

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA ELECTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**“DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CONTROL DE  
PILETAS ORNAMENTALES Y LUCES AL RITMO DE UNA MELODÍA  
MUSICAL”**

**PRESENTADO POR:**

**WILBER IQUISE GONZA**

**YONY WASHINGTON PAREDES MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Puno – Perú**

**2015**

*Universidad Nacional del Altiplano*

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, ELECTRONICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

“DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PILETAS  
ORNAMENTALES Y LUCES AL RITMO DE UNA MELODIA MUSICAL”

**TESIS PRESENTADA POR:**

WILBER IQUISE GONZA

YONY WASHINGTON PAREDES MAMANI

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRONICO**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :

:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. IVAN DELGADO HUAYTA

PRIMER MIEMBRO :

:

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. GAVINO JOSE FLORES CHIPANA

SEGUNDO MIEMBRO :

:

  
\_\_\_\_\_  
Ing. MARCELINO GALINDO VELASQUEZ

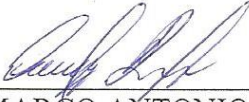
DIRECTOR DE TESIS :

:

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. DAVID SALINAS MENDOZA

ASESOR DE TESIS :

:

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Ing. MARCO ANTONIO QUISPE BARRA

Puno – Perú

2015

**Universidad nacional del altiplano**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA ELECTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS**



**“DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CONTROL DE  
PILETAS ORNAMENTALES Y LUCES AL RITMO DE UNA MELODÍA  
MUSICAL”**

**PRESENTADO POR:  
WILBER IQUISE GONZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**AREA: AUTOMATIZACION E INSTRUMENTACION**

**TEMA: APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SEÑALES  
MODELADO Y SIMULACION DE SISTEMAS DE  
CONTROL Y AUTOMATIZACION**

**FECHA DE SUSTENTACION: 18 DE NOVIEMBRE DEL 2015**

**Puno – Perú**

**2015**

**Dedicatoria:**

Dedicamos el presente trabajo de investigación a nuestros queridos padres por su apoyo incondicional desinteresado y por su confianza brindada.



**Agradecimiento:**

Quiero presentar mi infinita gratitud y profundo agradecimiento a mis apreciados y distinguidos profesores, por la enseñanza tan valiosa y atinada que nos dieron en nuestra formación profesional.

.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I .....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. Descripción del problema. ....	17
1.1.1. Interrogante general. ....	18
1.1.2. Interrogantes específicas. ....	18
1.2. Justificación del problema. ....	18
1.2.1. Justificación técnica .....	18
1.2.2. Justificación económica .....	19
1.2.3. Justificación social. ....	19
1.3. Objetivos de la investigación. ....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos. ....	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Antecedentes de la investigación.....	22
2.1.1. Antecedentes. ....	22
2.2. Sustento teórico.....	22
2.3. Glosario de términos básicos. ....	43
2.4. Hipótesis de la investigación.....	61
2.4.1. Hipótesis general.....	61
2.4.2. Hipótesis específicos.....	61

2.5. Operacionalización de variables. ....	61
2.5.1. Variables independientes. ....	61
2.5.2. Variables dependientes. ....	62
CAPÍTULO III.....	63
DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN .....	63
3.1. Tipo de diseño de investigación.....	64
CAPITULO IV .....	99
ANÁLISIS, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	99
4.1. Interpretación de resultados .....	100
4.1.1. Hardware.....	100
4.1.2. Software. ....	102
4.1.3. Cálculos matemáticos de potencia eléctrica.....	104
4.1.4. Cálculos de volumen y litros de agua en la fuente ornamental.....	106
CONCLUSIONES .....	109
BIBLIOGRAFÍAS .....	114
ANEXOS .....	115

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Filtro pasa bajos.....	24
Figura 2 Filtro pasa alto .....	25
Figura 3 Filtro pasa banda. ....	25
Figura 4 Muestreado de señal .....	27
Figura 5 Digitalización de frecuencia.....	27
Figura 6 Muestreo de frecuencias.....	28
Figura 7 Bombas industriales. ....	39
Figura 8 Controlador ATMEL.....	41
Figura 9 Filtrado de frecuencia.....	43
Figura 10 Principio de controlador de fuente ornamental. ....	44
Figura 11 Bomba de pozo seco.....	48
Figura 12 Bomba de pozo sumergible. ....	49
Figura 13 Cuarto de bombas.....	49
Figura 14 Realimentación de agua.....	50
Figura 15 Sistema impulsión de agua.....	51
Figura 16 Controlador industrial.....	52
Figura 17 Toberas. ....	53
Figura 18 Fuente de chorros. ....	54
Figura 19 Tipos de toberas.....	55
Figura 20 Representación gráfica del sonido.....	55
Figura 21 Transmisión del sonido. ....	56

Figura 22 Luces RGB en la fuente ornamental.....	57
Figura 23 Tipos de leds.....	58
Figura 24 Tipos de leds RGB .....	59
Figura 25 Gama de colores RGB.....	59
Figura 26 Diagrama para control de actuadores .....	65
Figura 27 Diagrama de filtro de señales .....	66
Figura 28 Frecuencia de una señal musical. ....	66
Figura 28 Frecuencia de una señal musical. ....	67
Figura 30 Tres etapas en el cálculo de la FFT de 8 puntos.....	73
Figura 31 Algoritmo para la FFT Diezmado en tiempo de 8 puntos.....	74
Figura 32 Mariposa básica del algoritmo FFT.....	74
Figura 33 Secuencia de diezmado para $N = 16$ .....	75
Figura 34 Circuito integrado WS2801.....	80
Figura 35 Control de voltaje WS2801.....	81
Figura 36 Cascada de datos WS2801. ....	82
Figura 37 Microchip. ....	84
Figura 38 Atmegas.....	85
Figura 39 ATMEGA vs PIC. ....	87
Figura 40 Etapa de acondicionamiento de audio. ....	89
Figura 41 Diagrama de LM386. ....	89
Figura 42 Diagrama procesos de la fuente ornamental.....	92
Figura 43 Variación del torque con voltaje variable.....	94

Figura 44 Efecto de variaciones.....	95
Figura 45 Variador de Frecuencia. ....	96
Figura 46 Declaración de vectores.....	97
Figura 47 Funciones.....	97
Figura 49 Adquisición de muestras. ....	98
Figura 50 Diagrama de control de procesos de la fuente ornamental.....	101
Figura 51 Esquemático PBC del controlador, diseñado en KiCad. ....	101
Figura 52 Controlador con WS2801 para control de motores y Leds. ....	102
Figura 53 Software grabador de microcontroladores Atmel. ....	103
Figura 54 Software de generador de tonos. ....	103
Figura 55 Control electrobomba con mosfet .....	105
Figura 56 Perímetro de la fuente.....	106
Figura 57 Volumen total de la fuente ornamental .....	107
Figura 58 Volumen de agua de la fuente ornamental .....	107



**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Protección determinada por la primera cifra .....	60
Tabla 2 Protección determinada por la segunda cifra .....	61
Tabla 3 Algoritmo FFT.....	73
Tabla 4 Mesclado de los datos e inversión binaria .....	76
Tabla 5 Color – frecuencia.....	79

**INDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Secuencia FFT ATMEL, programa del controlador ..... 116

Anexo 2: Data sheet de la mini electro bomba ..... 124

Anexo 3: Maqueta de la fuente ..... 125

## RESUMEN

Esta investigación está enfocada a la realización e implementación de un controlador que sea capaz de desarrollar un procesamiento de audio y controlar las mini electrobombas al ritmo de una melodía musical, separando las frecuencias de una manera más económica, e eficaz con dispositivos especializados en esa área, empleando un algoritmo que se encarga de analizar los componentes de la señal de audio utilizando un microcontrolador. Inicialmente se pretende explicar las características previas al procesamiento de audio, como es la etapa de acondicionamiento que permita el funcionamiento adecuado del microcontrolador, además se muestran sugerencias para realizar una etapa que permita economizar y ahorrar espacio de diseño al usuario. Implementar un código adecuado para el controlador de mini electrobombas, empezando por la parte del algoritmo de la FFT que se basa en operaciones matemáticas para desgranar las componentes espectrales de una señal de audio. Finalmente se intenta demostrar que los objetivos y la hipótesis planteados se cumplen con ciertas reglas, permitiendo dejar una investigación que abrirá oportunidades a futuros proyectos.

**Palabras clave:** Controlador, procesamiento de audio, FFT, microcontrolador, led rgb, mini electrobombas

## ABSTRACT

This research is focused on the realization and implementation of a controller that is capable of developing an audio processing mini pumps and control the rhythm of a musical melody, separating the frequencies in a more economical way and equally effective as specializes devices in that area, using an algorithm which is responsible for analyzing the components of the audio signal using a microcontroller. Initially it was intended to explain the pre-audio processing features, as is the conditioning step to allow proper operation of the microcontroller, plus suggestions for a stage show that will allow saving and space- saving design the user. You can implement a suitable driver code for mini pumps. Starting with part of the FFT algorithm based on mathematical operations shelling the spectral components of an audio signal. Finally we tried to demonstrate that the objectives and the hypothesis raised by certain rules are met. Stop enabling research that will open up opportunities for future projects.

**Key words:** controller, audio processing, FFT, microcontroller, led rgb, mini pumps

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del proyecto investigación tiene como finalidad la elaboración de un diseño experimental de un sistema de control de piletas ornamentales y luces al ritmo de una melodía musical.

Dentro del control audio rítmico se desarrolló un sistema de procesador de audio basado en el algoritmo de la FFT, los datos adquiridos son las señales de audio emitidas al reproducirse una melodía musical, con los que posteriormente mediante una interfaz de procesamiento de datos, la misma que fue implementada con la ayuda de la transformada rápida de Fourier(FFT) y en el software Atmel studio v6 se implementó el programa, el análisis de la señal de audio adquirida es para 64 putos, para este análisis se evaluó una de las propiedades del sonido, la altura, la misma que indica cuando un sonido es agudo, medio o grave valor que viene determinado por la frecuencia fundamental de las ondas sonoras y se mide en Hz.

Para el procesamiento de los datos con FFT se utilizó la función de diezclado en tiempo, la misma que determina cual es el tono que tiene mayor amplitud (es decir el de mayor intensidad), luego se clasifica el tono dependiendo de la frecuencia, rango con el que se comandan las diferentes salidas asignadas en el micro controlador, para que con los diferentes pulsos a su vez se pueda comandar el circuito de control para la activación de las diferentes y lámparas de led RGB en la pileta, obteniendo así un resultado armónico de luces, agua y música, de manera que el observador perciba el efecto visual de que tanto las luces como el agua bailan al compás de la música.

En el capítulo I. Planteamiento del problema, consiste en la descripción de la investigación vasado en el tiempo y lo que se pretende lograr en la implementación experimental del proyecto de investigación.

En el Capítulo II, Marco Teórico, se hallan detallados los conceptos teóricos en los que se basó el desarrollo del proyecto de investigación.

En el Capítulo III, Metodológico de la investigación, se pueden encontrar el desarrollo de las diferentes etapas del Sistema de Control de fuente ornamental musical sincronizado y la construcción de una fuente ornamental

En el Capítulo IV, análisis e interpretación de la investigación

Análisis y Resultados, se describen los resultados obtenidos a través del desarrollo de la Tesis.



# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### 1.1. Descripción del problema.

El Perú es un país con muchas necesidades de desarrollo en sus distintos medios de investigación tecnológico, con el hecho de que para ejecutar unos proyectos de innovación tecnológico llegan a contratar profesionales de países extranjeros sumándoles presupuestos elevados y a si dejando de lado el profesional nacional en vías de desarrollo e investigación.

Siendo la región puno un lugar con una necesidad constante de profesionales capaces de ejecutar proyectos con alta tecnología que conlleva investigación y capacitación al profesional, para poder realizar proyectos tecnológicos como las piletas ornamentales o fuentes de agua con nuevas innovaciones, así como aguas danzantes al ritmo de una melodía musical con luces multicolores, con variedad de efectos lumínicos y movimientos. Dichos proyectos pueden ser ejecutados en plazas principales, parques recreacionales, mercados, hoteles y puertos para su modernización y principalmente para su atractiva presentación en lugar implementado.

Para lo cual se pretende desarrollar una investigación e implementación de un sistema que sea capaz de procesar audio para poder controlar las fuentes de agua o las piletas ornamentales y estos conllevan componentes electrónicos de última tecnología para su ejecución. Este sistema moderno realiza movimientos en horizontal y vertical en diversos ángulos, variando el disparo de agua. También el sistema de iluminación con leds cumplirá con interpolación de colores. Por consiguiente el planteamiento del problema es el **“diseño experimental de un sistema de control de piletas ornamentales y luces al ritmo de una melodía musical”**. Este sistema puede ser implementados en diversos lugares para su atractivo ilustración en tecnología haciendo sincronización en música, color y movimientos, su implementación estructural se puede dar en: plazas mayores, parques recreacionales, centros comerciales, mercados,

decoraciones en edificios, hoteles, en vías de tránsito peatonal, en puertos y otras áreas de espectáculos o innovaciones tecnológicos. Para su implementación del sistema utilizaremos la diversidad de dispositivos electrónicos, eléctricos y mecánicos en un plano teórico y en un plano de arquitectura. Para una óptima aplicación para poder controlar actuadores pre determinados para su implementación.

### **1.1.1. Interrogante general.**

¿Es posible diseñar un control de piletas ornamentales y luces al ritmo de una melodía musical?

### **1.1.2. Interrogantes específicas.**

¿Será posible integrar agua, luz y música en multitud de espacios?

¿Será posible controlar los actuadores al ritmo de una melodía musical?

¿Es posible aislar la etapa de control con la de potencia efectivamente?

## **1.2. Justificación del problema.**

Partiendo de distintos referentes hemos llegado a la conclusión de realizar un estudio y diseñar el sistema de control de piletas ornamentales que conlleven a investigar las áreas de procesamiento de audio, control de potencia y este sistema será de atracción audiovisual para el espectador y a si impulsar la modernización y al uso de sistemas de iluminación con leds.

### **1.2.1. Justificación técnica**

Este sistema contribuirá a desarrollar nuevas maneras y aplicaciones del uso de la tecnología en los distintos controladores, procesadores y actuadores para así fomentar la investigación y las formas de aplicaciones y el uso de la tecnología en el ámbito local y también nuestra sociedad actual. Y dar realce a la automatización de estructuras electrónicas locales.

### **1.2.2. Justificación económica**

En nuestra región se tiene en cada provincia uno o dos fuentes de agua. La realidad es que estas fuentes no tienen movimientos de agua ni colores entonces en algunas de ellas sería posible implementarlos, con un presupuesto económico bajo.

Consideremos que la región puno está en vías de desarrollo social en la cual en sus provincias o distritos están presupuestando para proyectos de innovación tecnológica con el fin de mejorar sus puntos de diversión o atractivos turísticos.

### **1.2.3. Justificación social.**

Una de las mayores enfermedades de estos últimos años es el estrés por falta de construcción de áreas recreativas para la multiplicidad de personas que buscan formas de distracción saliendo a parques o lugares turísticos y algunas veces viajando al exterior. Este sistema moderno de fuentes de agua será una de las mayores atracciones para todas las personas que acepten su atraktividad y su desenvolvimiento tecnológico bajo una sincronización musical y color de la fuente de la fantasía sin condición económica alguna.

El estudio e implementación del sistema de control de piletas ornamentales, cumplirá el papel de innovación tecnológica local, también servirá como área de inspiración tecnológico para poder realizar sus futuras aplicaciones en otras áreas de desarrollo tecnológico.

### **1.3. Objetivos de la investigación.**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Desarrollar el diseño experimental de un sistema de control de un prototipo de pileta ornamental y luces al ritmo de una melodía musical.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Determinar los dispositivos y materiales adecuados para el diseño de controladores y actuadores para la pileta ornamental.
- Realizar un análisis técnico y económico del diseño de las fuentes ornamentales para la viabilidad del producto.
- Desarrollar formas de control para los actuadores de alta y baja potencia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**



## **2.1. Antecedentes de la investigación.**

### **2.1.1. Antecedentes.**

El origen de las fuentes ornamentales se remonta a épocas muy antiguas, las primeras fuentes de las que se tiene constancia se remontan al uso del agua por las primeras civilizaciones. Inicialmente los sistemas se basaban en un desplazamiento del agua por gravedad y posteriormente fueron progresivamente reemplazados por sistemas con bomba de impulsión a principios del siglo XX.

## **2.2. Sustento teórico.**

### **2.2.1. El sonido.**

Se propaga a una velocidad aproximadamente de 343m/s (metros por segundo). Esta velocidad puede variar con la densidad del aire, afecta por factores como la temperatura o la humedad relativa. Cuando las ondas sonoras llegan al oído, el cerebro interpreta las variaciones de presión como el sonido, la velocidad con que oscila la frecuencia de la onda sonora y se mide en Hertzios (Hz) o ciclos por segundo. Para que la vibración sea audible para un ser humano la fuente debe oscilar a un ritmo de entre 20 y 20000 ciclos por segundo. Esto es lo que se denomina frecuencia y se mide en Hertzios. El periodo inverso de la frecuencia y es el tiempo que transcurre desde que una partícula se encuentra en una posición hasta que vuelva a hacerlo. (ADRIAN, 2012)

### **2.2.2. Frecuencia.**

Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico. Para calcular la frecuencia de un suceso, 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 (SI). La frecuencia se mide en hercios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz. Un hercio es la frecuencia de un suceso o fenómeno repetido una vez

por segundo. Así, un fenómeno con una frecuencia de dos hercios se repite dos veces por segundo. Esta unidad se llamó originalmente ciclo por segundo (cps).

Otras unidades para indicar frecuencias son revoluciones por minuto (rpm o r/min según la notación del (SI). Las pulsaciones del corazón se miden en latidos por minuto (lat/min) y el tiempo musical se mide en pulsos por minuto (bpm, del inglés “beats per minute”). (ADRIAN, 2012)

$$1\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$$

Un método alternativo para calcular la frecuencia es medir el tiempo entre dos repeticiones (periodo) y luego calcular la frecuencia ( $f$ ) recíproca de esta manera:

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

Dónde:  $T$  es el periodo de la señal.

### 2.2.3. La señal de audio.

Es una presentación eléctrica exacta de una señal sonora. Normalmente está acotada al rango de frecuencias audibles por los humanos que está entre los 20 y 20000 (Hz).

### 2.2.4. Espectro de la señal.

La mayoría de sonidos están compuestos por varias frecuencias diferentes. El teorema de Fourier afirma que toda señal periódica compleja puede descomponerse en una suma de señales sinusoidales de frecuencias y amplitudes diferentes.

Esta descomposición se denomina espectro de frecuencias, y se representa mediante un gráfico con frecuencias en las abscisas y amplitudes en las ordenadas, en el que se visualizan las respectivas amplitudes de todas las frecuencias que componen un sonido. Esta teoría, que data de más de un siglo, se aplica de forma rigurosa a las señales totalmente periódicas, pero los sonidos son no periódicas con una variación por

segundo, pues siempre varían a lo largo del tiempo. Afortunadamente, desde hace varias décadas, mediante complejos procesos matemáticos que van más allá del alcance de esta obra, el análisis de Fourier se aplica también a señales variables en el tiempo. En este caso, la representación espectral de un sonido no es ya una única distribución de frecuencias bidimensional, sino una superficie tridimensional, compuesta por una sucesión de "rebanadas" temporales, en la cada una muestra el aspecto del espectro en un instante dado. (RUIZ, 2012)

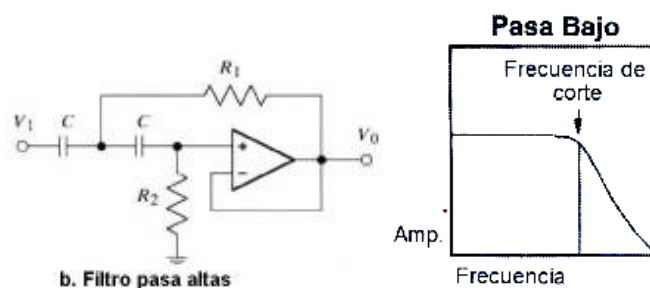
### 2.2.5. Filtro electrónico.

Es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gana de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase, dejando pasar la frecuencia necesaria programada.

#### 2.2.5.1. Filtro pasa bajo.

Deja pasar las frecuencias por debajo de un determinado valor, denominado frecuencia de corte. En un filtro ideal esta frecuencia debería suponer una discontinuidad en la curva de respuesta, de forma que toda frecuencia por encima de este valor se atenúa totalmente y toda frecuencia por debajo se dejará tal cual. En la práctica, esto no es posible y todos los filtros reales presentan una pendiente en la zona cercana a la frecuencia de corte. Cuanto más inclinada sea esta pendiente de atenuación, más preciso será el filtro. (RUIZ, 2012)

**Figura 1** Filtro pasa bajos.

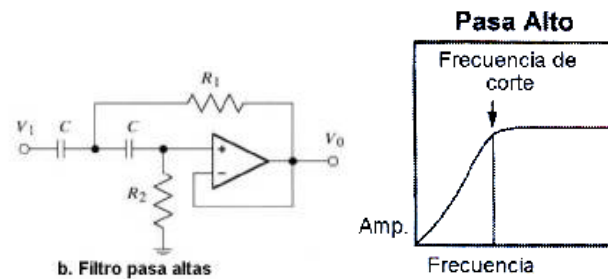


**Fuente:** (MORENO, 2010)

### 2.2.5.2. Filtro pasa alto.

Realiza la labor opuesta, ya que únicamente deja pasar las frecuencias superiores a la frecuencia de corte. (RUIZ, 2012)

**Figura 2** Filtro pasa alto.

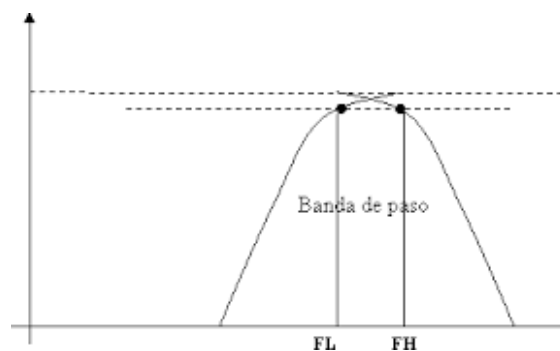


**Fuente:** (MORENO, 2010)

### 2.2.5.3. Filtro pasa banda.

Deja pasar una banda de frecuencias, eliminando el resto. Se define a partir de la frecuencia central o de resonancia y el ancho de banda. (RUIZ, 2012)

**Figura 3** Filtro pasa banda.



**Fuente:** (RUIZ, 2012)

### 2.2.5.4. Filtro de rechazo de banda.

Actúa de forma inversa al de pasa-banda. Al igual que éste, se caracteriza por la frecuencia de resonancia y el ancho de banda (RUIZ, 2012)

### 2.2.6. Audio digital.

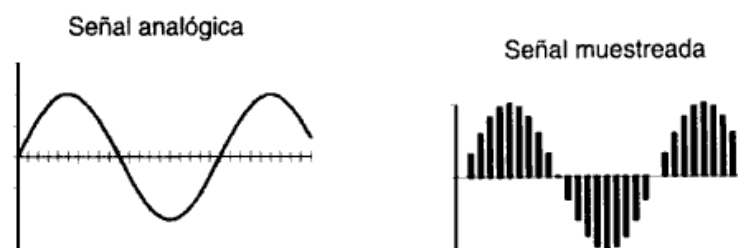
El audio digital es la representación de señales sonoras mediante un conjunto de datos binarios. Un sistema completo de audio digital comienza habitualmente con un

transceptor (micrófono) que convierte la onda de presión que representa el sonido a una señal eléctrica analógica. Esta señal analógica atraviesa un sistema de procesado analógico de señal, en el que se puede realizar limitaciones en frecuencia, ecualización, amplificación, filtración y otros procesos como el de compresión. La ecualización tiene como objetivo contrarrestar la particular respuesta en frecuencia del transceptor utilizado de forma que la señal analógica se asemeje mucho más a la señal audio originario. Tras el procesado analógico la señal se muestrea, se cuantifica y se codifica. (RUIZ, 2012)

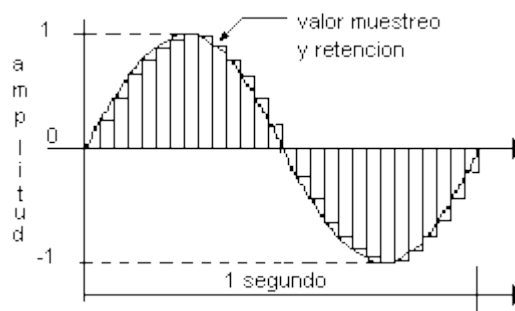
#### **2.2.6.1. Muestro de señal.**

El muestreo de señal toma un número discreto de valores de la señal analógica por segundos pre determinados (tasa de muestreo) y la cuantificación asigna valores analógicos discretos a esas muestras, lo que supone una pérdida de información (la señal ya no es la misma que la original).

La codificación asigna a una secuencia de bits a cada valor analógico discreto. La longitud de la secuencia de bits es función del número de niveles analógicos empleados en la cuantificación. La tasa de muestreo y el número de bits por muestra son dos de los parámetros fundamentales a elegir cuando se quiere procesar digitalmente una determinada señal de audio. Los formatos de audio digital tratan de representar ese conjunto de muestras digitales (o una modificación) de las mismas de forma eficiente, tal que se optimice en función de la aplicación, o bien el volumen de los datos a almacenar o bien la capacidad de procesamiento necesaria para obtener las muestras de partida. En este sentido hay un formato de audio muy extendido que no se considera de audio digital: el formato MIDI. MIDI no parte de muestras digitales del sonido, sino que almacena la descripción musical del sonido, siendo una representación de la partitura de los mismos. (HORACIO, 2009)

**Figura 4** Muestreado de señal**Fuente:** (ADRIAN, 2012)**2.2.6.2. Tasa o frecuencia de muestreo.**

Es el número de muestras por unidad de tiempo, que se toman de una señal continua para producir una señal discreta, durante el proceso realizado para convertirla de analógica en digital. Como todas las frecuencias, generalmente se expresa en hercios (Hz, ciclos por segundo) o múltiplos suyos, como el kilohercio (kHz), aunque pueden utilizarse otras magnitudes. (HORACIO, 2009)

**Figura 5** Digitalización de frecuencia.**Fuente:** (ADRIAN, 2012)**2.2.6.3. Frecuencia de muestreo para audio.**

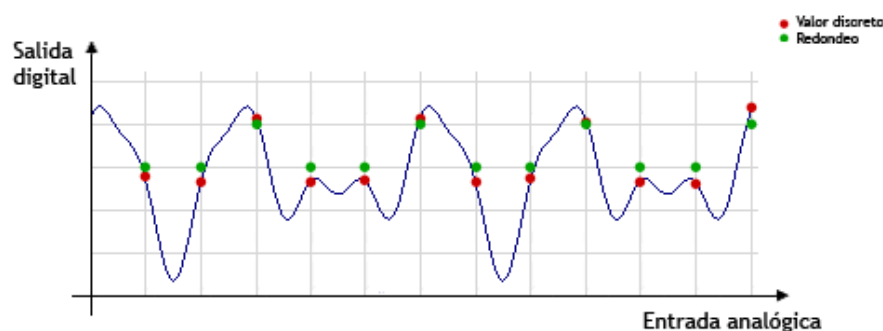
En audio la máxima audiofrecuencia perceptible para el oído humano. Un joven y sano puede oír a los 20 kHz, por lo que teóricamente una frecuencia de muestreo de 40000 sería suficiente para su muestreo; no obstante, el estándar introducido por el CD, se estableció en 44100 muestras por segundo. La frecuencia de muestreo ligeramente superior permite compensar los filtros utilizados durante la conversión analógica -



digital. Hay que tener en cuenta que no todas las fuentes sonoras se aproximan a los 20 kHz que corresponden a esta frecuencia máxima; la mayoría de los sonidos está muy por debajo de ésta. (ADRIAN, 2012)

Por ejemplo, si se va a grabar la voz de una soprano, la máxima frecuencia que la cantante será capaz de producir no tendrá armónicos de nivel significativo en la última octava (de 10 a 20 kHz), con lo que utilizar una frecuencia de muestreo de 44100 muestras por segundo sería innecesario (se estaría empleando una capacidad de almacenamiento extra que se podría economizar) (ADRIAN, 2012).

**Figura 6** Muestreo de frecuencias.



**Fuente:** (MORENO, 2010)

### 2.2.7. Resolución.

Es el número de bits utilizados para almacenar cada muestra de señal analógica (bit resolución)

- Una resolución de 8-bits proporciona 256 niveles de amplitud
- Una resolución de 16-bits alcanza 65536 niveles de amplitud
- Un audio digital tendrá más calidad cuanto mayor sea su resolución. Ejemplo: El audio de calidad CD suele ser un sonido de 44.100 Hz – 16 bits – estéreo. (ESPINOZA, 2012)

### 2.2.8. Lenguaje de programación C.

Es un lenguaje de alto nivel, que permite programar con instrucciones de lenguaje de propósito general. También, C se define como un lenguaje de programación estructurado de propósito general; aunque en su diseño también prima el hecho de que fuera especificado como un lenguaje de programación de sistemas, lo que proporciona una enorme cantidad de potencia y flexibilidad

El estándar ANSI C formaliza construcciones no propuestas en la primera versión de C, en especial, asignación de estructuras y enumeraciones. Entre otros aportes, se define esencialmente una nueva forma de declaración de funciones (prototipos), pero es esencialmente la biblioteca estándar de funciones otro de los grandes aportes.

El lenguaje C tiene una gran cantidad de ventajas sobre otros lenguajes, y son precisamente la razón fundamental de que puedes de casi tres décadas de uso, C siga siendo uno de los lenguajes más populares y utilizados en empresas, organizaciones y fábricas de software de todo el mundo. Alguna ventaja que justifica el uso todavía creciente del lenguaje C en la programación de computadoras son:

- El lenguaje ANSI C posee un set de instrucciones básicas y fáciles de utilizar, además con estas funciones se pueden crear librerías y funciones más complejas, que puedan manejar matrices y algoritmos más complejos.
- Se puede utilizar C para desarrollar sistemas operativos, compiladores, sistemas de tiempo real y aplicaciones de comunicaciones. Debido a su portabilidad también se puede llevar aplicaciones a diferentes plataformas. Un programa en C puede ser escrito para un tipo de computadora y trasladarse a otra computadora con pocas o ninguna modificación, propiedad conocida como portabilidad. El hecho de que C sea portable es importante ya que la mayoría de los modernos computadores tiene compilador C. además se caracteriza por su

velocidad de ejecución, ya que en los primeros días de la informática los problemas de tiempo de ejecución se resolvían escribiendo todo a parte de una aplicación en lenguaje ensamblador (lenguaje muy cercano al lenguaje máquina). Debido a que existen muchos programas escritos en C, se ha creado numerosas bibliotecas en C para programadores profesionales que soportan gran variedad de aplicaciones. Existen bibliotecas del lenguaje C que soportan gran variedad de aplicaciones de bases de datos, gráficos, edición de texto y comunicaciones. (ESPINOZA, 2012)

### **2.2.9. Transformada rápida de Fourier.**

Se han descrito como "el algoritmo numérico más importante de nuestra vida". Una transformada de Fourier convierte el tiempo a la frecuencia y viceversa, y una FFT es un algoritmo de ordenador utilizado para calcular rápidamente tales transformaciones. Como resultado de ello, las transformaciones rápidas de Fourier son ampliamente utilizados en muchas aplicaciones en la ingeniería, la ciencia y las matemáticas. Las ideas básicas se popularizó en 1965, pero algunos FFT se conocían previamente ya en 1805. Una transformada rápida de Fourier es un algoritmo para calcular la transformada de Fourier discreta y su inversa. Existen muchos tipos de algoritmos FFT implican una amplia gama de las matemáticas, de la simple aritmética de números complejos de la teoría de grupos y teoría de los números, este artículo ofrece una visión general de las técnicas disponibles y algunas de sus propiedades generales, mientras que los algoritmos específicos se describen en la filial Artículos relacionados a continuación. El principio de la transformada de Fourier, desarrollada por primera vez en el siglo XIX, es que cualquier señal, como por ejemplo una grabación de sonido, se puede representar como la suma de una serie de sinusoides o cosinusoides con distintas frecuencias y amplitudes. Así, esta serie de ondas se puede manipular con relativa facilidad. Esto

permite, por ejemplo, que una grabación de audio se comprima o se pueda eliminar el ‘ruido’. A mediados de la década de 1960 se creó un algoritmo para la computación denominado ‘transformada rápida de Fourier’ (FFT en sus siglas en inglés). Cualquiera que se haya quedado maravillado ante el diminuto tamaño de un archivo MP3 en comparación con la misma grabación en su estado sin comprimir conoce la potencia de la FFT en acción. Gracias al nuevo algoritmo, denominado transformada dispersa de Fourier (SFT, por sus siglas en inglés), los flujos de datos se pueden procesar de 10 a 100 veces más rápido que lo que permitía la FFT. Esta velocidad es posible porque la información que más nos importa es muy estructurada: la música no es un ruido aleatorio. Las señales con sentido suelen tener solo una fracción de los posibles valores que podría tener una señal. El término técnico para esto es que la información es “dispersa”. Puesto que el algoritmo SFT no está diseñado para funcionar con cualquier flujo de datos, puede tomar determinados atajos que de otra forma no estarían disponibles. En teoría, un algoritmo capaz de manejar solo señales dispersas es mucho más limitado que la FFT. Pero “la dispersión está en todas partes”, señala el coinventor Katabi, profesor de ingeniería eléctrica e informática. “Está en la naturaleza, en las señales de vídeo, en las señales de audio”, afirma Katabi. Una transformada más rápida implica que se necesita menos potencia computacional para procesar una cantidad dada de información, una bendición para los aparatos multimedia que miden el gasto energético al milímetro, como los teléfonos inteligentes. O, con la misma potencia computacional, los ingenieros pueden contemplar la posibilidad de hacer cosas que debido a las necesidades computacionales de la FFT no eran prácticas. Por ejemplo, las conexiones troncales de Internet y los routers actuales solo son capaces de leer o procesar una ínfima parte del río de datos que se pasan entre ellos. La SFT podría permitir a los investigadores estudiar el flujo de este tráfico con mucho más detalle

mientras los bits pasan a una velocidad de miles de millones por segundo. La DFT se obtiene mediante la descomposición de una secuencia de valores en componentes de diferentes frecuencias. Esta operación es útil en muchos campos, pero calcular directamente a partir de la definición es a menudo demasiado lento para ser práctico. Una FFT es una forma de calcular el mismo resultado con mayor rapidez: el cálculo de la DFT de  $N$  puntos en la forma ingenua, usando la definición, realiza operaciones aritméticas  $O(N^2)$ , mientras que una FFT puede calcular la DFT misma en sólo  $O(N \log N)$  operaciones. La diferencia de velocidad puede ser enorme, especialmente para datos largos conjuntos donde  $N$  puede ser miles o millones. En la práctica, el tiempo de cálculo puede reducirse en varios órdenes de magnitud en tales casos, y la mejora es más o menos proporcional a  $N/\log N$ . Esta gran mejora hace el cálculo de la DFT práctica; FFT son de gran importancia para una amplia variedad de aplicaciones, desde el procesamiento de la señal digital y la resolución de ecuaciones diferenciales parciales a los algoritmos para la multiplicación rápida de grandes números enteros. Los algoritmos de FFT más conocidas dependen de la factorización de  $N$ , pero hay FFT con complejidad  $O(N \log N)$  para todos los  $N$ , incluso para primos  $N$ . Muchos algoritmos FFT sólo dependen del hecho de que  $\omega_N$  es un  $N$ -ésimo raíz primitiva de la unidad, y por lo tanto se puede aplicar a las transformaciones análogas a través de cualquier campo finito, tales como transformaciones de teoría de números. Desde la DFT inversa es la misma que la DFT, pero con el signo opuesto en el exponente y un factor de  $1/N$ , cualquier algoritmo de FFT puede ser fácilmente adaptado. (HORACIO, 2009)

#### **2.2.9.1. Definición y velocidad de un FFT.**

Una FFT calcula la DFT y produce exactamente el mismo resultado que la evaluación de la definición DFT directamente, la única diferencia es que una FFT es mucho más rápida. Evaluar esta definición exige directamente a las operaciones de  $O(N^2)$ :

hay salidas  $N X_k$ , y cada salida requiere una suma de  $N$  términos. Una FFT es cualquier método para calcular los mismos resultados en las operaciones de  $O$ . Más precisamente, todos los algoritmos FFT conocidos requieren operaciones de  $T$ , aunque no hay ninguna prueba conocida de que una puntuación menor complejidad es imposible. Para ilustrar el ahorro de una FFT, tenga en cuenta el número de multiplicaciones y sumas complejas. Evaluación de las sumas de la DFT involucra directamente  $N^2$  multiplicaciones complejas y  $N$  adiciones complejas. El bien conocido algoritmo de radix-2 Cooley-Tukey, para  $N$  una potencia de 2, se puede calcular el mismo resultado con sólo  $\log_2$  multiplicaciones complejas y  $N \log_2$  adiciones complejas. En la práctica, el rendimiento real de las computadoras modernas es generalmente dominado por factores ajenos a la velocidad de las operaciones aritméticas y el análisis es un tema complicado, pero la mejora general de  $O$  a  $O$  permanece. (RAMIREZ, 1984)

#### **2.2.9.2. Algoritmo de Cooley – Tukey.**

La FFT más comúnmente utilizado es el algoritmo de Cooley-Tukey. Este es un divide y vencerás algoritmo que recurrentemente se rompe una DFT de cualquier tamaño compuesto  $N = n_1 n_2$  en muchas DFTs pequeñas de tamaños  $N_1$  y  $N_2$ , junto con multiplicaciones  $O$  por las raíces complejas de la unidad tradicionalmente llamados factores de rotación. Este método fue popularizado por una publicación del JW Cooley y JW Tukey en 1965, pero más tarde se descubrió que los dos autores de forma independiente habían reinventado un algoritmo conocido a Carl Friedrich Gauss alrededor de 1805. El uso más conocido del algoritmo de Cooley-Tukey es dividir la transformada en dos piezas de tamaño  $N/2$  en cada paso, y por lo tanto es limitado al poder de dos tamaños, pero cualquier factorización se puede utilizar en general. Estos se llaman los radix-2 y mixtos - radix casos, respectivamente. Aunque la idea básica es recursivo, las implementaciones más tradicionales reorganizar el algoritmo para evitar

una recursión explícita. También, debido a que el algoritmo de Cooley - Tukey rompe la DFT en DFT más pequeñas, se puede combinar arbitrariamente con cualquier otro algoritmo para la DFT, tales como los descritos a continuación. (HORACIO, 2009)

### **2.2.9.3. Otros algoritmos FFT.**

Algoritmo primer factor FFT, el algoritmo FFT de Bruun, el algoritmo FFT de Rader, y el algoritmo FFT de Bluestein Hay otros algoritmos FFT distintas de Cooley-Tukey. Para  $N = n_1 n_2$  con primos entre sí,  $N_1$  y  $N_2$ , se puede utilizar el algoritmo de primer-Factor, basado en el teorema del resto chino, para factorizar la DFT de manera similar a Cooley-Tukey pero sin los factores de rotación. El algoritmo de Rader-Brenner es una factorización de Cooley-Tukey-como pero con factores de rotación puramente imaginarias, la reducción de multiplicaciones a costa de un aumento de las adiciones y reducida estabilidad numérica, sino que más tarde fue sustituido por la variante de división-radix de Cooley-Tukey. Algoritmos que recurrentemente factorizar la DFT en operaciones más pequeñas sean DFT son el Bruun y algoritmos QFT. El algoritmo de Bruun, en particular, se basa en la interpretación de la FFT como una factorización recursiva del polinomio  $Z^{N-1}$ , aquí en polinomios con coeficientes reales de la forma  $Z^M - 1$  y  $z^{2M} - 1$ . Otro punto de vista polinomio es explotada por el algoritmo de Winograd, que factoriza  $Z^{N-1}$  en ciclotómico polinomios-estos a menudo tienen coeficientes de 1, 0 o -1, y por lo tanto requieren pocas multiplicaciones, por lo Winograd se pueden utilizar para obtener FFT mínima-de multiplicación y a menudo se utiliza para encontrar algoritmos eficientes para los factores de pequeños. En efecto, Winograd mostró que la DFT se puede calcular con multiplicaciones irracionales sólo 0, lo que lleva a una probada alcanzable límite inferior en el número de multiplicaciones por el poder de dos tamaños, por desgracia, esto viene a costa de muchos más adiciones, una solución de compromiso ya no favorable sobre los

procesadores modernos con multiplicadores de hardware. En particular, Winograd también hace uso de la PFA, así como un algoritmo de FFT por Rader de tamaños principales. El algoritmo de Rader, la explotación de la existencia de un generador para el multiplicativo grupo módulo primer  $N$ , expresa una DFT de tamaño primer  $n$  como una convolución cíclica de tamaño  $N-1$ , que puede entonces ser calculada por un par de FFT ordinarios a través del teorema de convolución. Otro primer FFT de tamaño es debido al LI Bluestein, y a veces se llama el algoritmo de chirp-z, sino que también re-expresa una DFT como una convolución, pero esta vez del mismo tamaño, a través de la identidad. (RAMIREZ, 1984)

#### **2.2.9.4. Algoritmo FFT especializados para los datos reales.**

Simétrica En muchas aplicaciones, los datos de entrada para la DFT son reales, en cuyo caso las salidas satisfacen la simetría y algoritmos FFT eficientes han sido diseñados para esta situación. Un enfoque consiste en tomar un algoritmo ordinario y la eliminación de las partes redundantes de la computación, el ahorro de más o menos un factor de dos en el tiempo y la memoria. Alternativamente, es posible expresar o incluso la longitud de entrada real de DFT como un complejo DFT de la mitad de la longitud, seguido de operaciones de post-procesamiento. Una vez se creyó que la DFT-entrada real podría ser más eficiente calculan por medio de la transformada discreta de Hartley, pero se alegó posteriormente que un algoritmo DFT de entrada reales especializada normalmente se puede encontrar que requiere menos operaciones que el algoritmo DHT correspondiente para el mismo número de entradas. El algoritmo de Bruun es otro método que se propuso inicialmente para aprovechar los insumos reales, pero no ha demostrado ser popular. Hay otras especializaciones FFT para los casos de los datos reales que tienen incluso/simetría impar, en cuyo caso se puede obtener otro factor de dos en el tiempo y la memoria y la DFT se convierte en el coseno discreta/sinusoidal



transforman. En lugar de modificar directamente un algoritmo FFT para estos casos, DCT/DSTS también se pueden calcular a través de FFT de datos reales combinados con el procesamiento de  $O$  pre/post. (RAMIREZ, 1984)

#### **2.2.9.5. Límites en la complejidad.**

Una pregunta fundamental de interés teórico es desde hace mucho tiempo para demostrar cotas inferiores de la complejidad y el recuento de operación exacta de transformadas de Fourier rápidas, y muchos problemas permanecen abiertos. Ni siquiera es rigurosamente probado si DFTs verdaderamente requieren operaciones  $O$ , incluso para el caso simple de poder de dos tamaños, aunque no se conocen algoritmos con menor complejidad. En particular, el número de operaciones aritméticas suele ser el foco de estas preguntas, aunque el rendimiento real en los ordenadores de hoy en día depende de muchos otros factores, como caché o la optimización de tuberías CPU. Siguiendo el trabajo pionero de Winograd, un apretado  $T$  cota inferior se caracteriza por el número de multiplicaciones reales requeridas por una FFT. Se puede demostrar que multiplicaciones reales sólo irracionales son necesarias para calcular una DFT de longitud potencia de dos. Por otra parte, se conocen algoritmos explícitos que permitan alcanzar este conteo. Desafortunadamente, estos algoritmos requieren también muchas adiciones para ser práctico, al menos en las computadoras modernas con multiplicadores de hardware. Un apretado límite inferior no se conoce en el número de adiciones requeridas, aunque límites inferiores se han probado bajo ciertos supuestos restrictivos sobre los algoritmos. En 1973, Morgenstern demostró un  $O$  cota inferior a la cuenta además de algoritmos donde las constantes multiplicativas han delimitadas magnitudes. Pan demostró un  $O$  cota inferior suponiendo un salto en una medida de la "a sincronía" del algoritmo FFT, pero la generalidad de esta hipótesis no está clara. Para el caso de potencia de dos  $N$ , Papadimitriou argumentó que el número de adiciones de

números complejos obtenidos por los algoritmos de Cooley-Tukey es óptima bajo ciertos supuestos en el gráfico del algoritmo. Hasta el momento, ningún algoritmo FFT publicada ha logrado menos de adiciones de números complejos de potencia de dos  $N$ . Un tercer problema es reducir al mínimo el número total de multiplicaciones y sumas reales, a veces se llama la "complejidad aritmética". Una vez más, no hay límite inferior ajustado se ha demostrado. Desde 1968, sin embargo, el recuento más bajo publicado por el poder de dos  $N$  se logró de largo por el algoritmo de división-radix FFT, que requiere multiplicaciones y adiciones para  $N > 1$  reales - Este fue reducido recientemente a. Un recuento ligeramente más grande ha demostrado ser demostrablemente óptimo para  $N = 512$  bajo restricciones adicionales sobre los algoritmos posibles, por reducción a una Satisfacibilidad Modulo Teorías problema soluble por la fuerza bruta. La mayoría de los intentos para reducir o demostrar la complejidad de los algoritmos de FFT se han centrado en el caso de complejos de datos ordinaria, debido a que es el más simple. Sin embargo, FFT compleja-datos son tan estrechamente relacionados con los algoritmos para problemas relacionados, tales como FFT-datos reales, transformadas discretas de coseno discretas, transformada Hartley, y así sucesivamente, que cualquier mejora en uno de estos daría lugar inmediatamente a las mejoras en los otros. (RAMIREZ, 1984)

#### **2.2.9.6. La precisión y aproximaciones.**

Todos los algoritmos FFT discuten a continuación calcular la DFT exactamente. Se han propuesto unos algoritmos FFT, sin embargo, que calcular la DFT aproximadamente, con un error que se puede hacer arbitrariamente pequeño a costa de un aumento de cálculos. Tales algoritmos comercio del error de aproximación para aumentar la velocidad u otras propiedades. Por ejemplo, un algoritmo de FFT aproximada por Edelman et al. logra los requisitos de comunicación más bajas para la

computación en paralelo con la ayuda de un método rápido multipolar. Una wavelet basada aproximada FFT por Guo y Burrus toma entradas/salidas dispersas en cuenta de manera más eficiente que es posible con una FFT exacta. Otro algoritmo para el cálculo aproximado de un subconjunto de las salidas de DFT es debido a Shentov et al. El algoritmo de Edelman funciona igualmente bien para datos escasos y no dispersa, ya que se basa en la capacidad de compresión de la matriz de Fourier en sí en lugar de la capacidad de compresión de los datos. Por el contrario, si los datos son es escasa-que, si sólo  $K$  de  $N$  coeficientes de Fourier son distintos de cero, entonces la complejidad puede ser reducida a  $O(K)$ , y esto se ha demostrado llevar a un incremento de velocidad prácticos en comparación con una FFT ordinaria para  $N/K > 32$  en un ejemplo a gran  $N$  utilizando un algoritmo de aproximación probabilística. Incluso los algoritmos FFT "exactas" tienen errores cuando se utiliza de precisión finita aritmética de punto flotante, pero estos errores suelen ser muy pequeñas, la mayoría de los algoritmos FFT, por ejemplo, Cooley-Tukey, tienen excelentes propiedades numéricas, como consecuencia de la estructura de la suma por pares de los algoritmos. El límite superior para el error relativo para el algoritmo de Cooley-Tukey es  $O(\epsilon)$ , frente a la  $O(\epsilon^2)$  de la nave DFT fórmula, donde  $\epsilon$  es la máquina de punto flotante de precisión relativa. De hecho, la raíz media de los errores cuadrados son mucho mejores que estos límites superiores, siendo sólo  $O(\epsilon)$  para Cooley-Tukey y  $O(\epsilon^2)$  para la nave DFT. Estos resultados, sin embargo, son muy sensibles a la exactitud de los factores de rotación usados en la FFT, y no es inusual para las implementaciones FFT imprudentes a tienen mucho peor precisión, por ejemplo, si se utilizan fórmulas de recurrencia trigonométricas inexactos. Algunos otros FFT de Cooley-Tukey, tales como el algoritmo de Rader-Brenner, son intrínsecamente menos estables. En la aritmética de punto fijo, los errores de precisión finita acumulados por los algoritmos FFT son peores, con errores más crecimiento como  $O(N)$  para el

algoritmo de Cooley-Tukey. Por otra parte, incluso alcanzar esta precisión requiere una cuidadosa atención a la escala con el fin de reducir al mínimo la pérdida de precisión, y los algoritmos de FFT de punto fijo implicar cambiar la escala en cada etapa intermedia de descomposiciones como Cooley-Tukey. Para comprobar la regularidad de una implementación FFT, garantías rigurosas pueden ser obtenidos a tiempo  $O$  por un simple procedimiento de comprobación de la linealidad, el impulso-respuesta, y las propiedades de tiempo de cambio de la transformación de insumos aleatorios. (RAMIREZ, 1984)

### 2.2.10. Electro bombas.

Es una máquina que tiene como función impulsar el agua a través de tuberías, a distancias o niveles diferentes. Su mecanismo es sencillo, dentro de ella, se produce un vacío que permite succionar el agua de una fuente o suministro para luego impulsarla. Debido a sus múltiples aplicaciones, las bombas se han construido en gran variedad de diseños y tamaños. Las más conocidas son las siguientes: las bombas centrífugas (cinéticas) y las de desplazamiento positivo del tipo recíprocarde (de pistón). (BOLTAN, 2001)

**Figura 7** Bombas industriales.



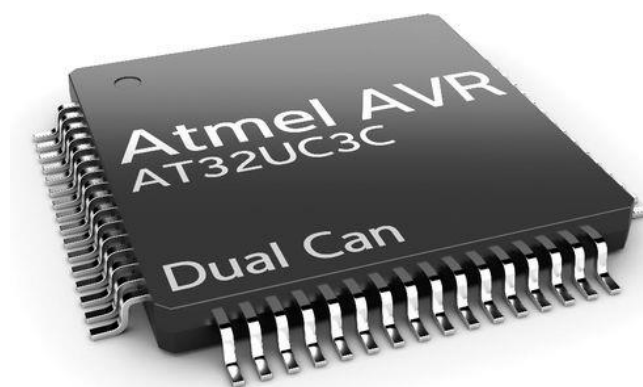
**Fuente:** (CHAUPRADE, 1983)

### 2.2.11. Descripción del microcontrolador AVR Atmega328P.

Los micro controladores están invadiendo el mundo. Están presentes en nuestras casas, en nuestro trabajo y en nuestra vida. Se pueden encontrar controlando los hornos de microondas y los televisores de nuestro hogar, en los teclados y ratones de los computadores y en los automóviles. En el bolsillo llevamos unas cuantas entre las del teléfono móvil, los que tienen las modernas llaves del coche los mandos a distancia del garaje y la alarma doméstica. Para el hogar inteligente es necesario contar con un dispositivo que se encargue del control de los distintos dispositivos que se hallan dentro del hogar, este dispositivo es llamado microcontrolador o MCU, que es el común denominador en cuanto a mando o accionamiento de los electrodomésticos. También es el encargado de recibir la información y procesarla de acuerdo a la petición que haga el usuario ya sea de forma local o remota. Básicamente un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador, teniendo en cuenta que un controlador es un dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. De manera general los microcontroladores se caracterizan por disponer normalmente de: procesador, memoria para contener datos, módulos de entradas y salidas para comunicaciones con el exterior, diversos módulos para el control de periféricos (ADC, PWM, UART, etc.) generación de pulso de reloj para poder sincronizar todo un sistema. El microcontrolador es un circuito integrado que incluye todos los componentes de un PC, debido a su reducido tamaño es posible notar el microcontrolador en el propio dispositivo que gobierna. Los microcontroladores actualmente son fáciles de conseguir, económicos operan a altas frecuencias lo que nos da una alta velocidad de funcionamiento; cuenta con herramientas de desarrollo baratas y fáciles de usar, muchas de ellas se pueden tomar de forma libre por medio de los proveedores como son Microchip, Atmel, Intel, Freescale y

etc. También se cuenta con una gran variedad de hardware que permite grabar, depurar, borrar y comprobar el comportamiento del mismo. Un microcontrolador posee todos los componentes de una computadora, pero con unas características fijas que no pueden modificarse. Se pueden emplear como coordinador o como puente entre interfaces, ya sea que el microcontrolador sea el encargado de gestionar el control y administración de los recursos, o que el mismo pueda hacer eso y a la vez ser manipulado de manera remota por algún otro dispositivo como un PC a través de internet. Su gran variedad hace que pueda implementarse funciones simples como el control On/Off, adquisición de señales analógicas tal como la temperatura, control analógico por PWM, así como cuestiones de protocolos de comunicaciones como el RS232, USB o Ethernet. Aunado a estas características se encuentra la facilidad de programarlos y hacer desarrollo en ellos mismos con poca electrónica, además de ser económicos y fáciles de conseguir en el mercado de la electrónica. (ESPINOZA, 2012)

**Figura 8** Controlador ATMEL.



**Fuente:** (ESPINOZA, 2012)

#### **2.2.12. Descripción del procesamiento de señal.**

Es un conjunto de Algoritmos para el procesado de señal en el dominio digital, hay equivalencias analógicas en estos algoritmos pero procesarlos digitalmente ha sido provisto para ser más eficiente. Esta ha sido una tendencia de nuestros, muchos años los algoritmos para procesamiento de señales son los bloques básicos para la construcción

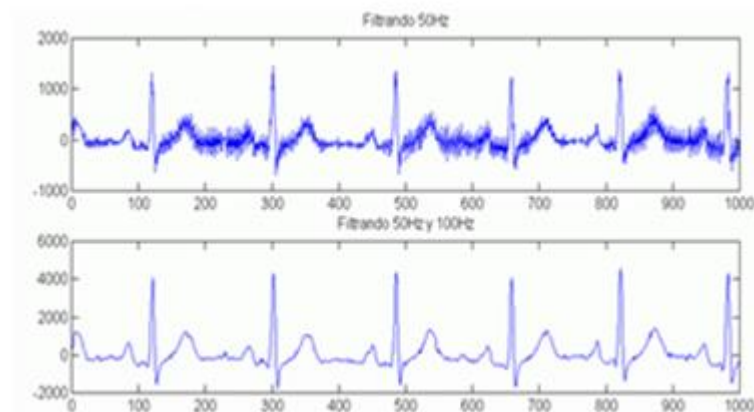
de muchas aplicaciones en el mundo, desde teléfonos celulares hasta reproductores de MP3, cámaras digitales, entre otros. El procesamiento digital de señales (en inglés digital signal processing, DSP) es una área de la ingeniería que se dedica al análisis y procesamiento de señales (audio, voz, imágenes, video) que son discretas. Aunque comúnmente las señales en la naturaleza nos llegan en forma analógica, también existen casos en que estas son por su naturaleza discretas, por ejemplo, las edades de un grupo de personas, el estado de una válvula en el tiempo (abierta/cerrada), etc. Cada vez tiene mayor importancia en la ingeniería el procesamiento de señales digitales, en ella, sobre todo, se ha catalizado por el aumento de potencia de los ordenadores con una baja drástica de los precios. Tanto es así que hay en el mercado desde hace algunos años procesadores específicos para el procesamiento digital, denominados DSP. Pero hasta hoy en día, los diseños de procesadores genéricos son ampliados en registros e instrucciones para poderlas destinarlas a tareas de procesamiento de señales, sea el caso de las instrucciones MMX insertadas en la familia INTEL a partir del mítico PENTIUM. Pero solo hablar de las aplicaciones industriales que se sustentan en procesamiento digital de señales se podrían citar algunos tales como:

- Instrumentación electrónica:
  - ✓ Filtrado de señales
  - ✓ Osciloscopios digitales
  - ✓ Analizador de espectro.
- Electrónica de potencia:
  - ✓ Señales de disparo sobre SCRs, IGBTs, MOSFETs, etc.
- Control:
  - ✓ Reguladores discretos
  - ✓ Controladores avanzados de robótica

- Procesamiento de imágenes:
  - ✓ Filtro de imágenes
  - ✓ Reconocimiento de formas
  - ✓ Compresión y descompresión de imágenes
- Procesamiento de sonido:
  - ✓ Identificación de fonemas
  - ✓ Voz sintética
  - ✓ eliminación de ruidos
  - ✓ filtros de orden muy superior

Se puede procesar una señal para obtener una disminución de nivel de ruido, para mejorar la presencia de determinados matices, como los graves o los agudos y se realiza combinando los valores de la señal para generar otros nuevos. (ESPINOZA, 2012)

**Figura 9** Filtrado de frecuencia.



**Fuente:** (RUIZ, 2012)

## 2.3. Glosario de términos básicos.

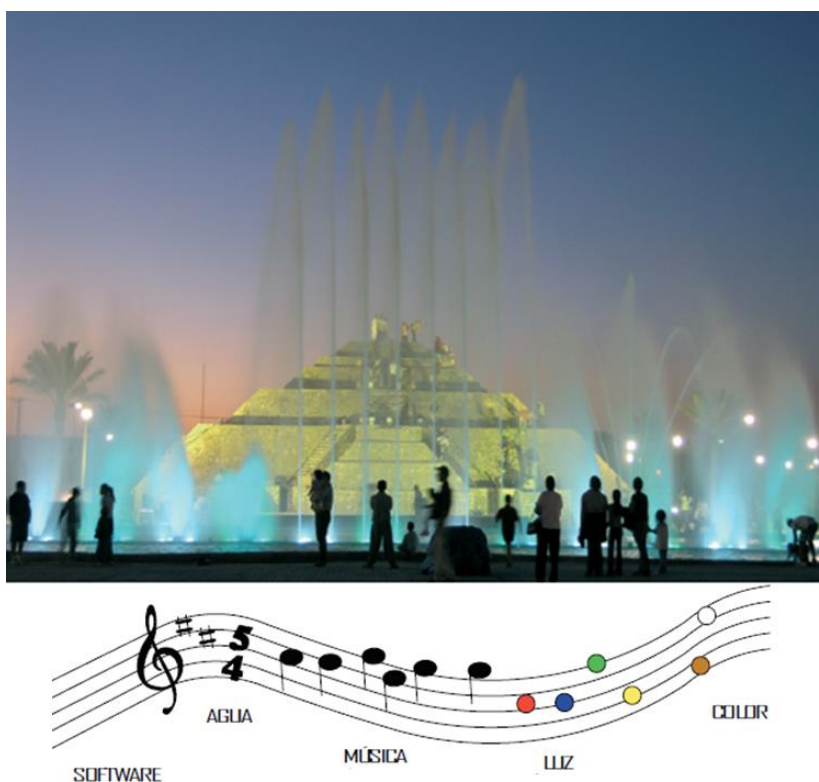
### 2.3.1. Fuente musical.

Las fuentes han de disponer, en general, de un depósito de agua, un sistema de bombeo y una configuración de elementos tecnológicos y constructivos que posibiliten el movimiento continuo del agua. Los elementos tecnológicos se refieren,



en este caso al conjunto de boquillas que permiten la formación de los chorros en los tamaños y formas deseados, los vertedores, las ranuras, las canalizaciones, las caídas, etc. Los elementos constructivos son aquellos que configuran la fuente en el espacio “visible” y los que garantizan estructural y funcionalmente la obra: cimientos, pisos, paredes, anclajes, etc. Es aconsejable, en general, que las fuentes dispongan de iluminación para realzar su desenvolvimiento total en horas de la noche. (JARAMILLO, 2012)

**Figura 10** Principio de controlador de fuente ornamental.



**Fuente:** (SAFE, 2012)

### 2.3.2. Presión hidráulica.

La presión hidráulica la proporciona una bomba hidráulica (de control automatizado) que bombea el fluido hidráulico al diámetro interior del rotor o impulsador mediante una manguera hidráulica flexible conectada al acoplamiento rápido de entrada.

### 2.3.2.1. Definición:

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía eléctrica, que puede proceder de una estación eléctrica, solar, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad. Así tendremos bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido. Un ejemplo lo constituye una bomba de pozo profundo, que adiciona energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie. con obstrucciones en las cotas de altura, así como los diámetros de tuberías y consecuentemente las velocidades fuesen iguales o variables, en tanto que la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tuviesen en la conducción. Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan mayor energía que es proporcional a su velocidad. Sin embargo, a este respecto, hay muchas confusiones en los términos presión y velocidad, por la acepción que llevan implícita de las expresiones fuerza tiempo. En la mayoría de las aplicaciones de energía conferida por una bomba es una mezcla de las tres, las cuales se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos. Lo inverso a lo que sucede en una bomba se tiene en una máquina llamada comúnmente turbina, la cual transforma la energía de un fluido, en sus diferentes componentes citadas. Para una mayor claridad, buscando una analogía con las máquinas eléctricas, y para el caso específico del agua, una bomba sería un generador hidráulico, en tanto que una turbina sería un motor hidráulico. Normalmente un generador hidráulico (bomba) es accionado por un motor eléctrico, solar, etc., mientras que un motor hidráulico (turbina) acciona un generador eléctrico. Tratándose de fluidos compresibles el generador suele llamarse compresor y el motor puede ser una turbina de aire, gas o simplemente un motor térmico. (JARAMILLO, 2012)

### **2.3.3. Grupo de presión.**

El grupo de presión es generado por unos conjuntos de energías como, electrónicas, eléctricas, el uso que se le da a las Bombas de agua es para poder incrementar la presión de un líquido añadiendo energía a la instalación hidráulica, para mover cierta cantidad de líquido en cuestión, de una zona de menor presión. (DOMINGO, 2004)

#### **2.3.3.1. Las bombas.**

Es utilizado para referirse a las máquinas que transfieren energía a un líquido, o bombean fluidos, a diferencia de otras máquinas como lo son las Compresoras de aire, cuya aplicación es el trabajo Neumático. Pero también es común encontrar el término Bombas de Agua para referirse a aparatos que puedan bombear otro tipo de líquidos, así como lo son las bombas de vacío o las bombas de aire. Bombas de Agua (SAFE, 2012)

#### **2.3.3.2. Las bombas de agua.**

Son máquinas hidráulicas que sirven para transformar la energía de la velocidad del líquido en energía presión. Las Bombas de Agua son excelentes por su característica de dar grandes gasto a bajas presiones.

Por el año 1732 se inventaron las primeras Bombas de Agua, pero fue hasta años recientes cuando se inició la etapa de su perfeccionamiento. Si hacemos girar una cubeta con cierta cantidad de agua se notara que esta no se derrama, debido a una fuerza que tira del recipiente llamada centrífuga. Esta fuerza llamada centrífuga, produce una presión en el fondo de la cubeta. Ahora bien, si esto se hace con una manguera llena de agua, se observa que el agua circulara por la manguera hasta que esta se termine. Esto se debe a que la fuerza con que es impulsado el líquido no encuentra resistencia, siguiendo así su trayectoria. Función de Bombas de Agua (SAFE, 2012)

- **Bombas industriales.** El Equipo de bombeo industrial son equipos de bombeo con capacidades desde 1/8 H.P. hasta 1500 H.P. ya sea con motor eléctrico, a gasolina o diesel. Para uso Doméstico, Industrial y comercial. Bombas de Agua.

Son eficientes para aplicaciones tales como:

- ✓ Bombas verticales y horizontales.
  - Para bombeo de agua limpia
  - Para mover agua fría
  - Bombas centrifugas para uso domestico
  - Protección contra incendios
  - Bombas para agua centrifugas
  - Bombas de potenciales líquidos

#### 2.3.4. Depósito de agua.

Se debe disponer, en general, de un depósito de almacenamiento del agua que permita el funcionamiento continuo de la fuente, la reutilización del agua y los calados mínimos exigidos para el adecuado funcionamiento de las bombas. Los depósitos pueden disponerse visibles u ocultos a la vista. Los depósitos visibles se conocen como estanques y se incorporan al diseño artístico de la obra. En estos casos, su forma en planta y altura sobre el nivel del piso general pueden ser muy variables. Se recomienda que los estanques, cuya única finalidad sea formar parte de una fuente, tenga profundidad mínima por razones de ahorro de agua y para evitar accidentes de menores.

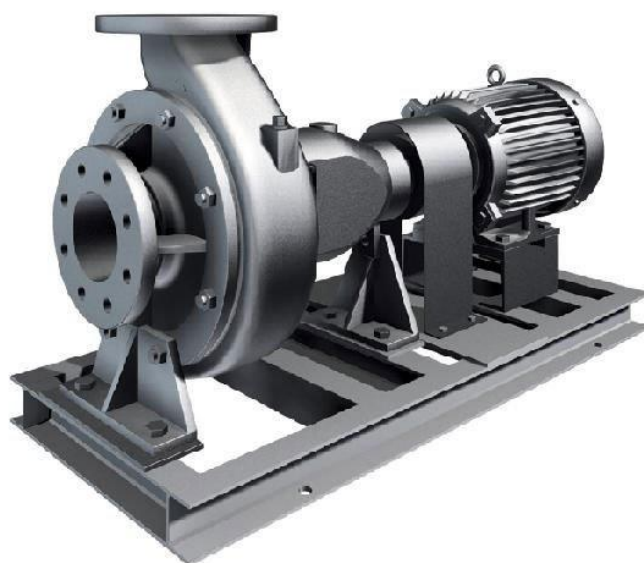
Las fuentes, cuando están en funcionamiento, tienen un cierto volumen de agua circulando en las tuberías y en las canalizaciones abiertas, en los chorros y en las láminas. Ese volumen se sustrae temporalmente del volumen del depósito y debe quedar en este último, también, un resto de agua que garantice el funcionamiento de

las bombas, el espejo de agua del estanque, el calado que exigen, según el caso, las condiciones de sumergir de las boquillas, etc. El volumen que debe disponerse a un depósito puede ser crítico en las fuentes pequeñas y debe determinarse lo más aproximado posible. (SAFE, 2012)

### 2.3.5. Equipo de presión de agua.

La función de los equipos de bombeo es permitir la circulación del agua, con la presión requerida, por los diferentes circuitos de una fuente. Esta función la pueden acometer, en general, para un caso dado, bombas de diversos tipos, tamaños y calidades. Para las fuentes, se emplean bombas de pozo seco o bombas sumergibles. Las primeras tienen las ventajas de no requerir una construcción adicional como cuarto o cámara de succión, no necesitar de una línea de aspiración y, además, por colocarse dentro de la fuente misma, las longitudes de tuberías son mínimas. Requieren un cableado eléctrico sumergible y, para iguales condiciones de carga y caudal, su costo inicial es mayor a una de pozo seco equivalente. (JARAMILLO, 2012)

**Figura 11** Bomba de pozo seco.



**Fuente:** (CHAUPRADE, 1983)

**Figura 12** Bomba de pozo sumergible.



**Fuente:** (CHAUPRADE, 1983)

### 2.3.6. Área de ubicación de electro bombas.

Es necesaria cuando las bombas son de pozo seco es decir no son sumergibles. Las dimensiones del cuarto de bombas dependen del tamaño y número de equipos requeridos. La cámara, cuarto o sala de máquinas se debe disponer, preferiblemente, en un espacio, oculto a las visuales principales y con su acceso discretamente mimetizado en el entorno. (JARAMILLO, 2012)

**Figura 13** Cuarto de bombas.



**Fuente:** (SAFE, 2012)

- Además, es importante considerar ciertos requerimientos esenciales para estas áreas:

- ✓ Deben estar lo más próximo posible a la fuente de agua para así reducir los costos iniciales de la obra.
- ✓ Disponer del espacio requerido para las operaciones de reparación y mantenimiento.
- ✓ Estar impermeabilizados contra posibles filtraciones a través del techo, fondo y paredes.
- ✓ Dispones de drenajes para evitar inundaciones.
- ✓ Tener adecuada aire acondicionado para la ventilación de los motores y reducción de la humedad ambiental de su interior.
- ✓ Dispones lo paneles y dispositivos eléctricos con la capacidad y condiciones de protección requeridas para evitar accidentes eléctricos.
- ✓ Estar debidamente protegidos contra el acceso de personas ajenas a la sala de control o a la sala de motores.

### 2.3.7. Realimentación de agua en la fuente.

Es recomendable emplear una instalación permanente con tuberías de suministro de agua a partir de acueducto local primario, pozo u otra fuente estable. (SAFE, 2012)

**Figura 14** Realimentación de agua.



**Fuente:** (SAFE, 2012)



### 2.3.7.1. Sistema de presión de agua en la fuente.

El sistema de impulsión consta en el caso más general de:

- Equipo de bombeo
- Instalación óptima de tuberías
- Tuberías de fuga de presión
- Redes de tuberías con toberas
- Distribuidores de agua
- Válvulas de control (on/of, servo valvulas)
- Anclaje fijo de tuberías
- Ubicación simétrico de sistema de iluminación RGB
- Sistema de booster
- Etc

**Figura 15** Sistema impulsión de agua.



**Fuente:** (SAFE, 2012)

### 2.3.7.2. Mantenimiento de agua en la fuente.

El agua en las fuentes y en mayor medida en aquellas que disponen de estanques está expuesta a una rápida contaminación y en consecuencia degradación, debido a



partículas de polvo, hojas de árboles y restos minerales y orgánicos que son arrastrados por el viento y otros agentes, por esta razón es importante la instalación de equipos que permitan reducir este impacto de manera que se pueda evitar una continua renovación del agua en las fuentes. (JARAMILLO, 2012)

### 2.3.8. Sistema de drenaje de la fuente.

Para su efecto se utilizan rebosaderos que permitan la salida de los excesos de agua que llegan a la fuente por lluvia, por operación inadecuada, etc. Para así poder evitar desbordamiento de agua.

### 2.3.9. Suministro eléctrico a la fuente.

Este sistema se compone en el caso más general de:

- acometida eléctrica
- paneles de controles eléctricos
- cables, conectores sumergidos

Los paneles de control eléctrico deben satisfacer la seguridad de la instalación en lo referente a las personas y a los equipos, la fiabilidad del funcionamiento y las operaciones de encendido y apagado de las bombas, del sistema de iluminación, etc. (BOLTAN, 2001)

**Figura 16** Controlador industrial.



**Fuente:** (SAFE, 2012)

### 2.3.10. Elementos tecnológicos de tipificación.

Estos elementos son los que proporcionan a la fuente diversidad de formas en los chorros de agua desde pantallas de agua, hasta chorros cristalinos de agua. Que haciendo una unión de agua y luces hace un desenvolvimiento de tecnología entre. Color y agua. (SAFE, 2012)

- Toberas de chorros
- Cascadas
- Canales superficiales

**Figura 17** Toberas.



**Fuente:** (SAFE, 2012)

### 2.3.11. Fuente de chorros.

Los líquidos que se descargan a la atmósfera, con una velocidad suficiente para que realicen un “vuelo libre”, adoptan las formas de chorros láminas libres.

Se denomina “chorro” a la forma espacial que adopta un líquido en la descarga de orificios, toberas o chiflones, boquillas y aspersores. Se llama “lamina”, a la forma que adopta un líquido a la salida de vertedores, compuertas, orificios “alargados” y en boquillas con salida en forma de ranura. Los chorros se distinguen de las láminas porque, en los primeros, las dimensiones “ancho” y “altura” de la sección transversal e l flujo son similares. En las láminas, la dimensión “ancho” es significativamente

mayor que la “altura”. Por otra parte se habla de cascada, cuando se produce una caída de agua por un desnivel brusco del fondo. O cuando se presentan caídas sucesivas por un escalonado del mismo. (SAFE, 2012)

**Figura 18** Fuente de chorros.



**Fuente:** (SAFE, 2012)

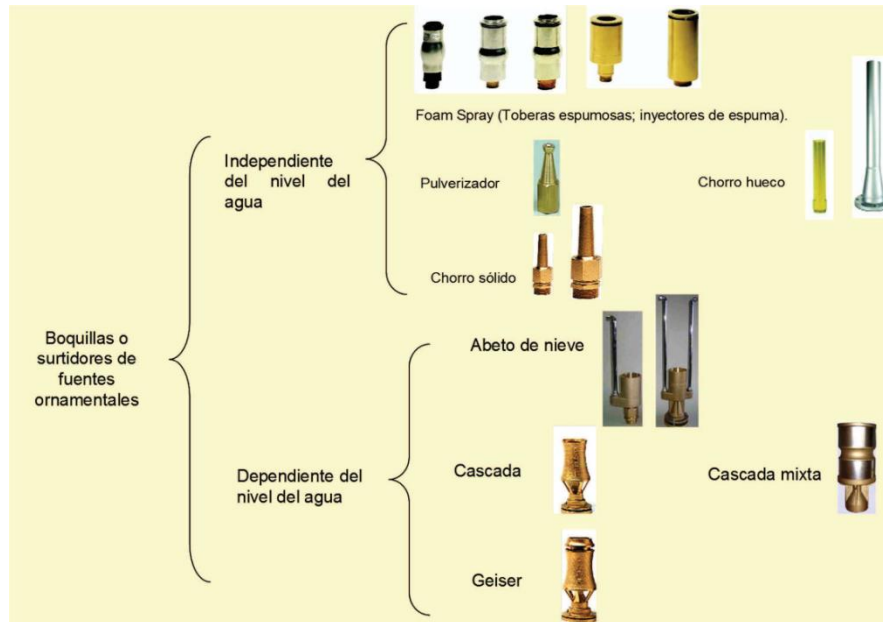
### **2.3.12. Tipos de toberas.**

El desarrollo en el diseño y construcción de las boquillas para fuentes, que son las mismas que generalmente se emplean en los “juegos de agua”, posibilita obtener, en diferentes gamas de diámetros y alturas, desde chorros “sólidos”, en los que la transparencia del agua y la “consistencia” de los mismos perduran en la mayor parte de su trayectoria, hasta chorros intensamente aireados de textura espumosa y coloración blanca.

Existen numerosos tipos de boquillas para fuentes, dichas boquillas se pueden clasificar en dos grupos básicos: las que son independientes del nivel del agua circundante y las que son dependientes del mismo. Estas últimas deben situarse parcialmente sumergidas para posibilitar la absorción de aire y su mezcla con el

agua, por efecto Venturi o de succión de un chorro central interior, dentro del cuerpo final de la boquilla y producir chorros aireados. (SAFE, 2012)

**Figura 19** Tipos de toberas.



**Fuente:** (SAFE, 2012)

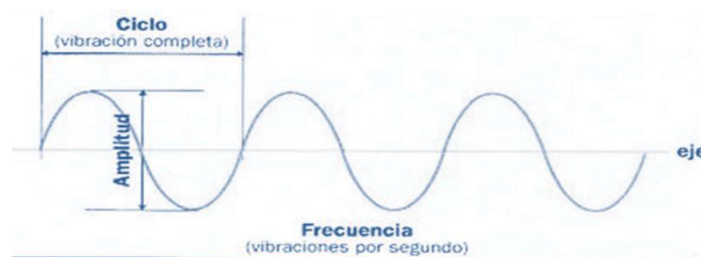
### 2.3.13. Sonido y música.

Es el conjunto de frecuencias generadas por ruidos naturales y seres vivos.

#### 2.3.13.1. Sonido.

El sonido, en física, es cualquier fenómeno que involucre la propagación en forma de ondas elásticas (sean audibles o no), generalmente a través de un fluido (u otro medio elástico) que esté generando el movimiento vibratorio de un cuerpo.

**Figura 20** Representación gráfica del sonido.



**Fuente:** (RUIZ, 2012)

- El sonido humanamente audible consiste en ondas sonoras que producen oscilaciones de la presión del aire, que son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro. La propagación del sonido involucra transporte de energía sin transporte de materia, en forma de ondas mecánicas que se propagan a través de la materia sólida, líquida o gaseosa. Como las vibraciones se producen en la misma dirección en la que se propaga el sonido, se trata de una onda longitudinal. (SMITH, 1991)

**Figura 21** Transmisión del sonido.



**Fuente:** (JARAMILLO, 2012)

#### **2.3.13.2. Sonido en la música.**

El sonido, en combinación con el silencio, es la materia prima de la música. En la música los sonidos se califican en categorías como: largos y cortos, fuertes y débiles, agudos y graves, agradables y desagradables. El sonido ha estado siempre presente en la vida cotidiana del hombre. A lo largo de la historia el ser humano ha inventado una serie de reglas para ordenarlo hasta construir algún tipo de lenguaje musical. (ADRIAN, 2012)

#### **2.3.14. Iluminación de la fuente.**

Está comprendida por el conjunto de luces RGB controlados por PWMs, con filtros de colores y sistemas de luces coordinados por el tiempo. (SAFE, 2012)

**Figura 22** Luces RGB en la fuente ornamental.



**Fuente:** (SAFE, 2012)

#### 2.3.14.1. Luces.

La iluminación de las piletas es un factor importante por que brinda realce en la funcionalidad en las horas de la noche dando un espectáculo lleno de colores. En vista de esto se realizó el diseño de las luces para la fuente como: (SAFE, 2012)

- leds RGB del tipo convencional
- leds de potencias RGB
- leds SMDs RGB
- otros de acuerdo a los requerimientos de la fuente

#### 2.3.14.2. Leds.

Un led (de la sigla inglesa LED: Light-Emitting Diode: ‘diodo emisor de luz’, también ‘diodo luminoso’) es un diodo semiconductor que emite luz. Se usan como indicadores en muchos dispositivos, y cada vez con mucha más frecuencia, en iluminación. Presentado como un componente electrónico en 1962, los primeros leds emitían luz roja de baja intensidad, pero los dispositivos actuales emiten luz de alto brillo en el espectro infrarrojo, visible y ultravioleta. Cuando un led se encuentra en polarización directa, los electrones pueden recombinarse con los huecos en el



dispositivo, liberando energía en forma de fotones. Este efecto es llamado electroluminiscencia y el color de la luz (correspondiente a la energía del fotón) se determina a partir de la banda de energía del semiconductor. Por lo general, el área de un led es muy pequeña (menor a 1 mm<sup>2</sup>), y se pueden usar componentes ópticos integrados para formar su patrón de radiación. Los leds presentan muchas ventajas sobre las fuentes de luz incandescente y fluorescente, principalmente con un consumo de energía mucho menor, mayor tiempo de vida, tamaño más pequeño, gran durabilidad, resistencia a las vibraciones, no es frágil, reduce considerablemente la emisión de calor que produce el efecto invernadero en nuestro planeta, no contienen mercurio (el cual al exponerse en el medio ambiente es altamente venenoso) a comparación de la tecnología fluorescente o de inducción magnética que si contienen mercurio, no crean campos magnéticos altos como la tecnología de inducción magnética con los cuales se crea mayor radiación hacia el ser humano, cuentan con un alto factor de CRI, reducen ruidos en las líneas eléctricas, son especiales para utilizarse con sistemas foto voltaicos (paneles solares) a comparación de cualquier otra tecnología actual, no les afecta el encendido intermitente (es decir pueden funcionar como luces estroboscópicas) y esto no reduce su vida promedio, son especiales para sistemas anti-explosión ya que no es fácil quebrar un diodo emisor de luz (led) y cuentan con una alta fiabilidad. (SAFE, 2012)

**Figura 23** Tipos de leds.

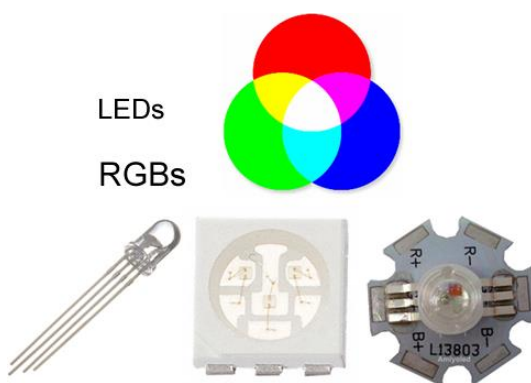


**Fuente:** (SAFE, 2012)

### 2.3.14.3. Leds RGB.

Reúnen en su encapsulado tres colores como en sus siglas se indica Red (rojo), Green (verde), Blue (azul), a partir de los cuales se puede obtener una variada gama de colores, para la construcción de las luces se utilizaron leds RGB del tipo smd que son en forma de pastilla y de montaje superficial. (SAFE, 2012)

**Figura 24** Tipos de leds RGB



**Fuente:** (SAFE, 2012)

### 2.3.14.4. Gama de colores RGB.

En los leds RGB si encendemos los tres canales al máximo obtendremos el color blanco, si encendemos el azul y el rojo obtendremos el púrpura mientras que si encendemos el verde y el rojo obtendremos el color amarillo. Naturalmente, usando sistemas que controlan la intensidad de cada color, se pueden lograr infinitas combinaciones de color. (ESPINOZA, 2012)

**Figura 25** Gama de colores RGB.



**Fuente:** (SAFE, 2012)



### 2.3.15. Protección IP.

La comisión Electrotécnica Internacional IEC por sus siglas en inglés (International Electrotechnical Commission) define el índice de protección o IP (por sus siglas en inglés Ingress Protection). Este índice es utilizado para determinar el grado de protección que tiene un envolvente de equipos eléctricos (como los luminarios) contra el acceso de agentes externos tales como penetración de cuerpos sólidos y/o penetración de agua, este grado de protección se verifica con pruebas estandarizadas y reconocidas. El IEC es una sólida organización de estándares que trabaja a nivel mundial y por eso se ha convertido en la referencia globalmente aceptada para clasificar los envoltorios de luminarios y así nosotros podemos conocer el grado de protección que tiene un equipo que utilizemos en alguna aplicación específica.

El índice IP se utiliza anteponiendo esas siglas a dos números. El primer dígito de la referencia (IP6-) nos menciona la protección del equipo a agentes sólidos y el segundo (IP-8) hace referencia a la protección contra el agua. (JARAMILLO, 2012)

**Tabla 1 Protección determinada por la primera cifra.**

Primer Dígito	Descripción	Características
0	Sin Protección	-
1	Cuerpos sólidos mayores o iguales a 50 mm de diámetro	-
2	Cuerpos sólidos mayores o iguales a 12 mm de diámetro	-
3	Cuerpos sólidos mayores o iguales a 2.5 mm de diámetro	-
4	Cuerpos sólidos mayores o iguales a 1 mm de diámetro	-
5	Penetración de polvo	No se impide por completo la entrada de polvo, pero la cantidad que logra penetrar permite al equipo seguir operando de manera óptima.
6	Totalmente aislado del polvo	Ninguna entrada de polvo

**Fuente:** (JARAMILLO, 2012)

**Tabla 2** Protección determinada por la segunda cifra.

Símbolo	Referencia	Descripción
	IP5-	Malla sin recuadro contra agentes sólidos.
	IP6-	Malla con recuadro contra agentes sólidos.
	IP-1	Una Gota.
	IP-3	Una Gota dentro de un cuadro.
	IP-4	Una gota dentro de un triángulo.
	IP-5	-
	IP-7	Dos gotas de agua.
	IP-8	Dos gotas seguidas por la indicación de profundidad máxima en metros.

Fuente: (JARAMILLO, 2012)

**2.4. Hipótesis de la investigación.**

**2.4.1. Hipótesis general.**

El sistema de diseño experimental de control de pileta ornamental puede permitir el desarrollo y el avance tecnológico local.

**2.4.2. Hipótesis específicos.**

Los requerimientos de los materiales permitirán determinar el diseño de un sistema de control de buena calidad

La implementación del sistema de control permitirá la viabilidad de todo el sistema de pileta ornamental.

El sistema de control construido permitirá interactuar coordinadamente con los actuadores de la pileta ornamental.

**2.5. Operacionalización de variables.**

**2.5.1. Variables independientes.**

- Señal de AUDIO

### 2.5.2. Variables dependientes.

- Piletas ornamentales
- Luces multicolores

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de diseño de investigación.**

El proyecto de tesis es de tipo lógico-experimental y aplicativo. En este capítulo muestra un panorama general de la investigación, así como las etapas que se desarrollaron en el proyecto a fin de obtener el mejor funcionamiento en el desarrollo del mismo.

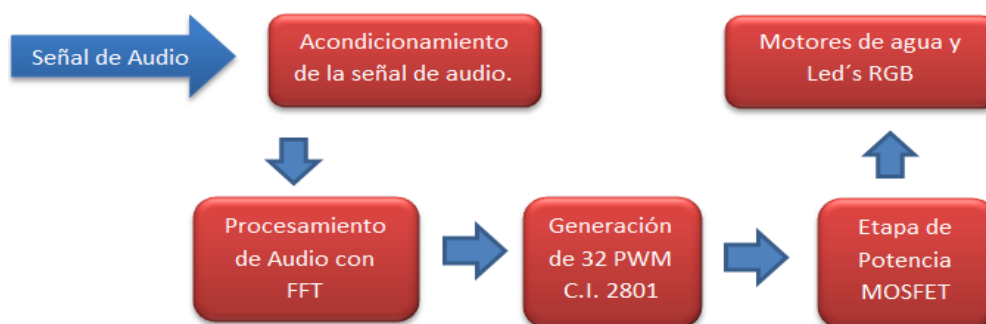
Describe las funciones de cada etapa, y las demandas que se debe hacer a cada una, así como sus características y los materiales que se pueden utilizar en el desarrollo de las mismas, explicara el uso de cada dispositivo que se empleó, haciendo hincapié al uso de dispositivos diferentes con el fin de encontrar el más apto para el funcionamiento.

#### **3.1.1. Transformada rápida de Fourier.**

La transformada rápida de Fourier, es una herramienta matemática bastante utilizada en procesamiento de audio, esta herramienta es la forma ideal para controlar los motores eléctricos como, bombas de agua, bombas Brushless, al ritmo de una melodía musical. Elección de un circuito integrado programable adecuado para realizar el algoritmo de la FFT y además de controlar las 32 salidas PWM para cada motor y leds RGB. (HORACIO, 2009)

#### **3.1.2. Esquema general del proyecto.**

En esta sección se describe el esquema general con el que se trabajó, de igual manera explica la función que ejecuta cada bloque, sus entradas y salidas. Para de esta manera permitir el entendimiento de los pasos que se siguieron. El diagrama de bloques que describe el proyecto. Se puede apreciar en la figura 3.1 que el esquema general nos muestra 4 etapas en las cuales se trabaja para conseguir los objetivos. La primera etapa de acondicionamiento determinara una de las características del proyecto el cual vendría a ser el rango de espectro donde se va trabajar.

**Figura 26** Diagrama para control de actuadores

**Elaboración:** Investigadores

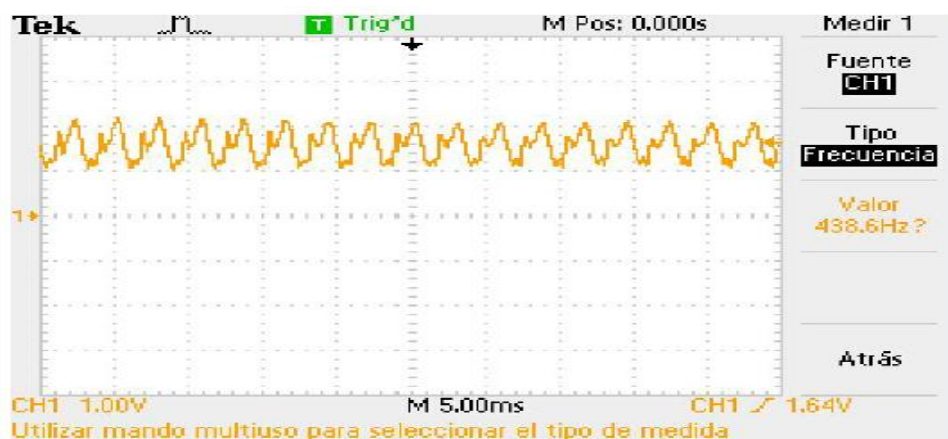
### 3.1.3. Etapa de acondicionamiento de la señal de audio.

Empezando por la señal de entrada sabemos que es una señal de audio, y como tal debe de pasar por una etapa de acondicionamiento para que de esta manera la segunda etapa pueda realizar el procesamiento del mismo. Para proseguir vale la pena recordar que se está trabajando con un microcontrolador, para explicar que el acondicionamiento de la señal deberá cumplir las demandas de los canales analógicos del microcontrolador, las más importante de ellas será que realice un nivel de DC al voltaje de la señal de audio, ya que el microcontrolador no puede recibir señales negativas a la entrada de los canales analógicos, no en este caso. La segunda demanda del microcontrolador hacia la etapa de acondicionamiento es con respecto a los niveles de voltaje de la señal, dependiendo del tipo de microcontrolador, por ejemplo un PIC 18f4550 puede recibir nivel de voltaje de 0 a 5 volts en cualquiera de sus canales analógicos, sin embargo un PIC 24FJ64GA102 o AT91SAM7S64 preferentemente debe trabajar con niveles de voltaje de 0 a 3.2 volts en sus canales analógicos, aunque también podría resolverse ese problema programándolo para esta situación es tratar de que el microcontrolador este enfocado solo en la parte crítica del procesamiento del audio. En la siguiente figura 3.2 se puede apreciar las funciones principales de la etapa de acondicionamiento.

**Figura 27** Diagrama de filtro de señales

**Elaboración:** Investigadores.

Es importante también tomar en cuenta que la etapa de acondicionamiento, está encargado de realizar el filtrado de la señal, se debe tener en consideración el tipo de aplicación está determinada para solo utilizar el espectro de voz entonces se debe de aplicar un filtro pasa bandas que permita el paso de frecuencias mayores de 20Hz pero menores a 10KHz. Puesto que no tiene información relevante (con respecto a la voz) más allá de los rangos. En la siguiente figura3.3 se muestra una señal de una secuencia musical con un nivel de DC de 1.5 volts, esto solo como referencia para apreciar lo que es requisito para entrada a los canales analógicos del microcontrolador.

**Figura 28** Frecuencia de una señal musical.

**Fuente:** (DOMINGO, 2004)

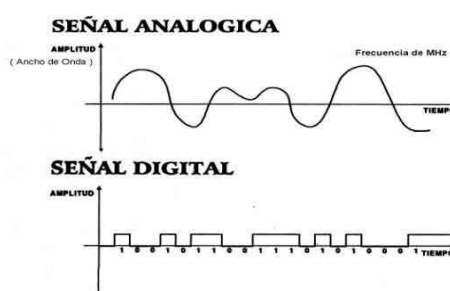
### 3.1.4. Etapa de procesamiento de audio.

Como anteriormente se había mencionado el procesamiento de señales es la rama de la ingeniería que se encarga de analizar y procesar señales discretas como: audio, voz, imágenes, video, etc. Sabemos que en la actualidad existen métodos para el procesamiento de las mismas.

Inmediatamente al trabajar con procesamiento de señales pensamos en usar la Transformada Rápida de Fourier, puesto que en la mayoría de los procesos en los que se pretenden manipular señales, es muy práctico además de eficiente y conciso; conciso en el sentido de presentar brevedad y economía con respecto a los recursos que se pueden utilizar.

El primer paso de un sistema de procesamiento de señales que está recibiendo la información del mundo real en el sistema. Es realizar la transformación de una señal analógica a una representación digital apta para ser transformada por el sistema digital. Esta señal pasa a través de un dispositivo llamado convertidor analógico-digital (A/D o ADC). El ADC. (RUIZ, 2012)

**Figura 28** Frecuencia de una señal musical.



**Fuente:** (MORENO, 2010)

Convierte la señal analógica a una representación digital por muestro o de medición, la señal con una tasa periódica. Una vez que la entrada a la etapa “Procesamiento de audio en base a FFT” este disponible y sea introducida en el canal analógico, se deberá digitalizar puesto que hoy en día la mayoría de los procesamientos



de audio son de la manera digital, el implementar esto en el proyecto permitirá acoplarlo o estandarizarlo a otro sistema; otra justificación sería que el digitalizar las señales permite una mayor facilidad de procesamiento de las mismas. La señal digitalizada pasara por el algoritmo de FFT. Dicho algoritmo esta embebido o empotrado en el microcontrolador. La salida del algoritmo de Fourier nos entregara valores correspondientes a su espectro, que a su vez estos datos contemplados para utilizarlos con un propósito de variar las revoluciones de los motores de agua y Leds

### 3.1.5. Aplicación de la transformada rápida de Fourier (FFT).

El presente proyecto comprende la investigación sobre el diseño un controlador que pueda accionar las bombas de agua y Leds RGB al ritmo de una melodía musical, para lograrlo con las respectivas exigencias como el tamaño del controlador, precio, consumo de potencia, baja vulnerabilidad a ruidos es necesario empezar por el algoritmo y fundamentos matemáticos, el algoritmo y aplicación práctica en el procesamiento de audio, ya que la implementación de la Transformada Rápida de Fourier (más conocida como FFT por sus siglas en inglés) aplicada al procesamiento de audio.

FFT es la abreviatura usual (del inglés Fast Fourier Transform) de un eficiente algoritmo que permite calcular la transformada de Fourier discreta (DFT) y su inversa.

La continuidad la sumatoria a N elementos, de la respuesta en frecuencia obtenida de la transformada de Fourier a tiempo discreto y teniendo en cuenta lo siguiente:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]W^{nk} \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)W^{-nk} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

- las propiedades de prioridad de la transformada, notaremos una similitud entre los coeficientes.

- Donde la constantes  $W$  son conocidas como factores twiddle y definida como:

$$W = e^{-j2\pi/N}$$

- Observar que  $W$  es una función de la longitud  $N$ , por ello también suele expresarse como  $Wn$ . También vemos que:

$$W^n = \cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right) - j\sin\left(\frac{2\pi}{N}n\right)$$

- Con la anterior, el cálculo de un punto de la transformada discreta de Fourier está dada por:

$$(k) = x[0]W^0 + x[1]W^k + x[2]W^{2k} + \dots + x[N-1]W^{k(N-1)},$$

$$K = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

- Desarrollando (13) para los  $N$  valores posibles de  $k$  se obtiene una matriz de tamaño  $N*N$ . De (13) se puede calcular el número de operaciones necesarias para realizar la transformada de los datos mediante este algoritmo. El número de sumas complejas que se deben realizar es de  $(N-1)N$  y la cantidad de multiplicaciones complejas asciende a  $N^2$ . Es claro que esta cantidad de operaciones es alta y requiere de un enorme poder de cálculos.
- El cálculo directo de la DFT no es eficiente debido, fundamentalmente, a que no explota las propiedades de simetría y periodicidad del factor de fase  $W_N$ .

La transformada rápida de Fourier (FFT) y el algoritmo FFT base2, este término genérico abarca distintos algoritmos con distintas características, ventajas y desventajas. Por ejemplo, una FF diseñada y optimizada usando un lenguaje de alto nivel probablemente no funcionaría correctamente en un DSP de coma fija. Sin embargo, todas las FFTs usan la misma aproximación para reducir el algoritmo en un número reducido de DFT'S sucesivas, cortas y simples.

El algoritmo de FFT a presentar en este trabajo, descompone la DFT de  $N$  puntos en transformadas más pequeñas. Una DFT de  $N$  puntos es descompuesta en dos DFTs de  $N/2$  puntos. Cada DFT de  $N/2$  puntos se descompone a su vez en dos DFTs de  $N/4$  puntos y así sucesivamente. Al final de la descomposición se obtiene  $N/2$  DFTs de 2 puntos cada una. La transformada más pequeña viene determinada por la base de la FFT. Para un FFT de base 2,  $N$  debe ser un potencia de 2 y la transformada más pequeña es la DFT de 2 puntos. Para implementar la FFT existe dos procedimientos: diezmado en el tiempo (DIT del inglés Decimation in Time) y diezmado en frecuencia (DIF del inglés Decimation in Frequency). (HORACIO, 2009)

### 3.1.6. Algoritmo FFT en base 2 Diezmado en el tiempo.

Consideremos el cálculo de la DFT de  $N = 2$  a partir de dividir la secuencia de datos de  $N$  puntos, en dos secuencias de  $N/2$ , correspondientes a las muestras pares e impares de  $x[n]$ , respectivamente, esto es:

$$f_1[n] = x[2n]$$

$$f_2[n] = x[2n + 1], \quad n = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1$$

Observando, que se realizó el diezmado de la secuencia  $x[n]$ , una vez. LA DFT de  $N$  puntos puede expresarse ahora en términos de las DFTs de las secuencias diezmadas como sigue:

$$(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{nk} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

$$= \sum_{m=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2m] W_N^{2mk} + \sum_{m=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2m + 1] W_N^{k(2mk)}$$

Pero  $W_n^2 = W_{N/2}$ . Sustituyendo esta igualdad en la expresión anterior se obtiene:

$$\begin{aligned} X(k) &= \sum_{m=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} f_1(m)W_{N/2}^{mk} + W_N^k \sum_{m=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} f_2(m)W_{N/2}^{km} \\ &= F_1(k) + W_N^k F_2(k), k = 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned}$$

Donde  $F_1(k)$  y  $F_2(k)$  son las DFTs de  $N/2$  puntos de las secuencias de la expresión.

Puesto que  $F_1(k)$  y  $F_2(k)$  son periódicas, de periodo  $N/2$ , tenemos:

$$F_1\left(k + \frac{N}{2}\right) = F_1(k) + F_2\left(k + \frac{N}{2}\right) = 2(k).$$

Por otro lado, se cumple que  $W_N^{k+N/2} = -W_N^k$ . Por lo que se puede describir la expresión anterior de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} X(k) &= F_1(k) + W_N^k F_1(k) \quad , k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \\ X\left(k + \frac{N}{2}\right) &= F_1(k) - W_N^k F_1(k) \quad , k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \end{aligned}$$

Se observa que el cálculo directo de  $F_1(k)$  requiere  $(N/2)^2$  multiplicaciones complejas al igual que  $F_2(k)$ . Además, se requiere  $N/2$  multiplicaciones más para calcular  $W_N^k F_2(k)$ . De aquí que el cálculo de  $X(k)$  requiere  $N^2/2 + N/2$  multiplicaciones complejas. El primer paso realizado de una reducción en el número de multiplicaciones de  $N^2$  a  $N^2/2 + N/2$ , lo que equivale aproximadamente a dividir por dos el número de multiplicaciones cuando  $N$  es grande. Habiendo realizado el diezmado en tiempo una vez, podemos repetir el proceso para cada una de las secuencias de la anterior expresión. Por lo tanto, se obtendrá dos secuencias de  $N/4$  puntos:

$$\begin{aligned} v_{11}[n] &= f_1[2n] \quad , n = 0, 1, \dots, \frac{N}{4} - 1 \\ v_{12}[n] &= f_1[2n + 1] \quad , n = 0, 1, \dots, \frac{N}{4} - 1 \\ v_{21}[n] &= f_2[2n] \quad , n = 0, 1, \dots, \frac{N}{4} - 1 \\ v_{22}[n] &= f_2[2n + 1] \quad , n = 0, 1, \dots, \frac{N}{4} - 1 \end{aligned}$$

Calculando las DFTs de  $N/4$  puntos se obtienen las DFTs de  $N/2$  puntos  $F_1(k)$  y  $F_2(k)$  a partir de las siguientes relaciones:

$$F_1(k) = V_{11}(k) + W_{N/2}^k V_{12}(k) \quad ,k = 0,1, \dots, \frac{N}{4} - 1$$

$$F_1\left(k + \frac{N}{4}\right) = V_{11}(k) - W_{N/2}^k V_{12}(k) \quad k = 0,1, \dots, \frac{N}{4} - 1$$

$$F_2(k) = V_{21}(k) + W_{N/2}^k V_{22}(k) \quad k = 0,1, \dots, \frac{N}{4} - 1$$

$$F_2\left(k + \frac{N}{4}\right) = V_{21}(k) - W_{N/2}^k V_{22}(k) \quad k = 0,1, \dots, \frac{N}{4} - 1$$

Donde  $V_{ij}(k)$  son las DFTs de  $N/4$  puntos de las secuencias  $V_{ij}[n]$ .

Se observa que el cálculo de  $V_{ij}(k)$  requiere  $4(N/4)^2$  multiplicaciones y por lo tanto el cálculo de  $F_1(k)$  y  $F_2(k)$  puede realizarse con  $N^2/4 + N/2$  multiplicaciones complejas. Se requieren  $N/2$  multiplicaciones complejas más para calcular  $X(k)$  a partir de  $F_1(k)$  y  $F_2(k)$ . Consecuentemente, el número total de multiplicaciones necesarias  $N^2/4 + N/2$  se reduce otra vez aproximadamente por un factor de dos.

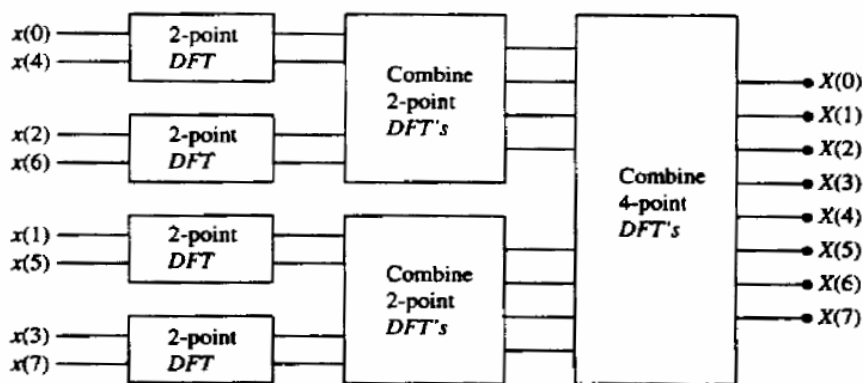
El diezmado de las secuencias de datos se repite  $v = \log_2 N$  veces, ya que tiene  $N = 2^v$  datos. Por lo que tanto el número total de multiplicaciones complejas se reduce a  $(N/2)\log_2 N$ , mientras que el número de sumas complejas es  $N\log_2 N$ . En la tabla 2 se muestra la comparación entre el número de multiplicaciones complejas usando la FFT y el cálculo directo de la DFT. En la figuras 30 y 31 se representan esquemáticamente el desarrollo de algoritmo de la FFT en base 2. Tabla 3: comparación entre la cantidad de multiplicaciones complejas a realizarse por parte de la DFT y el algoritmo FFT de base 2 (Proakis y Monolakis, 2003) (RAMIREZ, 1984)

**Tabla 3** Algoritmo FFT.

Números de Puntos, $N$	Multiplicaciones Complejas en calculo directo, $N^2$	Multiplicaciones Complejas en el algoritmo FFT, $(N/2)\log_2 N$	Factor de mejora de la velocidad
4	16	4	4.0
8	64	12	5.3
16	256	32	8.0
32	1024	80	12.8
64	4096	192	21.3
128	16384	448	36.6
256	65536	1024	64.0
512	262144	2304	113.8
1024	1048576	5120	204.8

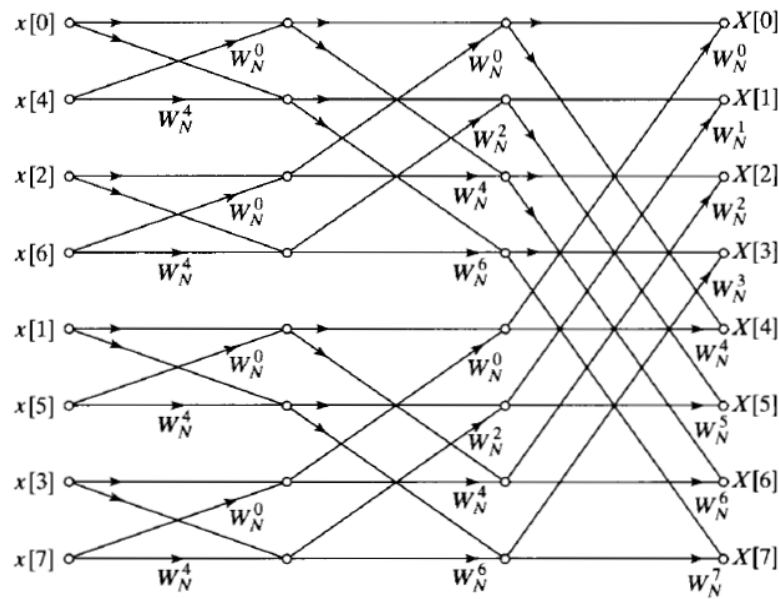
**Fuente:** (HORACIO, 2009)

**Figura 30** Tres etapas en el cálculo de la FFT de 8 puntos



**Fuente:** (Proakis y Monolakis, 2003)

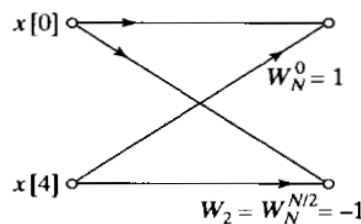
**Figura 31** Algoritmo para la FFT Diezmado en tiempo de 8 puntos.



**Fuente:** (RAMIREZ, 1984)

Como puede observarse, el cálculo que se realiza en cada etapa, el cual consiste en aplicar las operaciones de una transformada DFT de dos puntos o “mariposas”. En general cada mariposa implica una multiplicación y dos sumas complejas. Para N puntos, tenemos N/2 mariposas por cada etapa del proceso y  $\log_2 N$  etapas de mariposas. Por lo tanto podemos guardar el resultado de cada operación de la mariposa (A, B), en las mismas posiciones de sus operandos (a, b). En consecuencia, necesitamos una cantidad fija de memoria, en concreto 2N registros de almacenamiento para guardar los resultados de N números complejos. Figura 3.7: Mariposa básica del algoritmo para la FFT de diezmado en el tiempo (Oppenheim et al. 1999).

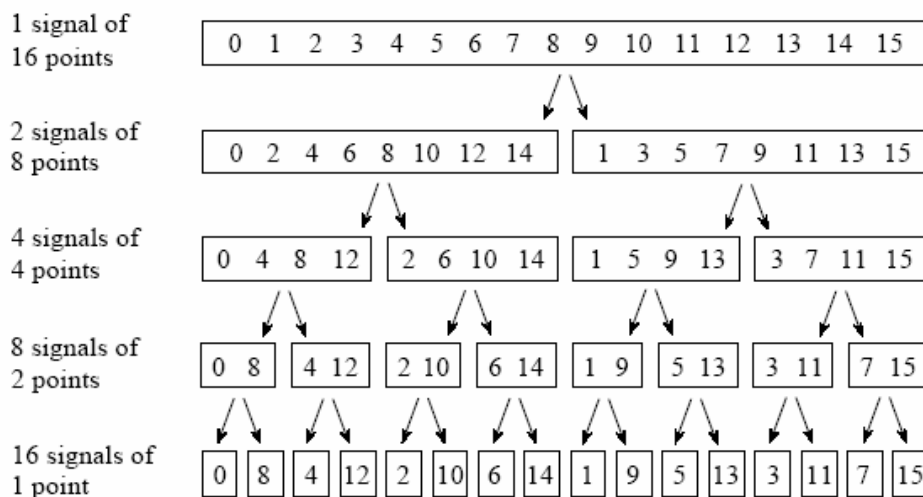
**Figura 32** Mariposa básica del algoritmo FFT.



**Fuente:** (RAMIREZ, 1984)

Con respecto a la tarea de diezrado, esta se puede entender como un reacomodamiento antes de proceder con el algoritmo de la FFT. Por ejemplo si  $N = 16$  la tarea de diezmar queda graficada a través de la Figura 3.8, esto es  $(v-1) = \log_2 N$  veces.

**Figura 33** Secuencia de diezrado para  $N = 16$



**Fuente:** (Smith, 1999).

Notar que al realizar el diezrado, las posiciones de la secuencia de datos  $x[n]$ , o sea  $n$ , cambia de tal manera, que si asumimos la generación de dicho número binario tal como se lo ilustra en la Tabla 4; se dice que luego del diezrado la secuencia de datos  $x[n]$ , se almacena en orden binario invertido.



**Tabla 4** Mesclado de los datos e inversión binaria

Sample numbers in normal order			Sample numbers after bit reversal	
<i>Decimal</i>	<i>Binary</i>		<i>Decimal</i>	<i>Binary</i>
0	0000	➔	0	0000
1	0001		8	1000
2	0010		4	0100
3	0011		12	1100
4	0100		2	0010
5	0101		10	1010
6	0110		6	0110
7	0111		14	1110
8	1000		1	0001
9	1001		9	1001
10	1010		5	0101
11	1011		13	1101
12	1100		3	0011
13	1101		11	1011
14	1110		7	0111
15	1111		15	1111

**Fuente:** (Smith, 1999).

**3.1.7. La aplicación específica de FFT en el proyecto.**

El espectro de una señal digital puede ser calculado por la transformada Discreta de Fourier (DFT según sus siglas en inglés) la cual está dada por:

$$x(k) = DFT[x(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi nk/N} , k = 0,1,2, \dots, N - 1$$

La versión rápida de la formula anterior es llamada Transformada Rápida de Fourier. La FFT toma N muestras consecutivas de la señal x(n) y realiza una operación matemática para producir N muestras X(k) del espectro de la señal .

Ya visto sus cualidades de este algoritmo para procesar audio. Lo hace ideal implementarlo en el proyecto, la forma en que los salidas (Leds y motores de agua) jueguen al ritmo de una nota musical es separando las frecuencias que podemos encontrar en la señal de audio. Para comprender mejor del audio necesaria mente entramos en el tema de sonido.

Este se produce al hacer vibrar un material estas vibraciones llegan a un transductor para ser convertidos en señales eléctricas, que sus componentes son frecuencias y amplitud.

Lo que se va manipular son las frecuencias que las componen una señal de audio, las frecuencias de 20Hz a 20000Hz son las frecuencias que contiene una señal de audio.

Si separamos las frecuencias en bajas altas y medias tendríamos un total de tres variables una para cada mini electrobombas, de esta forma para impulsar cada mini electrobomba de acuerdo al nivel de señal de cada frecuencia. En esta sección separaremos las frecuencias de acuerdo al número de mini electrobombas los cuales serán 8, este número se escogió para apreciar mejor las frecuencias de audio y a la vez se vea una espléndida fuente de agua

### **3.1.8. Mini electro bombas y la FFT.**

La electrobomba de agua es el dispositivo que hace circular líquido como el agua de un lugar determinado hacia otro lugar necesario, sin embargo en este proyecto lo utilizaremos para ver la intensidad de una frecuencia de audio separada previamente por el algoritmo de la FFT. La cantidad de líquido impulsado por la bomba de agua será proporcional a una de las frecuencias de audio en tiempo real.

Estas frecuencias serán separadas en 8 debido al número de mini electrobombas:

- La primera mini electrobomba reaccionara o funcionara al nivel de las frecuencias de 20Hz hasta los 100Hz. Lo cual estos vendrían a ser los bajos.
- La segunda mini electrobomba reaccionara o funcionara al nivel de las frecuencias de 100Hz hasta los 300Hz.
- La tercera mini electrobomba reaccionara o funcionara al nivel de las frecuencias de 300Hz hasta los 500Hz.

- La cuarta mini electrobomba reaccionara o funcionara al nivel de las frecuencias de 500Hz hasta los 800Hz.
- La quinta mini electrobomba reaccionara o funcionara al nivel de las frecuencias de 800Hz hasta los 1000Hz.
- La sexta mini electrobomba reaccionara o funcionara al nivel de las frecuencias de 1000Hz hasta los 1200Hz.
- La séptima mini electrobomba reaccionara o funcionara al nivel de las frecuencias de 1200Hz hasta los 2000Hz.
- La Octava mini electrobomba reaccionara o funcionara al nivel de las frecuencias de 2000Hz hasta los 4000Hz.

Son las frecuencias elegidas para una mejor apreciación de los efectos de agua y luz al ritmo de una melodía musical

### **3.1.9. Leds RGB y la FFT.**

Estos Leds son bastante comunes, sin embargo aún por la complejidad que demanda no son muy versátiles y también por al gran trabajo que demanda a la hora de ensamblaje. Los podemos encontrar en diferentes formas y tamaños, la características que sobre salen en estos Leds es poder manejar todas la gama de colores, debido a que estos contienen tres Leds de distintos colores como son el VERDE, ROJO y AZUL. De la combinación de estos colores podemos obtener el resto de colores.

En el siguiente cuadro vamos a separar las frecuencias para cada color, se puede apreciar para la frecuencia baja tenemos el color Rojo y para el más alto el color blanco.

**Tabla 5** Color – frecuencia.

N°	Color de LED	Frecuencias separadas por color.
1	ROJO	20 – 100 HZ
2	VERDE	100 – 200Hz
3	AZUL	200 – 300Hz
4	MORADO	300 – 500Hz
5	CELESTE	500 – 100Hz
6	AMARILLO	1000 – 1500Hz
7	BLANCO	1500 – 2400Hz

**Elaboración:** Investigadores.

Estos colores se emitirán de acuerdo al nivel de la señal de frecuencia que se le asigne en el anterior cuadro. Estos colores serán emitidos juntamente con las mini electrobombas.

Sin embargo para poder emitir colores proporcional al nivel de cada frecuencia designada necesariamente tenemos que variar el nivel de color esto implica manejar tres PWMs por cada color y un total de 24 salidas de PWMs para todo el proyecto porque son un total de 8 Leds RGB. Para controlar estos 24 salidas de PWMs es necesario ayudarnos con este circuito integrado WS2801.

### **3.1.10. El circuito integrado WS2801.**

Este es controlador de led de corriente constante de 3 canales, excelente para controlar cadenas de leds RGB y además este circuito integrado es controlador por dos hilos serial mente que nos permite conectar múltiples circuitos integrados en cascada facilitándonos en código y estructura.

#### **3.1.10.1. Características del WS2801.**

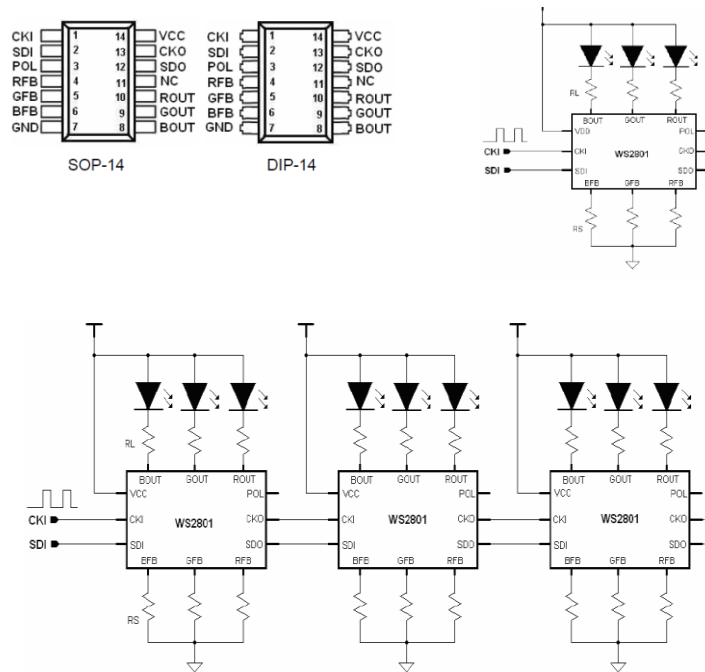
- Contiene salida programable
- Capacidad de recorrido libre de PWM
- 3 canales de salida de 5 a 150MA de corriente

- Cada canal tiene una resolución de 8bits
- Frecuencia de reloj máxima, de entra 25Mhz
- Voltaje fuente de alimentación 3.3v – 5v
- Tipo de paquete SOP – 14

**3.1.10.2. Diagrama del circuito integrado WS2801 y paquete.**

Para nuestra aplicación necesitamos 24 salidas de PWM para controlar los 8 leds RGB lo que nos indica que debemos conectar en cascada estos integrados, la conexión en cascada es de la siguiente forma:

**Figura 34** Circuito integrado WS2801.



**Fuente:** (BOLTAN, 2001)

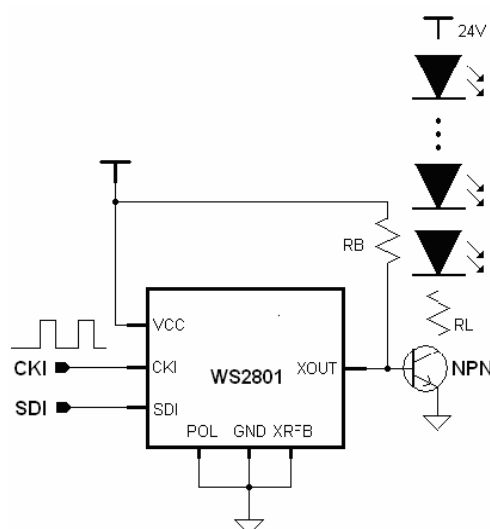
Si observamos el diagrama anterior tenemos dos hilos para meter los datos en todos los circuitos integrados ws2801 puestos en modo cascada. Los datos ingresados por SDI son pasados al WS2801 con cada ciclo de reloj CKI. Tiene varias formas de configuración para llegar acabo nuestro proyecto lo utilizaremos en el siguiente modo.

### 3.1.10.3. Modo de Conducción de Voltaje Constante.

En este modo el pin POL entra en modo alto puede conducir los LEDs con corriente hasta de 50ma con conexiones de R, G Y B /BFB directamente a tierra luego WS2801 funciona modo de conducción de tensión constante.

Este integrado es excelente para manejar un solo led RGB sin embargo en este proyecto trabajaremos con varios Leds RGB y mayor voltaje esto implica utilizar este integrado en modo de voltaje constante con un switch de potencia. Diagrama de manejo de voltaje con un transistor de potencia.

**Figura 35** Control de voltaje WS2801.



**Fuente:** (ESPINOZA, 2012)

Este modo se utiliza principalmente cuando tengamos una fuente mayor a lo necesario o para un mayor brillo de los Leds, en este modo podemos utilizar varios leds en serie o paralelo esta configuración nos permite utilizar mayores tensiones y corrientes, como podemos observar en el anterior diagrama necesariamente necesitamos un transistor NPN y para suministrar la corriente máxima se puede ajustar por la corriente externa limitante resistencia limitante  $R_L$ , este puede derivarse mediante la siguiente ecuación:

$$R_L = \frac{V_{DD} - V_{LED} - V_{CE}}{I_{LED}}$$

El transistor NPN externo opera en la región de saturación,  $V_{CE} = 0.5 - 0.8$  V, la resistencia de base  $R_B = 2K - 5K$ .

#### 3.1.10.4. La conexión en cascada y envío de datos al WS2801.

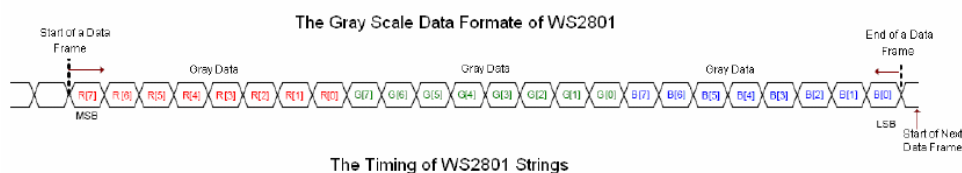
Esta conexión será implementada en nuestro proyecto para ejecutar óptimas presentaciones, con el control de estos integrados solo por dos hilos.

Para controlar las tensiones de salida de los integrados WS2801, se tiene que cargar previamente un dato de 3 bytes en cada una de ellas. Debido a que un Byte es para cada color. Para enviar todos los bytes es necesario ponerlos en serie estos integrados de esta forma: (ESPINOZA, 2012)

- Para controlar 8 Leds RGB es necesario 24 Bytes, al enviar los bytes serialmente el primer integrado carga sus registros con los 3 bytes primeros y los siguientes bytes son reenviados al segundo integrado y así sucesivamente hasta llenar el último C.I. WS2801.
- Cada byte contiene el dato para cada color el dato es de 8 bits esto significa que podemos poner el nivel de brillo desde 0 hasta 255 niveles de cada color.

En el siguiente diagrama veremos el orden de la trama a enviar para cada color.

**Figura 36** Cascada de datos WS2801.



**Fuente:** (ESPINOZA, 2012)

En este diagrama se puede observar la trama de bits, la trama de color rojo es para el led de color rojo y el verde también y de igual manera el azul, al enviar la trama

debemos de considerar el orden del bit más significativo (MSB) y el menos significativo (LSB) de cada trama.

### **3.1.11. Selección del controlador programable.**

Para llevar acabo nuestro proyecto de investigación es necesario un procesador con la capacidad de poder ejecutar lo más rápido posible las operaciones aritméticas, además este tenga incorporado un módulo de adquisición de datos analógicos como mínimo de unos 40ksp muestras por segundo y además el precio sea viable.

#### **3.1.11.1. Diagrama y características de cada componente programable.**

En esta selección se va tener en cuenta uno con la cualidad de procesar audio o que realiza el algoritmo de la FFT sin entrar en su máxima potencia de trabajo, como también se van a describir por qué no se seleccionó.

- Empecemos por los DCP'S estos se podrían decir que son los adecuados para esta investigación por que están diseñados exclusivamente para procesamiento de señales audio, voz, video, imagen. Sin embargo este núcleo está para operar a niveles de tensión de 3.3v lo cual significa que son para más para plataformas móviles o bajo consumo. En el mercado se encuentran con el precio de unos 120 soles a pesar del bajo precio es escaso la información de DCP's en el Internet o conseguir alguna guía bien detallado aparte de su depurador.
- Descartando los DCP's seguidamente los PLC's porque, tiene una baja velocidad en cálculo de operación aritméticas y el costo es de unos 1500 soles de un plc de más velocidad lo que hace que dejemos de lado este componente programable, otra opción vendrían ser los mini ordenadores como la RaspBeryy Pi con muy buenas prestaciones en la velocidad sin embargo este no cuenta con puerto analógico y menos un convertidor ADC además el costo es de unos 220 soles.



- Vamos por los microcontroladores o MCU's estos minúsculos chips tienen las características que necesitamos para llevar a cabo este proyecto, las razones son por la variedad de estos son las que más se adaptan al requerimiento del proyecto además del bajísimo precio de estos y la cantidad de información que circula en la internet. Son muchos los fabricantes empezando por la popularidad de cada uno de estas empresas Microchip, Atmel, Ti, STM, Freescale, etc.

Escogeremos dos empresas con mayor información en la red y que sea viable en el aspecto a depuradores y herramientas, económicamente y fácil manejo. Escogiendo a Microchip y Atmel.

#### 3.1.11.2. Microchip.

Los fabricantes de micro controladores, más conocidos como PICs, tiene tres gamas de MCUS pic12fxx, pic16fxx, pic18fxx, pic24fxx y los de 32 bits pic32fxx y son conocidos por el fácil manejo de código y esto se debe a la arquitectura tipo RISC lo que quiere decir un set de instrucciones reducidas.

**Figura 37** Microchip.



**Fuente:** (ESPINOZA, 2012)

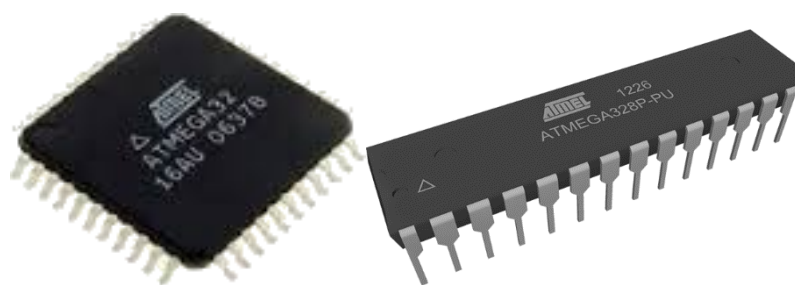
#### 3.1.11.3. Atmel.

fabricante estadounidense de microcontroladores más conocidos como (AVR'S) de igual forma que microchip este tiene una gama MCUS de 8 , 16 y 32bits como ATiny, ATmega, ATxmega y ATSAM y estos últimos con arquitectura Cortex-M0+. Sin

embargo la arquitectura de los ATyni, ATmega y ATxmega son RISC lo que significa unos 100 instrucciones más que la de arquitectura RISC del pic.

- Como los PIC, tiene una comunidad de seguidores (ejemplificadas por el foro de internet, principalmente debido a la existencia de herramientas de desarrollo gratuitas o de bajo coste. Estos microcontroladores están soportados por tarjetas de desarrollo de costo razonable, capaces de descargar el código al microcontrolador, y por una versión de las herramientas GNU. Esto último es posible por su uniformidad en el acceso al espacio de memoria, propiedad de la que carecen los procesadores de memoria segmentada o por bancos, como el PIC o el 8051 y sus derivados. (ESPINOZA, 2012)

**Figura 38** Atmegas.



**Elaboración:** Investigadores

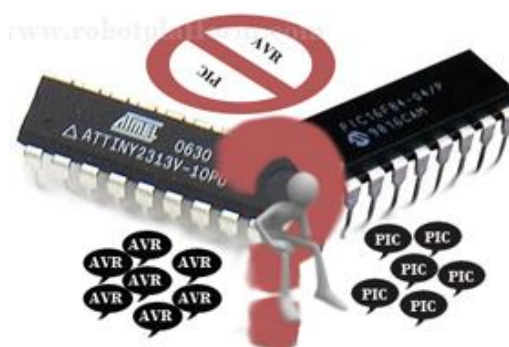
#### 3.1.11.4. Comparación entre PIC18F4550 y ATMEGA328P.

- Estos dos controladores son de dos fabricaciones descritos anteriormente, se ha elegido por las características que cada uno muestra.
  - **Características PIC18F4550:**
    - ✓ 8 bits, arquitectura RISC
    - ✓ Memoria de programa 32k
    - ✓ Memoria EEPROM 256bytes
    - ✓ Memoria RAM 2048bytes
    - ✓ Frecuencia de reloj 48Mhz – 12MIPS

- ✓ ADC de 10bits y 13 canales
- ✓ Precio 35 soles
- **Características ATMEGA328P.**
  - ✓ Arquitectura de 8bits de la familia AVR
  - ✓ Memoria de programa flash de 32k
  - ✓ Memoria RAM de 2000bytes
  - ✓ Memoria EEPROM de 1000bytes
  - ✓ Frecuencia de reloj 20Mhz – 20MIPS
  - ✓ ADC de 10bits y 6canales
  - ✓ Precio 12soles

Muy parecidos en cuanto a las memorias y canales analógicos sin embargo se puede notar la diferencia en la velocidad de ejecución de instrucciones por segundo (MIPS), esto se debe a que el pic cada instrucción ejecuta en 4 ciclos de reloj, es por esto la división  $48 / 4$  nos da 12 que vendría ser la velocidad del pic18f4550, sin embargo el atmega328p no divide nada porque cada instrucción lo ejecuta en un solo ciclo de reloj.

Esta ventaja lo hace ganador a atmega328p frente al pic para realizar el algoritmo de la FFT en el proyecto y sin mencionar el costo este es 3 veces menos que el pic, optando de esta forma que el núcleo de nuestro proyecto será un ATMEGA328P de la familia AVR.

**Figura 39** ATMEGA vs PIC.**Elaboración:** Investigadores**3.1.12. Materiales y recursos empleados.**

El criterio de selección de los recursos empleados permite ampliar el panorama de los usos y aplicación para este proyecto, principalmente por los ahorros que se pudiesen generar. Inicialmente se debe plantear la idea de que cada etapa constara de materiales diferentes.

Empezando por la etapa de acondicionamiento, que en si no es un tema que se tratara a profundidad ya que no es parte esencial de la investigación, se deberá tomar en cuenta que estará constituido por tres parte fundamentales (de acuerdo a lo planteado en a la figura3.10). Las partes a considerar son:

- Filtrado
- Amplificación de señal
- Regulación de niveles de voltaje

Para la decisión de los materiales a emplear, es preferible empezar por la parte de filtrado de la señal, para así tomar el criterio de los otros requisitos, se pueden tomas los siguientes criterios:

- Empezando por plantear si sería un filtro digital, pasivo o activo. Desde este punto podemos descartar una opción debido a que un filtro digital causaría

mayor cantidad de tareas en el microcontrolador y la intención es evitar usar los recursos de procesador en tareas que se puedan realizar externamente.

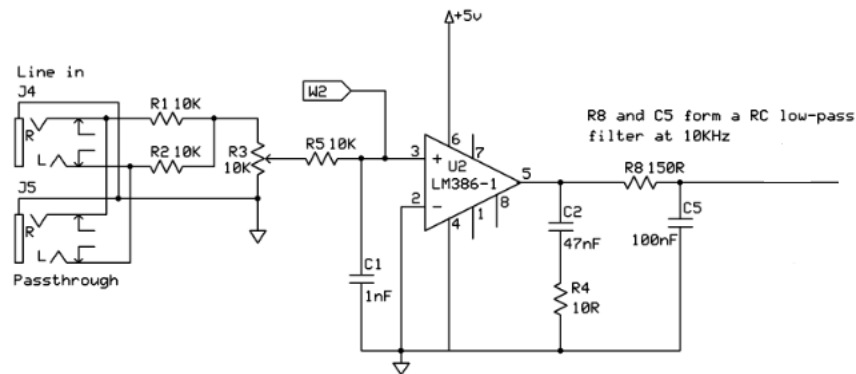
- Entonces si el filtrado se debe hacer pasivo o activo, se tendría que pensar en lo más flexible para el usuario, empezando por el espacio y la exactitud que se podría esperar de dicho filtro. En cuestión de espacio se plantearía un filtro pasivo pero la desventaja sería la cuestión de la exactitud de los dispositivos, si se plantea usar un filtro activo entonces el espacio sería lo que provocaría tensiones de alimentación de  $-12v$  y  $+12v$  lo cual dificulta el proceso.
- Se opera por el filtrado pasivo por la cantidad de espacio que ocupa en el circuito es mínimo, a pesar de tener un buen resultado.

### **3.1.13. Circuito de etapa de acondicionamiento.**

Este es un circuito que trabaja al nivel de tensión de  $5v$ . que es muy importante porque no necesita rebajar con tensiones negativas, como son componentes que podemos encontrarlos en tiendas de electrónica local.

Esta etapa corresponde a los módulos que son necesarios para asegurar que el voltaje de entrada a los canales de entrada ATMEGA328P sea de  $5v$  DC como máximo. Es decir que si estoy alimentando con  $1v$  DC, se debe asegurar que el voltaje que entra al ATMEGA328P es de  $5v$  DC. Como se está analizando una frecuencia de audio que viene de diferentes niveles de tensión.

**Figura 40** Etapa de acondicionamiento de audio.

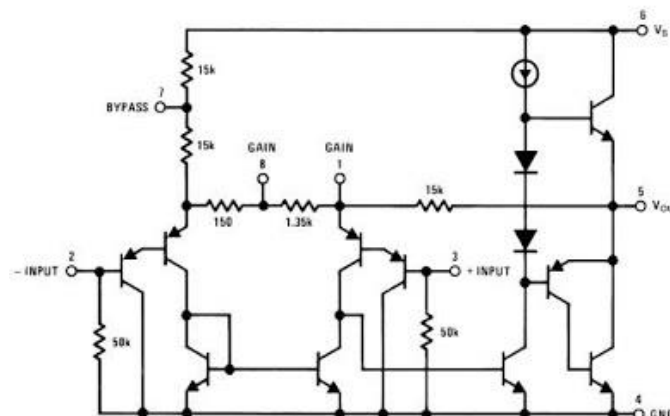


**Fuente:** (DOMINGO, 2004)

Como podemos observar en el anterior diagrama un LM386. Este es un amplificador de potencia, diseñado para el empleo en usos de consumo de voltajes bajos. La ganancia interna es puesta a 20 para mantener la parte externa en cuenta baja, pero la adicción de una resistencia externa y un condensador entre los pines 1 y 8 aumentan la ganancia a cualquier valor entre 20 y 200.

Las entradas son referidas a tierra, mientras la salida influye automáticamente a la mitad de tensiones del suministro. El drenador de potencia es de solo 24 miliwatios aplicando un suministro de 6 voltios, esto hace ideal el LM386 para la operación en baterías.

**Figura 41** Diagrama de LM386.



**Fuente:** (ESPINOZA, 2012)

El amplificador operacional está compuesto por un circuito de entra diferencial, en el diagrama anterior se aprecian los dos transistores que forman el amplificador diferencial y también las entras para el control de ganancia.

En el diagrama anterior esta vendría hacer nuestra etapa de acondicionamiento por la forma de configuración, está en modo amplificación de la señal, ya que una salida de audio de un reproductor mp3 nos entrega una señal de 1mili voltio lo que no es ideal para la lectura del microcontrolador, lo que hace el LM386 es elevar para una buena lectura del microcontrolador, y con un par de componentes configurados en modo filtro pasa bajos, que vendrían ser R8 y C5 calculada para una frecuencia de corte de 10KHz para de esta forma evitar el aliasen.

$$F_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

- Solo daremos la ecuación para calcular la frecuencia de corte, porque el tema central no es el desarrollo de un filtro pasivo.

#### **3.1.14. Programación y visualización de los resultados.**

La penúltima etapa de la que consta el sistema de control de leds y electrobombas al ritmo de una señal de audio. Es la etapa de programación. Esta atapa es muy importante porque es la parte de software en donde se dan las instrucciones para que:

- El ATMEGA328P realice la adquisición de la señal de entrada, la convierta en dígitos para luego realizar la FFT.
- Las salidas de todo el sistema van funcionando a nivel de frecuencias presente en ese mismo instante.

La metodología para desarrollar este programa de la FFT es por programación con el fin de bajar los costos en hardware y una fácil manipulación de la señal de audio.

Desarrollar pequeños bloques de programa que realicen la función determinada Posteriormente se unirán los programas o bloques de código.

### **3.1.15. Programación del ATMEGA328P.**

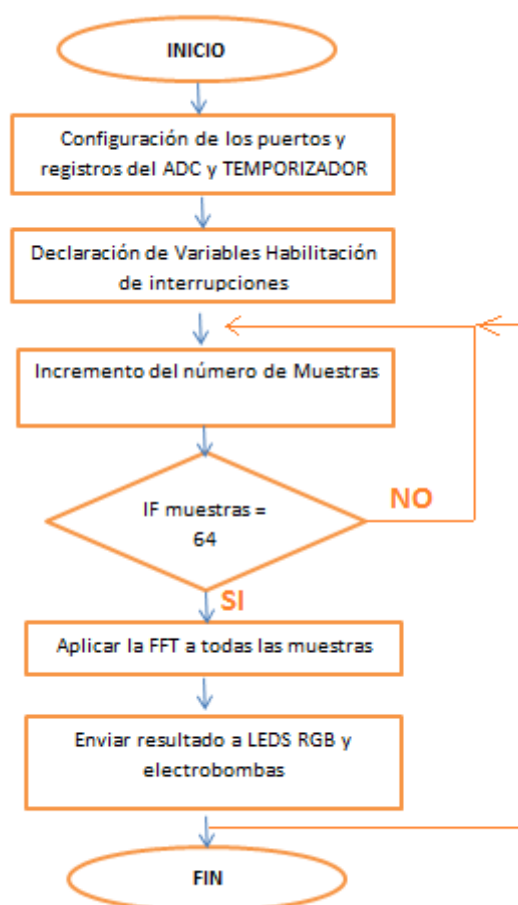
Este módulo corresponde a la programación del microcontrolador en lenguaje C el cual es un lenguaje de medio nivel. Para que el ATMEGA realice una función se debe de programar una serie de pasos secuencialmente. La forma más fácil de programar es utilizando un diagrama de flujo.

- Configuración de los puertos como entradas y salidas de CAD y puertos a utilizar.
- Adquisición de datos para esto debemos seleccionar el canal, la velocidad de conversión y el número de bits por medio del conversor analógico correspondiente al canal elegido.
- Proceder a tomar un numero de muestras para aplicar sobre ellas la FFT
- El resultado que sale de la FFT los enviaremos a la etapa de potencia logrando de esta forma un trabajo coordinado.

#### **3.1.15.1. Diagrama de flujo general.**

Todas estas acciones se encuentran dentro del programa principal cuyo diagrama de flujo es el que se muestra en la figura a continuación.



**Figura 42** Diagrama procesos de la fuente ornamental.

**Elaboración:** Investigadores

Como se muestra en el diagrama, lo primero que se realiza en esta acción es configurar el puerto A del microcontrolador para que actúen como entradas de las señales a adquirir todos los pines del mismo, luego se configura el puerto donde se enviarán los datos a los integrados WS2801, posteriormente se configura el CAD del microcontrolador. Seguidamente las interrupciones y para finalizar la velocidad del número de muestras por segundo esto se logra configurando el temporizador en modo CTC.

A continuación se muestra el programa en lenguaje C conteniendo las funciones para configurar el puerto ADC, y la subrutina de atención a la interrupción del temporizador

### 3.1.15.2. Atmel Studio V6.

Se realizara el programa en su propio compilador que nos proporciona la empresa Atmel es libre y gratuito para descargarlo solo es necesario registrarse en la página de Atmel.com

Avar studio incluye un simulador con el cual se puede visualizar el estado del microcontrolador durante la ejecución de un programa, entre las diversas opciones que ofrece el simulador nos centramos en la posibilidad de ejecutar instrucciones un programa y la posibilidad de ejecutar un programa hasta que llegue a una instrucción determinada.

### 3.1.15.3. Programación del microcontrolador.

El siguiente paso consiste en la programación con el programador USBASP V2, un microcontrolador Atmega328p en una placa o protoboard mediante sus pines SPI. USBasp está distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia GNU versión GPL. Además de que está construido con el AVR.

- Sus características:
  - ✓ Compatible con Linux, Mac Os y Windows Xp, Vista y W7
  - ✓ Velocidad de programación arriba de 5KBytes/Seg.
  - ✓ Opción SCK para soportar dispositivos con velocidades de reloj menores a 1.5Mhz
  - ✓ No requiere de alimentación externa (no se recomienda programar dispositivos con la demanda de corriente)

### 3.1.16. Formas de control en Alta potencia

Las electrobombas de alta potencia se basan en motores de corriente alterna en monofásico y trifásico, Las maneras para variar la velocidad en los motores AC es variando su frecuencia o aumentando o disminuyendo el número de polos. Por lo que

para proporcionar el mismo comportamiento de número de revoluciones – torque de la electrobomba, controlada por tensión de inducido, tiene que ser alimentados por una fuente de tensión trifásica o una fuente de corriente trifásica, cuya frecuencia y amplitud sean variables. Esta labor cumplida hoy en día por los convertidores de frecuencia electrónicos estática. La velocidad sincrónica de un motor de inducción esta dada por:

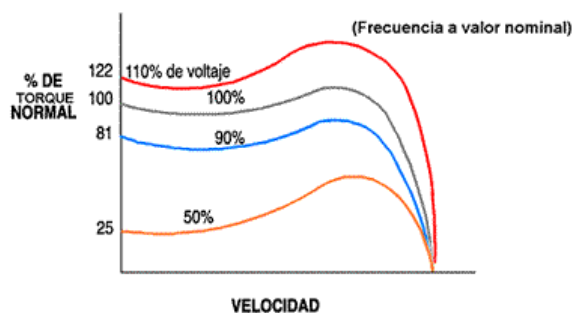
$$RPM = \frac{120f}{p}$$

Donde  $f$  es la frecuencia de la línea y  $p$  el número de polos, por lo tanto para variar la velocidad de un motor por inducción es por frecuencia o polos, sin embargo como la velocidad también varía aproximadamente proporcional al flujo de excitación por ende es directamente proporcional a la fuerza electro motriz inducida en cada devanado del estator.

### 3.1.16.1. Control por variación de voltaje.

Como en la siguiente figura se muestra el resultado de las características torque vs velocidad de un motor de inducción cuando la tensión aplicada a su armadura es variable, manteniendo la frecuencia constante.

**Figura 43** Variación del torque con voltaje variable



**Fuente:** (RUIZ, 2012)

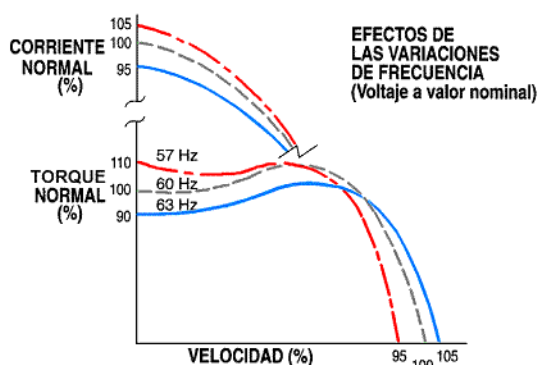
El par de motor de inducción bajo condiciones de arranque y de marcha varia con el cuadro de voltaje aplicado al primerio des estator. Para una carga determinada,

reduciendo el voltaje de línea se reducirá el par con el cuadrado de la reducción del voltaje de línea, y la reducción del par producirá un incremento del deslizamiento. Aun que reducir el voltaje de línea y el par como método de incrementar el deslizamiento servirá para controlar la velocidad hasta cierto grado en motores monofásicos de fase partida, particularmente, y en motores de inducción pequeños. De esta forma queda claro que cuando la tensión de alimentación disminuye, el torque también disminuye este, esto hace que no sea aceptable si se desea controlar velocidad del motor.

### 3.1.16.2. Control por variación de Frecuencia.

En la siguiente figura se muestra torque vs velocidad de un motor de inducción para varias frecuencias de alimentación y tensión constante.

**Figura 44** Efecto de variaciones



**Fuente:** (RUIZ, 2012)

Si variamos la frecuencia eléctrica aplicada al estator de un motor de inducción, la velocidad de rotación de sus campos magnéticos cambiarán en proporción directa al cambio de la frecuencia eléctrica, sin embargo hay que tener en cuenta que el flujo magnético en el entre hierro es directamente proporcional a la fuerza electromotriz (f.e.m.) inducida en cada devanado del estator e inversamente a la frecuencia. Por consiguiente un reducción en la frecuencia de alimentación produce un aumento de flujo magnético, Para evitar la saturación del núcleo magnético debido al aumento de flujo,

deberá aumentar proporcionalmente la f.e.m. una de las formas es controlando la tensión de alimentación.

### 3.1.16.3. Control Escalar o Voltaje – Frecuencia.

Cuando se opera a velocidades inferiores a la velocidad base del motor es necesario reducir el voltaje aplicado a las terminales del estator para obtener una operación adecuada, el voltaje aplicado a las terminales del estator deberá disminuir linealmente con la disminución de la frecuencia en él. Este proceso se llama degradación, si esto no se hace, se saturara el acero del núcleo del motor de inducción y fluirán corrientes de magnetización excesivas en la maquinaria.

**Figura 45** Variador de Frecuencia.



**Fuente:** (JARAMILLO, 2012)

De los tres métodos de control vistos, solamente el último es viable cuando se desea torque en todo el rango de variación de velocidad. Sin embargo el precio de un variador de velocidad está por encima de los parámetros estimados para esta investigación, por lo que optamos por la baja potencia.

### 3.1.17. Programa del sistema de control de piletas al ritmo de una melodía musical.

- Desarrollado en Atmel Studio 6 para microcontrolador ATMEGA328P. para un oscilador externo de 20Mhz.

**Figura 46** Declaración de vectores.

```

* Created: 05/06/2015 01:14:31 p.m.
* Author: washin
*/

#include <avr/io.h>
#define F_CPU 2000000UL
#include <stdio.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <math.h>
#include "fft.h"

#define USART_BAUDRATE 9600
#define UBRR_VALUE (((F_CPU / (USART_BAUDRATE * 16UL))) - 1)
#define NUM_MUESTRAS 64 // magnitud de la FFT, hasta N/2

short imaginaryNumbers[NUM_MUESTRAS];
short realNumbers[NUM_MUESTRAS];
uint8_t i, j;

```

**Elaboración:** Investigadores.

- Primero se define la velocidad del cristal y posteriormente se incluyen las cabeceras como los pines GPIO del microcontrolador y seguidamente de la directiva de interrupciones y como puedes observar se declara la magnitud de la FFT y también se declaran las variables en array o cadena.

**Figura 47** Funciones

```

void init_timer0();
void init_adc();
void USART_init(void);
unsigned char USART_receive(void);
void USART_send( unsigned char data);
void USART_putstring(char* StringPtr);

unsigned int adc_read(char channel);
int ADCRead(unsigned char canal) ;
char String[]="Hello world!!";

```

**Elaboración:** Investigadores

- Esta imagen se observa las declaraciones de las funciones como inicializar los temporizadores y el módulo ADC del microcontrolador.

**Figura 48** Iniciando temporizadores.

```
ISR(TIMER0_COMPA_vect)
{
    ADCSRA |= (1<<ADSC); // Iniciar conversión
    while(ADCSRA & (1<<ADSC)); // Esperar a que termine la conversión

    realNumbers[i] = ADC - 512; //Se hace la adquisición de las muestras,
    imaginaryNumbers[i++] = 0;
}
```

**Elaboración:** Investigadores

- Esta es la sub rutina que atiende la interrupción generada por el temporizador y es precisamente donde se adquieren las muestras y regulamos el dato adquirido con una resta de 512 para poner su parte negativa virtualmente

**Figura 49** Adquisición de muestras.

```
int main(void)
{
    cli();
    long int place, root; // variables para la funcion bit reversal
    DDRB = 0XFF;
    DDRC &= ~(1<<PC0);
    init_timer0();
    init_adc();
    //USART_init();
    PORTB =0;
    int16_t potval = 200;
    stdout=&usart0_str;
    sei();//Se habilita la lectura de muestras.

    while(1)
    {
```

**Elaboración:** Investigadores

- Programa principal donde inicializamos los puertos a utilizar u los correspondientes módulos como el ADC y el TEMPORIZADOR

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**



#### 4.1. Interpretación de resultados

En este capítulo se presentaran los detalles más importantes de la experimentación realizada así como los resultados obtenidos. Esto con el fin de que el lector tenga las herramientas necesarias para futuras implementaciones. Se ilustran las gráficas del espectro de Fourier obtenidas desde el microcontrolador, así como los circuitos desarrollados tomando en consideración las cuestiones planteadas en el capítulo anterior. De igual manera se comparan los resultados con los objetivos y las propuestas de la investigación, a fin de eliminar fallos en otras aplicaciones.

##### 4.1.1. Hardware.

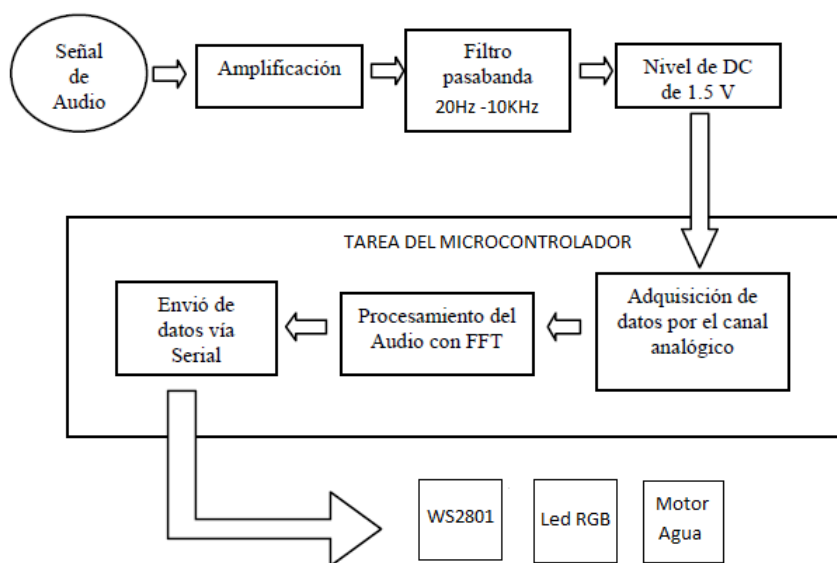
En el desarrollo se debió en dos etapas fundamentales, tal como se mencionó en el capítulo tres.

- Acondicionamiento de la señal.
- Procesamiento de audio en base a Transformada Rápida de Fourier en Tiempo Real.

Inicialmente se recibe la señal de audio la cual se va a tratar, esta señal entra directamente a la amplificación. Una vez que la señal fue amplificada pasa por el filtro pasa banda para eliminar ciertas frecuencias que se puedan mostrar como ruido y vibraciones y finalmente la señal de audio acondicionado entra directamente al uC, será adquirida por uno de los canales analógicos para posteriormente ser procesada por el código Fourier.

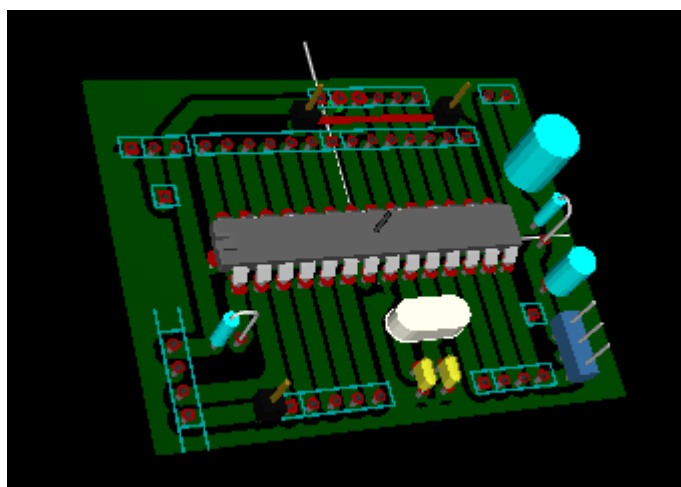
Una vez que la señal de audio es procesado por el algoritmo de Fourier analizamos los resultados y los enviamos para activar Leds y Minielectrobombas de agua. A continuación un diagrama de lo explicado anteriormente.

**Figura 50** Diagrama de control de procesos de la fuente ornamental.



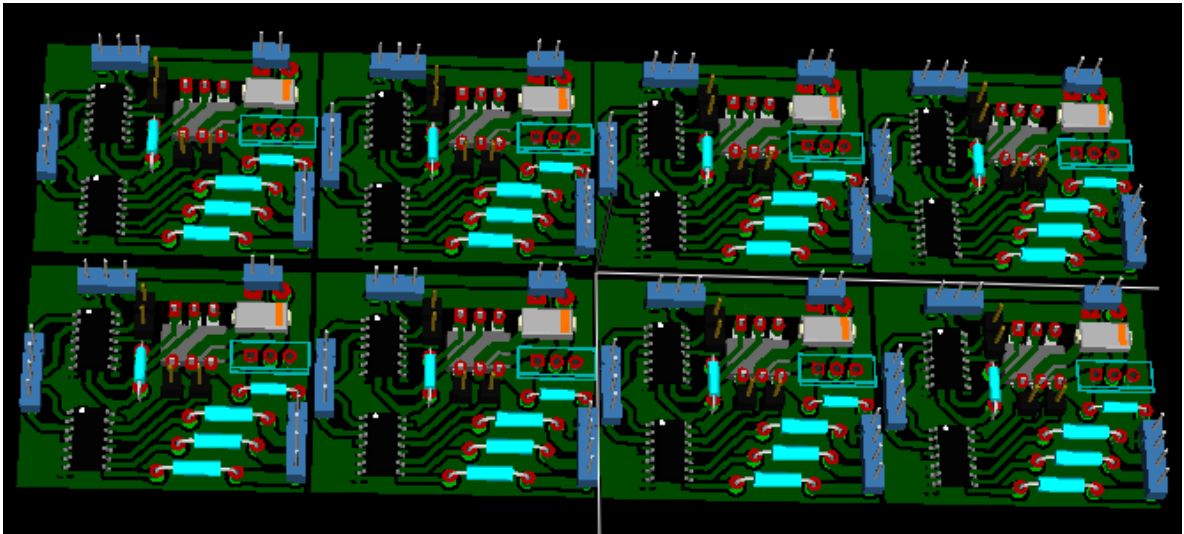
**Elaboración:** Investigadores

**Figura 51** Esquemático PBC del controlador, diseñado en KiCad.



**Elaboración:** Investigadores

**Figura 52** Controlador con WS2801 para control de motores y Leds.

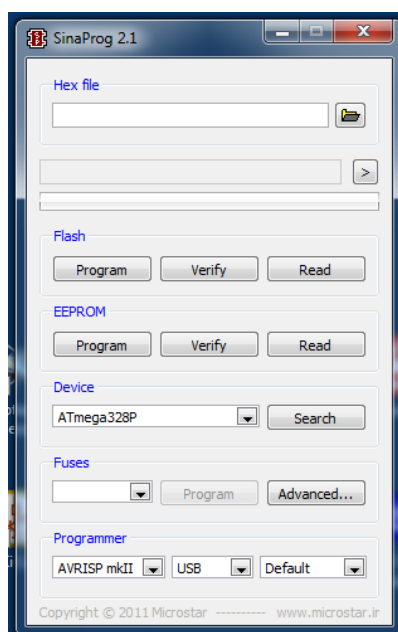


**Elaboración:** Investigadores

#### 4.1.2. Software.

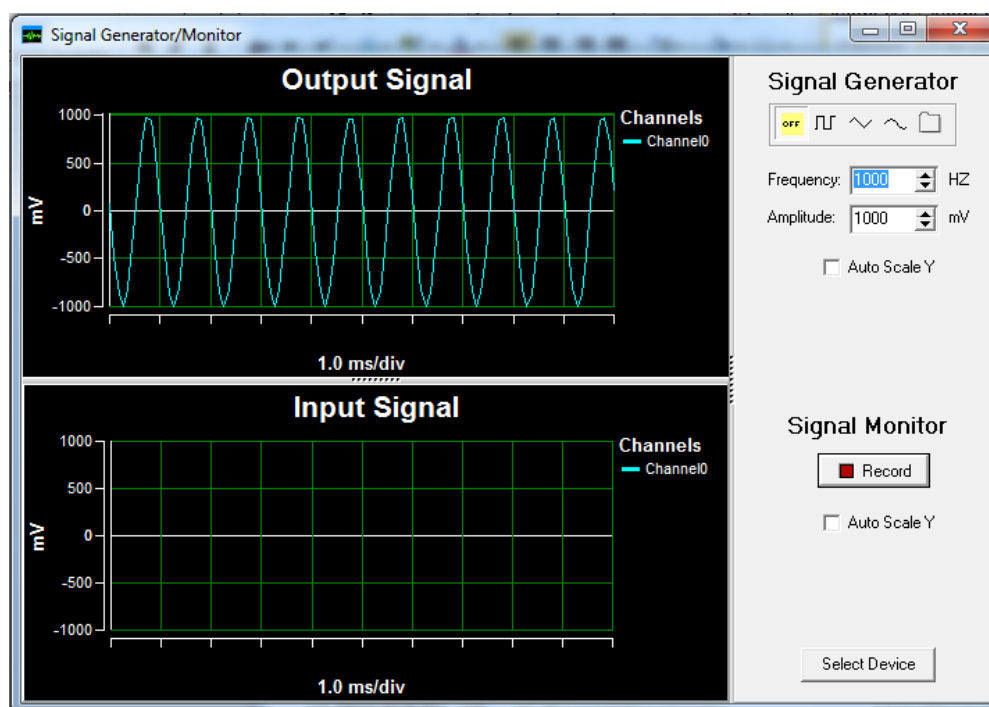
Se ha utilizado el mismo IDE del fabricante lo cual es gratuito Atmel Studio 6.2, además de un generador de tonos este software lo podemos descargar del internet, necesario para hacer pruebas de la transformada rápida de Fourier, también hay que tener presente el grabador de microcontrolador juntamente con sus drivers y su software, en esta investigación se utilizó el SinaProg este soporta varios microcontroladores de la familia atmel.

**Figura 53** Software grabador de microcontroladores Atmel.



**Elaboración:** Investigadores

**Figura 54** Software de generador de tonos.



**Elaboración:** Investigadores

#### 4.1.3. Cálculos matemáticos de potencia eléctrica

Estos cálculos se basan en el consumo de corriente de las mini electrobombas y los leds para elegir adecuadamente los mosfets de una potencia con un margen de 10% de tolerancia, y además estos cálculos se utilizan para elegir la fuente de alimentación con esas características en potencia y armónicos.

- Características mini electrobombas BLD:
  - ✓ Temperatura de Operación: 0 – 75°C
  - ✓ Consumo de Potencia: 4.2W
  - ✓ Voltaje de operación: 12V
  - ✓ Consumo de Corriente: 350mA
  - ✓ Protección : IP68

Como se puede observar en las características la potencia que demanda no pasa los 5w, sin embargo al utilizar 8 minielectrobombas esto queda de la siguiente manera:

$$P_t = P_u(8)$$

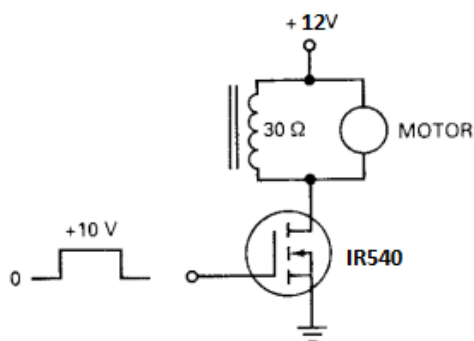
$$P_t = 4.2W(8) = 33.6W$$

Siendo  $P_t$ : la potencia total de consumo de los 8 minielectrobombas y  $P_u$ : potencia unitaria por cada motor según hoja de datos del fabricante, la hoja de datos del motor BLD se pondrán en los anexos de esta investigación.

Mosfet como interruptor: sabemos que si en un mosfet la tensión entre la puerta y la fuente es menor que la tensión umbral  $V_{gs} < V_t$ , el transistor está cortado; entre los terminales de fuente el drenador existe un circuito abierto, ya que la corriente a través de ellos es nula. Sin embargo, cuando  $V_{gs}$  es mayor que  $V_t$  se crea el canal, y esta puede llegar a aproximarse a un cortocircuito. Así, el mosfet es capaz de funcionar como un interruptor.

El mosfet operara en las regiones de saturación y corte los cálculos para hallar la resistencia Rg.

**Figura 55** Control electrobomba con mosfet



**Elaboración:** Investigadores

$$I_d = \frac{12V}{30\Omega} = 0.4A$$

$$I_d = \frac{12V}{30\Omega + 0.2\Omega} = 0.3A$$

El cual coincide con la hoja de datos del mosfet irf540 para la operación en modo saturación y corte. La tensión de puerta es a 12V mediante una resistencia de 4.7k para evitar sobre calentamientos del mosfet.

- Calculo de corriente de puerta para saturar el mosfet irf540 :

$$I_g = \frac{12V}{4.7K\Omega + 0.2\Omega} = 0.025A$$

Calculo de corriente de los Leds RGB, cada led consume 75mA. Como son 8 leds utilizados para cada tobera

$$I_t = 8(75mA) = \mathbf{600mA}$$

Considerando todos estos cálculos se optó por el mosfet irf540 dado que este tiene la capacidad de soportar una corriente máxima de 20A suficientemente buena para las

mini electrobombas y a la vez los leds RGB, la potencia total consumida por la mini fuente ornamental.

$$Potencia\ Total = Potencia\ Motor + Potencia\ Led$$

$$PT = 4.2(8)W + 600mA(3.2)(8)$$

$$PT = 33.6W + 15.36W$$

$$PT = 48.96W$$

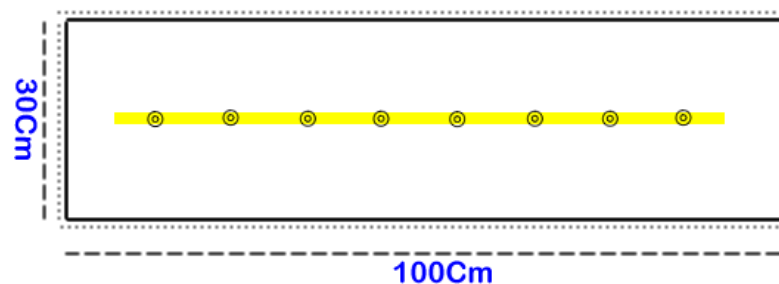
Siendo PT la potencia total consumida, la fuente de PC tomada para nuestra investigación nos entrega una potencia máxima 100W, se puede observar que los márgenes cubren los requisitos de los objetivos planteados al principio de la investigación, es un sistema con una potencia de consumo por debajo de los 60W.

#### 4.1.4. Cálculos de volumen y litros de agua en la fuente ornamental.

La fuente consta de las siguientes medidas y características:

- Perímetro de la base de la fuente ornamental

**Figura 56** Perímetro de la fuente



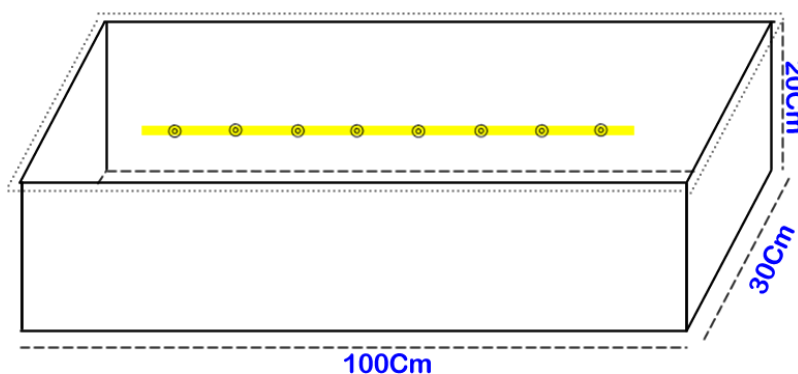
**Elaboración:** Investigadores

$$Perimetro = 30 + 100 + 30 + 100$$

$$Perimetro = 260cm$$

- Volumen total de base de la fuente ornamental

**Figura 57** Volumen total de la fuente ornamental



**Elaboración:** Investigadores

$$Volumen = BxAxH$$

$$Volumen = 100x30x20$$

$$Volumen = 60.000Cm^3$$

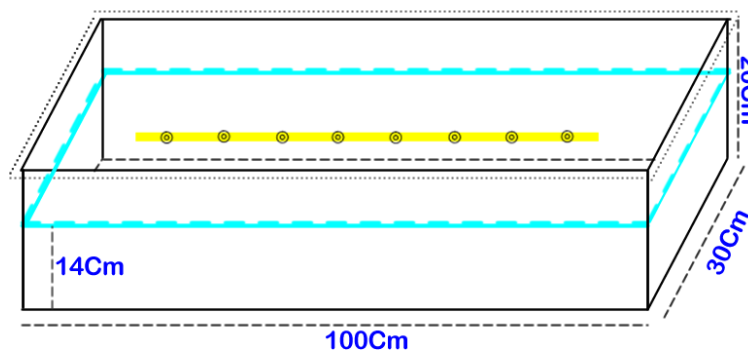
- Convertir a litros ( $1L = 1000Cm^3$ )

$$L = \frac{60000}{1000}$$

$$L = 60litros$$

- Volumen del total de agua de la fuente ornamental

**Figura 58** Volumen de agua de la fuente ornamental



**Elaboración:** Investigadores

$$V = BxAxH$$

$$V = 100x30x14$$



$$V = 42.000\text{Cm}^3$$

Convertir a litros **1L = 1000Cm<sup>3</sup>**

$$L = \frac{42000}{1000}$$

$$L = 42 \text{ litros (de agua necesarios)}$$

## CONCLUSIONES

PRIMERA: A lo largo de toda la redacción de esta investigación se intentó mostrar un panorama de lo que se necesita para el desarrollo del proyecto, para que el lector pueda familiarizarse con los elementos que se necesitan para el desarrollo del proyecto de fuentes ornamentales al ritmo de una melodía musical. .Determinar los dispositivos y materiales adecuados para el diseño del controlador y actuadores para la pileta ornamental.

Los dispositivos se seleccionaron de acuerdo a la necesidad para llevar a cabo la investigación y su implementación. Un microcontrolador con la capacidad de ejecutar 20 millones de instrucciones por segundo incluyendo a las instrucciones de operaciones de multiplicación además de tener un módulo conversor análogo digital con atenuación de ruido todo esto en un atmega328p de la empresa Atmel.

LM386, operacionales ideales para trabajar con controladores de niveles lógicos ttls, con alta ganancia ideal para amplificar señales de audio.

WS2801, driver de 3 canales pwm con comunicación de dos hilos ideales para manejar leds rgb en cascada y de potencia.

Mini electrobombas BLD, con bajo ruido eléctrico y además de ser sumergible de un tamaño y peso ideal para la investigación. Mosfet y optocopladores para manejo de potencias en las mini electrobombas de agua y una buena aislación del controlador principal con el 4N25.

SEGUNDA: Realizar un análisis técnico y económico del diseño de las fuentes ornamentales para la viabilidad del producto.

Los circuitos trabajan con dos niveles de tensión, El microcontrolador es de niveles lógicos TTLS de la empresa Atmel con inmunidad a señales rf, además de ser bastante utilizados en las industrias como también el Amplificador operacional, la potencia

consumida por los mini electrobombas BLD es de 0.5W y de todo el sistema de 20Wattios, el ruido de sonido generado por los BLDs es de 15Db y la lúmenes generados por los leds son de 0.22 lm.

- **Económicamente:** dispositivos y microcontrolador utilizado con un bajo precio además de ser muy comerciales.es un precio de acuerdo al mercado local

N°	MATERIALES	CA NT.	PRE./UNIT	PRECIO SUB TOTAL
1	Microcontrolador	1	12 .00	12.00
2	LM386	1	3.00	3.00
3	WS2801 driver	16	4.00	64.00
4	4N25 optocopler	8	2.00	16.00
5	Mini electrobombas BLD	8	50.00	400.00
6	Mosfet	8	4.00	32.00
7	Grabador Atmel	1	31.00	31.00
8	Diodos Schotty	8	1.5.00	12.00
9	Mica	1	120.00	120.00
10	Aluminio	1	20.00	20.00
11	Silicona de pegar Vidrio	1	12.00	12.00
12	Vidrio de base	1	15.00	15.00
13	Fuente de poder de PC	1	75.00	75.00
14	Otros (placas, estaño, flux, cables, resistencias, condensadores y pintura.	1	90.00	90.00

- **Análisis técnico:** el proyecto de investigación a escala está de acuerdo al mercado ya que es aceptado por el usuario, también tiene un precio manejable al mercado local. Ya que cumple con ser un proyecto de un desenvolvimiento atractivo sincronizado con la música.

TERCERA: Desarrollar formas de control para los actuadores de alta y baja potencia.

- **Alta potencia:** Trabajando con motores DC de alta potencia y acoplándolo con caja de vacío para convertirlo en una electrobomba de potencia de esta manera podemos aprovechar toda la potencia que nos ofrecen los mosfet con sus respectivos filtros de reactancia.
- **Baja potencia:** Utilizando motores BLD de 12v y optocopladores conseguimos un control de estos motores por transistores Darlington o mosfet con puertas de disparo TTL, o una configuración en puente H para control total motores bld.

## RECOMENDACIONES

PRIMERA: Para una mayor resolución de la FFT realmente es necesaria de un DCP, de esta forma la cpu del micro controlador queda libre para otras tareas, las rutinas de la multiplicación y manejo de datos en flotante lo realiza el motor DCP del micro-controlador. Tener un micro controlador con la capacidad de adquirir datos de unos 2Mbits por segundo esto hace que el procesamiento se acerque más al trabajo en tiempo real. Separar las tensiones de operación es decir la alimentación de los motores y leds tienen que tener una alimentación separada del circuito de control. De no separarlas los ruidos generados por los motores son filtrados dentro del circuito principal del control, generando reinicio del micro controlador.

SEGUNDA: Al trabajar con varios salidas pwm, no es conveniente sobrecargar al microcontrolador con tareas que puede hacerse exteriormente con circuitos integrados existentes en el mercado especializados en PWM(modulación de ancho de pulso), en este proyecto de investigación se utilizó el circuito integrado WS2801.

Los motores dc son bastante ruidosos aparte de filtrar ruido por sus terminales que son muy perjudiciales para trabajar, se optó por los motores BLC (motores sin escobilla) son menos ruidosos y económicos a la vez. Otro punto perjudicial trabar con fuentes musicales es el agua, ya que los circuitos de no tener algún tipo de protección pueden alterar su funcionamiento, lo ideal es cubrir las etapas de control con silicona líquida, y para los buses de comunicación un tubo de agua.

TERCERA: Se obtuvo lo deseado con la FFT, sin embargo queda a criterio de usted se aumenta la capacidad del número de muestras por segundo, implicando utilizar un microcontrolador que incluya DCP. Esto aumentaría la resolución es decir veríamos las frecuencias con más apreciación. En la parte del software es necesario contar con el algoritmo de la FFT, este lo podemos descargar de una página que expenda códigos con

licencia GPL, para no tener problemas con el autor. Una vez tengamos la FFT, adaptarlos para un tipo de IDE de los microcontroladores es un poco trabajoso porque tienes que ver bien las variables en que extensión se encuentran originalmente y posteriormente pasarlos a la plataforma donde vas a trabajar.

**BIBLIOGRAFÍAS**

- ADRIAN, Sergio (2012). Procesamiento Digital de Audio. Ed Academia Española (Estados Unidos)
- BOLTAN, W (2001). Ingeniería de control. Ed II Alfa Omega (México)
- CHAUPRADE, Robert (1983). Control Electrónico de los Motores de Corriente Continua. Ed II Colección Ciencia Electrónica (Barcelona)
- DOMINGO, Biel (2004). Teoría de Control y diseño Electrónico Ed UPC Alfaomega (Catalunya)
- ESPINOSA, Felipe (2012). Los Microcontroladores AVR de ATMEL. Ed I Mixteca (México)
- HORACIO, Martin (2009). Análisis de Señales con las Transformadas de Fourier y Onditas. Ed I Inst. tec. Metropolitano (Medellín)
- MORENO, Ignacio (2010). Instrumentación Electrónica Filtros. Ed III I.T.I. (Burgo)
- JARAMILLO, Penélope (2012). Diseño de modelo de una pileta de agua danzante, utilizando un sistema de adquisición de datos y control audio rítmico. Ed I Ecuador (Riobamba)
- RUIZ, Marta (2012). Diseño y Análisis de Filtros en Procesamiento de Audio. Ed UOC (Catalunya)
- RAMIREZ, Robert (1984). Fundamentos y Conceptos de la FFT. Ed I Prentice hell PTR (Texas)
- SMITH, Carlos (1991). Control Automático de Procesos. Ed I Noriega (México)
- SAFE, Rain (2012). Ingeniería y Arquitectura de Agua. Ed lumiartecnia Internacional (Madrid)

## ANEXOS



## Anexo 1. Secuencia FFT ATMEL, programa del controlador

```

/*
 * FFT_ATMEL_PROGRAMA.c
 *
 * Created: 05/06/2015 01:14:31 p.m.
 * Author: washin
 */
#include <avr/io.h>
#define F_CPU 2000000UL
#include <stdio.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <math.h>

#define USART_BAUDRATE 9600
#define UBRR_VALUE (((F_CPU / (USART_BAUDRATE * 16UL))) - 1)
#define NUM_MUESTRAS 64 // magnitud de la FFT, hasta N/2

short imaginaryNumbers[NUM_MUESTRAS];
short realNumbers[NUM_MUESTRAS];
uint8_t i, j;

void init_timer0();
void init_adc();
void USART_init(void);
unsigned char USART_receive(void);
void USART_send( unsigned char data);
void USART_putstring(char* StringPtr);

unsigned int adc_read(char channel);
int ADCRead(unsigned char canal) ;
char String[]="FFT de 64 puntos !!";

ISR(TIMER0_COMPA_vect)
{
    ADCSRA |= (1<<ADSC); // Iniciar conversi3n
    while(ADCSRA & (1<<ADSC)); // Esperar a que termine la conversi3n

    realNumbers[i] = ADC - 512; //Se hace la adquisici3n de las muestras,
    imaginaryNumbers[i++] = 0;
}

```

```

ISR(TIMER0_COMPA_vect)
{
    ADCSRA |= (1<<ADSC);      // Iniciar conversi3n
    while(ADCSRA & (1<<ADSC)); // Esperar a que termine la conversi3n

    realNumbers[i] = ADC - 512; //Se hace la adquisici3n de las muestras,
    imaginaryNumbers[i++] = 0;
}

int USART0SendByte(char u8Data, FILE *stream)
{
    if(u8Data == '\n')
    {
        USART0SendByte('\r', stream);
    }
    //espera mientras el dato es transmitido
    while(!(UCSR0A&(1<<UDRE0))){};
    // dato a transmitir
    UDR0 = u8Data;
    return 0;
}
FILE usart0_str = FDEV_SETUP_STREAM(USART0SendByte, NULL, _FDEV_SETUP_WRITE);

int main(void)
{
    cli();
    long int place, root; // variables para la funci3n bit reversal
    DDRB = 0XFF;
    DDRC &= ~(1<<PC0);
    init_timer0();
    init_adc();
    //USART_init();
    PORTB =0;
    int16_t potval = 200;
    stdout=&usart0_str;
    sei();//Se habilita la lectura de muestras.
    //ASSR
    while(1)
    {

```

```
while(1)
{

    if( i == NUM_MUESTRAS)
    {
        cli();

        fix_fft(realNumbers, imaginaryNumbers, 6);

        for (int k=0; k < NUM_MUESTRAS/2; k++) // convirtiendo a enteros los numero imaginarios
        {                                     por el metodo de rais cuadrada
            realNumbers[k] = (realNumbers[k] * realNumbers[k] +
                imaginaryNumbers[k] * imaginaryNumbers[k]);

            place = 0x40000000;
            root = 0;

            if (realNumbers[k] >= 0) // nos aseguramos que no haya numeros negativos
            {
                while (place > realNumbers[k]) place = place >> 2;

                while (place)
                {
                    if (realNumbers[k] >= root + place)
                    {
                        realNumbers[k] -= root + place;
                        root += place * 2;
                    }
                    root = root >> 1;
                    place = place >> 2;
                }
                realNumbers[k] = root;
            }
        }
    }
}
```

```

void init_timer0()
{
    TCCR0A = _BV(WGM01); //modo ctc
    TCCR0B = _BV(CS01)|_BV(CS00); //preescaler Para una toma de muestras a 5.2KHz
    OCR0A = 28; // 28 ajuste muestreo 5.1KHz y 13 para 10.1KHz
    TIMSK0 = _BV(OCIE0A);
}

uint16_t ReadADC(uint8_t ADCchannel)
{
    //seleccionamos el canal del adc
    ADMUX = (ADMUX & 0xF0) | (ADCchannel & 0x07);
    //modo manual conversion
    ADCSRA |= (1<<ADSC);
    // espera mientras la conversion se completa
    while( ADCSRA & (1<<ADSC) );
    return ADC;
}

void init_adc()
{
    ADMUX |= (1<<REFS0)|(1<<MUX0); //voltaje de referencia adc
    ADCSRA |= (1<<ADPS1); // preescaler
    ADCSRA |= (1<<ADEN); //habilitamos adc;
    ADCSRB = 0x00; //modo manual
}

void USART_init(void){

    // ponemos la velocidad de BUDIOS
    UBRR0H = (uint8_t)(UBRR_VALUE>>8);
    UBRR0L = (uint8_t)UBRR_VALUE;
    // configuramos uart en modo 8 bits, no parity, 1 stop bit
    UCSR0C |= (1<<UCSZ01)|(1<<UCSZ00);
    //UCSR0C |= (3<<UCSZ00);
    //habilitamos transmision y recepcion
    UCSR0B |= (1<<RXEN0)|(1<<TXEN0);
}

```

```
unsigned char USART_receive(void){
    while(!(UCSR0A & (1<<RXC0)));
    return UDR0;
}

void USART_send( unsigned char data){
    while(!(UCSR0A & (1<<UDRE0)));
    UDR0 = data;
}

void USART_putstring(char* StringPtr){
    while(*StringPtr != 0x00){
        USART_send(*StringPtr);
        StringPtr++;}
}

/*unsigned int adc_read(char channel)
{
    ADMUX &= 0xF8;           //
    ADMUX |= channel;       // Seleccionar canal

    ADCSRA |= (1<<ADSC);    // Iniciar conversi3n

    while(ADCSRA & (1<<ADSC)); // Esperar a que termine la conversi3n

    return ADC;             // Retornar resultado de conversi3n
}*/
```

```
void fix_fft(short int fr[], short int fi[], short int m)
{ //optiene la fft a los datos adquiridos
  long int mr = 0, nn, i, j, l, k, istep, n;
  short int qr, qi, tr, ti, wr, wi;

  n = 1 << m;
  nn = n - 1;

  /* diesmato en tiempo - re-order data */
  for (m=1; m<=nn; ++m)
  {
    l = n;
    do
    {
      l >>= 1;
    } while (mr+l > nn);

    mr = (mr & (l-1)) + l;
    if (mr <= m) continue;

    tr = fr[m];
    fr[m] = fr[mr];
    fr[mr] = tr;
    ti = fi[m];
    fi[m] = fi[mr];
    fi[mr] = ti;
  }

  l = 1;
  k = LOG2_N_WAVE-1;
```

```
while (l < n)
{

    // Variables para multiplicar
    long int c;
    short int b;

    istep = 1 << 1;
    for (m=0; m<l; ++m)
    {
        j = m << k;
        /* 0 <= j < N_WAVE/2 */
        wr = Sinewave[j+N_WAVE/4];
        wi = -Sinewave[j];

        wr >>= 1;
        wi >>= 1;

        for (i=m; i<n; i+=istep)
        {
            j = i + 1;

            c = ((long int)wr * (long int)fr[j]);
            c = c >> 14;
            b = c & 0x01;
            tr = (c >> 1) + b;

            c = ((long int)wi * (long int)fi[j]);
            c = c >> 14;
            b = c & 0x01;
            tr = tr - ((c >> 1) + b);

            c = ((long int)wr * (long int)fi[j]);
            c = c >> 14;
            b = c & 0x01;
            ti = (c >> 1) + b;
```

```
tr = (c >> 1) + b;

c = ((long int)wi * (long int)fi[j]);
c = c >> 14;
b = c & 0x01;
tr = tr - ((c >> 1) + b);

c = ((long int)wr * (long int)fi[j]);
c = c >> 14;
b = c & 0x01;
ti = (c >> 1) + b;

c = ((long int)wi * (long int)fr[j]);
c = c >> 14;
b = c & 0x01;
ti = ti + ((c >> 1) + b);

qr = fr[i];
qi = fi[i];
qr >>= 1;
qi >>= 1;

fr[j] = qr - tr;
fi[j] = qi - ti;
fr[i] = qr + tr;
fi[i] = qi + ti;
    }
}

--k;
l = istep;
}
```



**Anexo 2:** Datasheet de mini electro bomba

- o Brand new and high quality.
  - o Brushless, permanent magnetic rotor.
  - o Super long working life(more than 30000 hours).
  - o Adopt high performance ceramic shaft.
  - o The axis is enclosed with static sealing, not dynamic, which can avoid leaking problems.
  - o Amphibious design.
  - o Submersible installation and entirely waterproof.
  - o low consumption.
  - o low noise(less than35db).
  - o Pump material: ABS.
  - o Condition of use: continuously.
  - o Fluids: Water, oil, gasoline, acid and alkali solution.
  - o Working temperature: 0 ~ 75°C.
  - o Power consumption: 4.2W.
- 
- o Rated voltage: 12V DC.
  - o Max rated current: 350mA.
  - o Max flow rate: 4L/MIN(1.06G/MIN).
  - o Max Head(lift height): 3M.
  - o Noise: <40dB(most 35dB).
  - o Water proof class: IP68(can be submersible installed).
  - o Life span: More than 30000hrs.
  - o Power supply: Solar panel, DC electric source, battery.
  - o Size: 5.5cm x 3.5cm x 4.5cm.

**Anexo 3: Maqueta de la fuente**

