciertamente no se parecen al césped. La floración en muchas de estas especies también es inusual, ya que ocurre en ciclos muy variables, incluso se reporta una especie que lo hace cada 120 años.

Aun cuando los tallos individuales viven por sólo una o unas pocas décadas, alguna forma de "reloj genético" que hace que muchas veces los tallos florezcan todos al mismo tiempo en todo el rango de distribución de la especie, llevándose a cabo una floración de tipo Gregario, en otras especies la floración puede ser de tipo Esporádico donde solo unos cuantos tallos pueden producir flores.

Algunas especies de bambúes son las plantas terrestres conocidas de crecimiento más veloz ya que se observan bambúes que crecen 1 m en 24 horas, pero esto se lleva a cabo en condiciones de laboratorio. Algunos géneros importantes de bambúes leñosos son *Bambusa* (120 especies), *Chusquea* (100 especies), *Arundinaria* (50 especies), *Sasa* (50 especies), y *Phyllostachys* (45 especies).

La figura 4.16 muestra una fotografía de los bambúes en su hábitat natural, así como también se muestran los bambúes que se utilizaron en el Transductor Eólico, los cuales fueron trabajados de manera artesanal para darle tanto las características acústicas como estéticas.



a) Bambúes en su hábitat.



b) Bambúes del Transductor Eólico.

**Figura 4.15 Bambúes**

#### 4.4.1 Características distintivas de los Bambúes:

Nudos y entrenudos dan forma al tallo o culmo que emerge desde un tallo subterráneo llamado **rizoma** del cual también se originan las raíces. Las hojas caulinares o **cúlmeas** protegen los brotes en su crecimiento y las hojas verdes generalmente de forma lanceolada y con un **pseudopeciolo** presente, dan vida a la planta mediante el proceso fotosintético.

#### 4.4.2 Localización de los Bambúes.

Naturalmente los bambúes son plantas tropicales, viven silvestres desde el nivel del mar hasta las altas montañas nevadas. La mayoría de los bambúes prefieren habitar en lugares húmedos y conservados, donde la presencia de neblinas es frecuente, o bien en las orillas de arroyos y ríos, también existen especies que viven en lugares secos la mayor parte del año. En los países de Asia el bambú es una planta muy conocida, pues ha sido utilizada por el hombre desde tiempos remotos. Hay bambúes silvestres en África y en casi todos los países de América con excepción de Canadá.

Los bambúes pueden crecer en extensas poblaciones donde son los únicos vegetales viviendo o bien como individuos solitarios formando parte del bosque o la selva.

En México existen muchas especies de bambú silvestres que se distribuyen naturalmente en los estados de Chiapas, Veracruz, Michoacán, Tamaulipas, Oaxaca, Quintana Roo y otros estados. Son dos especies las más abundantes: **Otatea acuminata** y **Guadua longifolia** que forman manchones en la vegetación donde es casi la única planta que se puede ver. Otras especies silvestres habitan más bien regiones más bien limitadas de las selvas tropicales del sureste o bien de los bosques mesófilos y caducifolios de las montañas del centro de México.

Es importante mencionar que los bambúes introducidos en México, son generalmente cultivados en plantaciones donde el hombre puede controlar sus condiciones de crecimiento. Algunas de estas especies, como cualquier planta cultivada, requieren de agua, suelo, temperatura y otros factores del medio, que son específicos para su ideal crecimiento.



Figura 4.16 Distribución natural de los bambúes.

## CAPITULO 5

### CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DEL TRANSDUCTOR EÓLICO

#### 5.1 DESCRIPCIÓN

En este capítulo se abordará a fondo aunque de manera general tanto las bases que dieron origen a este proyecto, así como la descripción de su construcción, desarrollo, funcionamiento y análisis de resultados así como posibles opciones de mejoras hacia el futuro.

La necesidad de desarrollar nuevas formas de crear música, a través de instrumentos fuera de lo común, el deseo e inquietud por la aplicación de sus conocimientos electrónicos a la música y gracias al ingenio de su creador, sentaron las bases para desarrollar el presente proyecto electrónico-musical del transductor eólico.

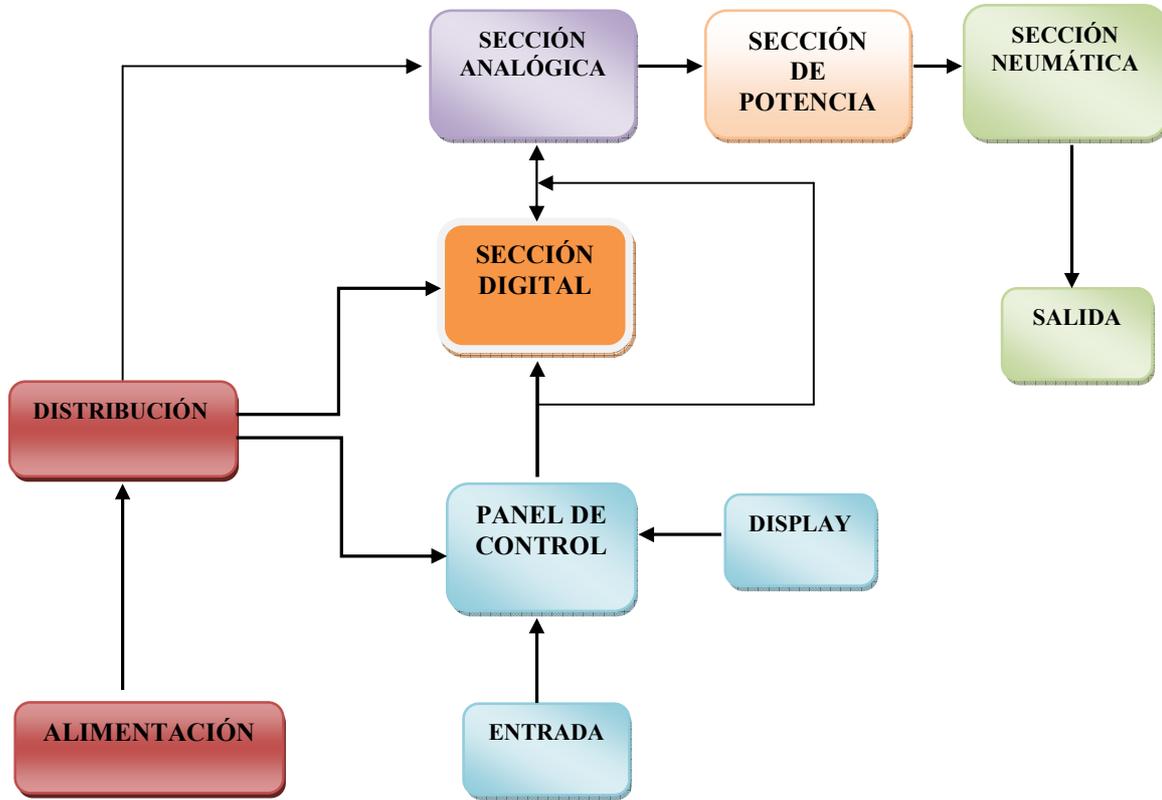
El transductor eólico es un instrumento electrónico, neumático y acústico que produce sonidos resonantes dentro de ocho pipas de bambú generando timbres musicales que combinados con la velocidad y la perfección de la alta tecnología crean un sonido único. Un simple micrófono es la fuente para controlar el sistema, en donde los músicos creativos tienen distintas posibilidades para ejecutar las composiciones con el transductor eólico a través de sus instrumentos, así como realizar la grabación de patrones, reproducirlos y cambiarlos si así lo desean.

El alto nivel de interacción que existe entre los músicos y el transductor eólico resulta en una novedosa y original experiencia no encontrada en ningún otro lado. Los componentes analógicos que componen al transductor eólico combinados con las ejecuciones de músicos ofrecen una alternativa orgánica a la música electrónica o compuesta digitalmente.

Dentro de los elementos tecnológicos que conforman el transductor eólico se encuentran una compresora de aire, válvulas solenoides, reguladores de presión, mangueras, tubos, cables, aproximadamente 150 circuitos integrados alambreados artesanalmente. Toda esta tecnología está montada en una expuesta y estética estructura de tubo de cobre.

Para iniciar la descripción del presente proyecto se presenta de manera general un diagrama a bloques de todo el sistema para a continuación desarrollar cada una de estas secciones con una explicación de la construcción y funcionamiento de cada una de ellas.

En la figura 5.1 se describe un diagrama a bloques del Transductor Eólico en donde se observa cada una de las secciones que conforman esta obra de arte.

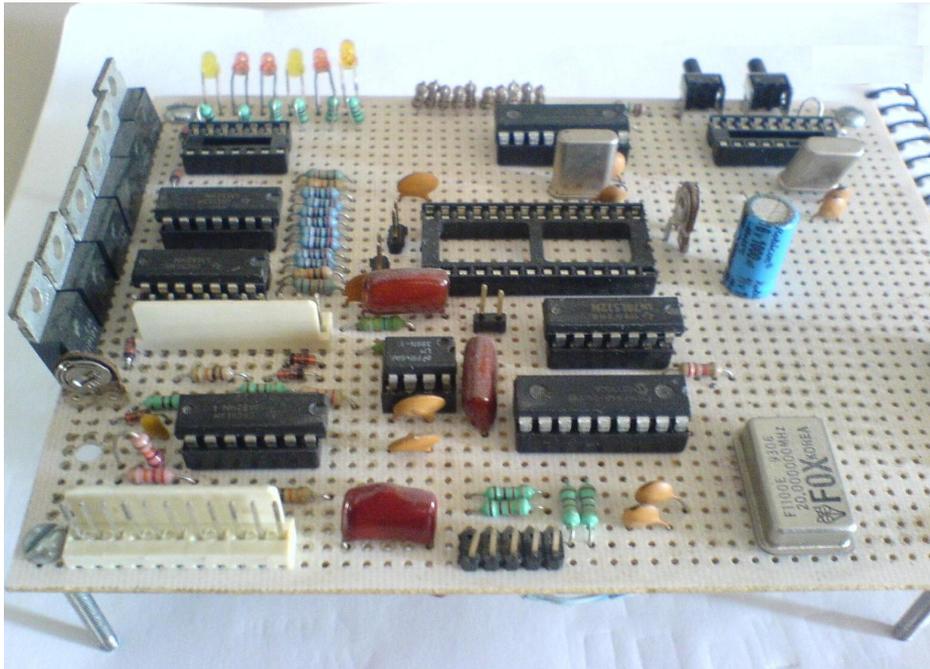


**Figura 5.1 Diagrama a bloques del Transductor Eólico**

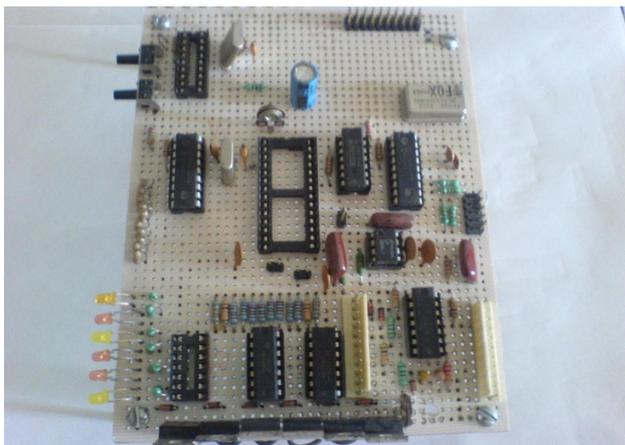
La música como tal o cualquier otro tipo de señal analógica puede ser la fuente de entrada al panel de control del transductor eólico, dicho panel de control está construido como una matriz, en donde cada una de cuatro entradas seleccionadas puede controlar alguna de las ocho posibles señales de salida como una combinación de las entradas; de esta manera cada una de estas salidas se encuentra conectada a un circuito electrónico de salida, en donde cada circuito posee tanto una sección digital así como analógica que controlan a su vez un circuito neumático. De esta manera cada uno de los ocho canales del transductor eólico se encuentra formado tanto por un circuito electrónico como por un circuito neumático y una de las ocho pipas o bambúes.

Ambos circuitos están diseñados de tal manera que conviertan la energía que posee la señal analógica o de la onda sonora, a un flujo de aire proporcional a dicha energía; este flujo de aire se transmite a través de alguna de las ocho resonantes pipas de bambúes.

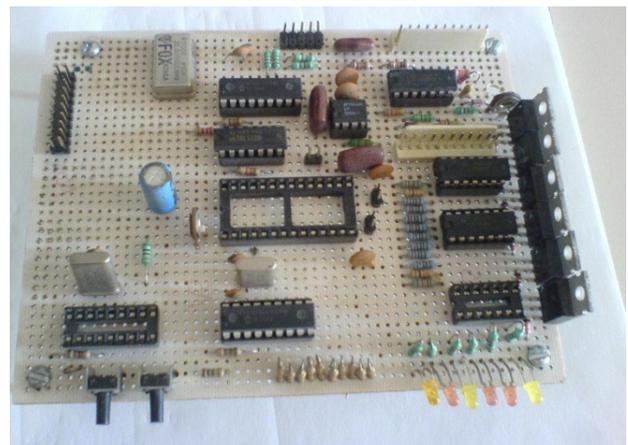
El transductor eólico consiste en 8 canales de audio, uno de ellos se puede apreciar en la figura 5.2, formados por secciones electrónicas tanto digital como analógica que funcionan gracias a la alimentación de 3 distintas fuente de poder, además de la sección de potencia que proporcionará la salida de corriente y voltaje necesarios que harán funcionar las válvulas de control, quienes reciben el aire comprimido desde el compresor refrigerante de 3 cabezas y serán estas las encargadas de dar la salida de aire a los bambúes encargados de generar los diversos timbres musicales.



a) Vista general de un canal



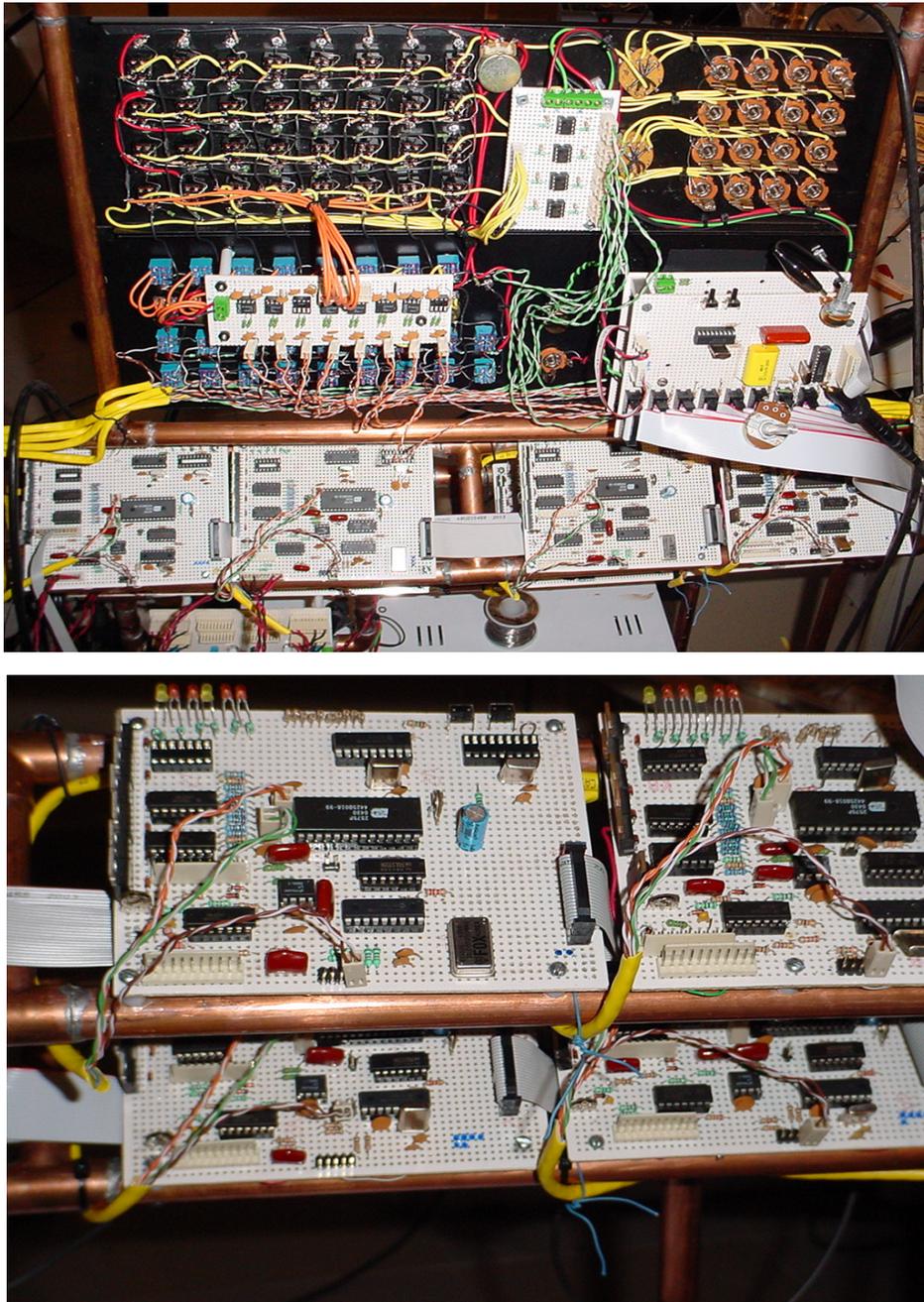
b) Sección Analógica y de Potencia



c) Sección Digital

**Figura 5.2 Imágenes de las distintas secciones de un canal del Transductor Eólico.**

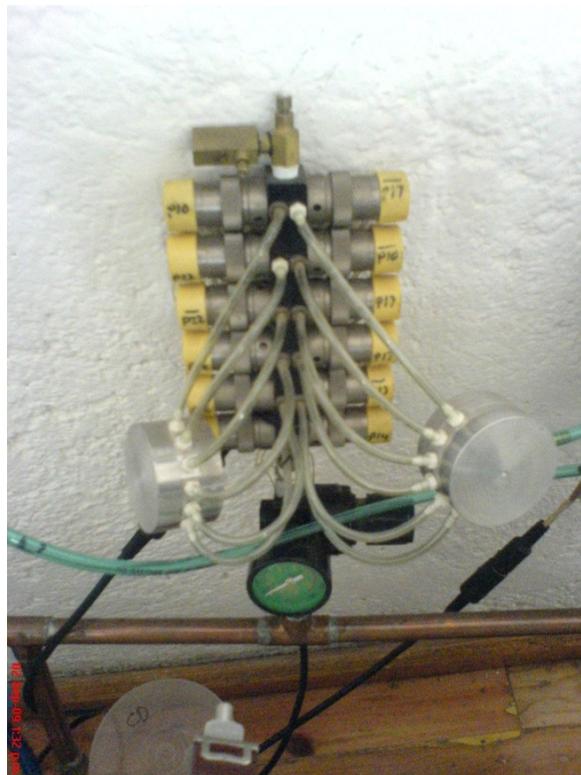
Al transductor también lo forman varias placas representativas de cada sección, como son: 1 placa de display, 1 del control del panel, 1 placa de las señales de control, 1 placa de las señales de sincronización para los canales, 2 placas de distribución de la energía de las fuentes, el panel de control, así como también la estructura metálica de cobre donde se encuentran montados los circuitos del transductor, ocho conjuntos de válvulas reguladoras, ocho sumadores de presión, ocho bambúes de diversos anchos y materiales y una compresora neumática de aire con tres cabezas de refrigeración. Esto se aprecia en las figuras 5.3 y 5.4.



**Figura 5.3** Diversas placas que forman el Transductor Eólico.



a) Compresora de aire de tres cabezas.

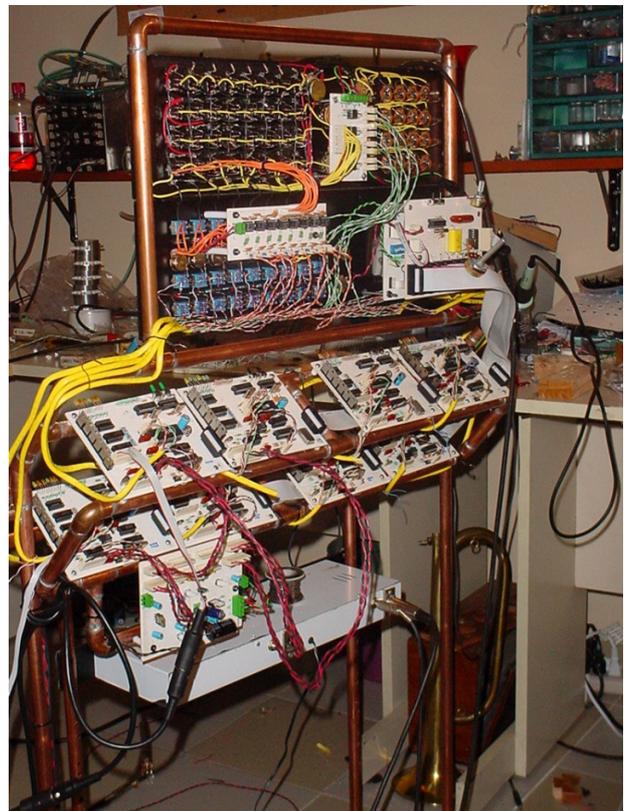


b) Un juego de válvulas reguladoras con 2 sumadores.



**c) Los 8 bambúes resonantes del Transductor Eólico.**

**d) Estructura metálica de cobre en donde se encuentran montados los canales y placas del transductor eólico.**



**Figura 5.4 Componentes del Transductor Eólico.**

La respectiva entrada de audio será una señal proveniente de una fuente digital captada por el micrófono o simplemente el sonido que produce un músico mediante la ejecución de su instrumento.

Para desarrollar el presente proyecto es importante describir en qué consiste cada una de las secciones que se mencionan por lo que a continuación se desarrollaran cada una de ellas. En primer lugar la *entrada* no es más que la simple señal de audio o la señal de salida que entrega el micrófono y como se asume, el micrófono puede captar desde un simple “chasquido” hasta la ejecución de un concierto. En el *display* se observará el canal de salida que controla el instrumento, proporcionará las señales de control para el panel y los 8 canales que conforman el sistema, cada uno de estos ocho canales puede funcionar de manera independiente, aunque si se desea pueden realizar un trabajo en conjunto para realizar una ejecución única, de esta manera el transductor eólico ofrece una amplia gama de opciones para el músico o el intérprete.

## 5.2 SECCIONES DEL TRANSDUCTOR EÓLICO

En el presente apartado se describirá de manera general las funciones y características propias de cada una de las secciones del transductor, se dice que es de una manera general puesto que no se entra por completo a un análisis de cada uno de los diversos circuitos que a su vez conforman cada una de las secciones del transductor ya que este trabajo tiene como fin solamente dar a conocer el aparato en forma general más no así hacer un análisis explícito de los diagramas o circuitos electrónicos que forman el proyecto.

### 5.2.1 Sección de Entrada

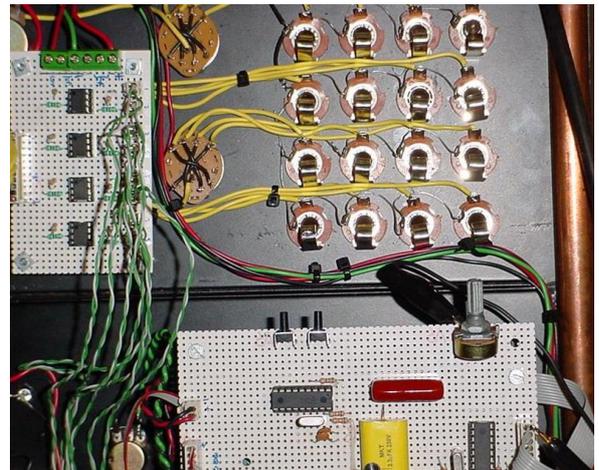
En primer lugar se iniciará esta descripción con la sección de entrada del transductor eólico que consiste en las señales de audio provenientes de la salida de los micrófonos o bien las señales provenientes de una fuente digitalizada.

Esta sección del transductor se encuentra físicamente en el panel de control ya que a partir de estas señales, el panel de control comienza su trabajo obteniendo las señales de audio de entrada hacia los canales y la energía de las ondas que posteriormente transformará a su proporcional flujo de aire dirigido al bambú según sea el deseo del músico quien controlara las salidas del transductor ya sea por interacción de las entradas o de manera independiente según desee.

En la sección de entrada se pueden conectar hasta 16 instrumentos o posibles fuentes de señales de audio pero con los respectivos selectores solo podrán seleccionarse hasta 4 fuentes al mismo tiempo que podrán ser las señales de entrada del transductor eólico, siempre y cuando no se encuentren en la misma línea de los selectores; pudiendo ser cambiada esta configuración en todo momento que el músico lo requiera o le plazca. En la figura 5.5 se puede apreciar la sección de entrada del transductor tanto en una vista anterior como posterior.



a) Vista anterior

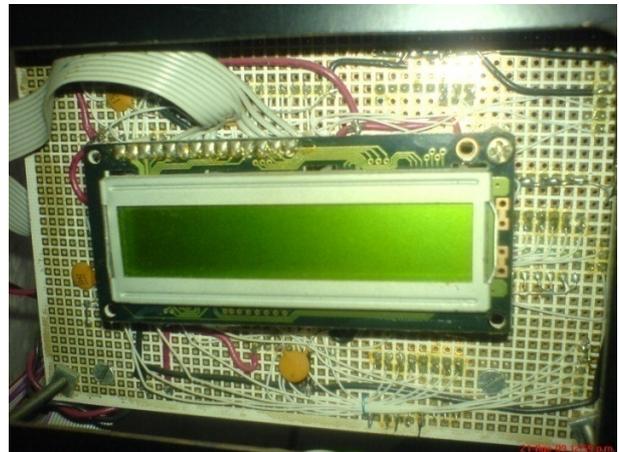


b) Vista Posterior.

**Figura 5.5 Entradas del Transductor Eólico en el panel de control.**

### 5.2.2 Sección Display

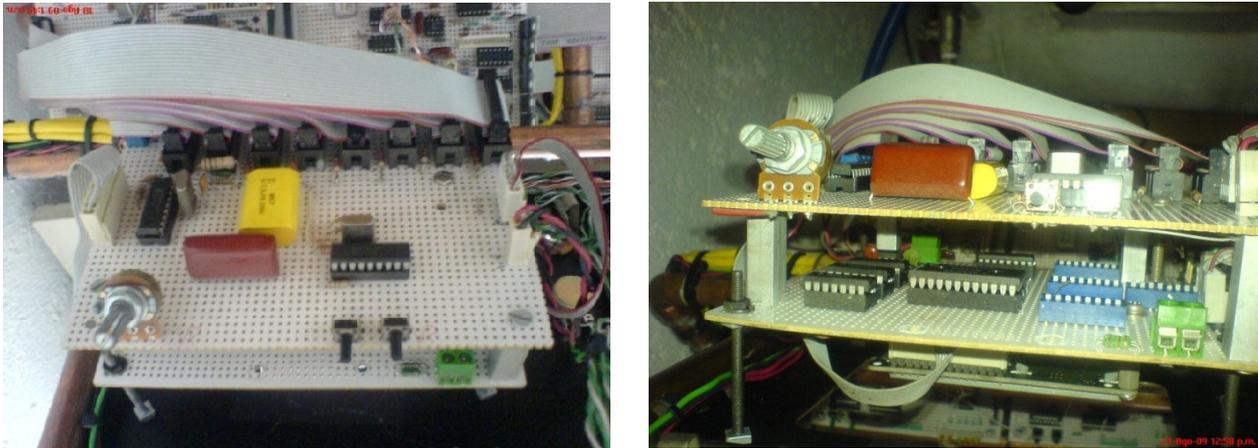
Esta sección también se encuentra físicamente en el panel de control ya que son “los ojos” del transductor, al indicar que funciones se están ejecutando, y mostrar que las señales de control del transductor estén activas, ya que sin ellas, no funcionaría de manera adecuada tanto el reloj como la sincronización de las salidas de los canales.



**Figura 5.6 Imagen del display en el panel de control.**

Esta sección tiene mucha relación tanto con la sección de entrada como con la del Panel de control ya que proporciona también señales de control hacia cada canal como son las señales de *BEAT*, la señal proveniente del reloj *CLOCK* y la señal de control *DSP* que se conectan a los chips que controlan el ISD de cada canal tal como se puede observar en la figura 5.7 donde se muestra la tarjeta de control del display y como se envían las señales respectivas a través de los conectores grises a cada canal.

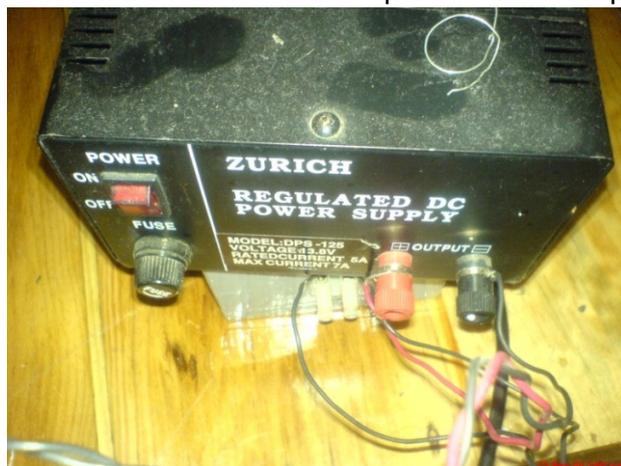
Esta tableta también recibe la señal de control de que entradas se encuentran activas por los selectores y está formada por 1 potenciómetro, 2 micro controladores PIC con sus respectivas configuraciones que proporcionan las señales de control para la salida del display y 2 conectores más que reciben las señales de control del panel y de sincronización del display para enviarlas a cada uno de los respectivos canales.



**Figura 5.7** Tabletas de control y envío de señales del display.

### Sección de Alimentación

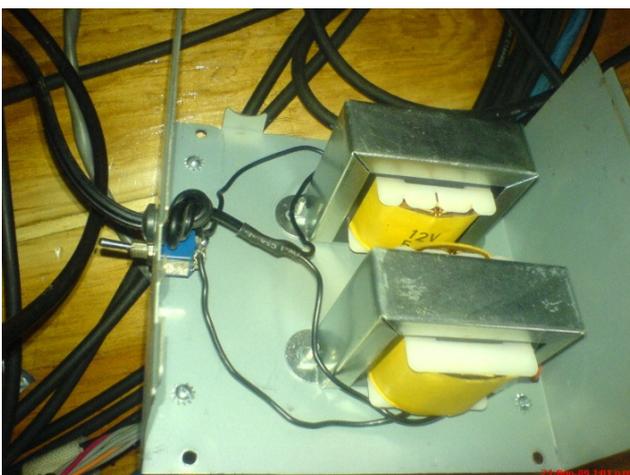
Todo proyecto de electrónica para su funcionamiento necesita una fuente de poder o de alimentación, el transductor eólico no es una excepción por lo que para obtener la corriente y voltajes óptimos para el funcionamiento del transductor se emplean 3 diferentes tipos de fuentes de alimentación en donde la entrada de corriente alterna debe seguir un proceso de conversión y distribución para generar la energía necesaria que alimente tanto a los 8 canales del transductor como a las diferentes secciones tanto de potencia, display, panel de control y la salida de las válvulas. En la figura 5.8 se muestran las 3 diferentes fuentes de alimentación que se utilizaron para este proyecto.



**a) Fuente de alimentación 5V de los canales.**



**b) Fuente de Alimentación de la sección Digital y Analógica**



**c) Fuente de Alimentación del Panel de Control**

**Figura 5.8 Fuentes de alimentación del Transductor eólico.**

La sección de alimentación está formada por tres diferentes tipos de fuentes de alimentación, la primera (Fuente negra) es una fuente comercial que se adquirió, mientras que las otras dos fueron diseñadas especialmente para este proyecto. Y a continuación se describe tanto el funcionamiento como las características de dicha fuentes.

*Fuente Negra:* Esta fuente es una fuente comercial de 13V y 5A que se utiliza para la alimentación de los 8 canales del transductor, pasando antes por una sección de ajuste ya que los canales trabajan con un voltaje de 5V; la salida de esta fuente se direcciona a la sección de distribución para su manejo de tal forma que a partir de esta sola fuente puedan ser alimentados los 8 canales.

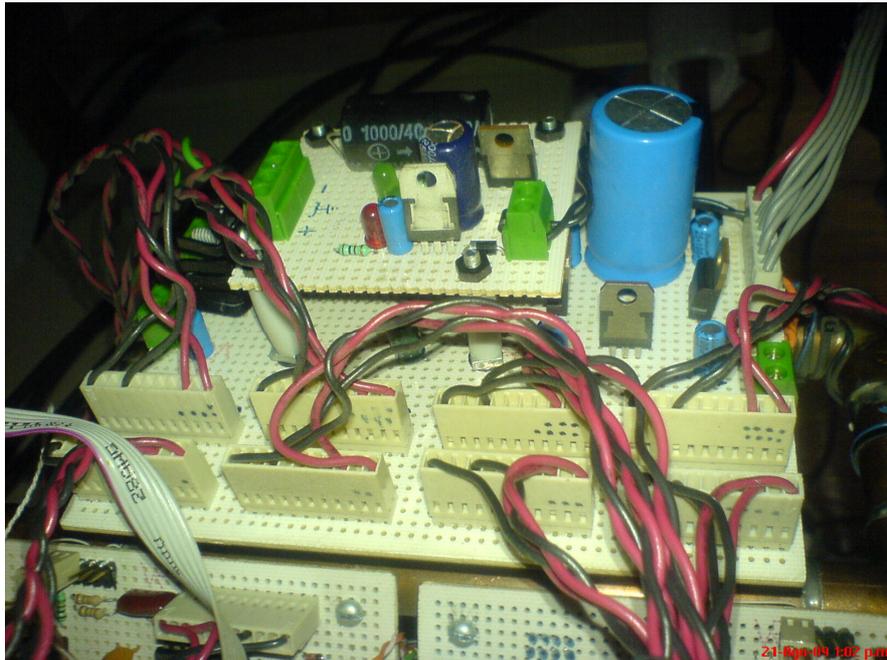
*Fuente de Alimentación:* Esta fuente fue especialmente diseñada para el transductor eólico y se basa en el principio fundamental de las fuentes de alimentación ya que consta de sus respectivas secciones de transformación, rectificación, filtrado y estabilización. Además es una fuente múltiple ya que esta función la realiza en 8 ocasiones (1 para cada canal) por lo que consta de 8 reguladores de voltaje y sus correspondientes filtros (capacitores), y puentes rectificadores, cabe señalar que se utilizan 1 transformador por cada 4 canales.

*Fuente de Regulación:* Esta fuente alimenta a la sección de distribución y a toda la sección del panel de control, también es una fuente regulada cuyas salidas se utilizan para alimentar dispositivos con 15 V, de igual manera que la fuente de alimentación, esta fuente consta de sus secciones de filtrado, rectificación y estabilización. Esta fuente es la que proporciona la energía a toda la sección digital del transductor eólico como son los PICs y demás circuitos integrados, mientras que la fuente de alimentación lo hace para la parte analógica como son los transistores Tips y los divisores de voltaje.

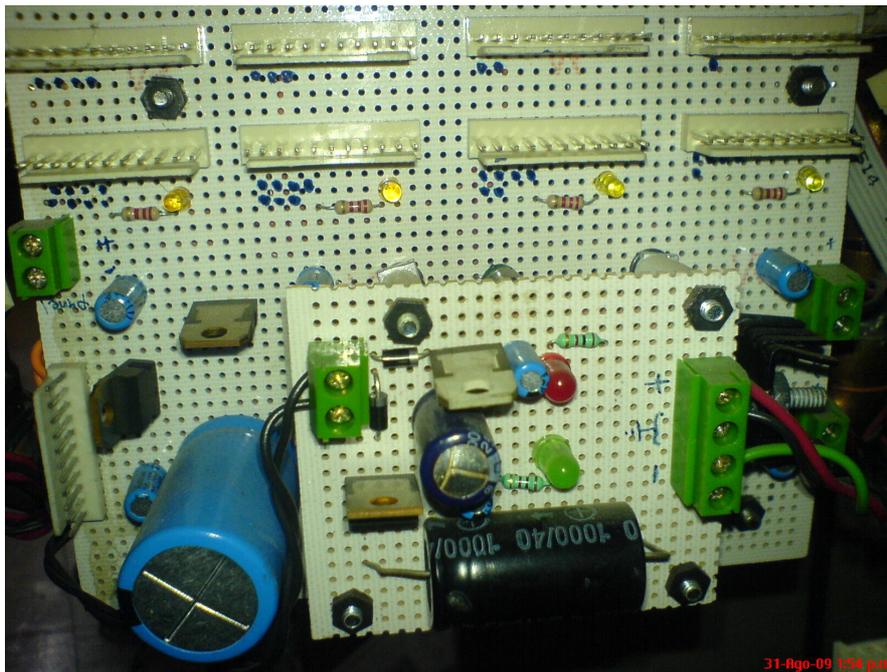
### **5.2.3 Sección de Distribución**

Esta sección del transductor está muy ligada a la sección anterior puesto que es la continuación de ella y es la encargada de distribuir la energía que necesita cada canal para su funcionamiento; este proceso lo realiza acoplando en un solo conector las 2 fuentes, mediante la regulación de los voltajes provenientes de la Fuente de Alimentación con su respectiva sección de filtrado y regulando el voltaje proveniente de la Fuente Negra.

En la figura 5.9 se observa la distribución de la energía proveniente de las dos primeras fuentes de alimentación, en la figura a) se muestra la conexión de salida a los diversos canales mientras que en la b) se observa una parte de la regulación y filtrado de la Fuente Negra y su respectivo acoplamiento en un solo conector, en este caso en la figura b) se aprecian los 8 conectores de acoplamiento.



a) Conectores de salida a cada canal

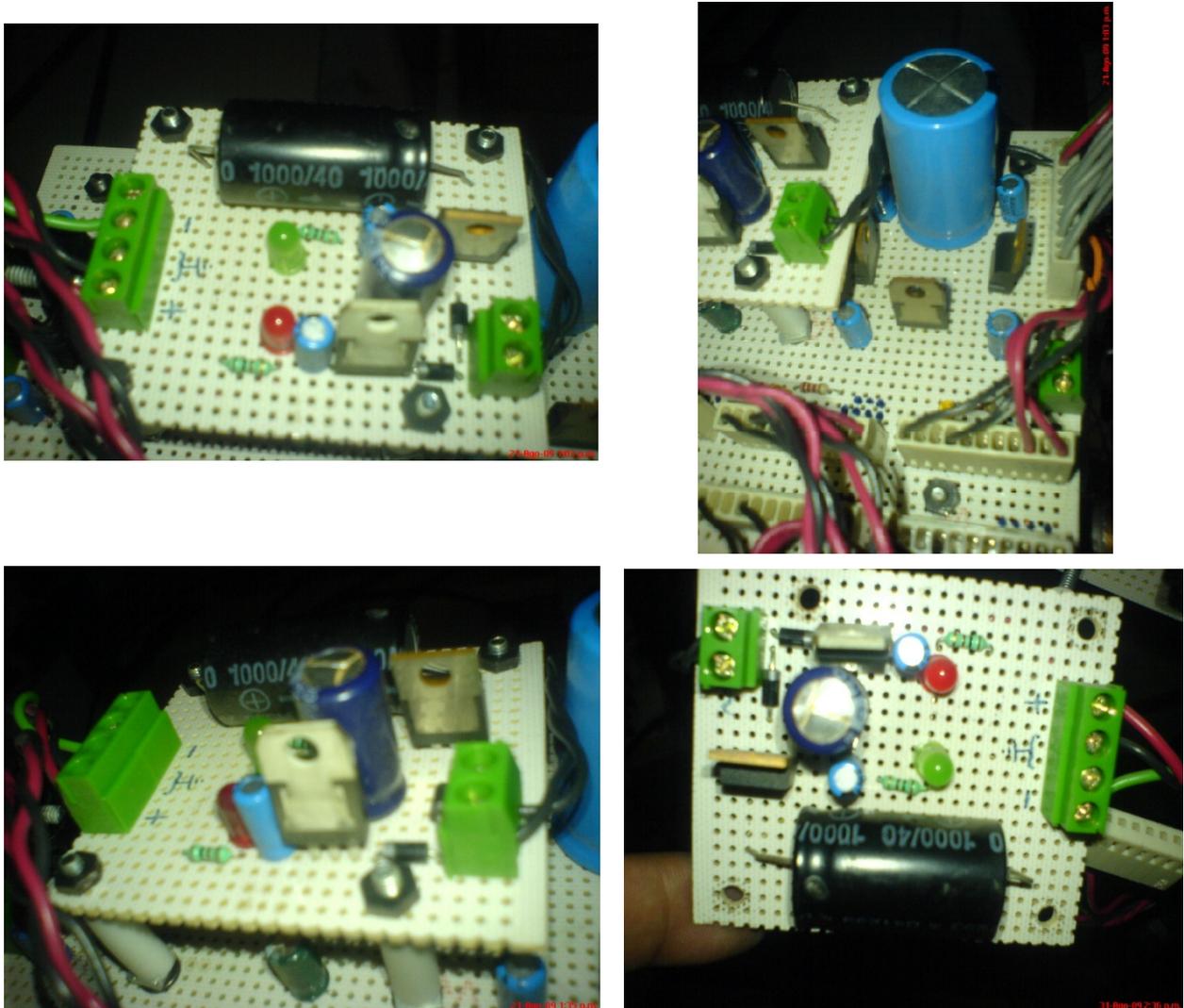


c) Regulación y Acoplamiento

Figura 5.9 Sección de Distribución.

La otra parte de la sección de distribución tiene como objetivo proporcionar la salida a las secciones digitales del transductor eólico lo cual se realiza mediante una regulación de voltaje y su respectivo filtrado para eliminación de ruido, así como el acoplamiento de 4 conectores de salida que llevarán la energía según corresponda al display, panel de control o sección de entrada del sistema.

En la figura 5.10 se muestra aprecia desde varios ángulos la segunda parte de la sección de distribución, estas señales de alimentación resultan de trascendental importancia para la sección que a continuación se hará mención, ya que dicha alimentación proporciona la energía a las placas de las señales de control que se ubican en la sección del panel de control, una de las secciones más importantes de este proyecto ya que se encargarán de la sincronización y selección de las señales de entrada al transductor eólico.



**Figura 5.10 Sección de distribución a las secciones digitales.**

#### 5.2.4 Sección Panel de Control

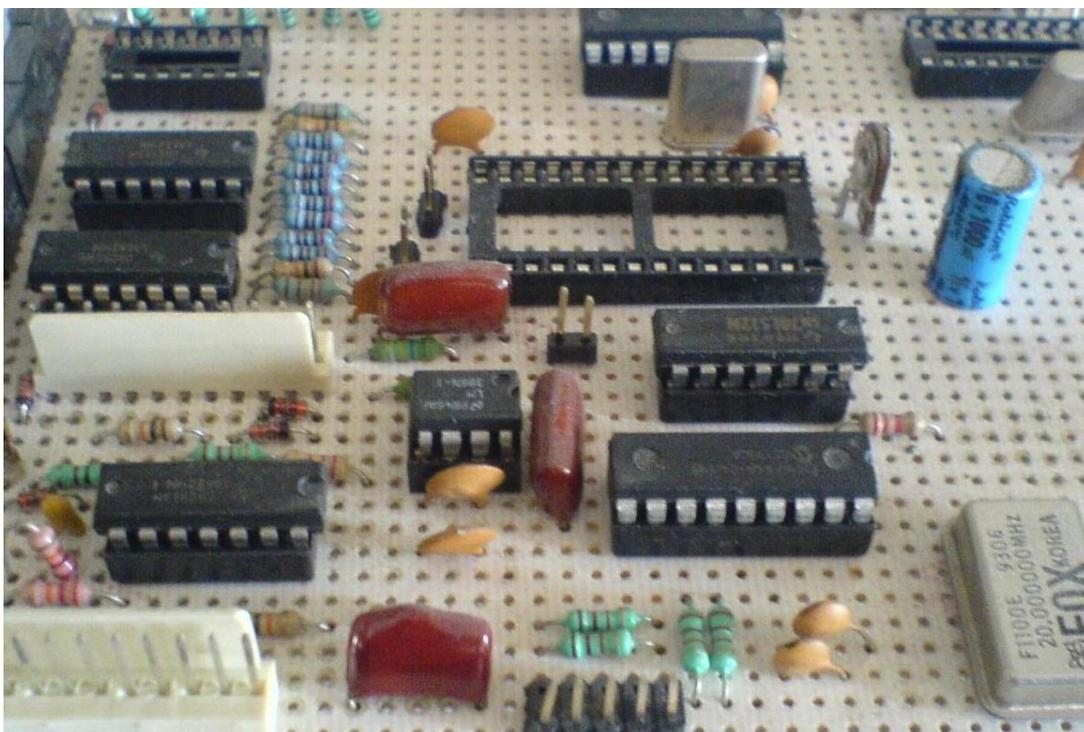
Esta sección es una de las partes de mayor relevancia en este proyecto por lo que se consideró desarrollarse posteriormente como un subtema del capítulo, dada su importancia y aquí solo se mencionará como parte del sistema ya que no puede funcionar de manera independiente a las demás secciones pero sí cabe decir que todas las demás secciones dependen en gran medida del desempeño y funcionamiento de esta sección.

#### 5.2.5 Sección Digital

La sección digital se encuentra formada por un dispositivo muy particular que es un Grabador Digital de Audio (ISD) capaz de almacenar cortos mensajes y posteriormente reproducirlos mediante el accionamiento de un interruptor. Así como de 2 micro controladores PIC, que según su programación y configuración se encargan del control de las funciones del ISD.

El ISD es un circuito integrado de 28 patillas alimentado a 5 voltios y en cuyo interior se encuentran todas las etapas necesarias para la digitalización del sonido, su almacenamiento y posterior reproducción.

Parte de esta sección se puede observar en la figura 5.10 que muestra la base del ISD, los 2 PICs así como sus respectivos cristales de 20Mhz-



**Figura 5.11 Sección digital de un canal del Transductor Eólico.**

El grabador digital contiene un preamplificador de micrófono con un control automático de ganancia, (AGC, *Automatic Gain Control*), un amplificador, generador de reloj, memoria no-volátil con una capacidad de hasta 20 segundos de grabación, filtros de alisado y amplificador de salida. El preamplificador con control automático de ganancia permite la grabación de sonidos con diferentes niveles. Los tiempos de subida y bajada del AGC se pueden ajustar mediante una resistencia y capacitor externos.

El generador de reloj está estabilizado en temperatura para una reproducción lo más fiel posible. Las muestras de sonido se almacenan en la memoria interna no-volátil, lo que quiere decir que la información permanece aunque se desconecte la tensión de alimentación. El amplificador de salida puede ser conectado directamente a un altavoz sin ningún tipo de capacitor, debido a su configuración diferencial.

Aunque en este montaje no se utiliza esta característica, el chip dispone de entradas digitales para direccionar la memoria, por lo que se puede controlar cada segmento independientemente. Esto permite construir mensajes utilizando frases y sonidos previamente almacenados.

El circuito necesita una tensión de 5 volts para su funcionamiento, por ello se dispuso un regulador 7805 para poder alimentarlo. También son necesarios una serie de componentes externos al circuito integrado ISD. La función de cada una de las patillas de conexión de dicho integrado, es la siguiente:

**Alimentación. Vcca, Vccd. Terminal 16 y 28.**

Para reducir el ruido lo más posible, los circuitos analógico y digital del ISD1016 utilizan patillas de alimentación separadas, patillas 16 y 28. Estas patillas van conectadas a la alimentación de +5 voltios y desacopladas por medio de capacitores.

**Tierra. Vssa, Vssd. Terminal 13 y 12.**

Al igual que para la alimentación, la parte analógica y la parte digital del ISD1016 utilizan patillas de tierra separadas. Estas dos patillas van conectadas a tierra lo más cerca posible del negativo de alimentación. Entradas de Dirección/Modo. A0...A7. Patillas 1...10.

Estas patillas tienen dos funciones. Por un lado sirven para direccionar cada uno de los segmentos de la memoria donde está almacenado el mensaje. Por otro lado sirven para establecer distintos modos de funcionamiento. Por razones de simplicidad no se describen dichos modos.

**Entrada PD. Terminal 24.**

Esta patilla recibe un impulso positivo al comienzo de la secuencia de grabación o reproducción para poner a cero el puntero de direcciones de la memoria. Este impulso se produce al diferenciar, el flanco de subida procedente de las señales de control al cerrar un interruptor de control.

**Entrada CE. Terminal 23.**

Esta entrada -CE (*Chip Enable*) debe conectarse a tierra para la operación de grabación o reproducción.

**Entrada P/R. Patilla 27.**

La entrada P/R (Playback/Record) sirve para cambiar el modo de operación del ISD de reproducción a grabación.

**Salida EOM. Terminal 25.**

La salida EOM (End Of Message) proporcionará un impulso cuando se termine de reproducir el mensaje almacenado. El diodo LED conectado a esta patilla parpadea brevemente al terminar la reproducción. Durante la grabación indicará el llenado de la memoria luciendo permanentemente. En caso de necesitar más de veinte segundos de capacidad de memoria, es posible poner en cascada varios circuitos ISD. En este caso, la señal EOM servirá para iniciar la reproducción del siguiente circuito.

**Entrada de micrófono. Terminal 17.**

La señal generada por el micrófono se envía por medio de la sección naranja de la sección de control al preamplificador a través de esta patilla. La señal del micrófono se envía a la entrada del preamplificador a través de un capacitor.

**Entrada Mic Ref. Terminal 18.**

Esta patilla está conectada a la entrada inversora del preamplificador de micrófono. Queda conectada a tierra a través de un condensador electrolítico.

**Entrada AGC. Terminal 19.**

En esta patilla se conecta un capacitor y una resistencia que establecerán la constante de tiempo del Control Automático de Ganancia.

**Salida ANA OUT. (Analogic Out). Terminal 21.**

Esta patilla es la salida del preamplificador. Se conecta a la entrada del amplificador mediante un capacitor electrolítico.

**Entrada ANA IN. (Analogic In). Terminal 20.**

Salida del amplificador de micrófono. Conectada a la sección analógica mediante un capacitor de acoplamiento.

**Salida de altavoz. SP+ SP-. Terminal 14 y 15.**

En estas dos patillas se puede conectar un altavoz para escuchar el mensaje reproducido.

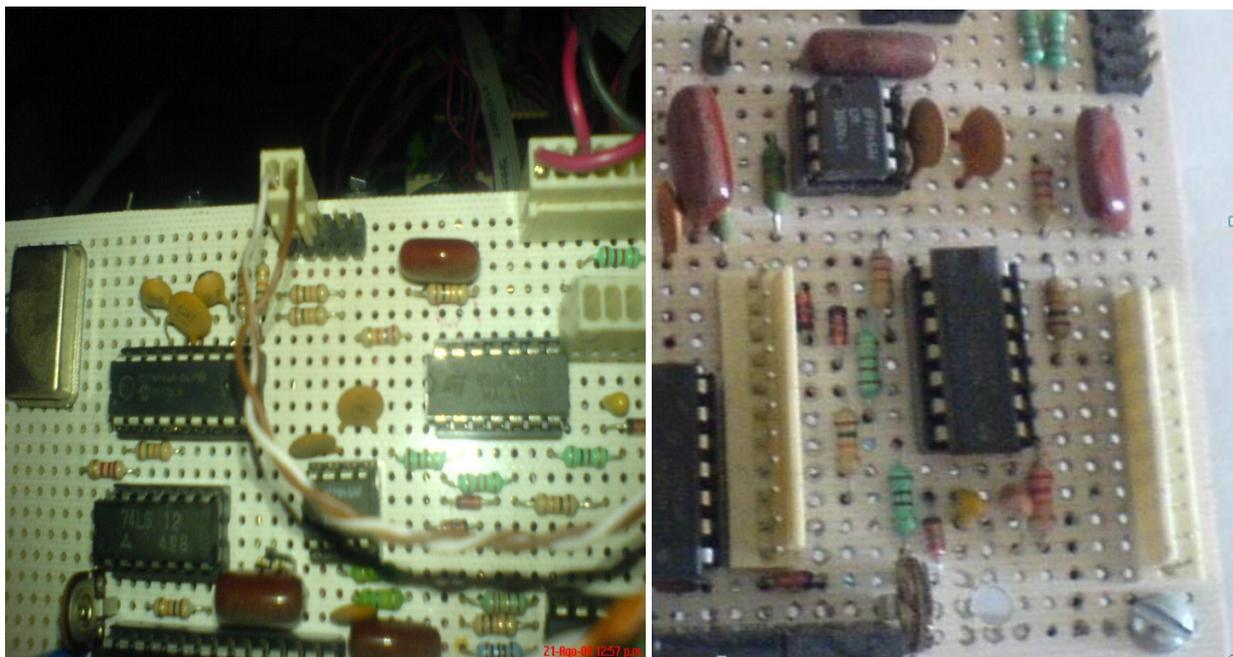
Una descripción aún más detallada de las características y funcionamiento de este tipo de chip puede obtenerse en distintas fuentes electrónicas a través de Internet.

### 5.2.6 Sección Analógica

En la sección la analógica la señal de audio ha pasado ya por un complejo sistema de manipulación electrónica-digital, sin embargo es necesaria una etapa más de manejo de la señal de audio por lo que la sección analógica es la encargada de darle un tratamiento a la señal de tal modo que pase por una etapa de filtrado, de retroalimentación así como una etapa fina de amplificación de audio para lo cual se utilizan 2 diferentes tipo de amplificadores operacionales, uno de uso general y otro amplificador especial de audio.

Esta etapa recibe la salida del ISD e inmediatamente realiza una ganancia de la señal mediante un amplificador de audio, posteriormente limpia la señal de ruido, la filtra para finalmente pasar por un amplificador seguidor y adaptar así esta salida a la impedancia de la etapa siguiente.

En la figura 5.12 se muestra la sección analógica de un canal del transductor eólico en donde se observan los elementos analógicos y los dos chips del amplificador de audio así como el chip con los amplificadores operaciones de propósito general.



**Figura 5.12 Sección analógica del Transductor Eólico.**

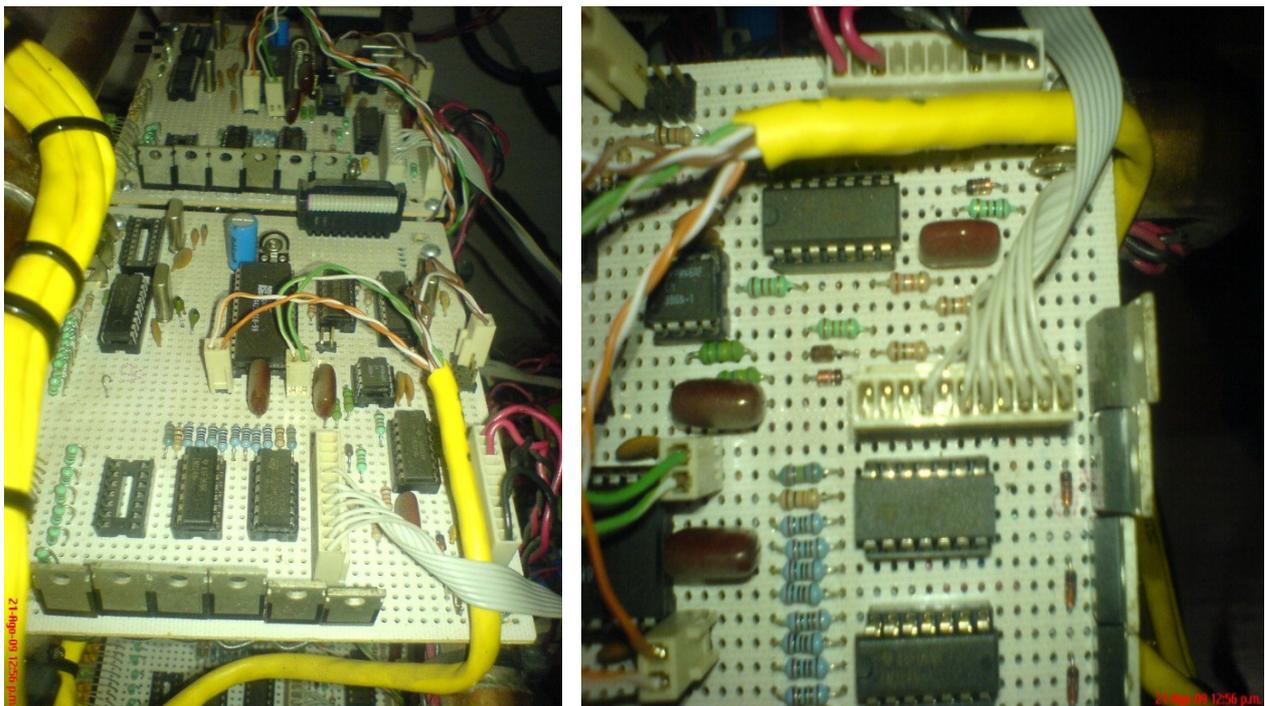
### 5.2.7 Sección de Potencia

Posterior a la sección analógica se encuentra la sección de potencia del transductor eólico que se encuentra formada por 3 partes muy importantes: a) El divisor de voltaje, b) la etapa de amplificación (ganancia de voltaje) y finalmente la etapa de ganancia de corriente dada por los transistores TIP.

El divisor de voltajes es una compleja red de alimentación que proporciona una de las entradas de cada amplificador operacional del circuito integrado, dicho circuito integrado controla hasta 4 canales por lo que esta sección utiliza 3 circuitos integrados de 4 amplificadores operacionales; la otra entrada de cada amplificador está dada por la señal proveniente de la etapa anterior, esencialmente la salida del amplificador seguidor.

Las salidas de estos amplificadores se direccionan a los transistores TIPs para que finalmente estos proporcionen toda la ganancia de corriente necesaria para activar las válvulas de la sección neumática. Para comprobar que efectivamente esta etapa tiene un óptimo funcionamiento y observar el flujo proporcional de corriente proveniente de la energía de la onda acústica y que será la misma proporcionalidad de flujo de aire que fluirá hacia las válvulas, se diseñó una red de leds de verificación que van prendiendo y aumentando de intensidad según la cantidad de flujo de corriente a la salida de cada canal.

En la figura 5.13 se puede observar la etapa de amplificación de un canal del transductor eólico, en donde se encuentran los TIPs, los 3 circuitos integrados de los amplificadores y su respectiva salida del cable gris que se dirige hacia las válvulas de la sección neumática



**Figura 5.13 Sección de potencia del Transductor Eólico.**

### 5.2.8 Sección Neumática

La sección neumática consiste esencialmente en los siguientes elementos que son: 1) Las válvulas de control neumático, 2) La compresora de aire y 3) El sumador de presión o de aire comprimido.

Las válvulas son la continuación de la sección de potencia ya que son controladas por el voltaje de salida de los TIPs, permitiendo que pase o no pase cierto flujo de aire que reciben del canal de alimentación de aire comprimido proveniente de la compresora o el compresor. El flujo de salida de estas válvulas se lleva a un dispositivo sumador diseñado y creado especialmente para el transductor y finalmente este sumador entrega todo el aire proveniente de las válvulas hacia los bambúes simulando los labios de un ser humano al tocar un instrumento de viento como lo son en este caso los propios bambúes.

El compresor también fue un diseño especial para este proyecto ya que en el mercado no es posible encontrar uno que cumpla con las exigencias que el transductor requiere. A continuación se muestra la sección neumática del transductor eólico en la figura 5.14 , en donde se observa con claridad las válvulas y el sumador así como el canal del flujo de aire proveniente del compresor de tres cabezas.



**Figura 5.14 Sección neumática del Transductor Eólico.**

### 5.2.9 Sección de Salida

Finalmente la sección de salida no es más que los artesanales bambúes especialmente diseñados y creados para funcionar como pipas resonantes siendo su fuente de energía el aire comprimido proveniente del sumador de presión.

Estos instrumentos fueron manejados de manera artesanal realizando cada uno de sus detalles con base en la teoría de las pipas resonantes e instrumentos de viento, que es por demás interesante mencionar toda la teoría tanto física como de ingeniería musical para crear estos complejos instrumentos.

En la figura 5.15 se presentan las 8 pipas o bambúes resonantes que crean el sonido único y característico de este proyecto y que fueron la fuente de inspiración para el creador.



**Figura 5.15 Sección de salida del Transductor Eólico.**

Hasta este momento se ha realizado una descripción tanto del transductor en general como de todas las secciones que lo conforman con excepción de la sección del panel que se desarrolla en el apartado siguiente, sin embargo es de suma importancia mencionar que el proyecto ha sido diseñado para tener mayores alcances que más adelante se mencionarán y que el logro de la realización del mismo se debe en gran medida al alto desempeño por parte de la sección técnica y de diseño del proyecto.

### 5.3 ELECTRÓNICA DEL PANEL

Esta sección es la parte medular de todo el transductor eólico ya que aquí se generan las señales más importantes de control de todo el prototipo, dichas señales serán las encargadas de sincronizar tanto las salidas de los diversos canales como las señales de control de los mismos, así como la selección de las señales de entradas al transductor, la selección de que salidas serán las que se utilizarán para la ejecución musical así como también la grabación de los patrones musicales o ejecución de los mismos por parte del transductor sin la intervención de algún agente externo, dejando incluso al propio músico como un espectador más. Es por todo lo anterior que esta sección cobra la mayor importancia de todo el proyecto y que se desarrolla como un subtema de este capítulo, no sin hacer menos a las demás secciones ya que hay q recordar que cada una forma parte de un conjunto en el que sin alguna de las partes, el conjunto simplemente no realizaría ninguna función.

Se divide esta sección en 4 principales sub secciones que serán la sección naranja, la sección verde, la sección café y la sección de control. Que a continuación serán desarrolladas de manera muy general puesto que como se ha comentado anteriormente, un análisis detallado de los circuitos queda fuera del alcance de esta tesis.

En la figura 5.16 se muestran las secciones del Panel del Control.

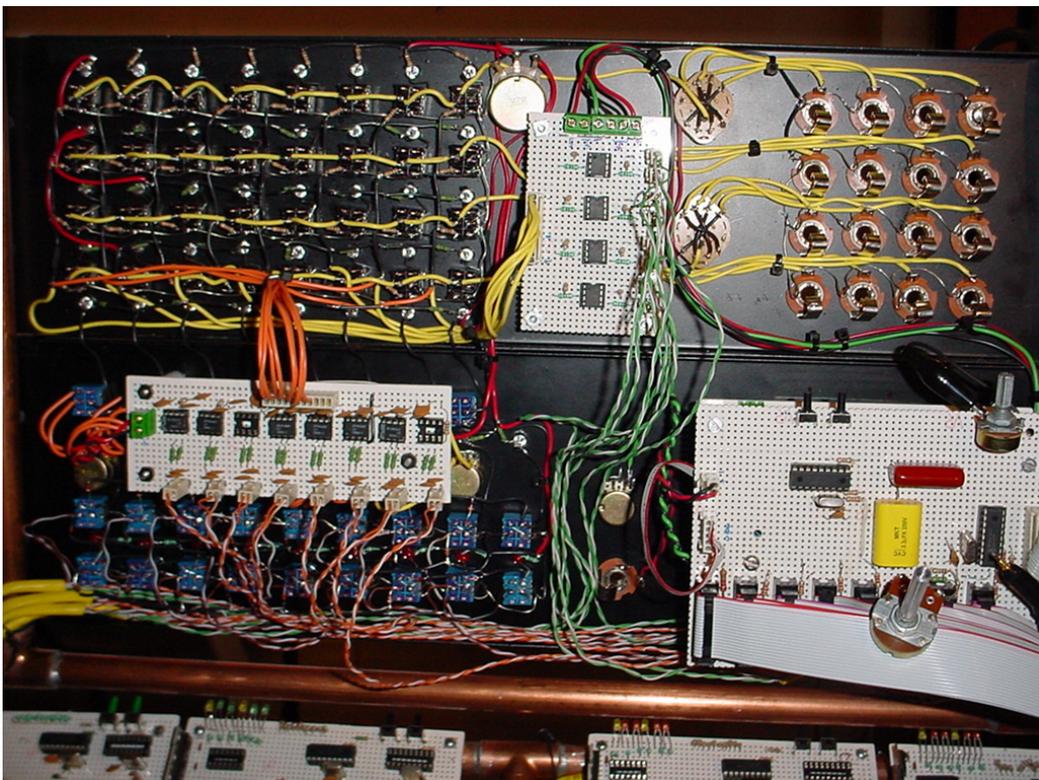


Figura 5.16 Vista general del panel de control.

### 5.3.1 Sección Naranja

Esta sección del Panel de control es la encargada de controlar y distribuir la o las señales de salida hacia los bambúes a través de las señales SP(+)y SP(-) del grabador digital ISD. En una misma tableta se ubican los circuitos que controlan cada uno de los 8 canales, se compone principalmente por un circuito integrado amplificador de audio y una red resistiva-capacitiva, acoplada tanto a la sección de grabación como a la que controla la salida a las válvulas del circuito neumático. Esta configuración se repite en 8 ocasiones, una para cada canal

En la siguiente figura 5. 17 se puede apreciar dicha tableta electrónica de la sección naranja en donde se observa tanto la alimentación de la tableta, los 8 circuitos que integran la tableta, las redes resistivas capacitivas y sus respectivas entradas (cables naranja con blanco) así como las salidas de cada circuito por canal conectadas al panel de control.

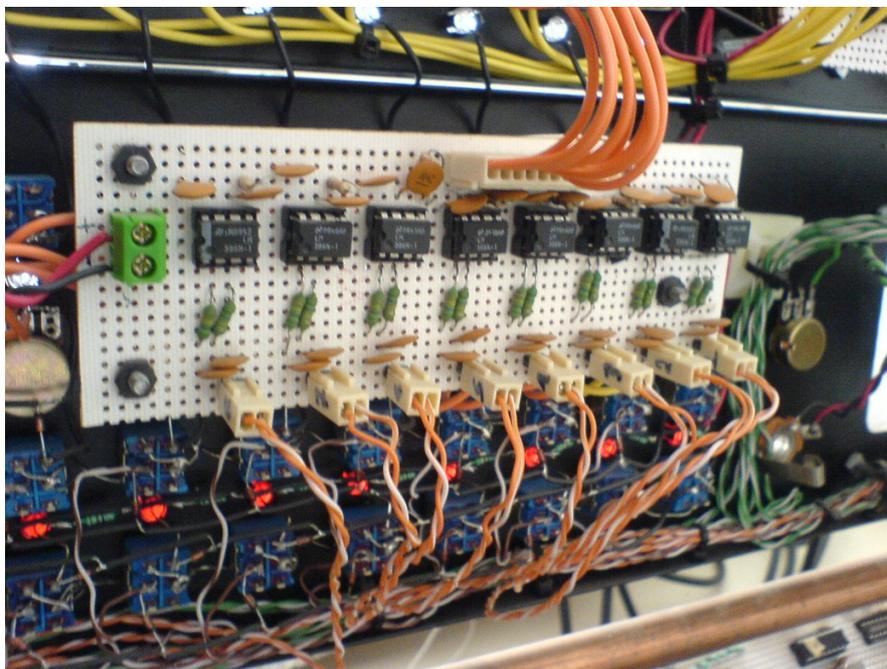
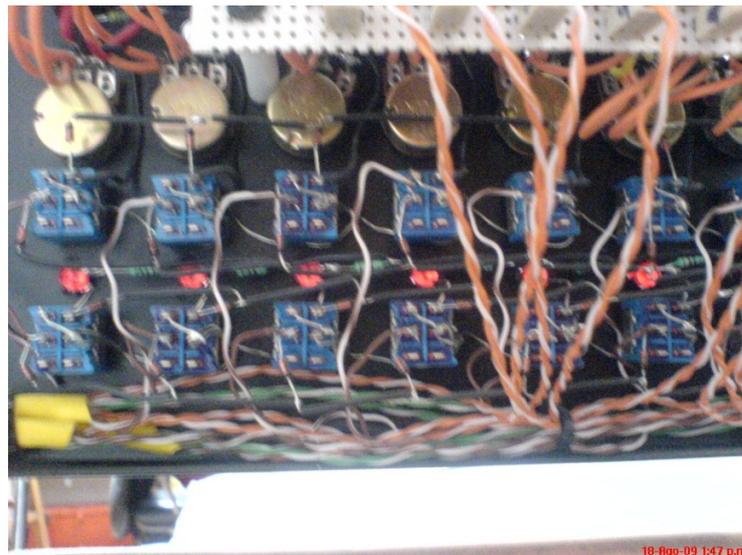
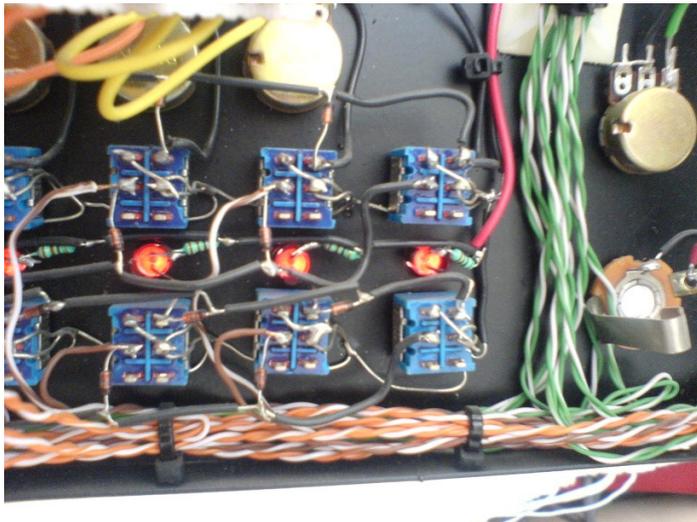


Figura 5.17 Sección naranja del panel de control.

### 5.3.2 Sección Café

Esta sección tiene como propósito general mandar una señal de tierra física entre todas las secciones del panel así como a los circuitos digitales de cada canal, así como también crear una red de unión para las secciones encargadas de la grabación y reproducción digital, siendo la señal encargada de activar o no el uso de cierta salida para ser grabada o reproducida.

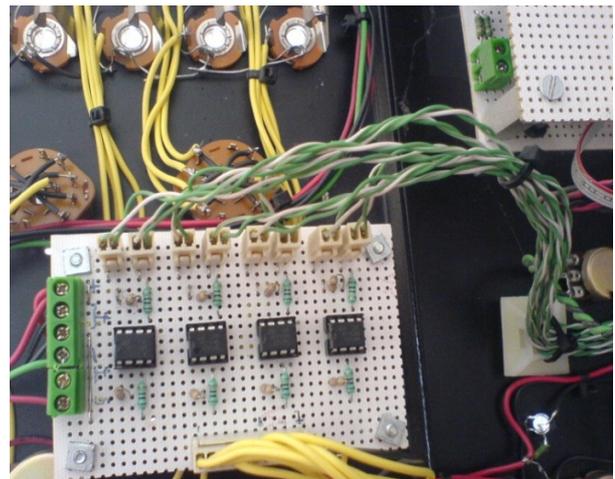
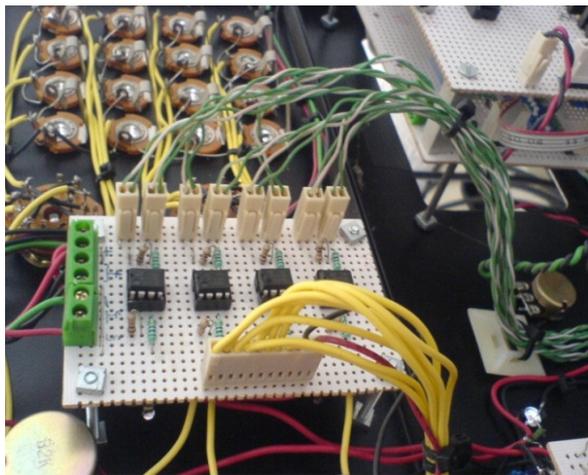
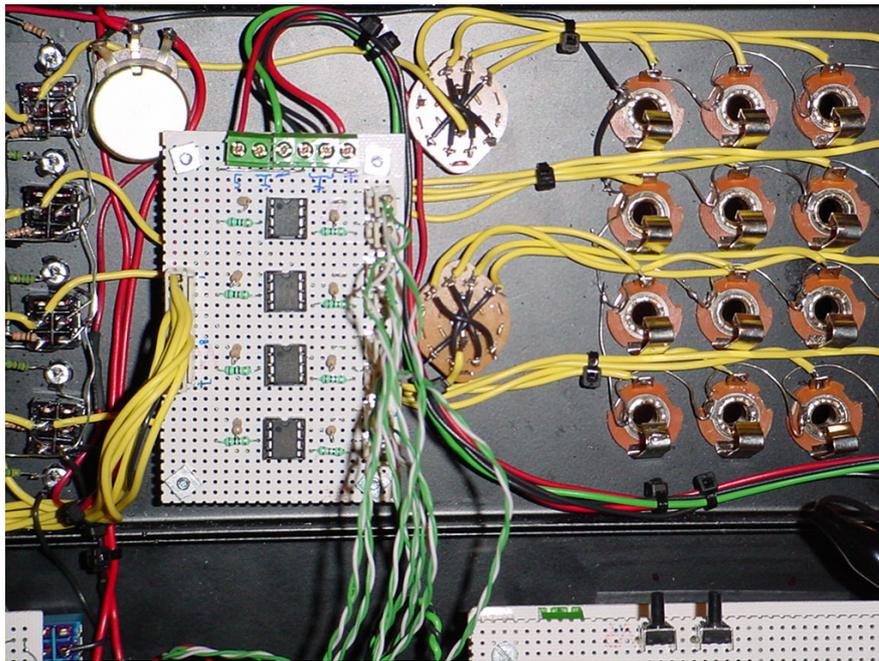
En la figura 5.18 se muestran algunas ilustraciones de esta sección además de la compleja red de unión entre las diversas secciones del panel de control.



**Figura 5.18 Sección café del panel de control.**

### 5.3.3 Sección Verde

Esta sección está formada por 4 circuitos integrados, de 2 amplificadores operacionales de uso general, que manejan 2 canales cada uno, con una configuración resistiva cuya señal proviene del acoplamiento entre la sección digital y la sección analógica de cada canal y su salida es también parte de las señales de control para la sección neumática. La respectiva tableta electrónica es alimentada por 2 de las fuentes de alimentación y en una misma tableta se encuentran los 4 circuitos integrados, la alimentación de la misma así como sus respectivas entradas y salidas de señales, provenientes de cada canal y que se dirigen al panel de control, todo ello se puede observar en la figura 5.19.

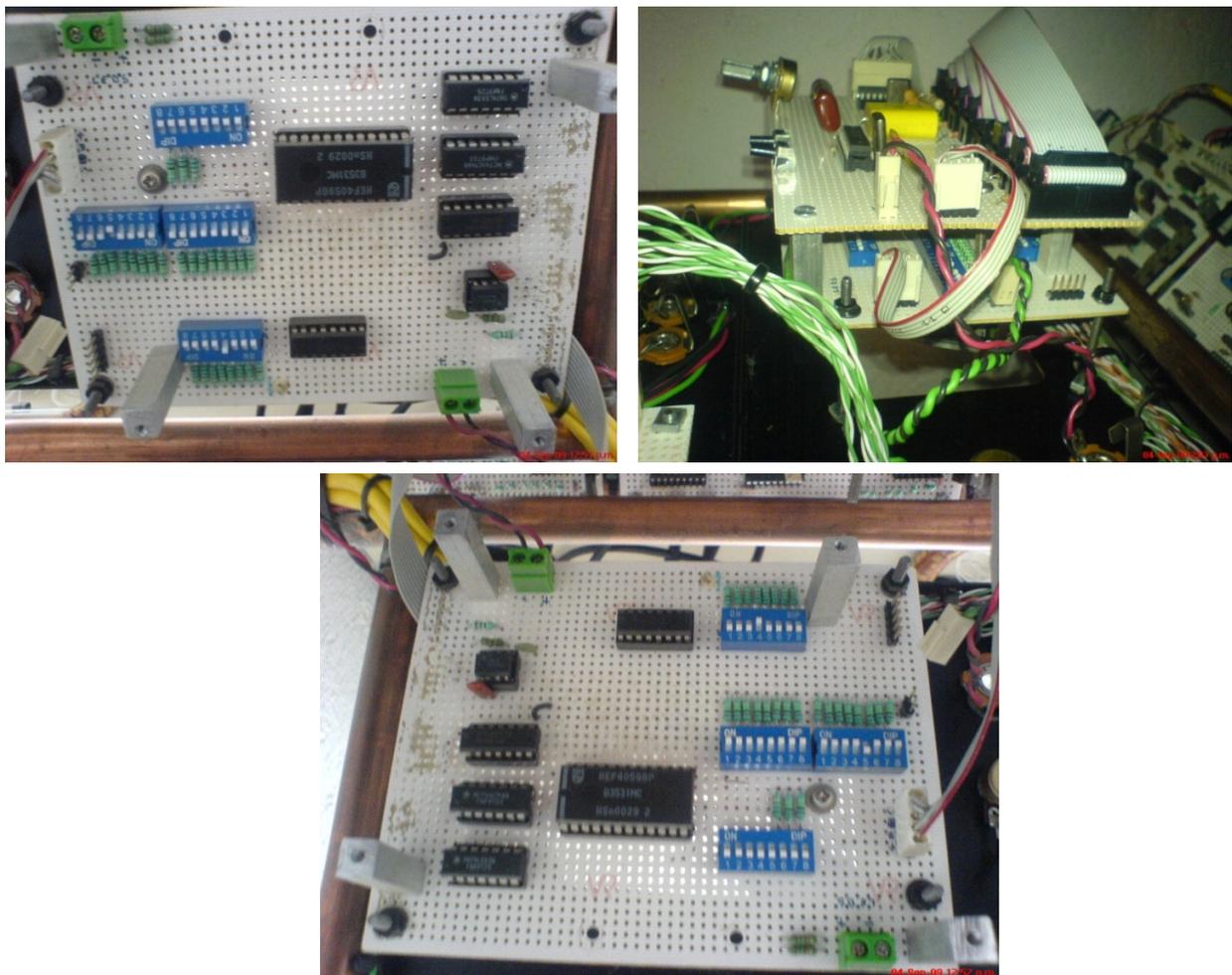


**Figura 5.19 Sección verde del panel de control.**

### 5.3.4 Sección de Control

Esta sección es una de las más importantes de todo el panel puesto que es la encargada de generar todas las señales de sincronización para las diversas funciones que se pueden realizar en el transductor eólico, ya sea grabar un patrón de voz o musical, reproducir dicho patrón, mandar la señal de reloj a los diversos dispositivos digitales, así como también generar las señales de control para los PICs de cada canal, entre estas señales tenemos la señal BEAT, DSP, ON Y CLK, entre las más importantes. También esta sección manda las salidas de control hacia el display y mantiene comunicación permanente tanto con el panel de control como con cada uno de los 8 canales del transductor ya que al iniciar el funcionamiento en cualquier momento de cada canal, deben estar siempre presentes las señales de control de tal manera que siempre exista una sincronía entre la ejecución musical y la respectiva respuesta del transductor.

Se puede apreciar desde varios ángulos en la figura 5.20 una de las placas de la sección de control y su conjunto de microprocesadores y circuitos integrados que proporcionan las señales de control del transductor.



**Figura 5.20 Sección de Control del Panel.**

## 5.4 ACOPLAMIENTO

Este apartado tiene como finalidad dar a conocer de qué forma se encuentran acoplados todas las secciones del transductor eólico a lo largo del recorrido de la señal de audio desde la entrada en el panel hasta la salida en los bambúes.

Para iniciar este proyecto utiliza para la interacción de sus secciones desde conectores de audio, cables sencillos de alimentación, conectores machos y hembras de audio, racks, dip-switch, conectores de cable UTP de par trenzado, cable tipo IDE para PC, diversos tipos de conectores electrónicos como BNC, bornes y regletas de conexión.

En primer lugar dos de las 3 fuentes que necesita el transductor eólico se encuentran de manera independiente y sus salidas se dirigen directamente a una de las placas de distribución, mientras que la fuente restante se direcciona a la otra placa de la misma sección, la diferencia radica en que la primera manda la alimentación a los 8 canales mientras que la segunda es la encargada de mandar la energía a toda la sección del panel de control y sus respectivas sub secciones.

Las señales de control provenientes tanto de la entrada al transductor como de la sección de control del panel, se envían a cada uno de los canales a través de los cables IDE utilizando 8 de los pines disponibles, a través de 3 conectores simples según el color de la sección.

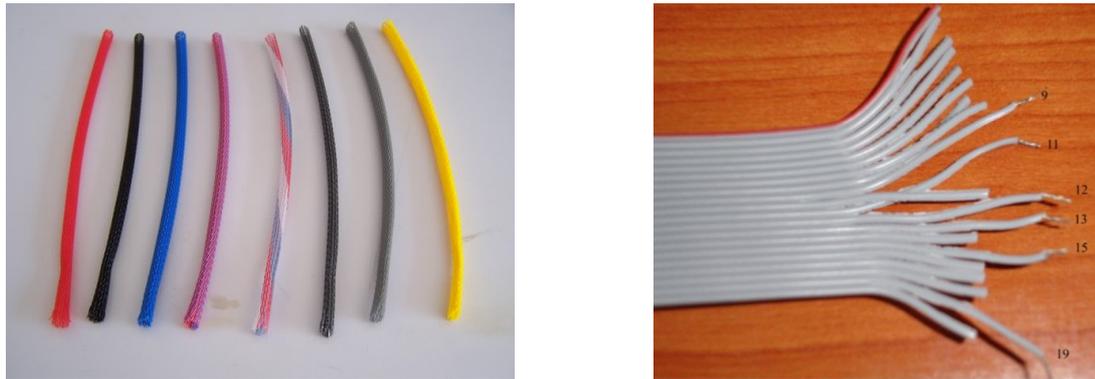
El acoplamiento entre las secciones digital y analógica es directa pero se utiliza un amplificador para limpiar la señal de ruido y también para ir amplificando la señal.

Así también entre la sección analógica y al de potencia el acoplamiento se realiza mediante un amplificador seguidor cuya señal de salida es la misma de control para los transistores.

Finalmente entre las secciones de potencia y neumática la señal se transmite de manera directa ya que esta señal sirve de control a las válvulas cuyo desempeño depende tanto de la cantidad de voltaje y corriente que los TIPs les entreguen.



a) Conectores



b) Cables

Figura 5. 21 Cables y conectores utilizados en el Transductor Eólico.

## 5.5 IMPLEMENTACIÓN

Para iniciar debemos comentar que este invento es una idea original del músico e inventor Daniel Aspúru Guzik, un joven talento mexicano y fue posible gracias al apoyo brindado por el Fonda Nacional para la Cultura y las Artes (FONCA). Y que nuestro trabajo consistió en un análisis de algunos circuitos del transductor, la creación de los diversos diagramas para una futura patente del aparato así como el diseño de las fuentes independientes y la implementación de todo el transductor. Este proyecto tuvo una duración de más 9 meses desde el inicio de su diseño hasta su primer presentación en público en el Festival de las Rosas en la ciudad de Morelia Michoacán en el encuentro de Jóvenes creadores del FONCA.

El armado del transductor eólico se realizo de la manera que a continuación se describe:

En primer lugar se comenzó por el armado de cada uno de los 8 canales del transductor los cuales constan de los siguientes elementos por canal:

- 1) 8 Circuitos Integrados entre PICs, ISD y Amplificadores Operacionales.
- 2) 3 Conectores de 2 pines.
- 3) 3 Conectores de cable IDE.
- 4) 48 Resistencias de carbón de diversos valores.
- 5) 8 Capacitores cerámicos.
- 6) 4 Capacitores de poliéster.
- 7) 1 Capacitor de tantalio.
- 8) 2 Botones de switch sencillo.
- 9) 6 Transistores tipo TIP.
- 10) 2 Potenciómetros.
- 11) 3 Cristales.



Ya que se contaba con todo el material electrónico necesario, se procede a armar conforme a diagrama. A continuación de los 8 canales del transductor, se procedió a diseñar y armar las 2 fuentes que se necesitaban, en dichas fuentes se utilizaron:

- 1) 2 Transformadores 127/15V.
- 2) 2 Juegos de Puentes rectificadores.
- 3) 8 Capacitores electrolíticos.
- 4) 8 Reguladores de Voltaje 7812.
- 5) 8 Resistencias de carbón.
- 6) 8 Diodos zener.
- 7) 8 Leds.
- 8) 1 Conector IDE.



Una vez diseñados y armados tanto los 8 canales como sus respectivas fuentes de alimentación, se procede a armar las 2 tabletas de distribución que llevarán la energía hacia cada canal y al panel de control, para lo cual fue necesario contar con los siguientes elementos:

- 1) 10 Conectores IDE de voltaje.
- 2) 1 Conector de 4 fases.
- 3) 2 Reguladores de Voltaje 7815 y 7915.
- 4) 8 Reguladores de Voltaje 7805.
- 5) 10 Capacitores electrolíticos.
- 6) 10 Resistencias de carbón.
- 7) 6 Leds.
- 8) 2 Diodos zener.



Ya con las fuentes, canales y sección de distribución, a continuación se procede a armar conforme a diseño las sub secciones del Panel de control. Utilizando los siguiente elementos según el caso.

Para la sección Naranja

- 1) 8 Circuitos Integrados.
- 2) 24 Resistencias de carbón.
- 3) 32 Capacitores cerámicos.
- 4) 8 Conectores de 2 pines.
- 5) 1 Conector de Alimentación.
- 6) 1 Conector IDE de 11 pines.



Para la sección Verde

- 1) 4 Circuitos Integrados.
- 2) 16 Resistencias de carbón.
- 3) 8 Conectores de 2 pines.
- 4) 3 Conectores de Alimentación.
- 5) 1 Conector IDE de 11 pines.



Para la sección de Control

- 1) 8 Circuitos Integrados.
- 2) 9 Conectores IDE de distribución.
- 3) 2 Conector de 4 fases.
- 4) 2 Conector de 2 fases.
- 5) 2 Conector de 4 pines.
- 6) 2 Conector de 2 pines.
- 7) 4 Conectores Dip switch de 8 entradas.
- 8) 2 Capacitores electrolíticos.
- 9) 4 Capacitores cerámicos.
- 10) 2 Capacitores poliéster.
- 11) 47 Resistencias de carbón.
- 12) 2 Cristales.
- 13) 1 Potenciómetro.
- 14) 2 Botones de switch sencillo.
- 15) 1 Display.



Para la sección Café

- 1) 8 Conectores de 2 pines.
- 2) 8 Resistencias de carbón.
- 3) 8 Leds.
- 4) 16 Diodos zener.

Una vez terminados los ensambles de todos los circuitos antes mencionados, con respecto al panel de control también se debió implementar las secciones de entrada que cuentan con el siguiente material.

- 1) Ensamble de la estructura de acero.
- 2) 36 Leds.
- 3) 40 Interruptores On/Off.
- 4) 4 Selectores de Función.
- 5) 16 Plugs de entrada de Audio.
- 6) 1 Display.
- 7) 1 Perilla Simple de Control.



Finalmente la sección neumática se implementa mediante la utilización del siguiente material, debiendo aclarar que las válvulas reguladoras debieron ser soldadas al igual que los conectores tipo Plug tanto hembra como macho:

- 1) 8 Válvulas reguladoras de presión.
- 2) 8 Conectores o plugs de audio hembra.
- 3) 8 Conectores o plugs de audio macho.
- 4) 4 Reguladores de presión.
- 5) 8 Sumadores de presión.
- 6) Mangueras.
- 7) 8 Bambúes.
- 8) Estructura metálica de cobre.
- 9) 1 Compresora de aire de 3 cabezas.

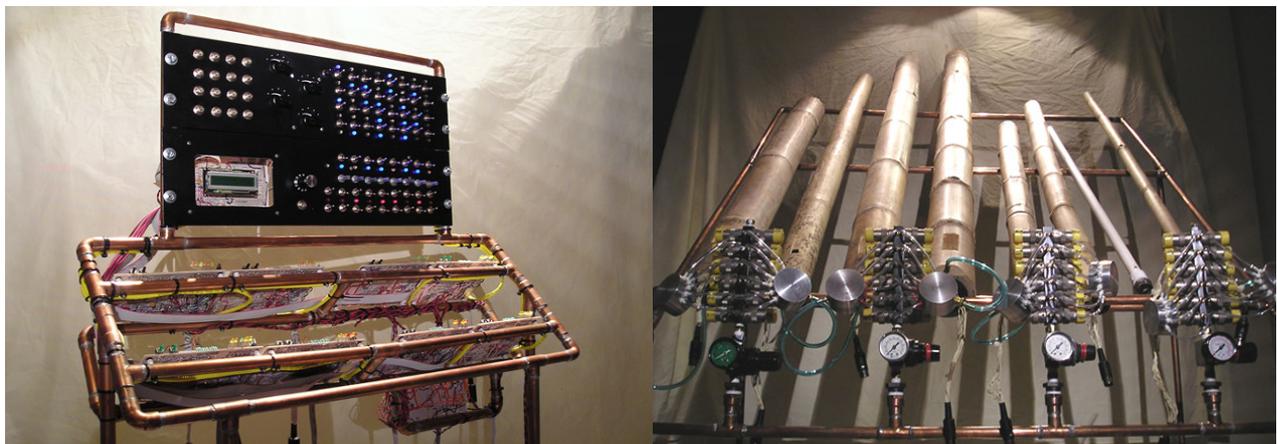


También se utilizaron en general diversos tipos de cables con distintos calibres para las uniones de los circuitos integrados así como para la alimentación de los mismos, tal cual se ha mencionado en el subcapítulo anterior.

Una vez que se conto ya con todos los elementos que conformarían el transductor eólico, se procedió al ensamble final tanto de la estructura en donde se colocarían los canales como las tabletas de distribución así como las conexiones necesarias tanto del panel de control, sección neumática, así como las entradas y salidas tanto de los canales como del transductor en general.

Una vez fijos los canales y sus fuentes de alimentación, ésta fabulosa estructura de cobre puede ser transportada con todos los canales y con respecto a la sección neumática, puede ser desmontada para poder su transportación. De igual manera los bambúes se pueden separar de las salidas de los sumadores y ser almacenados para cualquier presentación

De manera explícita, esto es todo el material que se utiliza para la implementación del transductor eólico para que finalmente se presente esta obra maestra en algún espectáculo musical, tal como se observa en la figura 5.22.



**Figura 5.22 El Transductor Eólico**

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 6.1 CONCLUSIONES

Una vez terminado el montaje y habiéndose presentado con éxito este proyecto podemos concluir que este trabajo de tesis ha cumplido con su objetivo principal que fue la construcción del Transductor Eólico, habiendo cumplido en tiempo y forma la entrega del proyecto para su presentación en el encuentro de jóvenes creadores del FONCA.

Esta tesis tenía también como objetivo presentar de manera formal desde el punto de vista de la electrónica tanto el diseño, desarrollo y construcción del Transductor Eólico con base en la teoría de los circuitos que se encuentran presentes en el diseño y construcción de este proyecto, por lo que a lo largo de esta tesis se presentaron los diversos temas que abarca el Transductor, desde la propia definición de transductor hasta las configuraciones utilizadas con los amplificadores operacionales, pasando por los divisores de voltaje y configuración de un chip de audio, tipos de válvulas así como manejo de señales de audio e incluso un apartado sobre los bambúes . De esta manera este objetivo también ha sido alcanzado por nuestro trabajo.

De igual manera esta tesis ha expuesto de manera general tanto el desarrollo, construcción y funcionamiento de cada una de las diez secciones que en conjunto hacen del Transductor Eólico un instrumento electrónico, neumático y acústico, que convierte ondas acústicas de señales de audio en un flujo de aire; concluyendo así que dicho objetivo planteado al inicio de esta tesis ha sido totalmente cubierto. Habiendo llegado con ello a la creación de un marco teórico inicial de este proyecto, ya que teniendo como fin la patente del mismo, se deja abierta la oportunidad de un estudio y análisis mucho más profundo del los circuitos del panel de control, así como el direccionamiento digital de la memoria de audio y el posterior diseño de nuevas mejoras para el instrumento.

## 6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y MEJORAS

Finalmente con la construcción del Transductor Eólico el inventor ofrece al público un novedoso, único y creativo invento como una alternativa a la música electrónica moderna y que tiene también como fin ser expuesto en conciertos musicales, exposiciones y presentaciones de artistas o de todo aquel que desee experimentar la sensación única de frecuencias y tonos musicales peculiares que proporciona el Transductor Eólico.

Como anteriormente se menciona este trabajo de tesis tenía como fin solamente dar a conocer el aparato en forma general más no así hacer un análisis explícito de los diagramas o circuitos electrónicos que conforman el proyecto. Por lo que este minucioso análisis de la teoría de circuitos electrónicos puede ser un complemento o un alcance de un estudio mucho más profundo sobre el Transductor Eólico, tomando como base este trabajo,

Otro de los alcances que puede llegar a tener este proyecto es la construcción en serie de este transductor como un producto alternativo para músicos y artistas que deseen incorporar a su trabajo una nueva interpretación de sus ejecuciones.

También proponemos varias mejoras al proyecto como puede ser la creación más formal de las placas mediante placas de circuito impreso con lo cual se reduce el ruido de las señales, así como también hacer uso de circuitos integrados más actuales. Así como hacer fuentes de alimentación para cada canal y tanto una fuente exclusiva para secciones digitales así como para las analógicas. Todo lo anterior sabemos que implica un costo adicional por lo que la planeación de las mejoras debe estar en función de las exigencias que tendrá el instrumento así como también de la relación costo-beneficio que pueda proporcionar el uso de circuitos mucho más modernos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANGULO Usategui, J. Ma.; Cuenca E., Martin y Angulo Martínez, J., *"Microcontroladores PIC, la solución en un chip"*. Ed. Paraninfo, 1997.
2. BOYLESTAD, Roberto y Nashelsky, Louis, *"Electrónica teoría de circuitos"*. Ed. Prentice Hall. México, 1999.
3. COUGHLIN R. F. and Driscoll F. F. *"Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits"*. Fifth Edition, Prentice-Hall, 1998.
4. DEL RAZO Hernández, Adolfo. *"Sistemas Neumáticos e Hidráulicos: Apuntes de Teoría"*. Ed. U.P.I.I.C.S.A. México D.F., 2001.
5. DEPPERT W. y K. Stoll. *"Aplicaciones de Neumática"*. Ed. Marcombo. Barcelona, España. Pág.: 54-56, 87, 104 – 105, 124 – 129.
6. DEPPERT W. Y K. Stoll. *"Dispositivo Neumáticos"*. Ed. Marcombo Boixareu, Barcelona. España. Pág.: 8.
7. GORDON J., Van Wylen y Richard E., Sonntag. *"Fundamentos de Termodinámica"*. Ed. Limusa. México, D. F. Pág.: 39-41, 125-126, 200-201, 342-343, 345-346.
8. GUILLÉN Salvador, Antonio. *"Introducción a la Neumática"*. Ed. Marcombo, Boixerau editores, Barcelona-México 1988, p: 31 – 40.
9. JOYANES Aguilar, Luis. *"Problemas de metodología de la programación"* Ed. McGraw Hill. México, 1996.
10. PARADA M.; Escudero J. I. y Simón P. *"Apuntes de Instrumentación, Técnicas de Medida y Mantenimiento"*. Facultad de Informática y Estadística, Sevilla.1998.
11. PERTENCE J. A. *"Amplificadores operacionales y filtros activos: Teoría, proyectos y aplicaciones prácticas"*. McGraw-Hill. 1990.
12. RESNICK, Roberto y Halliday; Walker. *"Fundamentos de Física"*.6ª Edición, Ed. Compañía Editorial Continental. México D.F., 2001. Pag: A-7
13. SEDRA Adel, S. y Smith Kenneth, C. *"Dispositivos electrónicos y amplificación de señales"*, Ed. Interamericana. México, 1987.

## BIBLIOGRAFIA

---

14. SEDRA A. S. and Smith K. C. "*Microelectronic Circuits*". Saunders Colleague Publishing, Third Edition. 1991.
15. Bibliografía y Sitios WEB de interés para Ingenieros Industriales.
16. Diversas consultas en Internet y bibliografía electrónica.