



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES



## TEMA:

“Diseño y construcción de un prototipo de una pileta de agua danzante audio rítmica.”

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO.**

## AUTOR:

Luis Miguel Chamba Zhumi

## DIRECTOR DE TESIS:

1859

Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2018

## CERTIFICACIÓN

Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“Diseño y construcción de un prototipo de una pileta de agua danzante audio-rítmica”**, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánica, realizado por el señor egresado: Luis Miguel Chamba Zhumi, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja 21 de julio de 2017



.....  
Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo **LUIS MIGUEL CHAMBA ZHUMI**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:** .....  .....

**Cedula:** 1900516970

**Fecha:** 26 de Enero 2018

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo **LUIS MIGUEL CHAMBA ZHUMI**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA PILETA DE AGUA DANZANTE AUDIO-RÍTMICA”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintinueve días del mes de enero del dos mil dieciocho.

**Firma:** ..... 

**Autor:** Luis Miguel Chamba Zhumi

**Cedula:** 1900516970

**Dirección:** Los Operadores

**Correo electrónico:** [luismi83129@gmail.com](mailto:luismi83129@gmail.com)

**Teléfono:** 072110589

**Celular:** 0986545361

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de tesis:** Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

**Tribunal de grado:** Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta, Mg. Sc.

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc.

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.

## **PENSAMIENTO**

Si he visto más allá que otros hombres, es porque estoy apoyado de hombros de hombres de gigantes.

Isaac Newton

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedicó principalmente a Dios, por haberme dado la sabiduría, a mi madre que con sus buenos consejos me supo guiar por el camino del bien, del conocimiento y la ciencia, a mis hijos Miguel y Monserrat que son el pilar fundamental de mi vida, a mi amada esposa Geovanna y demás familiares que de una u otra forma colaboraron para poder cumplir con mi objetivo, a mis hermanos, tíos y todas aquellas personas que de alguna manera me dieron su aporte moral e intelectual.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más profundo agradecimiento primeramente a esta prestigiosa institución la Universidad Nacional de Loja y el Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, a todos los docentes que imparten el conocimiento en dicha institución, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente. De manera muy especial agradezco al Ing. Milton León quien con sus conocimientos y apoyo supo guiar el desarrollo de la presente tesis desde el inicio hasta su culminación.

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA .....	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR .....	IV
PENSAMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
SIMBOLOGÍA.....	XVI
1. TEMA.....	1
2. RESUMEN.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
4.1 CAPÍTULO I: PILETAS DE AGUA O FUENTES ORNAMENTALES.....	6
4.1.1 Piletas de agua .....	6
4.1.3 Descripción de circuito de agua.....	6
4.1.3.1 Circuito con bomba sumergible.....	7
4.1.4.2 Circuito con recirculación a través de bomba externa.....	7
4.1.4 Elementos que componen una piletas .....	8
4.1.4.1 Depósito de agua .....	8
4.1.4.2 Equipo y cámara o cuarto de bombeo .....	9
4.1.4.3 Alimentación de agua. ....	10
4.1.4.4 Impulsión del agua en la fuente.....	10
4.1.4.5 Tratamiento de agua en fuentes. ....	10
4.1.4.6 Tipos y características de las boquillas.....	11
4.1.5 El sonido y la música.....	12



4.1.5.1 El sonido .....	12
4.1.5.2 La música.....	13
4.1.5.3 El sonido en la música .....	13
4.1.5.4 Efectos de la música en la conducta humana .....	14
4.2 CAPÍTULO II: MECÁNICA DE FLUIDOS. ....	15
4.2.1 Introducción.....	15
4.2.2 Propiedades de los fluidos .....	15
4.2.2.1 Densidad específica o absoluta.....	15
4.2.2.2 Volumen específico .....	15
4.2.2.3 Peso específico .....	16
4.2.2.4 Viscosidad .....	16
4.2.2.5 Tensión superficial .....	17
4.2.2.6 Tensión de vapor .....	17
4.2.3 Accesorios hidráulicos en tuberías .....	18
4.2.3.1 Válvula de bola o esfera .....	18
4.2.4 Hidrostática.....	18
4.2.5 Hidrodinámica .....	18
4.2.5.1 Ecuación fundamental de la hidrodinámica o ecuación de Bernoulli. ...	19
4.2.5.2 Ecuación de continuidad del fluido incomprensible para un tubo de corriente .....	20
4.3.6 Hidráulica en tuberías .....	21
4.3.6.1 Definición de flujo.....	21
4.3.6.2 Flujo laminar .....	21
4.3.6.3 Flujo turbulento .....	22
4.3.6.4 Número de Reynolds .....	22
4.3.6.5 Tiro oblicuo en un chorro de agua.....	23
4.3.6.6 Teorema de Torricelli .....	24
4.3.7 Distribución de tuberías.....	25
4.3.7.1 Tuberías en serie.....	25
4.3.7.2 Tuberías en Paralelo .....	26
4.3.8 Pérdidas de cargas en tuberías .....	27
4.3.8.1 Pérdidas primarias .....	27
4.3.8.2 Perdidas secundarias.....	31
4.2 CAPÍTULO III: BOMBAS HIDRÁULICAS .....	34

4.2.1 Bomba hidráulica.....	34
4.2.2 Clasificación de las bombas .....	34
4.2.2.1 Bombas de desplazamiento positivo.....	34
4.2.2.2 Bombas roto-dinámicas o Centrífugas .....	37
4.2.3 Regulación de bombas centrífugas .....	40
4.2.4 Conceptos hidráulicos.....	42
4.2.4.1 Caudal .....	42
4.2.4.2. Presión .....	42
4.2.4.3 Altura manométrica total (Hman). .....	43
4.2.4.4 Parámetros clave de rendimiento de las bombas centrífugas .....	45
4.2.4.5 Potencia y eficiencia en una bomba .....	47
4.4 CAPÍTULO IV: SISTEMA DE CONTROL Y ACTUADORES. ....	48
4.4.1 Definición de control .....	48
4.4.2 Componentes para procesos automáticos: .....	48
4.4.2.1 Transmisores: .....	48
4.4.2.2 Medidas de Presión: .....	48
4.4.2.3 Medidas de caudal: .....	49
4.4.2.4 Medición de nivel: .....	49
4.4.2.5 Medidores de nivel de líquido: .....	49
4.4.3 Componentes electrónicos.....	50
4.4.3.1 Arduino.....	50
4.4.3.2 Arduino MEGA 2560 .....	50
4.4.3.3 Diodo Led RGB.....	53
4.4.3.4 Módulos de relés.....	54
4.4.3.5 Contactores .....	54
4.4.3.6. Puente H .....	55
4.4.4 Actuadores .....	56
4.4.4.1 Electroválvulas .....	56
4.4.3.2 Válvulas plásticas de control hidráulico/eléctrico .....	56
5.- MATERIALES Y MÉTODOS .....	58
5.1 MATERIALES Y HERRAMIENTAS .....	58
5.1.1 Materiales de oficina .....	58
5.1.2 Recursos Materiales.....	58

5.1.3 Materiales hidráulicos y eléctricos .....	58
5.1.4 Herramientas.....	58
5.2 MÉTODOS .....	59
6.- RESULTADOS.....	62
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO .....	62
6.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED HIDRÁULICA DEL PROTOTIPO .....	62
6.2.1 Selección del depósito de agua.....	62
6.2.2 Diseño de la estructura metálica.....	63
6.2.3 Diseño del diagrama isométrico y montaje de la red de tubería.....	63
6.2.4 Diseño del By-pass .....	66
6.2.5 Selección de la bomba en el circuito 1 .....	67
6.2.6 selección de la bomba en el circuito 2.....	78
6.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL CONTROL DEL AUDIO-RITMO Y EL FLUJO DE AGUA .....	90
6.3.1. Elementos .....	91
6.3.2 Programación de la tarjeta Arduino.....	98
6.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	102
6.4.1 Mecánicas e hidráulicas.....	102
6.4.2 Eléctricos y electrónicos.....	103
6.5 VALORACIÓN ECONÓMICA.....	105
7. DISCUSIÓN.....	109
8. CONCLUSIONES.....	111
9. RECOMENDACIONES .....	112
10. BIBLIOGRAFÍA .....	113
11. ANEXOS.....	117
ANEXO A: DIAGRAMAS, PLANOS Y CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO....	118
Anexo A1: Diagrama isométrico del circuito 1 y 2.....	118
Anexo A2: Diagrama de control y de fuerza.....	118
Anexo A3: Plano con vista superior, frontal, lateral derecha e isométrica. ....	118
Anexo A4: Código de programación de la tarjeta Arduino mega 2560 .....	119
ANEXO B: TABLAS Y ÁBACOS .....	122

Anexo B1: Coeficiente K para válvula esférica .....	122
ANEXO C: CURVAS, PRESTACIONES, PLACAS DE BOMBAS PK Y CP.....	127
ANEXO D: FOTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE PILETA.....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Piletas de agua audio-rítmica parque de la reserva. ....	6
Figura 2: Fuente simple con bomba sumergible.....	7
Figura 3: Fuente simple con rebosadero y bomba de pozo seco .....	8
Figura 4: Depósito de agua.....	9
Figura 5: Tratamiento de la fuente de agua .....	10
Figura 6: Boquillas y surtidores de uso frecuente. ....	11
Figura 7: propagación del sonido. ....	12
Figura 8: Representación gráfica del sonido. ....	12
Figura 9: Propiedades del sonido. ....	14
Figura 10: Válvula de bola. ....	18
Figura 11: Volumen de control.....	20
Figura 12: Flujo laminar y turbulento .....	22
Figura 13: Diagrama del movimiento de un proyectil lanzado con un ángulo de disparo. .....	24
Figura 14: Teorema de Torricelli. ....	25
Figura 15: Sistema de línea de tuberías en serie.....	25
Figura 16: Sistema de línea de tuberías en paralelo .....	26
Figura 17: Conducción que une los recipientes 1 y 2, con pérdidas primarias y secundarias.....	27
Figura 18: Diagrama de Moody. ....	30
Figura 19: Contracción gradual .....	32
Figura 20: Coeficiente de resistencia-contracción gradual.....	32
Figura 21: Pérdidas por fricción en una contracción repentina.....	33
Figura 22: Pérdidas por fricción en un codo de sección circular y radio $r$ .....	33
Figura 23: Bomba de agua.....	34
Figura 24: Bomba de engranaje.....	35
Figura 25: Elemento constitutivos de una bomba .....	38
Figura 26: Tubería de succión con bomba en aspiración. ....	39
Figura 27: Tubería de succión con bomba en carga. ....	40
Figura 28: Variación de velocidad .....	41
Figura 29: Regulación de bombas centrífugas, velocidad constante.....	42
Figura 30: Esquema de altura de impulsión. ....	44

Figura 31: Arduino MEGA 2560.....	52
Figura 32: Símbolo y componentes de un diodo Led RGB.....	53
Figura 33: Combinación de colores.....	53
Figura 34: Módulo de 4 relés opto acoplados.....	54
Figura 35: Contactor.....	55
Figura 36: Topología de un puente H.....	55
Figura 37: Puente H L298 Modulo.....	56
Figura 38: Electroválvula BERMAD.....	57
Figura 39: Croquis de la pileta de agua.....	59
Figura 40: Estructura de soporte.....	62
Figura 41: Estructura de soporte.....	63
Figura 42: Estructura de soporte.....	64
Figura 43: Distribución de chorros graficados en AutoCad.....	65
Figura 44: Estructura de soporte.....	65
Figura 45: Diseño de by-pass.....	66
Figura 46: Nodos en el punto E y C.....	69
Figura 47: Curva de la bomba y de la instalación.....	77
Figura 48: Curva de la bomba y de la instalación.....	88
Figura 49: Esquema de la pileta.....	90
Figura 50: Montaje del tablero de control.....	91
Figura 51: Transformador de 120VAC a 24VAC.....	92
Figura 52: Esquema de un módulo relé 5V 4 canales.....	93
Figura 53: Circuito de ON y OFF.....	94
Figura 54: Tira Led RGB 5050.....	94
Figura 55: Características del módulo puente H L298.....	95
Figura 56: Borneras Din.....	96
Figura 57: Interruptor ON/OFF (ojo de cangrejo).....	96
Figura 58: Luces de señalización del tablero de control.....	97
Figura 59: Montaje de los dispositivos electrónicos en el tablero.....	98
Figura 60: Ventana principal de Arduino.....	99
Figura 61: Representación gráfica de la señal de audio.....	100
Figura 62: Funciones digitales.....	101
Figura 63: Diseño de by-pass.....	102
Figura 64: Prueba de funcionamiento.....	103

Figura 65: Resultado final del prototipo.....	104
---	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas del agua a 1 Bar .....	17
Tabla 2: Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) de distintos materiales. ....	29
Tabla 3: Propiedades de la atmósfera .....	43
Tabla 4: Datos técnicos de la tarjeta Arduino Mega 2560 .....	51
Tabla 5: Datos técnicos de electroválvula BERMAD .....	57
Tabla 6: Sumatoria de coeficientes de pérdidas de accesorios hidráulicos, en cada tramo respectivo del circuito 1. ( <i>Véase anexo B4 y figura 21</i> ). El diagrama unifilar del mismo se encuentra en el <i>anexo A1</i> .....	71
Tabla 7: Sumatoria del coeficiente de pérdidas en cada uno de los tramos. ....	73
Tabla 8: Valores de caudal y altura manométrica de la instalación .....	76
Tabla 9: Sumatoria del coeficiente de pérdidas de los accesorios hidráulicos de la fuente, en cada tramo del circuito 2. ( <i>Véase anexo B4 y figura 21</i> ). El diagrama isométrico del mismo se encuentra en el <i>anexo A1</i> .....	80
Tabla 10: Respuestas del factor de fricción por cada tramo.....	83
Tabla 11: Sumatorias del coeficiente de pérdidas en cada uno de los tramos.....	84
Tabla 12: Valores de caudal y altura manométrica de la instalación cuando la electroválvula está completamente abierta .....	87
Tabla 13: Datos de placa de bombas .....	89
Tabla 14: Selección de calibre del conductor, fusible y disyuntor para el alimentador principal, así como para cada bomba.....	89
Tabla 15: División de la señal de audio para led RGB.....	101
Tabla 16: Valoración económica de herramientas. ....	105
Tabla 17: Valoración económica de material eléctrico e hidráulico. ....	106
Tabla 18: Valoración económica de material eléctrico y electrónico. ....	107
Tabla 19: Valoración económica de mano de obra. ....	107
Tabla 20: Valoración económica total.....	108
Tabla 21: Resultados obtenidos a través del cálculo .....	109

## **SIMBOLOGÍA**

$Zh_1$ :	Altura del chorro central en el circuito 1
$Zh_2$ :	Altura de los 4 chorros exteriores en el circuito 2
$D_{b1}$ :	Diámetro de la boquilla en el chorro central
$D_{b2}$ :	Diámetro de la boquilla en los 4 chorros exteriores
$N_b$ :	Número de boquillas
$Q_1$ :	Caudal en el circuito 1
$Q_2$ :	Caudal en el circuito 2
$\Sigma K$ :	Sumatoria del coeficiente de resistencia en los accesorios
$K$ :	Coficiente de resistencia
$L$ :	Longitud de la tubería
$D_T$ :	Diámetro en la tubería
$\rho$ :	Densidad del agua
$\mu$ :	Viscosidad dinámica del agua
$Re$ :	Número de Reynolds
$\varepsilon$ :	Rugosidad relativa
$\lambda$ :	Factor de fricción
$P_1$ :	Presión de entrada del agua
$P_2$ :	Presión de salida del agua
$V_1$ :	Velocidad de entrada del fluido
$V_2$ :	Velocidad de salida del fluido
$Z_1$ :	Altura de entrada del líquido
$Z_2$ :	Altura de salida del líquido
$H_m$ :	Altura manométrica
$h_f$ :	Pérdidas de carga primaria y secundaria
$h_{fp}$ :	Pérdidas primarias en la tubería
$h_{fs}$ :	Pérdidas secundarias del accesorio
$P_{atm}$ :	Presión atmosférica en la superficie del líquido en el tanque de aspiración.
$P_v$ :	Presión del vapor del líquido.
$Z$ :	Altura de aspiración.
$X_{max}$ :	Alcance máximo.
$Y_{max}$ :	Altura máxima en el chorro oblicuo.
$\theta$ :	Ángulo de inclinación de un chorro con referencia al eje horizontal



- $V_i$ : Velocidad inicial del fluido a la salida de la boquilla
- $A$ : Área de la sección transversal de la tubería
- $K_{boq}$ : Coeficiente de resistencia en las boquillas
- $I_{nom}$ : Intensidad nominal de la bomba
- $I_{cal}$ : Intensidad de calibre del conductor
- $B_1$ : Bomba número uno
- $B_2$ : Bomba número dos
- $N_1$ : Potencia de la red en la bomba
- $N_2$ : Potencia del motor o potencia de la bomba

## **1. TEMA**

“Diseño y construcción de un prototipo de una pileta de agua danzante audio-rítmica.”

## **2. RESUMEN**

El presente trabajo de tesis abarca el diseño y construcción de un prototipo de pileta de agua danzante audio rítmica, esta investigación pretende enfocar la ausencia de este tipo de piletas en nuestro medio y su futura aplicación.

A través de la literatura recabada sobre el objeto de estudio, se pudo analizar y seleccionar el tipo de pileta a construir, así como sus elementos mecánicos y electrónicos. Se selecciona una pileta de tipo dinámico, está compuesto por dos bombas, dos electroválvulas, un depósito para almacenamiento y recirculación de agua, instalación de tuberías, accesorios PVC y un tablero de control, está montado en una estructura tipo metálica.

A través de la metodología del diseño de redes hidráulicas se realizan los cálculos para determinar el caudal y altura manométrica, para luego dimensionar las bombas, las cuales alimentan dos circuitos. El circuito requiere una bomba de 0.5HP y consiste en un tramo octogonal, en cambio, el circuito dos consiste en 5 chorros centrales requiriendo una potencia de 1HP.

Posteriormente se trazan las curvas características tanto de la bomba como de la instalación y se encuentran los puntos óptimos de funcionamiento.

En la automatización se utiliza la tarjeta Arduino Mega 2560, la cual controla las bombas, el sistema de iluminación led RGB y las electroválvulas. Se hace uso del puente H L298 para las maniobras de iluminación ya que estas requieren de un flujo de corriente mayor al brindado por la tarjeta Arduino, así mismo se utiliza un módulo relé entre la Arduino y electroválvulas.

Dentro de la programación se propone que en base a una señal de audio (analógica) se diferencien rangos de la señal que se traducen de 0 a 1023 bits y de acuerdo a distintos rangos de estos valores se ordena las maniobras en los periféricos de salida. Produciendo como resultado un juego de aguas en los chorros y un juego de seis colores diferentes en la iluminación, al reproducir cualquier tipo de archivo mp3.

Por último se realizan pruebas de funcionamiento hidráulico y eléctrico en todos los elementos seleccionados, pudiendo verificar los resultados esperados, también se hace una valoración económica de todos los rubros que intervinieron en la construcción.

## **SUMMARY**

This thesis work includes the design and construction of a prototype of a rhythmic audio dancer pool, this research aims to focus on the absence of this type of pool in our environment and its future application.

Through the literature collected on the object of study, it was possible to analyze and select the type of pool to be built, as well as its mechanical and electronic elements. A pool of dynamic type is selected, it is composed of two pumps, two electro valves, a tank for storage and recirculation of water, installation of pipes, PVC accessories and a control board, it is mounted in a metallic type structure.

Through the methodology of hydraulic network design, calculations are made to determine the flow and gauge height, to then dimension the pumps, which feed two circuits. The circuit requires a pump of 0.5HP and consists of an octagonal section; however, circuit two consists of 5 central jets requiring a power of 1HP.

Subsequently, the characteristic curves of both the pump and the installation are drawn and the optimum operating points are found.

In the automation, the Arduino Mega 2560 card is used, which controls the pumps, the RGB led lighting system and the electro valves. The H L298 bridge is used for lighting maneuvers since these require a current flow greater than that provided by the Arduino board, and a relay module is used between the Arduino and solenoid valves.

Within the programming it is proposed that on the basis of an audio signal (analog), signal ranges that are translated from 0 to 1023 bits are differentiated and, according to different ranges of these values, the maneuvers in the output peripherals are ordered. Producing as a result a set of waters in the jets and a set of six different colors in the lighting, when playing any type of mp3 file.

Finally, hydraulic and electrical tests are carried out on all the selected elements, and the expected results can be verified. An economic valuation is also made of all the items that intervened in the construction.

### 3. INTRODUCCIÓN

Las fuentes danzantes hacen mover el agua al ritmo de la música y actualmente son unos de los espectáculos más demandados a nivel mundial, la conjugación de agua, luz y sonido ofrecen al observador un espectáculo que no deja a nadie indiferente. En el mundo existen circuitos de agua que son armonizados con música, principalmente en los países desarrollados tales como Estados Unidos y España.

En nuestro país la implementación de estos diseños es limitada, el sitio donde se observa unas cuantas de estas construcciones es en la ciudad de Guayaquil como: el malecón del salado, la avenida Barcelona entre otros; esto agrada a la población y causa en los observadores la ilusión de que el agua se mueve o toma efectos de acuerdo al sonido.

En nuestra ciudad y la institución serviría de mucho la investigación de estas fuentes, ya que contribuirá al avance tecnológico en estas áreas. El interés por realizar este tipo de implementación surge por la ausencia de estos prototipos en el medio y sobretodo en el AEIRNNR.

Esta investigación será de incidencia importante, ya que contribuirá a incentivar el emprendimiento de nuevas ideas a los estudiantes del área, este tipo de fuente musical está basada en la tarjeta Arduino Mega 2560 de código abierto necesaria para hacer bailar el agua al compás de la música.

La revisión de literatura comprende cuatro capítulos, que fueron fundamentales para el diseño de la pileta. El primer capítulo está relacionado con conceptos, descripciones y elementos que componen una pileta de agua. El segundo capítulo trata sobre la mecánica de fluidos, así como sus propiedades, la hidrodinámica y su ecuación fundamental ecuación de Bernoulli, hidráulica de tuberías, distribución y pérdidas de carga en tuberías. El capítulo tres se refiere al elemento de impulsión del fluido, las bombas, regulación de bombas centrifugas y sus conceptos hidráulicos. El último capítulo se refiere al sistema de control, actuadores y componentes electrónicos.

Para el desarrollo del presente trabajo de tesis se ha considerado los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo de una pileta de agua danzante audio-rítmica.

## Objetivos específicos

- Diseñar la red hidráulica de la pileta de agua danzante audio-rítmica.
- Diseñar un sistema de automatización capaz de controlar el audio-ritmo y el flujo del agua en el prototipo de pileta.
- Adquirir equipos y materiales para la construcción de la pileta de agua danzante audio-rítmica.
- Validar la operatividad de la pileta de agua danzante audio-rítmica mediante pruebas de funcionamiento

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 CAPÍTULO I: PILETAS DE AGUA O FUENTES ORNAMENTALES.

#### 4.1.1 Piletas de agua

Una fuente o pilón es un surtidor de agua, que como elemento arquitectónico suele estar situado en un espacio urbano con fines utilitarios, de confort ambiental o decorativo. Así, las fuentes se hallan en patios, jardines, plazas, o en lugares singulares de la ciudad, embelleciéndolos y resaltando su importancia.

El concepto de fuente ornamental es relativamente moderno. Podemos considerar a las fuentes de agua decorativas como vehículo de conocimiento en base a su diseño y ornamentación, como un aporte cultural al devenir más cotidiano de la ciudad.

Por medio de las fuentes y de los juegos de agua se puede estructurar un gran espacio, ordenándolo, centrándolo o dulcificándolo, haciéndolo más vivo y más habitable, ya sea en un jardín o en un entorno urbano. Las fuentes y los estanques para jardín forman parte de las soluciones urbanísticas que aportan belleza, riqueza y vitalidad al entorno. En la *figura 1* se muestra una pileta danzante del parque de la reserva, Lima, Perú (Fuentes Ornamentales, 2012)



**Figura 1: Piletas de agua audio-rítmica parque de la reserva.**

Fuente: ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parque\\_de\\_la\\_reserva2.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parque_de_la_reserva2.JPG))

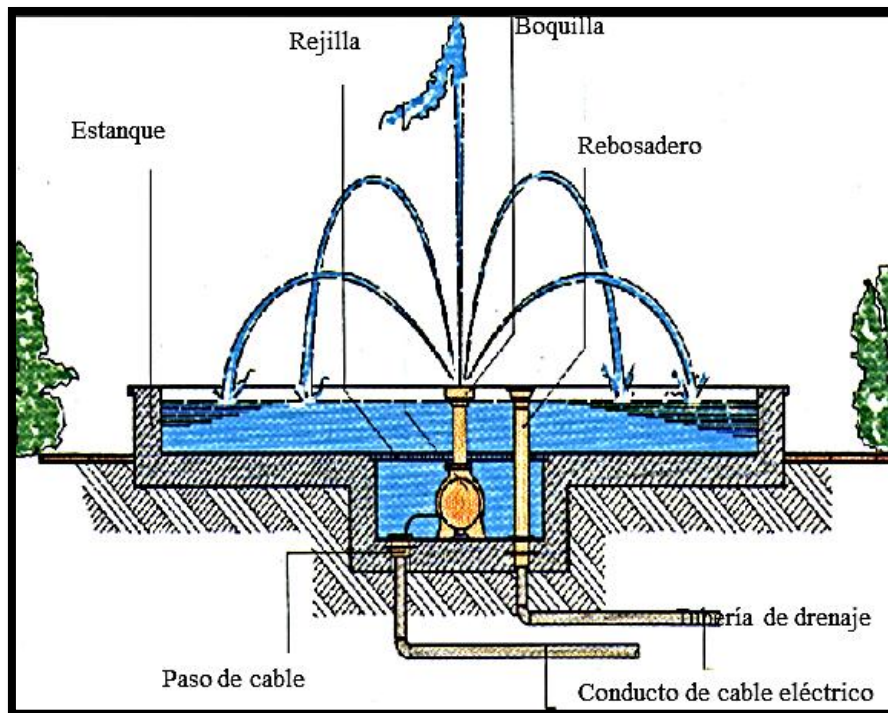
#### 4.1.3 Descripción de circuito de agua

El circuito como tal, puede ser un circuito sin recirculación donde todo el volumen de agua fluye constantemente, o bien un circuito donde el agua circula continuamente y existe un aporte periódico que compensa las pérdidas, en este último caso es más

frecuente y se puede encontrar dos tipos de instalación: circuito con bomba sumergible y Circuito con recirculación a través de bomba externa.

#### 4.1.3.1 Circuito con bomba sumergible

En este tipo de circuitos el agua se toma normalmente de un gran volumen acumulado y se impulsa al exterior. Del exterior cae de nuevo al volumen total de agua acumulada. Un esquema del circuito puede verse en la *figura 2*. (Fuentes Ornamentales, 2012)



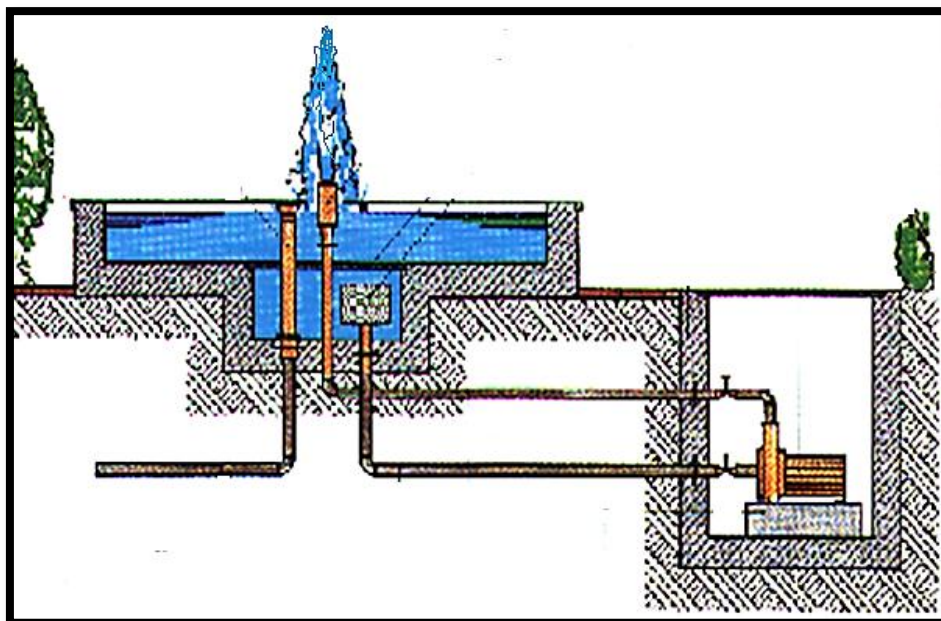
**Figura 2: Fuente simple con bomba sumergible**

Fuente: (González, 2012)

#### 4.1.4.2 Circuito con recirculación a través de bomba externa.

La *figura 3* muestra un circuito con un volumen de agua generalmente más reducido y se hace recircular continuamente en un circuito cerrado que puede aislarse y tratarse. (Fuentes Ornamentales, 2012).





**Figura 3: Fuente simple con rebosadero y bomba de pozo seco**

Fuente: (González, 2012)

#### **4.1.4 Elementos que componen una pileta**

Por lo general las fuentes disponen de un depósito de agua, un sistema de bombeo y una configuración de elementos tecnológicos y constructivos que posibilitan el movimiento continuo del agua. Los elementos tecnológicos se refieren a las boquillas que permiten las formaciones de los chorros en los tamaños y formas deseados. Los elementos constructivos son aquellos que configuran la fuente en el espacio visible y los que garantizan estructural y funcionalmente la obra como cimientos, pisos, paredes, etc. Es aconsejable en general que las fuentes dispongan de iluminación para crear una atracción en las horas nocturnas. (González, 2011)

##### **4.1.4.1 Depósito de agua**

Se debe disponer 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 los adecuados funcionamientos de las bombas. Los depósitos pueden disponerse visibles u ocultos a la vista, los visibles se conocen como estanques y se incorporan al diseño artístico de la obra. La **fig. 4** muestra un depósito de agua visible.

Se recomienda que los estanques, cuya única finalidad sea formar parte de una fuente que tenga profundidad mínima por razones de ahorro de agua y para evitar accidentes de menores. (González, 2011, pág. 15)



**Figura 4: Depósito de agua**

(Fuente: <http://www.saferain.com/es/blog/componentes-fuentes-ornamentales-parte-1-3.html>)

#### **4.1.4.2 Equipo y cámara o cuarto de bombeo**

El equipo de bombeo permite la circulación del agua, con la presión requerida, por los diferentes circuitos de una fuente. En una aplicación dada la bomba debe satisfacer el consumo mínimo de energía, máxima eficiencia y el costo de operación a largo plazo sea mínimo. Es necesario 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. Es importante considerar ciertos requerimientos esenciales para estas áreas:

- ✓ Estar lo más próximo posible a la fuente de agua para así reducir costos iniciales de la obra e instalación.
- ✓ Disponer de espacio requerido para reparación y mantenimiento.
- ✓ Estar impermeabilizados contra posibles filtraciones a través de techo, paredes y suelo.
- ✓ Disponer de drenaje para evitar inundaciones.
- ✓ Tener una adecuada aireación para la ventilación de las máquinas y reducir la humedad en su interior. (González, 2011, pág. 16)

#### 4.1.4.3 Alimentación de agua.

Es recomendable una instalación permanente con tubería de suministro de agua a partir del acueducto local, u otra fuente estable. La alimentación puede regularse con algún dispositivo de control de niveles del depósito de la fuente, de forma automática para compensar las pérdidas del líquido que se produzcan. (González, 2011, pág. 18)

#### 4.1.4.4 Impulsión del agua en la fuente

El sistema de impulsión consta de:

- ✓ Equipo de bombeo.
- ✓ Tubería de aspiración.
- ✓ Tubería de impulsión.
- ✓ Ductos de tuberías con boquillas.
- ✓ Distribuidores de agua.
- ✓ Válvulas de control y de cierre.
- ✓ Pases de muros anclajes de la tubería entre otros.

#### 4.1.4.5 Tratamiento de agua en fuentes.

El agua en las fuentes 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, (*figura 5*) por esta razón es importante la instalación de equipos que permitan reducir este impacto de manera que se pueda realizar una continua renovación del agua en las fuentes. (González, 2012)



**Figura 5: Tratamiento de la fuente de agua**

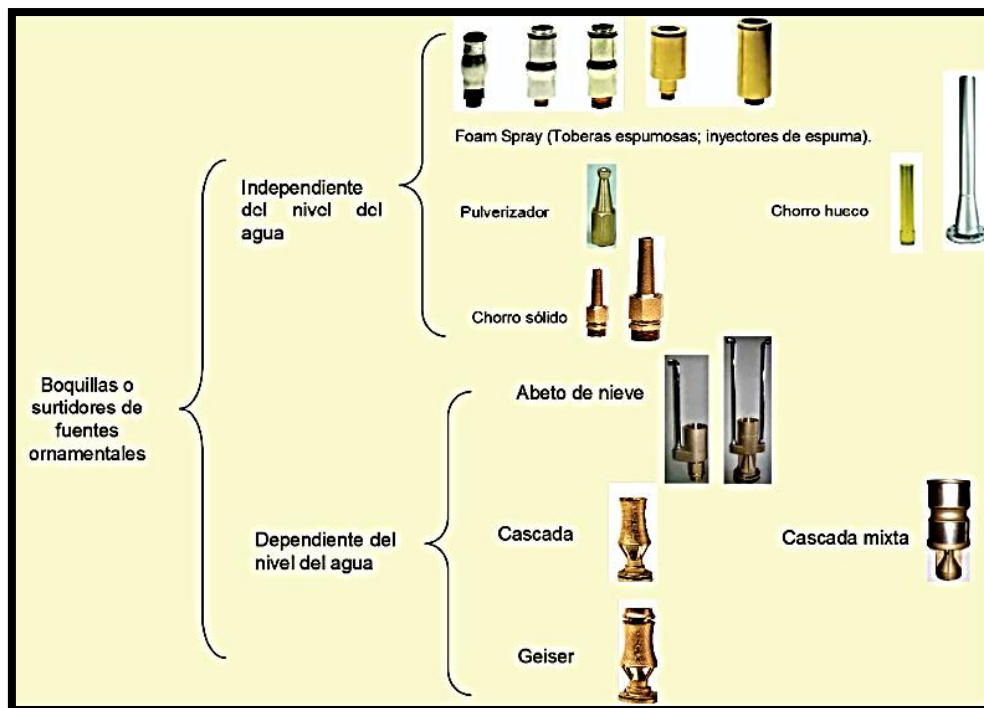
(Fuente: <http://www.saferain.com/es/blog/componentes-fuentes-ornamentales-parte-1-3.html>)

#### 4.1.4.6 Tipos y características de las boquillas.

Para la construcción de la fuente se utilizan las boquillas, por lo general se emplean en los “juegos de agua”, posibilita obtener, en diferentes gamas de diámetros y altura, 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.

La **figura 6** muestra numerosos tipos de boquillas para fuentes, las mismas que 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. (Jaramillo, 2013, pág. 30)



**Figura 6: Boquillas y surtidores de uso frecuente.**

Fuente: (González, 2012)

## 4.1.5 El sonido y la música

### 4.1.5.1 El sonido

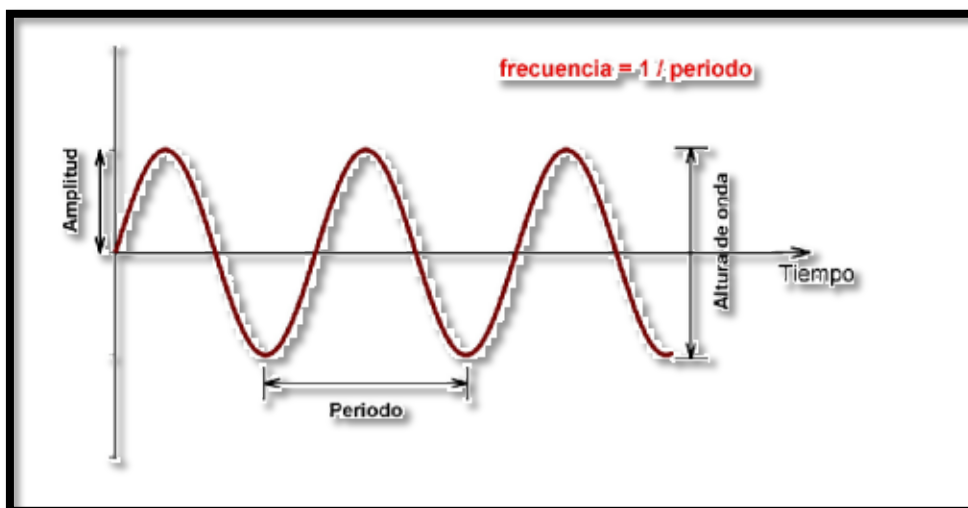
El sonido es un fenómeno físico que estimula el sentido del oído, también es conocido como la manera particular de sonar que tiene una determinada cosa. Las vibraciones que producen los cuerpos materiales al ser golpeados o rozados se transmiten por un medio elástico, como se muestra la **figura 7**, donde se propagan en forma de ondas y al llegar a nuestros oídos, producen la sensación sonora.



**Figura 7: propagación del sonido.**

Fuente: (Silenzi, 2015)

Un sonido se diferencia de otro por sus características de percepción, las cuales son su intensidad (fuerza con que se percibe), puede ser fuerte o débil; su tono (marca la frecuencia o número de vibraciones por segundo que produce el cuerpo que vibra), puede ser grave y agudo; y por último, su timbre (calidad que nos permite distinguir entre dos o más sonidos producidos por distintas fuentes sonoras). (Silenzi, 2015)



**Figura 8: Representación gráfica del sonido.**

Fuente: (Silenzi, 2015)

El sonido se transmite con facilidad a través del aire, pero se transmite mejor a través de los sólidos y los líquidos. En el vacío, no se transmite el sonido, ya que es necesario un medio material para la propagación de las vibraciones producidas. El hombre con su tecnología ha logrado la transmisión del sonido a grandes distancias, convirtiendo las ondas sonoras en ondas de radio que se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz y convirtiéndolas luego en sonido (sonidos de la radio y la televisión). Igualmente ha convertido el sonido en impulsos eléctricos, que son conducidos por cables hasta un aparato que los vuelve a transformar en sonidos (por ejemplo, el teléfono).

#### **4.1.5.2 La música**

La Música es un movimiento organizado de sonidos a través de un continuo de tiempo. La música desempeña un papel importante en todas las sociedades y existe en una gran cantidad de estilos, característicos de diferentes regiones geográficas o épocas históricas. (Ángel, 2011)

#### **4.1.5.3 El sonido en la música**

El sonido, en combinación con el silencio, es la materia prima de la música. En música los sonidos se clasifican 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. La **figura 9** muestra las propiedades del sonido en un mapa conceptual.



Figura 9: Propiedades del sonido.

Fuente: <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1MJH0FQZM-241RPC-1V1G/>

#### 4.1.5.4 Efectos de la música en la conducta humana

Los efectos de la música sobre el comportamiento han sido evidentes desde el comienzo de la humanidad. A lo largo de la historia, la vida del hombre ha estado complementada e influenciada por la música, a la que se le han atribuido una serie de funciones. La música ha sido y es un medio de expresión y comunicación no verbal, que debido a sus efectos emocionales y de motivación se ha utilizado como instrumento para manipular y controlar el comportamiento del grupo y del individuo.

La música facilita el establecimiento y la permanencia de las relaciones humanas, contribuyendo a la adaptación del individuo a su medio. Por otra parte, la música es un estímulo que enriquece el proceso sensorial, cognitivo (pensamiento, lenguaje, aprendizaje y memoria) y también enriquece los procesos motores, además de fomentar la creatividad y la disposición al cambio. Así, diversos tipos de música pueden reproducir diferentes estados de ánimo, que a su vez pueden repercutir en tareas psicomotoras y cognitivas. Todo ello depende de la actividad de nuestro sistema nervioso central. (Ángel, 2011)

## 4.2 CAPÍTULO II: MECÁNICA DE FLUIDOS.

### 4.2.1 Introducción

La mecánica de fluidos es la rama de la física que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio (hidrostática), y en movimiento (hidrodinámica). Los fluidos desempeñan un interés excepcional en la técnica y en primer lugar el agua y el aire: sin el estudio del primero no se puede dar un paso en la oceanografía, ingeniería naval, canalizaciones y conducciones hidráulicas, estructuras hidráulicas, aprovechamiento de la energía hidráulica, estaciones de bombeo, etc.: sin el estudio del segundo es imposible la aeronáutica, meteorología, refrigeración y aire acondicionado, control y transmisión neumática, aire comprimido, etc. En el estudio de la mecánica de fluidos intervienen tres magnitudes fundamentales que son: el kilogramo, el metro y el segundo; las restantes unidades son derivadas de estas tres. (Mataix, 1993, pág. 1)

### 4.2.2 Propiedades de los fluidos

#### 4.2.2.1 Densidad específica o absoluta

La densidad específica o densidad absoluta es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia. Su unidad en el Sistema Internacional es kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). (Mataix, 1993, pág. 14)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Donde.-  $\rho$ : densidad específica;  $m$ : masa en Kg;  $V$ : volumen en  $\text{m}^3$ , (*SI*)

La densidad absoluta es función de la temperatura y de la presión. La densidad del agua en función de la temperatura puede verse en la *tabla 1*.

#### 4.2.2.2 Volumen específico

Es el recíproco de la densidad absoluta, Su unidad en el SI es el  $\text{m}^3/\text{Kg}$ . (Mataix, pág. 19)

$$V_e = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Donde.-  $V_e$ : volumen específico;  $\rho$ : densidad, (*SI*)



### 4.2.2.3 Peso específico

Es el peso por unidad de volumen. Su unidad en el Sistema Internacional es Newton por metro cúbico (N/m<sup>3</sup>). Se representa con la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3)$$

Donde.-  $\gamma$ : peso específico;  $W$ : peso en Newton;  $V$ : volumen en m<sup>3</sup>, (SI)

### 4.2.2.4 Viscosidad

La viscosidad es la propiedad que determina la medida de la fluidez a determinadas temperaturas. A más viscoso menos fluye un fluido. Cuanto más viscoso es un fluido es más pastoso y menos se desliza por las paredes del recipiente. Podemos decir también que es la mayor o menor resistencia que ofrece un líquido para fluir libremente. A más resistencia a fluir más viscoso. (Ciencias, s/f)

#### Causas que originan la viscosidad:

En líquidos: cohesión molecular, la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura

En gases: intercambio de cantidad de movimiento, la viscosidad aumenta al aumentar la temperatura. (Calvo, s/f)

**Viscosidad dinámica ( $\mu$ ):** Representa la viscosidad dinámica del líquido y es medida por el tiempo en que tarda en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura.

**Viscosidad cinemática ( $\nu$ ):** (Mataix, 1993, pág. 24) En hidrodinámica intervienen junto con las fuerzas debidas a la viscosidad las fuerzas de inercia, que dependen de la densidad. Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (4)$$

Por eso tiene un significado importante la viscosidad dinámica referida a la densidad, o sea la relación de la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) y la densidad ( $\rho$ ), que se denomina viscosidad cinemática.

#### 4.2.2.5 Tensión superficial

En el interior de un líquido una molécula es atraída por todas las que le rodean (fuerzas de cohesión), de manera que el efecto total es nulo, pero en la superficie las fuerzas que atraen a las moléculas hacia abajo no pueden ser neutralizadas por las moléculas superiores porque no existen. Esto origina un estado de tensión en toda la superficie libre del líquido, denominado tensión superficial. (Yura, 2014, pág. 4)

#### 4.2.2.6 Tensión de vapor

En la superficie libre de un líquido a cualquier temperatura hay un constante movimiento de moléculas que escapan de dicha superficie, es decir, el líquido se evapora. Si el líquido se encuentra en un recipiente cerrado y sobre su superficie queda un espacio libre, este espacio se llega a saturar de vapor y ya no se evapora más líquido. Es decir todo fluido tiene para cada temperatura una presión llamada presión de saturación del vapor a esa temperatura; o lo que es lo mismo, a cada presión corresponde una temperatura llamada temperatura de saturación del vapor a esa presión. Esta propiedad es fundamental en el estudio de la cavitación. En la *tabla 1* se muestra la tensión de vapor a diferentes temperaturas y algunas propiedades físicas del agua. (Mataix, 1993, pág. 30)

Tabla 1: Propiedades físicas del agua a 1 Bar

Temperatura T (°C)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo elasticidad $K \cdot 10^{-9}$ (N/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica $\mu \cdot 10^3$ (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial $\sigma$ (N/m)	Presión de vapor $P_v$ kPa
0	999,8	1,98	1,781	1,785	0,0756	0,61
5	1000,0	2,05	1,518	1,519	0,0749	0,87
10	999,7	2,10	1,307	1,306	0,0742	1,23
15	999,1	2,15	1,139	1,140	0,0735	1,70
20	998,2	2,17	1,002	1,003	0,0728	2,34
25	997,0	2,22	0,890	0,893	0,0720	3,17
30	995,7	2,25	0,798	0,800	0,0712	4,24
40	992,2	2,28	0,653	0,658	0,0696	7,38
50	988,0	2,29	0,547	0,553	0,0679	12,33
60	983,2	2,28	0,466	0,474	0,0662	19,92
70	977,8	2,25	0,404	0,413	0,0644	31,16
80	971,8	2,20	0,354	0,364	0,0626	47,34
90	965,3	2,14	0,315	0,326	0,0608	70,10
100	958,4	2,07	0,282	0,294	0,0589	101,33

Fuente: (<http://www.uhu.es/inmaculada.pulido/docencia/PresentacionTema2.pdf>)

### 4.2.3 Accesorios hidráulicos en tuberías

#### 4.2.3.1 Válvula de bola o esfera

Una válvula de bola o válvula de esfera, es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada.

Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula.

Se emplean válvulas de bola, para controlar el flujo en los diferentes chorros, la *figura 10* muestra dos tipos de válvulas.



**Figura 10: Válvula de bola.**

Fuente: (<http://www.distribucionesrodriguez.mx/valvulas.php>)

#### 4.2.4 Hidrostática

Es la rama de la mecánica de fluidos que estudia los fluidos en estado de reposo, la base principal de la hidrostática son el principio de Pascal y el principio de Arquímedes, la hidrostática estudia fluidos en reposo tales como gases y líquidos. (Romeo, 2012)

#### 4.2.5 Hidrodinámica

La hidrodinámica estudia el movimiento de los fluidos incompresibles, para el estudio de la hidrodinámica normalmente se consideran tres aproximaciones importantes:

1. Que el fluido es un líquido incompresible, es decir, que su densidad no varía con el cambio de presión, a diferencia de lo que ocurre con los gases;

2. Se considera despreciable la pérdida de energía por la viscosidad, ya que se supone que un líquido es óptimo para fluir y esta pérdida es mucho menor comparándola con la inercia de su movimiento.
3. Se supone que el flujo de los líquidos es en régimen estable o estacionario, es decir, que la velocidad del líquido en un punto es independiente del tiempo. (Romeo, 2012)

#### 4.2.5.1 Ecuación fundamental de la hidrodinámica o ecuación de Bernoulli.

El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una corriente de agua. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido consta de tres componentes:

1. **Cinética:** es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.
2. **Potencial gravitacional:** es la energía debido a la altitud que un fluido posea.
3. **Energía de flujo:** es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

Esta ecuación se conoce como ecuación de Bernoulli. Al disminuir la sección transversal del tubo de corriente sin límites, Bernoulli establece que a lo largo de una línea de corriente la energía mecánica por unidad de masa se conserva. A lo largo de cualquier línea de corriente.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = Constante \quad (5)$$

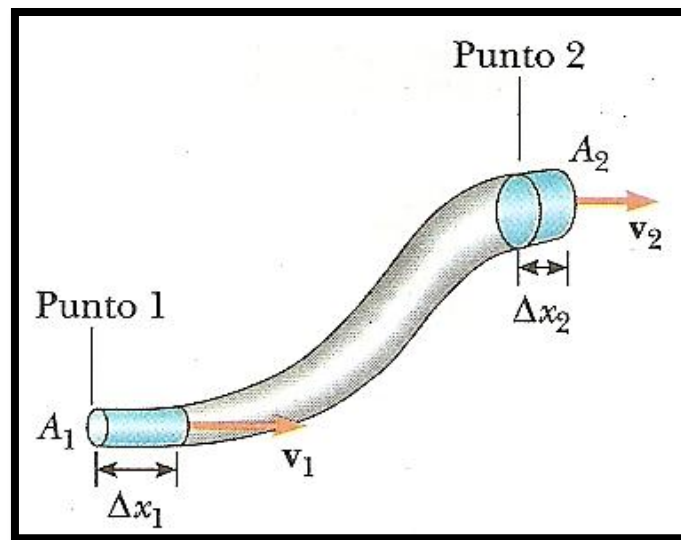
La constante puede tener un valor diferente para cada línea de corriente. Sin embargo, en muchos problemas puede deducirse que en algunas partes del flujo las líneas de corriente tienen la misma energía mecánica por unidad de masa, de manera que la energía mecánica por unidad de masa es constante en *cualquier* parte del flujo. La ecuación de Bernoulli puede presentarse de la siguiente forma:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (6)$$

Nótese que las dimensiones de cada expresión son  $L$  (longitud). De acuerdo con esto, los términos se conocen como *alturas*. Hay que recordar que se determinó la altura  $H$ , en relación con bombas cuando el fluido era un líquido. En la **ecuación 5** puede decirse que la suma de la altura de velocidad, la altura de presión y la altura de posición es constante a lo largo de una línea de corriente. (Shames, 1995, pág. 216)

#### 4.2.5.2 Ecuación de continuidad del fluido incomprensible para un tubo de corriente

(Valdez, 2013) La ecuación de continuidad no es más que un caso particular del principio de conservación de la masa. Se basa en que el caudal ( $Q$ ) del fluido ha de permanecer constante a lo largo de toda la conducción. Según (Farrás, 2012, pág. 5) el desarrollo consiste en elaborar la expresión que sintetiza la interpretación del Principio de Conservación de la Masa, aplicado ahora al volumen de control “Tubo de corriente **figura 11**” y teniendo en cuenta la variación del mismo en el tiempo, como consecuencia de la variación de masa en el recorrido.



**Figura 11: Volumen de control.**

Fuente: (Valdez, 2013)

Dado que el caudal es el producto de la superficie de una sección del conducto por la velocidad con que fluye el fluido, tendremos que en dos puntos de una misma tubería se debe cumplir que: (Valdez, 2013)

$$Q_1 = Q_2 = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (7)$$

Donde

$Q$ : es el caudal en la tubería

$A$ : es la superficie de las secciones transversales del conducto

$V$ : es la velocidad del flujo de la tubería.

#### **4.3.6 Hidráulica en tuberías**

Para explicar el flujo de este tipo de fluidos a través de tuberías se hace uso de las ecuaciones de conservación de cantidades físicas establecidas, lo que hoy en día se conoce como la física clásica. En particular se utilizan las ecuaciones de conservación de la masa o ecuación de continuidad, de conservación de la energía y de conservación del momentum lineal. Esta última, usualmente se expresa en términos de la segunda ley del movimiento de Newton. En la ecuación de conservación de la energía se debe hacer uso de un término que describa las pérdidas de energía ocasionadas por la fricción entre el fluido en movimiento y la pared interna de la tubería. Ese término se describe matemáticamente por medio de ecuaciones que se conocen con el nombre de ecuaciones de fricción o de resistencia fluida, que por lo general relacionan la energía que se pierde con el flujo en sí, representado por la velocidad media del fluido o el caudal que pasa a través de la tubería. (Saldarriaga, 2007)

##### **4.3.6.1 Definición de flujo**

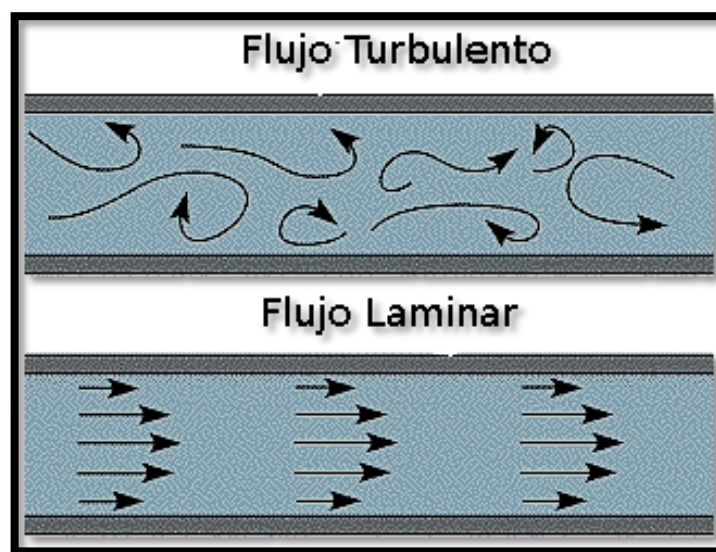
Desde el punto de vista de su comportamiento mecánico, un fluido es una sustancia que no puede resistir esfuerzo cortante. Si éste se presenta, el fluido se deforma y continúa deformándose mientras exista el esfuerzo cortante. En este proceso de deformación continua las diferentes partes del fluido cambian de posición relativa permanentemente, a la vez que tienen un movimiento relativo con respecto a un contorno sólido. Esta combinación de movimientos se conoce como flujo. Ejemplos de flujo son el movimiento del agua en el cauce de un río, el movimiento del agua subterránea a través del subsuelo y por supuesto, el movimiento de fluidos en el interior de tuberías. (Saldarriaga, 2007, pág. 2)

Los flujos en los que la viscosidad de un fluido no es despreciable pueden ser de dos tipos, laminares o turbulentos, ver *figura 12*. La diferencia básica entre los dos tipos de flujo fue drásticamente demostrada en 1883 por Osborne Reynolds (1842–1912), por medio de un experimento en que se inyectó un delgado chorro de tinta en medio del flujo de agua a través de un tubo transparente. (Gonzales, 2011)

**4.3.6.2 Flujo laminar:** Para tasas de flujo bajas, Reynolds observó que el flujo del chorro de tinta seguía un camino recto y definido, lo que indicaba que el fluido se había

trasladado en capas paralelas (láminas), sin movimientos de mezcla macroscópica entre las capas. (Gonzales, 2011)

**4.3.6.3 Flujo turbulento:** Al incrementarse el caudal más allá de un cierto valor crítico el chorro de tinta se observó que la misma se dividía conformando un movimiento irregular y extendido por toda la sección transversal del tubo, lo que indicaba la presencia en el fluido de movimientos macroscópicos de mezcla perpendicular a la dirección del flujo. Dicho movimiento del fluido con características caóticas se llama flujo turbulento. Reynolds demostró que la transición de flujo laminar a flujo turbulento siempre se produjo en un valor crítico fijo del parámetro llamado número de Reynolds. (Gonzales, 2011).



**Figura 12: Flujo laminar y turbulento**

Fuente: (Gonzales, 2011)

#### **4.3.6.4 Número de Reynolds**

El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido la fuerza viscosa. La fuerza de inercia se desarrolla a partir de la segunda ley del movimiento de Newton  $F = ma$ , la fuerza viscosa se relaciona con el producto del esfuerzo cortante por el área. Los flujos tienen números de Reynolds grandes debido a una velocidad elevada y/o una viscosidad baja, y tienden a ser turbulentos.

Aquellos fluidos con viscosidad alta y/o que se mueven a velocidades bajas, tendrán números de Reynolds bajos y tenderán a comportarse en forma laminar. (MOTT R. L., 2006, pág. 231)

Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías, encontramos que si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, este será laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo será turbulento. En el rango de números de Reynolds entre 2000 y 4000 es imposible predecir que flujo existe; por tanto, le denominaremos **región crítica**.

Se debe cumplir que: (MOTT R. L., 2006, pág. 232)

**Si  $Re < 2000$ , el flujo es laminar.**

**Si  $Re > 4000$ , el flujo es turbulento.**

Para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta, el número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (8)$$

Donde

$Re$ : Número de Reynolds.

$\rho$ : Densidad del fluido.

$D$ : Diámetro del conducto.

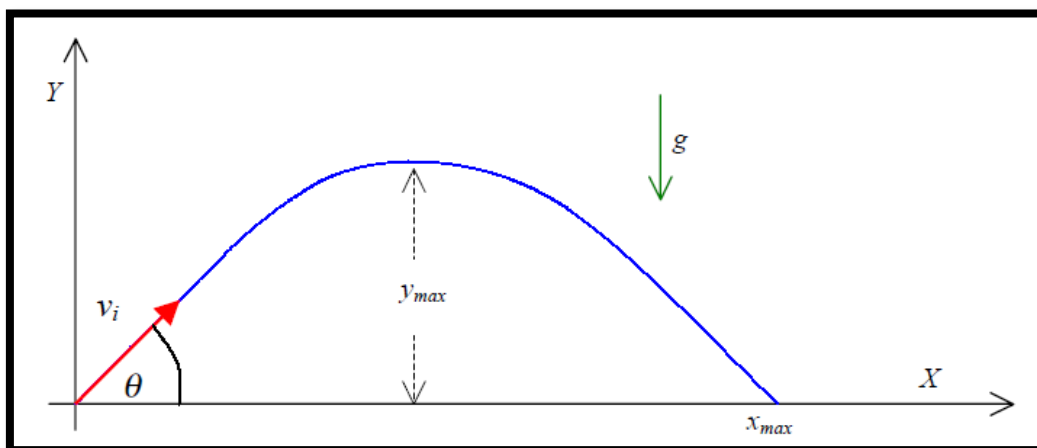
$V$ : Velocidad promedio en la sección del conducto.

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido.

$\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido.

#### 4.3.6.5 Tiro oblicuo en un chorro de agua

Según un estudio realizado de la cinemática de un chorro de agua, la **figura 13** indica que es posible describir la trayectoria del chorro usando las mismas ecuaciones que las de un tiro oblicuo, originalmente desarrolladas para un proyectil sólido. (Sour, 2005)





**Figura 13: Diagrama del movimiento de un proyectil lanzado con un ángulo de disparo.**

Fuente: (Sour, 2005, pág. 2)

El alcance máximo  $X_{max}$  del tiro corresponde cuando  $y = 0$ :

$$X_{max} = \text{sen}(2\theta) \frac{V_i^2}{g} \quad (9)$$

Vemos que  $X_{max}$  depende de la velocidad inicial y el ángulo de inclinación. La altura máxima  $y_{max}$  se alcanza a la mitad del tiempo total de vuelo. El tiempo total de vuelo, es el tiempo que el chorro tarda en llegar a su alcance máximo.

$$y_{max} = y \left( \frac{t_{vuelo}}{2} \right) = \frac{V_i^2}{2g} \text{sen}^2(\theta) \quad (10)$$

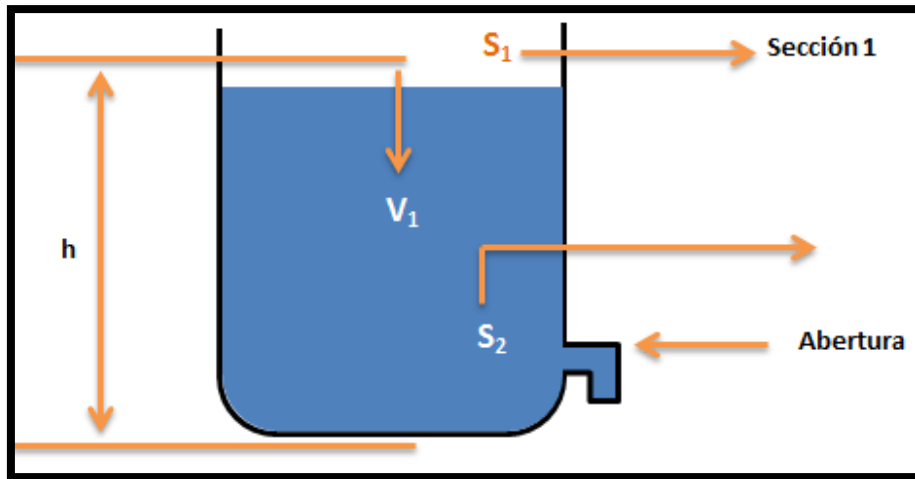
De las ecuaciones anteriores vemos que la velocidad inicial  $V_i$  puede conocerse a través del análisis de la trayectoria o de las mediciones de  $X_{max}$  e  $y_{max}$ .

#### **4.3.6.6 Teorema de Torricelli**

Según (Castelao, Academia.edu, 2015), este teorema es una aplicación del principio de Bernoulli, el cual va a estudiar el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio que está bajo la acción de la gravedad. Para el estudio de los fluidos se tienen que considerar entre otras cosas, la velocidad, la presión, el flujo y el gasto del fluido. También es necesario saber que el fluido es un líquido incomprensible, que es despreciable la pérdida de energía por viscosidad y que el flujo de los líquidos es en régimen estable, es decir, que su velocidad es en cierto punto, independiente del tiempo. Supongamos que existe un orificio en la pared de un tanque con fluido que tiene una presión interior. Por esta presión interior, en el orificio se producirá una descarga de agua, evidentemente, entre mayor sea el orificio, mayor será la descarga, y a mayor profundidad, mayor será su presión. La forma explícita es:

$$V = \sqrt{2gh} \quad (11)$$

Esta expresión puede obtenerse aplicando la ecuación de Bernoulli a dos puntos en la **figura 14**, uno de ellos colocado en la superficie libre del líquido y el otro en el orificio de salida.



**Figura 14: Teorema de Torricelli.**

Fuente: <https://camila1227.wordpress.com/segundo-corte/evangelista-torricelli/>

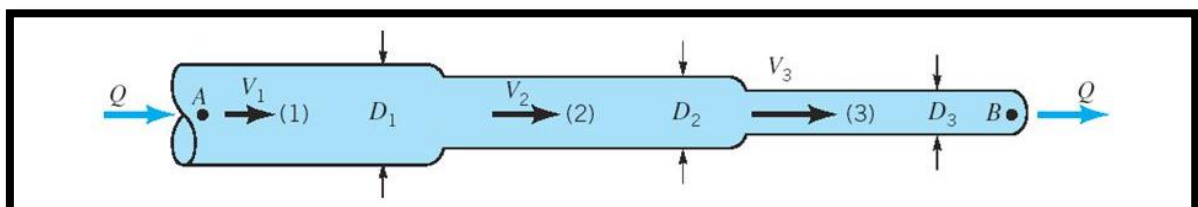
Debe considerarse además que el nivel del líquido en el recipiente prácticamente no disminuye. Es posible obtener una expresión para la velocidad de salida del líquido para el caso en el que el nivel dentro del recipiente baja con una velocidad no despreciable. (Castelao, Academia.edu, 2015)

#### 4.3.7 Distribución de tuberías

A pesar de ser simples, estos sistemas pueden presentarse en algunos casos de diseño o ampliación de redes de distribución de agua potable, en redes industriales y en redes matrices de sistemas de acueducto. Las tuberías en serie y paralelo son muy comunes en los sistemas de riego localizado de alta frecuencia.

##### 4.3.7.1 Tuberías en serie

Las tuberías en serie son dos o más tuberías diferentes colocadas una a continuación de la otra, las cuales pueden diferenciarse en los diámetros o en las rugosidades, es decir estar hechas de materiales diferentes., la **figura 15** describe lo enunciado anteriormente (Mataix, 1993, p. 255)



**Figura 15: Sistema de línea de tuberías en serie**

Fuente: (<http://slideplayer.es/slide/4186784/>)

El caudal (pero no la velocidad) es el mismo en cada tubería, y la pérdida de carga desde el punto A hasta el punto B es la suma de las pérdidas de carga en cada una de ellas.

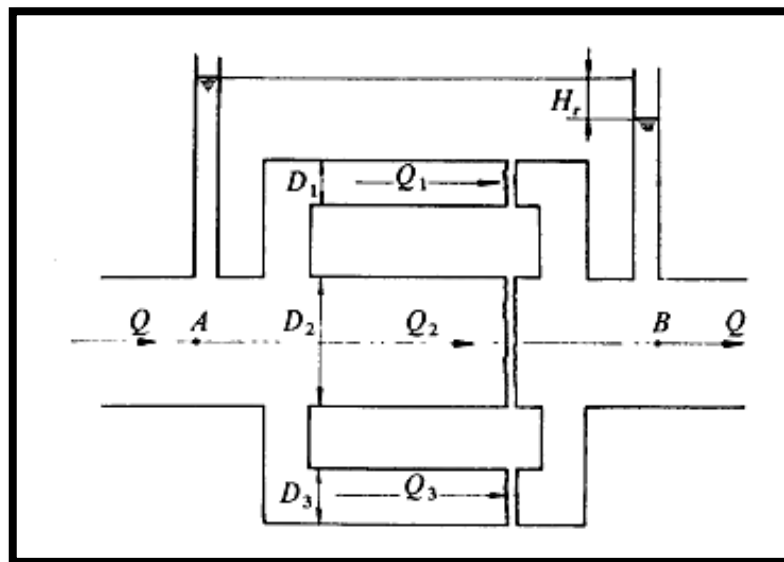
$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots \quad (12)$$

$$H_r = H_{r1} + H_{r2} + H_{r3} + \dots \quad (13)$$

$$V_1 D_1^2 = V_2 D_2^2 + V_3 D_3^2 + \dots \quad (14)$$

#### 4.3.7.2 Tuberías en Paralelo

Las tuberías en paralelo son un conjunto de tuberías que parten de un nodo común y llegan a otro nodo también común. En estos nodos, los caudales que pasan por cada una de las tuberías se unen, véase la *figura 16* (Saldarriaga, Juan, 1998, pág. 226)



**Figura 16: Sistema de línea de tuberías en paralelo**

Fuente: (Claudio Mataix, 1993, pág. 256)

En el caso de tuberías en paralelo se aplican las formulas siguientes:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \quad (15)$$

$$H_{r1} = H_{r2} = H_{r3} = \dots \quad (16)$$

### 4.3.8 Pérdidas de cargas en tuberías

Las pérdidas de carga (o pérdidas de energía) en tuberías son de dos tipos, primarias y secundarias. Consideremos el esquema de conducción representado en la **figura 17**, los tramos a-b, d-e, f-g, h-i, j-k y l-m. Son tramos rectos de tubería de sección constante, en todos estos tramos se origina pérdidas primarias. En los restantes tramos se originan pérdidas secundarias: así F es un filtro, F-a desagüe de depósito, b-c un codo, c-d un ensanchamiento brusco, e-f un codo, g-h un ensanchamiento brusco, i-j un estrechamiento brusco, k-l un medidor de caudal y m-n desagüe en un depósito. (Mataix, 1993, pág. 203)

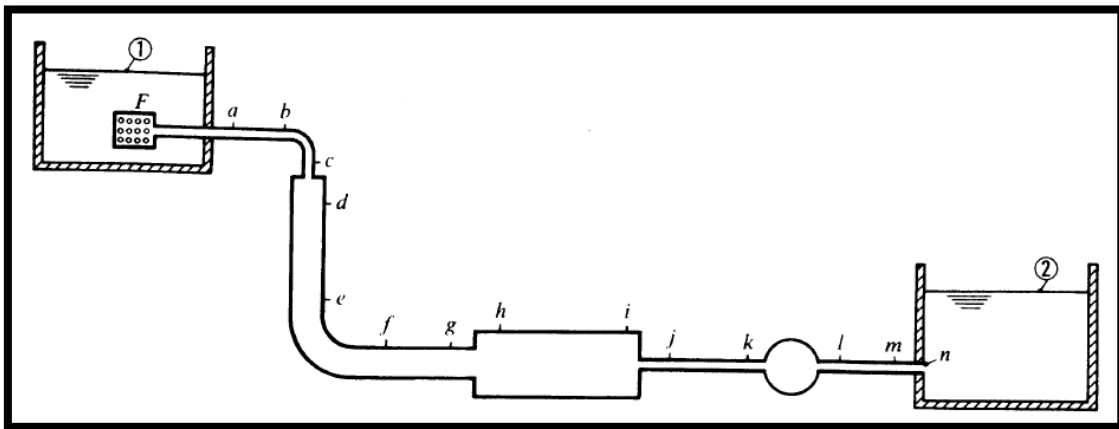
$$h_{f1-2} = h_{fp} + h_{fs} \quad (17)$$

**Donde:**

$h_{f1-2}$ : Pérdida total de carga entre los puntos 1 y 2

$h_{fp}$ : Suma de pérdidas primarias entre 1 y 2.

$h_{fs}$ : Suma de pérdidas secundarias entre 1 y 2.



**Figura 17:** Conducción que une los recipientes 1 y 2, con pérdidas primarias y secundarias.

Fuente: (Mataix, 1993, pág. 205)

#### 4.3.8.1 Pérdidas primarias

Las pérdidas primarias son las “pérdidas de superficie” en el contacto del fluido con la superficie (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme y por lo tanto, principalmente se producen en tramos de tuberías de sección constante. (Mataix, 1993, pág. 203)

Los manuales de hidráulica están llenos de tablas, curvas, ábacos, y nomogramas para el cálculo del término  $h_{f1-2}$ . Hay tablas por ejemplo que solo sirven para las tuberías de fundición. Otras tablas se han construido para utilizarlas únicamente para el agua. En estas tablas no se mencionan para nada la viscosidad porque es un factor constante en el flujo con agua; pero sería erróneo utilizar estas tablas cuando se trata de calcular las pérdidas de carga en un conducto de lubricación. Ya a fines del siglo pasado experimentos realizados con tubería de agua de diámetro constante, demostraron que la pérdida de carga era directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma. La fórmula fundamental que expresa lo siguiente es la Ecuación de Darcy-Weisbach: (Mataix, 1993, pág. 206).

Es importante establecer que esta ecuación predice las pérdidas debidas a la fricción fluida sobre la pared de la tubería y a los efectos de la viscosidad del fluido, no incluye las pérdidas menores en entradas, codos y otros accesorios. (Saldarriaga, 2007)

$$h_{fp} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g} \quad (18)$$

#### Donde

$h_{fp}$ : Pérdidas de carga primaria debido al flujo del fluido (m)

$\lambda$ : Factor de fricción (adimensional)

$L$ : Longitud de la tubería (m)

$D$ : Diámetro del conducto (m)

$V$ : Velocidad promedio en la sección del conducto (m/s)

$g$ : Aceleración gravitatoria ( $m/s^2$ ).

Esta ecuación también puede escribirse para obtener la pérdida de presión en  $N/m^2$  (pascal) sustituyendo las unidades correspondientes de la manera siguiente:

$$\Delta P = \frac{\rho \lambda L V^2}{2D} \quad (19)$$

Ya que

$$\Delta P = h_{fp} \rho g \quad (20)$$

De acuerdo a (CATALOGO, Master en automoción, 2012), esta fórmula es de uso universal para el cálculo de pérdidas de carga en conductos rectos y largos, tanto para flujo laminar como turbulento. La diferencia entre ambos tipos de flujo está en la

definición y evaluación del factor de fricción. Este es un parámetro adimensional que depende de la velocidad, el diámetro de tubería, las propiedades del fluido (densidad y viscosidad) y de la rugosidad de la superficie del conducto (la cual depende del tipo de material y del acabado del mismo).

Para determinar el factor de fricción existen diferentes opciones:

- Uso de correlaciones
- Utilización del Diagrama de Moody

Una vez se tenga certeza del régimen en el que está, se aplica alguna de estas expresiones:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{Para flujo laminar} \quad (21)$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Para flujo turbulento} \quad (22)$$

Los término  $\frac{D}{\epsilon}$ , hacen referencia a la rugosidad relativa, donde  $\epsilon$  es la rugosidad promedio de la pared del tubo. La ecuación para el flujo laminar se determina a partir de la ecuación de Hagen-Poiseuille (ciertas simplificaciones lo llevan a la ecuación de f para el flujo laminar). La ecuación para el flujo turbulento fue desarrollada por Swamee-Jain (Cruz, S/F, pág. 2)

Para flujos turbulentos (no altamente turbulentos), el factor de fricción depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa del conducto. En la **tabla 2** se muestran los datos de rugosidad absoluta de los materiales más empleados.

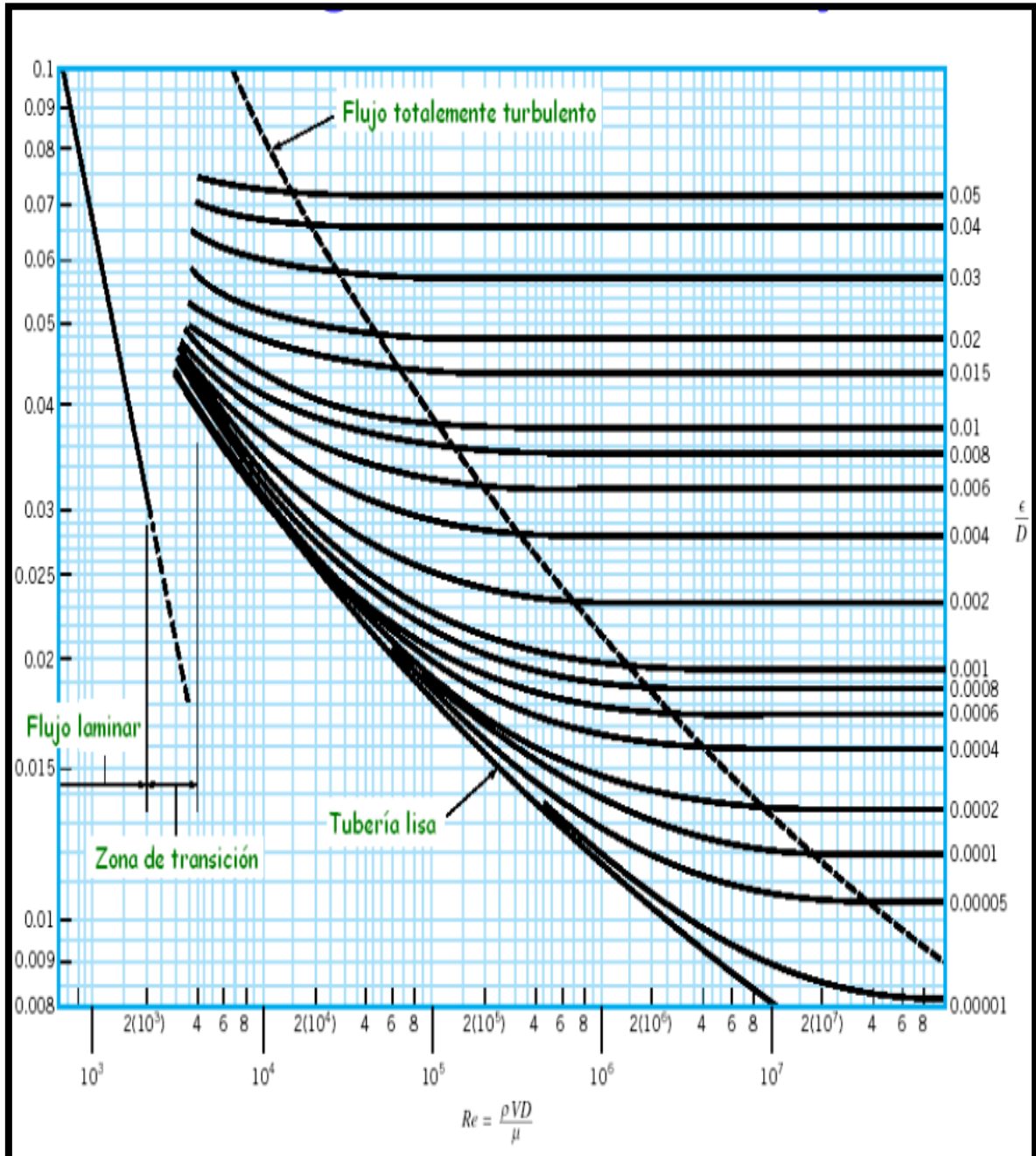
**Tabla 2: Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) de distintos materiales.**

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06 - 0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición asfaltada	0,12 - 0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03 - 0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03 - 0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06 - 0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18 - 0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3 - 3,0

Fuente: [https://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf](https://www.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf)

## Diagrama de Moody

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se presenta en la **figura 18**. El diagrama muestra la gráfica del factor de fricción *versus* el número de Reynolds ( $Re$ ), con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa. Estas curvas las generó L. F. Moody a partir de datos experimentales. (MOTT R. L., 2006, pág. 236)



**Figura 18: Diagrama de Moody.**

Fuente: (Wordpress, 2008, pág. 14)

#### 4.3.8.2 Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias son las “pérdidas de forma” que tienen lugar en las transiciones (estrechamiento o expansiones), en codos, válvulas y en toda clase de accesorios de tuberías. La fórmula básica que se emplea para dicho cálculo es la de Darcy-Weisbach.

$$h_{fp} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$$

En la cual se sustituye

$$\lambda \frac{L}{D}$$

Por un factor  $K$ , característico de cada accesorio, el cual se determina experimentalmente.

$$h_{fs} = K \frac{V^2}{2g} \quad (23)$$

**Dónde:**

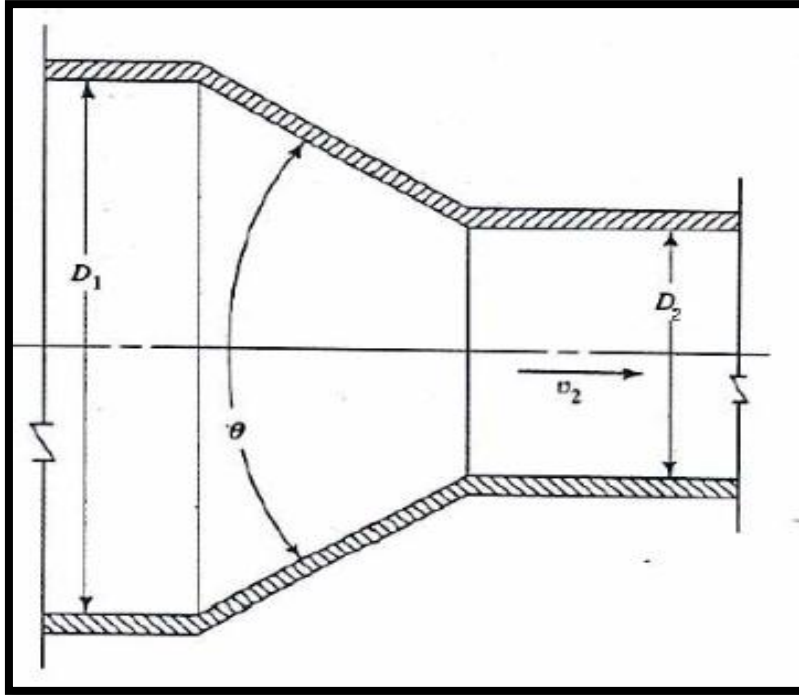
**V:** Velocidad promedio en la tubería, si se trata de codos, válvulas etc. Si se trata de un cambio de sección como contracciones o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor.

**K:** Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria

El coeficiente  $K$  depende del tipo de accesorio que se pretende utilizar, estos pueden ser (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas y toda clase de accesorios de tubería.

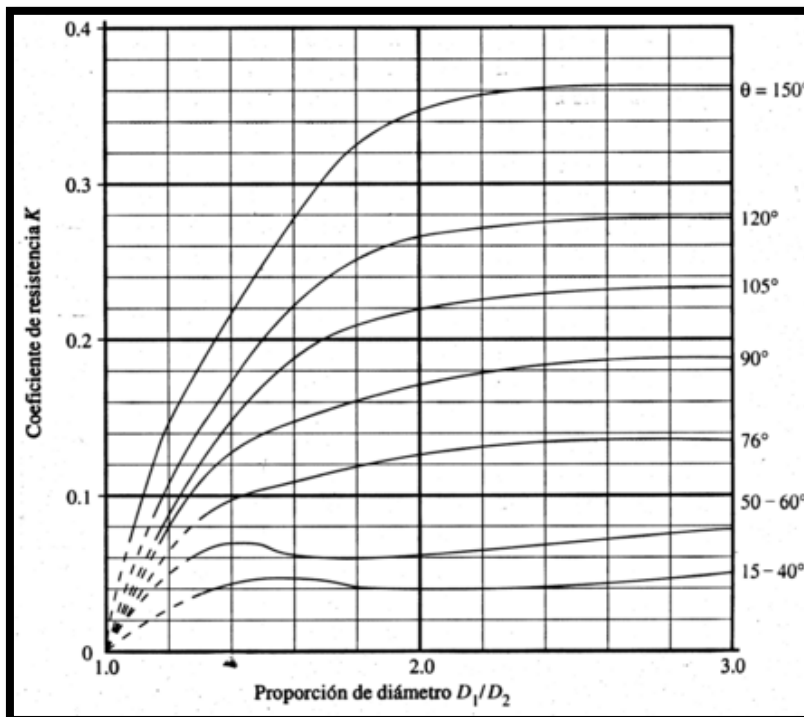
**Contracción gradual:** La pérdida de energía en una contracción puede disminuirse sustancialmente haciendo la contracción más gradual. La *figura 19* muestra una contracción de este tipo, formada mediante una sección cónica entre los dos diámetros con cambios abruptos en las juntas. La *figura 20* muestra los datos para el coeficiente de resistencia contra la porción de diámetro para varios valores del ángulo del cono. (MOTT R. L., 1996, pág. 276)





**Figura 19: Contracción gradual**

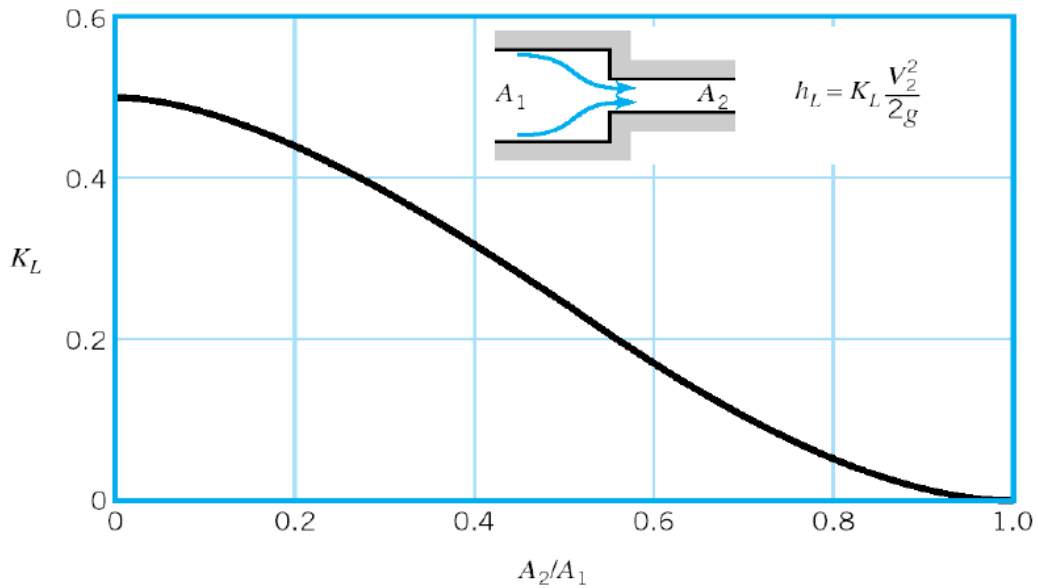
Fuente: (MOTT R. L., 1996, pág. 277)”



**Figura 20: Coeficiente de resistencia-contracción gradual**

Fuente: (MOTT R. L., pág. 277)

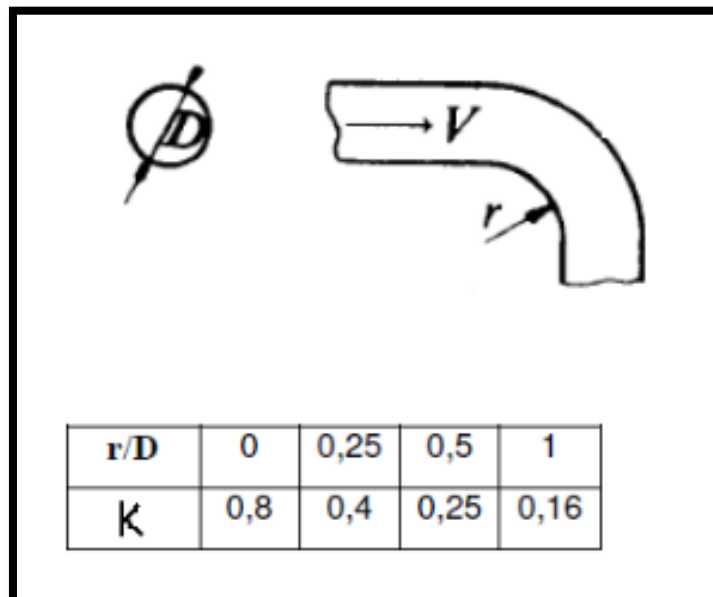
**Contracción repentina o súbita:** Las pérdidas por fricción en una contracción repentina están dadas por la siguiente curva de *la figura 21*.



**Figura 21: Pérdidas por fricción en una contracción repentina**

Fuente: (Wordpress, 2008, pág. 25)

El coeficiente K para distintas geometrías de codos, se obtienen como se indica en la *figura 22*:



**Figura 22: Pérdidas por fricción en un codo de sección circular y radio r**

Fuente: (CATALOGO, Master en automoción, s/f, pág. 5.32)

## 4.2 CAPÍTULO III: BOMBAS HIDRÁULICAS

### 4.2.1 Bomba hidráulica

Una bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa, energía hidráulica. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos como agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos, etc. Debe tener una fuente continua de líquido disponible en el puerto de entrada para suministrar el líquido al sistema. Dado que la bomba fuerza el líquido a través del puerto de salida, un vacío parcial o un área de baja presión se crea en el puerto de entrada. Cuando la presión en el puerto de entrada de la bomba es más baja que la presión atmosférica local, la presión atmosférica que actúa sobre el líquido en el depósito fuerza el líquido hacia la entrada de bomba. Si la bomba está situada en un nivel más bajo que el depósito, la fuerza de la gravedad complementa a la presión atmosférica sobre el depósito. (Mataix, 1993, pág. 369)



Figura 23: Bomba de agua

(Fuente: <http://www.sideb.com.mx/pagina/galeria-imagenes-equipos-de-bombeo/>)

### 4.2.2 Clasificación de las bombas

Existen dos grandes grupos fundamentales. Se clasifican en roto-dinámicas o centrífugas y de desplazamiento positivo.

#### 4.2.2.1 Bombas de desplazamiento positivo

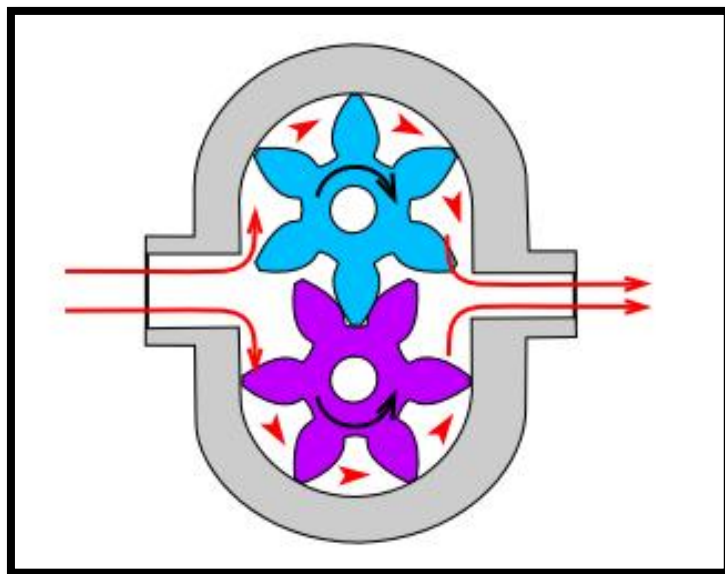
El principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un

volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada se habla de bombas de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo, este tipo de bombas pueden subdividirse en:

#### 4.2.2.1.1 Bombas rotatorias

Este tipo de bombas se dividen en bombas de engrane., aspa, de tornillo, cavidad progresiva, lóbulo o leva, tubo flexible (peristálticas)

**Bombas de Engranés.-**Estas bombas se usan para aplicaciones en potencia de fluidos, y para distribuir lubricantes a componentes específicos de maquinaria. Se compone de dos engranes que giran dentro de una carcasa, en sentido contrario y muy ajustado uno con el otro. La periferia exterior de los dientes del engrane se ajusta muy bien con la superficie interior de la carcasa, *figura 24*. Se lleva fluido del almacenamiento del suministro al puerto de la succión y se conduce en los espacios entre los dientes al puerto de descarga, desde donde se envía a alta presión al sistema. La presión con que se envía depende de la resistencia del sistema. (MOTT R. L., 2006, pág. 386)



**Figura 24: Bomba de engranaje.**

(Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_hidr%C3%A1ulica#/media/File:Gear\\_pump.png](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_hidr%C3%A1ulica#/media/File:Gear_pump.png))

**Bomba de aspas.-** Se utiliza para potencia de fluido consiste en un rotor excéntrico que contiene un conjunto de aspas deslizantes que corren dentro de una carcasa. Un anillo de levas en la carcasa controla la posición radial de las aspas. El fluido entra por el puerto de succión en el lado izquierdo, después es capturado en un espacio entre dos

aspas sucesivas, y así se lleva al puerto de descarga a la presión del sistema. Después, las aspas se retraen hacia sus ranuras en el rotor, conforme regresan al lado de entrada, o succión, de la bomba.

**Bombas de tornillo.-** Una desventaja de las bombas de engranes, pistón y aspas es que distribuyen un flujo por impulsos hacia la salida, debido a que cada elemento funcional mueve un elemento, volumen capturado, de fluido de la succión a la descarga. Las bombas de tornillo no tienen este problema. En la bomba de tornillo el rotor de impulso central, semejante a una espiral, se acopla muy bien con los dos rotores impulsados, con lo que se crea un confinamiento dentro de la carcasa que se mueve en forma axial de la succión a la descarga, y proporciona un flujo uniforme continuo. (MOTT R. L., 2006, pág. 387)

**Bombas de cavidad progresiva.-** Esta produce un flujo suave no pulsa, y se utiliza sobre todo para enviar fluidos de procesos, más que en aplicaciones hidráulicas. Conforme el rotor central grande gira dentro del estator, se forman cavidades que avanzan hacia el extremo de descarga de la bomba que mueve el material. Es común que el rotor este hecho de una placa de acero con capas gruesas de cromo duro, con el fin de aumentar la resistencia a la abrasión. Para la mayoría de aplicaciones, los estatores están construidos de caucho natural o cualquiera de varios tipos y fórmulas de cauchos sintéticos. Entre el rotor metálico y el estator de caucho existe un acoplamiento de compresión, con objeto de reducir el balanceo y mejorar la eficiencia. La circulación que hace una bomba dada depende de las dimensiones de la combinación rotor/estator, y es proporcional a la velocidad de rotación.

Este tipo de bomba maneja gran variedad de fluidos, inclusive agua dulce, lodos que contienen solidos pesados, líquidos muy viscosos como los adhesivos y mezclas de cemento, fluidos abrasivos como las mezclas de carburo de Silicona o de rocas calizas, productos farmacéuticos y alimentos como el jarabe de manzana e incluso masa de pan. (MOTT, pág. 388).

**Bombas de lóbulo.-** La bomba de lóbulo llamada a veces bomba de levas, opera en forma similar a la de engranes. Los dos rotores que giran en sentido contrario tienen dos, tres o más lóbulos que coinciden uno con otro y se ajustan muy bien en su contenedor. El fluido se mueve alrededor de la cavidad formada entre los lóbulos contiguos.

**Bombas peristálticas.-** Estas bombas son únicas en cuanto a que el fluido se captura por completo dentro de un tubo flexible a través del ciclo de bombeo. El tubo se dirige entre un conjunto de rodillos giratorios y una carcasa fija. Los rodillos exprimen el tubo y atrapan un volumen dado entre los rodillos adyacentes. El diseño en verdad elimina la posibilidad de que el producto se contamine, lo que hace atractivas estas bombas para las aplicaciones químicas, medicas, procesamiento de alimentos, de impresión, tratamiento de aguas, industriales y científicas.

#### **4.2.2.1.2 Bombas recíprocas.**

Estas se dividen en bombas de pistón, de embolo y de diafragma.

**Bombas de pistón.-** Esta utiliza una placa de derrame giratoria que actúa como leva para hacer recíprocar los pistones. Los pistones llevan en forma alternada fluido al interior de sus cilindros a través de válvulas de succión, y luego lo fuerzan a salir por válvulas de descarga contra la presión del sistema. La entrega de fluido varía de cero al máximo, si se cambia el ángulo de la placa y con ello la carrera de los pistones.

**Bombas de émbolo alternativo,** son aquellas que tiene uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente.

**Bombas de diafragma.-** Una barra recíprocante mueve un diafragma flexible dentro de una cavidad, con lo que descarga fluido conforme aquel se mueve a la izquierda, y lo empuja cuando va hacia la derecha, en forma alternada. Una ventaja de este tipo de bomba es que solo el diafragma entra en contacto con el fluido, con lo que se elimina la contaminación provocada por los elementos de operación. Las válvulas de succión y descarga se abren y cierran en forma alternada. (MOTT, pág. 388)

#### **4.2.2.2 Bombas roto-dinámicas o Centrífugas**

El principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbomáquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en radiales, axiales y diagonales.

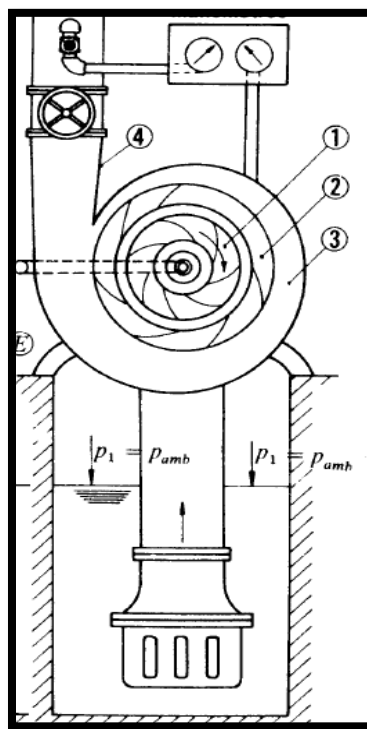
**Radiales o centrífugas**, cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor. En la *figura 25* se presenta una bomba radial de eje horizontal en la cual puede verse los elementos.

**Rodete (1).**- Que gira solidario con el eje de la máquina y consta de un cierto número de alabes que imparte energía al fluido en forma de energía cinética y energía de presión.

**Corona directriz (2).**- O corona de alabes fijos que recoge el líquido del rodete y transforma la energía cinética comunicada por el rodete en energía de presión, ya que la sección de paso aumenta en esta corona en la dirección del flujo.

**Caja espiral (3).**- Transforma la energía dinámica en energía de presión, y recoge además con pérdidas mínimas de energía el fluido que sale del rodete, conduciéndolo hasta la tubería de salida.

**Tubo difusor troncocónico (4).**- Realiza una tercera etapa de difusión o sea de transformación de energía dinámica en energía de presión. (Mataix, 1993)



**Figura 25: Elemento constitutivos de una bomba**

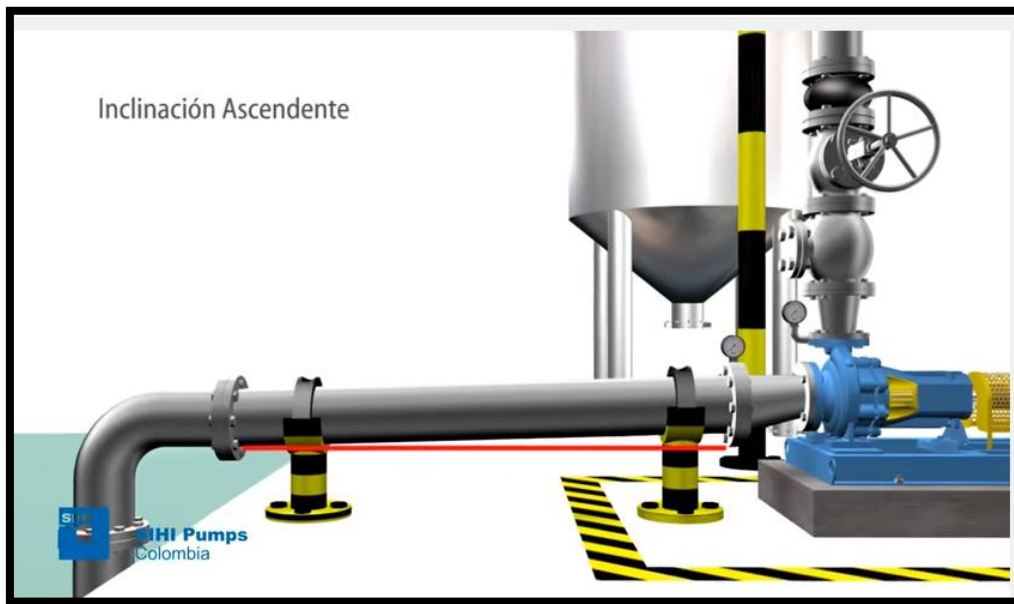
(Fuente: Claudio Mataix, pág. 370)

**Axiales**, cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.

**Diagonales o helico-centrífugas** cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

### **Tubería de succión con bomba en aspiración**

Cuando la instalación este diseñada para trabajar en aspiración, es decir con el depósito del cual se toma el líquido por debajo del nivel de la bomba, como se muestra en la *figura 26* la tubería de succión debe montarse con una ligera inclinación ascendente hacia la bomba para evitar así la formación de bolsas de aire. Los diámetros nominales de las tuberías deben ser como mínimo iguales a los diámetros nominales de las bridas de la bomba y la velocidad de circulación de fluido en este tipo de instalación no debe ser superior a 2 m/s (SIHI-Pumps, 2010)



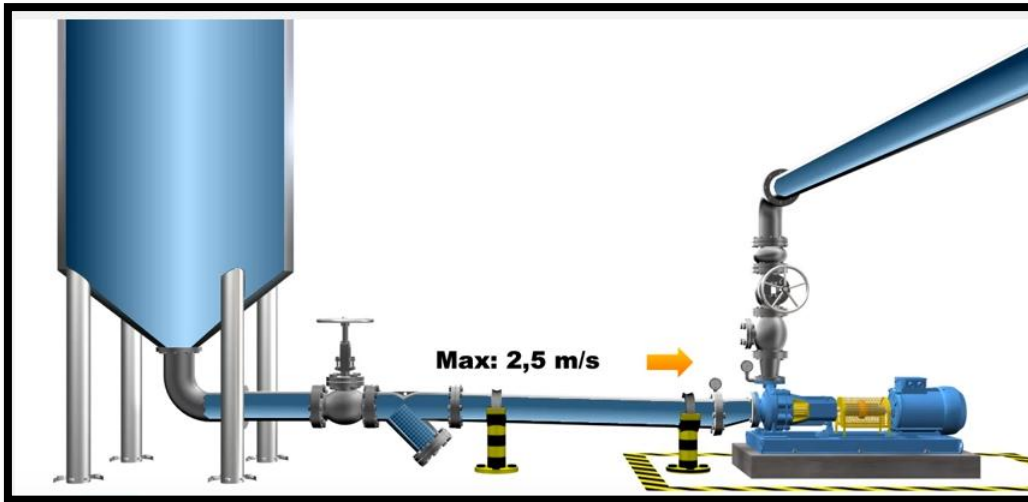
**Figura 26: Tubería de succión con bomba en aspiración.**

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=ycStpC16OwA>

### **Tubería de succión con bomba en carga**

Cuando la instalación este diseñada para trabajar en carga, es decir con el depósito del cual se toma el líquido sobre el nivel de la bomba, la tubería de succión debe montarse con una ligera inclinación descendente hacia la bomba, ver *figura 27*, para evitar así la formación de bolsas de aire. Los diámetros nominales de las tuberías deben ser como mínimo iguales a los diámetros nominales de las bridas de la bomba y la velocidad de circulación de fluido en este tipo de instalación no debe ser superior a 2,5 m/s (SIHI-Pumps, 2010)





**Figura 27: Tubería de succión con bomba en carga.**

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=ycStpC16OwA>

#### 4.2.3 Regulación de bombas centrífugas

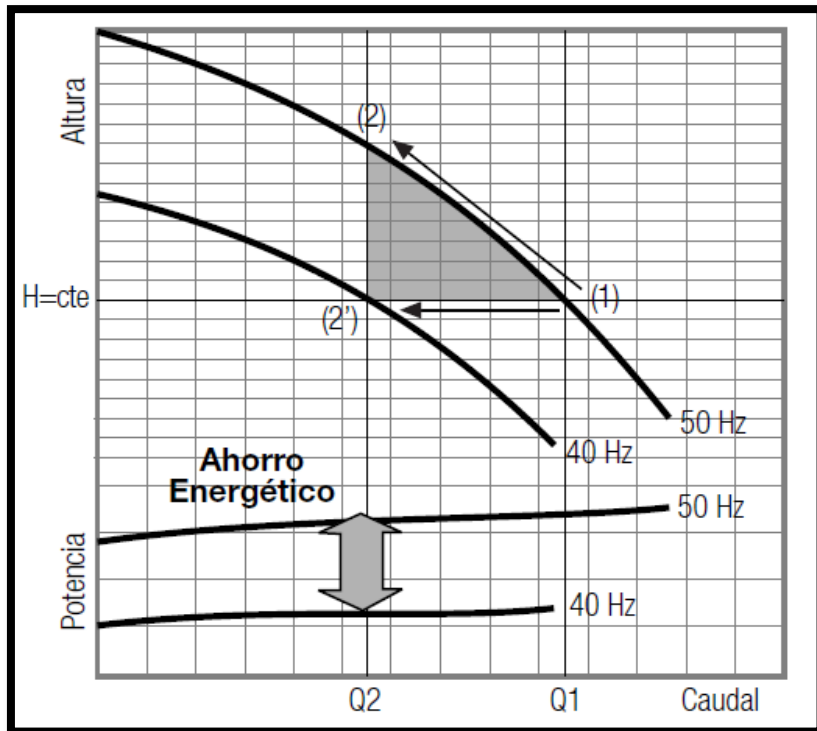
Es a veces necesario en una instalación variar el caudal de una bomba para adaptarlo a las exigencias de un servicio. Esta regulación de caudal puede realizarse de varias formas.

1. Regulación a velocidad variable.
2. Regulación a velocidad constante.

La regulación de caudal a velocidad variable es la más económica. Con ella adaptamos una bomba centrífuga a unos datos de servicio determinados. Es una de las formas más profusamente adoptada en la práctica, pues el rendimiento apenas sufre modificación al variar la velocidad de funcionamiento.

Un grupo convencional de bombeo controlado por presostatos o flujostatos incrementa la presión hasta situarse en el punto de trabajo 2 cuando la demanda cambia de un caudal inicial  $Q_1$  a otro  $Q_2$  funcionando a velocidad nominal.

Con un variador de velocidad se pasa a suministrar el caudal  $Q_2$  reduciendo la velocidad de la bomba, situándola en el punto de trabajo 2', manteniendo la presión constante y reduciendo la potencia consumida (*véase fig. 28*). (BombasIdeal, 2014)

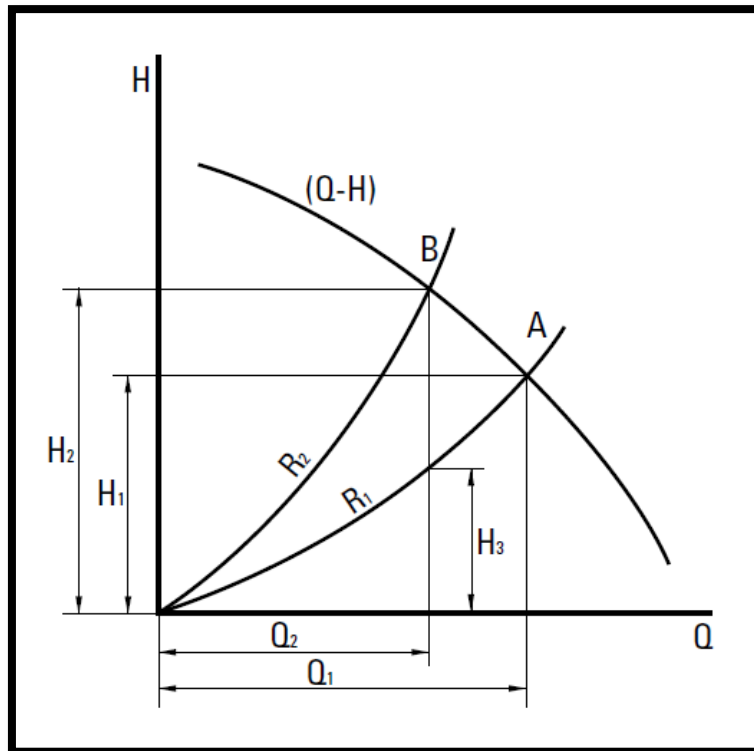


**Figura 28: Variación de velocidad**

Fuente: (BombasIdeal, 2014, pág. 32)

En cuanto a la regulación a **velocidad constante**, consiste en estrangular de la tubería de impulsión para regular el caudal deseado. Sea una bomba que suministra un caudal  $Q$  a una altura  $H$ , vertiendo el líquido a través de una tubería cuya característica resistente esté representada por la curva  $R_1$  (**Figura 29**). Si por necesidades particulares de servicio se desea que a esa misma altura  $H_1$  entregue un caudal menor  $Q_2$ , será necesario crear una pérdida adicional que nos haga pasar la curva resistente de la tubería  $R_1$ , a  $R_2$ . Esta pérdida suplementaria será igual a  $H_2 - H_3$ , y la tendrá que producir la válvula de estrangulación, puesto que la tubería instalada para el caudal deseado  $Q_2$  solo puede producir una pérdida equivalente a  $H_3$ , sobre la curva resistente  $R_1$ .

En este procedimiento disminuye notablemente el rendimiento, pero es un método muy simple y por ello fácil de adoptar. (BombasIdeal, 2014, pág. 33)



**Figura 29: Regulación de bombas centrífugas, velocidad constante**

Fuente: (BombasIdeal, 2014)

## 4.2.4 Conceptos hidráulicos

### 4.2.4.1 Caudal

El caudal volumétrico, o simplemente caudal  $Q$ , que circula por un determinado sistema es el volumen de líquido trasegado en la unidad de tiempo. Las unidades más comúnmente empleadas son metro cúbico/hora ( $m^3/h$ ), litros/minuto ( $L/m$ ) y litros/segundo ( $L/s$ ).

El caudal volumétrico que circula por un determinado sistema también se obtiene multiplicando la velocidad ( $V$ ) del fluido por el área ( $A$ ) transversal de paso.

$$Q = \frac{V_{olumen}}{t} = V * A \quad (24)$$

### 4.2.4.2. Presión

Es la fuerza que ejerce un fluido por unidad de superficie. En el *S.I.* se emplea como unidad de medida de presión el Pascal ( $Pa$ ). Por ser una unidad demasiado pequeña se emplea habitualmente múltiplos de la misma,  $KPa$ ,  $MPa$ , o también el *Bar*.

**Presión absoluta:** Se llama presión absoluta la medida a partir del cero absoluto.

**Presión relativa o manométrica:** Presión relativa o manométrica es aquella que se mide a partir de la presión atmosférica local. Cualquier presión inferior a la atmosférica será una presión manométrica negativa, llamándose entonces depresión. De acuerdo con las anteriores definiciones, se tendrá:

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión manométrica} + \text{Presión atmosférica.}$$

**Tabla 3: Propiedades de la atmósfera**

Altitud (m)	Temperatura $T$ (°C)	Presión $P$ (kPa)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
0	15.00	101.3	1.225
200	13.70	98.9	1.202
400	12.40	96.6	1.179
600	11.10	94.3	1.156
800	9.80	92.1	1.134
1000	8.50	89.9	1.112
2000	2.00	79.5	1.007
3000	-4.49	70.1	0.9093
4000	-10.98	61.7	0.8194
5000	-17.47	54.0	0.7364
10000	-49.90	26.5	0.4135
15000	-56.50	12.11	0.1948
20000	-56.50	5.53	0.0889
25000	-51.60	2.55	0.0401
30000	-46.64	1.20	0.0184

Fuente: (MOTT R. L., 2006, pág. 599)

#### 4.2.4.3 Altura manométrica total ( $H_{man}$ ).

La altura manométrica total impulsada por una bomba, es el aumento de la energía por unidad de peso que experimenta el fluido desde la entrada hasta la salida de la bomba y se expresa en metros de columna de líquido impulsado. La *figura 30* muestra un esquema sobre la altura de impulsión.

Se puede calcular la altura manométrica total ( $H_{man}$ ) impulsada por una bomba, para una instalación típica, según se indica a continuación: (BombasIdeal, 2014, pág. 8)

$$H_{man} = H_d - H_s + A + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} \quad (25)$$

Simbología:

$H_d$  = Lectura en manómetro de impulsión (mcl).

$H_s$  = Lectura en vacuómetro de aspiración (mcl).

$A$  = Diferencia de altura entre puntos de lectura (m).

$P_1$  = Presión manométrica en el aljibe de aspiración (mcl).

$P_2$  = Presión manométrica en el depósito de impulsión (mcl).

$Z$  = Pérdida de carga en todo el circuito.

$H_g$  = Desnivel geométrico total.

$\gamma$  = Peso específico del líquido a la temperatura de servicio.

$V^2/2g$  = Altura de velocidad (mcl).

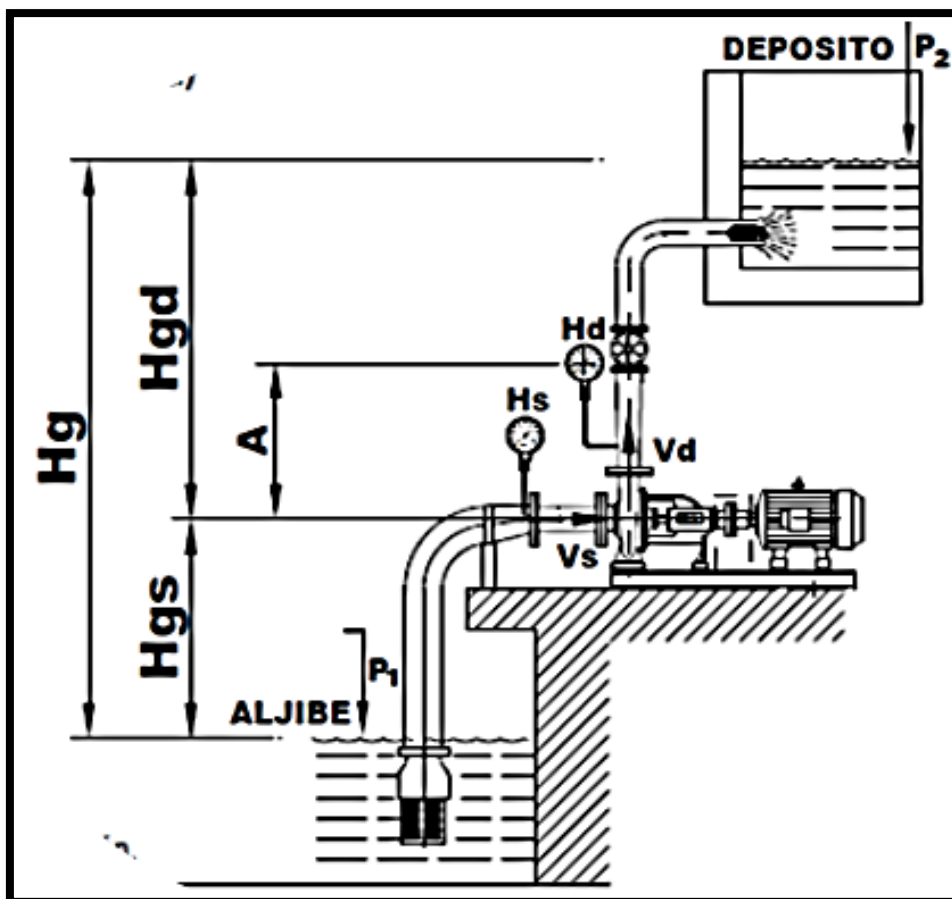


Figura 30: Esquema de altura de impulsión.

(Fuente: CATALOGO, s/f, pág. 8)

#### 4.2.4.4 Parámetros clave de rendimiento de las bombas centrífugas

Los parámetros claves para establecer el correcto funcionamiento de las bombas centrífugas son la capacidad, la cabeza, BHP (Potencia al freno), BEP (punto de mejor eficiencia) y la velocidad específica.

Las curvas de la bomba de rendimiento de una bomba proporcionan la herramienta de trabajo con la que estos parámetros se pueden variar para garantizar un funcionamiento satisfactorio de la bomba.

A continuación se describen los siguientes parámetros o términos operativos de la bomba centrífuga: (UNAD, s/f)

**Capacidad:** Corresponde a la velocidad de flujo con la cual el líquido es movido o empujado por la bomba al punto deseado en el proceso. Normalmente se mide en galones por minuto (Gpm) o metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ). La capacidad fluctúa con los cambios en la operación del proceso.

**Cabeza:** La importancia del término "cabeza" radica en su uso como una forma particular para expresar el término presión: La presión en cualquier punto de un líquido puede ser considerada como aquella que es causada debido al peso del fluido que se está bombeando. El peso de la columna vertical del líquido es llamado Cabeza estática y se expresa en términos de metros de líquido. Imagine un tubo disparando un chorro de agua hacia arriba en la dirección del aire, la altura de la cabeza agua estaría por encima de la cabeza de descarga.

Los varios términos de la cabeza se discuten a continuación.

**Nota:** Los subíndices "s" se refieren a las condiciones de succión y d' se refiere a las condiciones de descarga.

##### **Cabeza de succión estática, $h_s$**

Cabeza resultante de la elevación relativa del líquido a la línea central de la bomba; puede ser desde un nivel inferior a la bomba; la bomba gasta energía en succionar el líquido. Si el nivel del líquido está por encima de la bomba central,  $h_s$  es positiva. Si el nivel del líquido está por debajo de la bomba  $h_s$  es negativo. Condición comúnmente denotada como "altura de aspiración"

##### **Cabeza de descarga estática, $h_d$**

Es la distancia vertical en metros entre centro de la bomba y el punto de descarga en la superficie del tanque.

### **Cabeza de fricción, $h_f$**

Corresponde a la altura necesaria para superar la resistencia al flujo en la tubería y los accesorios (Válvulas, codos, uniones, bridas). La Cabeza de fricción depende del tamaño, condición y tipo de tubería, la cantidad de accesorios, el caudal, y la naturaleza del líquido.

### **Cabeza de presión Vapor, $h_{vp}$**

La presión de vapor es la presión a la que un líquido y su vapor coexisten en equilibrio a una temperatura dada. La presión de vapor del líquido puede obtenerse de las tablas de presión de vapor. Cuando la presión de vapor se convierte en cabeza, se le denomina como la cabeza de presión de vapor,  $h_{vp}$ . El valor de  $h_{vp}$  de un líquido se incrementa con el aumento de la temperatura y en efecto, opone presión sobre la superficie del líquido, la fuerza positiva que tiende a provocar el flujo de líquido en la succión de la bomba reduce la presión de vapor, hecho este de mucho cuidado a la hora de bombear un alimento líquido puesto que tiende a vaporizarse y produce fallas graves en el funcionamiento de la bomba, conocidas como cavitación. (UNAD, s/f)

### **Cabeza de presión, $h_p$**

Debe ser tenida muy en cuenta cuando un sistema de bombeo de alimentos líquidos comienza o termina en un tanque que se encuentra bajo una presión que no sea la atmosférica. La presión en un tanque debe convertirse primero a pies o metros de altura de líquido. Denotada como  $h_p$ , se refiere a la presión absoluta en la superficie del líquido del depósito de suministro de la bomba de succión. Si el tanque está que contiene el líquido alimenticio está abierto a la atmosfera,  $h_p$  es igual a la cabeza de la presión atmosférica.

### **Cabeza de velocidad, $h_v$**

Con este término se hace referencia a la energía de un líquido alimenticio como resultado de su velocidad " $V$ ", al moverse por una conducción o tubería. La cabeza de velocidad es la equivalente a la altura en pies o metros que el agua tendría que caer para adquirir la misma velocidad con la cual se debe transportar el líquido por la tubería, o en otras palabras, la cabeza necesaria para acelerar el agua. Generalmente la altura de velocidad es insignificante y puede ser despreciado; en la mayoría los sistemas que operan cabezas de trabajo elevadas. Sin embargo, puede ser un factor importante y debe ser considerado en sistemas que operan a baja cabeza. (UNAD, s/f)

#### 4.2.4.5 Potencia y eficiencia en una bomba

La potencia teórica o hidráulica en una bomba hidráulica es:

$$P_h = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{mgd}{t} * \frac{V_{olumen}}{V_{olumen}}$$

En la expresión anterior si le multiplicamos el numerador como el denominador por el volumen y utilizando las ecuaciones 1 y 24, se tiene la siguiente expresión:

$$P_h = \rho g H Q \quad (26)$$

La eficiencia en una bomba es la relación entre la potencia hidráulica que entrega y la potencia que absorbe del motor

$$\eta_b = \frac{P_h}{P_b} \quad (27)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

H: Carga total (m)

g: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

P<sub>b</sub>: potencia demandada por la bomba (W)



## **4.4 CAPÍTULO IV: SISTEMA DE CONTROL Y ACTUADORES.**

### **4.4.1 Definición de control**

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc. Tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida y de control y las estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados como indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control. La terminología empleada se ha unificado con el fin de que los fabricantes, los usuarios y los organismos o entidades que intervienen directa o indirectamente en el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje. (CREUS, 2010, pág. 3)

Para configurar procesos automáticos modernos se necesitan de tres componentes:

- ✓ Sensores para captar los estados del sistema
- ✓ Actuadores para emitir los comandos de control
- ✓ Unidades de control para la ejecución del programa y para tomar decisiones.

### **4.4.2 Componentes para procesos automáticos:**

#### **4.4.2.1 Transmisores:**

Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática, electrónica, digital, óptica, hidráulica o por radio. (CREUS, pág. 65)

#### **4.4.2.2 Medidas de Presión:**

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmosferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el sistema internacional (S.I.) está normalizada en pascal que es 1 newton por metro cuadrado ( $1 \text{ N/m}^2$ ), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 kg, le comunica una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$ . Como el pascal es una unidad muy pequeña, se emplean también el kilo pascal, mega pascal y la giga pascal. El campo de aplicación de los medidores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones muy altas, los instrumentos de presión se clasifican en: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos. (CREUS, pág. 91)

#### **4.4.2.3 Medidas de caudal:**

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases. Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan el caudal masa. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante, por ejemplo en las determinaciones finales del caudal del producto para su facturación. (CREUS, pág. 105)

#### **4.4.2.4 Medición de nivel:**

En la industria, la medición del nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales. Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos que son dos mediciones claramente diferenciadas.

#### **4.4.2.5 Medidores de nivel de líquido:**

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos.

Los aparatos que miden el nivel de líquido aprovechando la presión hidrostática los mismos que se dividen en:

Medidor manométrico

Medidor de membrana

Medidor de tipo burbujeo

Medidor de presión diferencial de diafragma. (CREUS, pág. 195)

### **4.4.3 Componentes electrónicos**

#### **4.4.3.1 Arduino**

Arduino es una plataforma de hardware abierto que facilita la programación de un microcontrolador. Los microcontroladores nos rodean en nuestra vida diaria, Los microcontroladores leen sobre los sensores y escriben sobre los actuadores.

Es una plataforma electrónica de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Las placas arduino son capaces de leer las entradas la luz en un sensor, un dedo sobre un botón, o un mensaje de Twitter - y convertirla en una salida como la activación de un motor, encender un LED, publicar algo en línea. Se puede decir a su tablero qué hacer mediante el envío de un conjunto de instrucciones al microcontrolador en el tablero, es decir usan los sensores para escuchar al mundo físico y los actuadores para interactuar con el mundo físico. Para ello se utiliza el lenguaje de programación de Arduino (basado en el cableado ), y el software de Arduino (IDE) , sobre la base de procesamiento .

Con los años arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos, a partir de objetos cotidianos a los instrumentos científicos complejos. Una comunidad mundial de los fabricantes - estudiantes, aficionados, artistas, programadores y profesionales ha reunido en torno a esta plataforma de código abierto, sus contribuciones han añadido hasta una increíble cantidad de conocimiento accesible que puede ser de gran ayuda para los principiantes como para expertos. (ARDUINO, 2016)

#### **4.4.3.2 Arduino MEGA 2560**

El Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; El tablero del mega 2560 es compatible con la mayoría de los shield para el uno y las anteriores juntas de Duemilanove o Diecimila. En la **tabla 4** se muestran los datos técnicos de la tarjeta.

**Tabla 4: Datos técnicos de la tarjeta Arduino Mega 2560**

Especificaciones técnicas	
<b>Microcontrolador</b>	<b>Atmega 2560</b>
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
E / S digitales prendedores	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	Dieciséis
Corriente continua para Pin I / O	20 Ma
Corriente CC para Pin 3.3V	50 Ma
Memoria flash	256 KB, 8 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	101.52 mm
Anchura	53,3 mm
Peso	37 g

Fuente: (ARDUINO, 2016)

Cada uno de los 54 pines digitales en la tarjeta se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando las funciones `pinMode ()` , `digitalWrite ()` , y `digitalRead ()` . Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir 20 mA como condición de funcionamiento recomendada y tiene una resistencia de pull-up (desconectada por defecto) de 20-50 k ohmios. Un máximo de 40 mA es el valor que no debe superarse para evitar daños permanentes en el microcontrolador.

Hay un LED conectado al pin digital 13. Cuando el pulsador es ALTO, el LED está encendido, cuando el pulsador es bajo, es apagado.

TWI: 20 (SDA) y 21 (SCL). TWI apoya a la comunicación con la librería `Wire` . Tenga en cuenta que estos pines no están en la misma ubicación que los pines TWI sobre las viejas tablas de Duemilanove o Diecimila Arduino.

El Mega 2560 tiene 16 entradas analógicas, cada uno de los cuales proporcionan 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto se miden desde el suelo a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el pin `AREF` y `analogReference ()` .

El mega 2560 tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, la otra tabla, u otros microcontroladores. El Atmega2560 ofrece cuatro UART hardware para TTL (5V) de comunicación en serie.



**Figura 31: Arduino MEGA 2560**

Fuente: (<http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html>)

Un ATmega16U2 (ATmega 8U2 en las juntas de revisión 1 y 2) la revisión de los canales a bordo de uno de ellos a través de USB y proporciona un puerto COM virtual para el software en el equipo (máquinas de Windows necesitará un archivo .inf, pero las máquinas OSX y Linux reconocen la junta como un puerto COM automáticamente. el software de Arduino (IDE) incluye un monitor de serie que permite a los datos de texto simples para ser enviados hacia y desde el tablero.

El Mega 2560 también es compatible con la comunicación TWI y SPI. El software de Arduino (IDE) incluye una librería Wire para simplificar el uso del bus TWI; Por otra parte, la UART principal (puerto serie) se encuentra en los mismos pines (0 y 1), al igual que las interrupciones externas 0 y 1 (pines 2 y 3, respectivamente). SPI está disponible a través del jefe de ICSP en ambos tableros de los Mega 2560 no utiliza el chip controlador FTDI USB-a-serie utilizados en los diseños anteriores. En lugar de ello, se cuenta con el ATmega16U2 (ATmega8U2 en la revisión 1 y la revisión 2 placas Arduino) programado como un convertidor de serie de USB. (ARDUINO, 2016)

#### 4.4.3.3 Diodo Led RGB

Un **LED** (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. Los LEDs presentan muchas ventajas sobre las fuentes de luz incandescente como un consumo de energía mucho menor, mayor tiempo de vida, menor tamaño, gran durabilidad y fiabilidad.

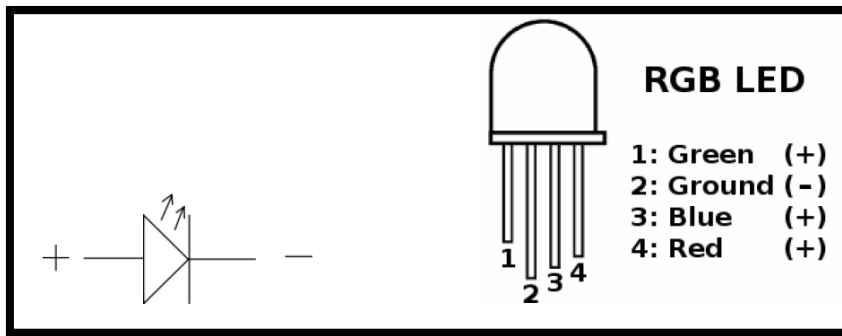


Figura 32: Símbolo y componentes de un diodo Led RGB

Fuente: (Robotica, 2012)

La **figura 32** muestra sus características de un LED RGB, es un led que incorpora en su mismo encapsulado tres LEDs, es RGB porque R (red, rojo), G (green, verde) y B (blue, azul) así se pueden formar miles de colores ajustando de manera individual cada color. Los tres LEDs están unidos por el negativo o cátodo. (Robotica, 2012)

En la **figura 33** podemos observar una serie de colores que podemos obtener a través de la combinación de estos tres principales como es el rojo verde y azul.

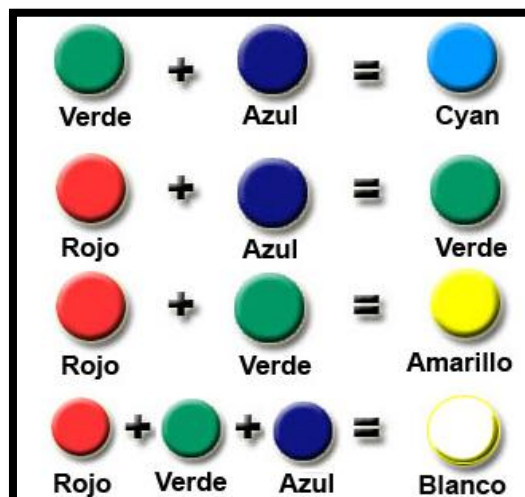
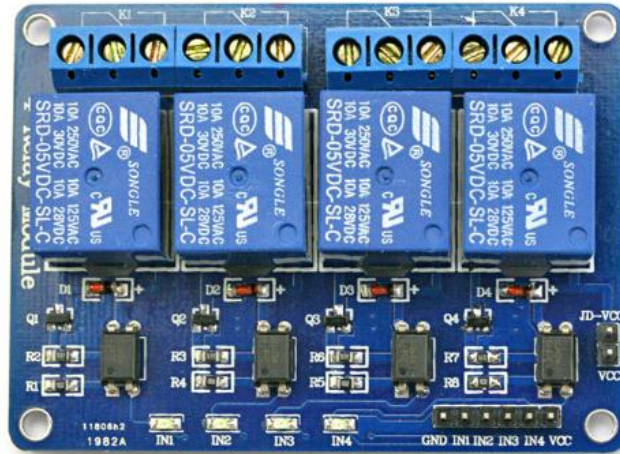


Figura 33: Combinación de colores

Fuente: <https://academiapaso.files.wordpress.com/2013/02/imagen0216.jpg>

#### 4.4.3.4 Módulos de relés

El módulo de la **figura 34** es ideal para el control de potencia y corriente alterna de forma segura y sencilla.



**Figura 34: Módulo de 4 relés opto acoplados**

Fuente: <https://electrocrea.com/products/modulo-de-4-relevadores>

Características: Datos técnicos

- ✓ Módulo equipado con cuatro relés, cada uno de ellos con dos salidas (NO-NC)
- ✓ Es ideal para trabajar como interruptores de aparatos eléctricos en proyectos de automatización y domótica.
- ✓ Alimentación: 5VDC
- ✓ Corriente para activación: 15 a 20mA
- ✓ Relé de salida Máxima: DC30 V/10A, AC 250 V/10A
- ✓ Leds indicadores de activación para cada canal
- ✓ Fácilmente manejable con Arduino o con cualquier otro microcontrolador.
- ✓ VCC: alimentación positiva del sistema
- ✓ GND: negativo fuente de alimentación Del Sistema
- ✓ IN1-IN2- IN3-IN4: puertos de control de relé

#### 4.4.3.5 Contactores

Los relés y los contactores son equipos parecidos a un interruptor (por ejemplo el que activa la iluminación) con la diferencia de que los interruptores son comandados por la mano del usuario y los relés y contactores son comandados por una tensión. Los relés se utilizan para pequeñas potencias y los contactores para potencias mayores

Los contactores son relés que disponen de contactos de potencia, es decir contactos que tienen la capacidad de abrir y cerrar contactos por los que circula mayor intensidad.

Suelen representarse por la letra K. La imagen de la **figura 35** muestra el perfil de un contactor.



**Figura 35: Contactor**

Fuente: <https://www.aliexpress.com/w/wholesale-general-contactor.html>

#### 4.4.3.6. Puente H

Un puente H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico el giro en ambos sentidos, avance y retroceso. Estos circuitos son muy utilizados para controlar el giro de los motores DC y de paso a paso. Se construyen a base de componentes discretos e inclusive se les puede encontrar en el mercado como circuitos integrados, tal y como se utilizó en este proyecto. Su nombre se debe a la posición que adoptan los switches en su configuración típica mostrada en la **figura 36**, los cuales generalmente son transistores.

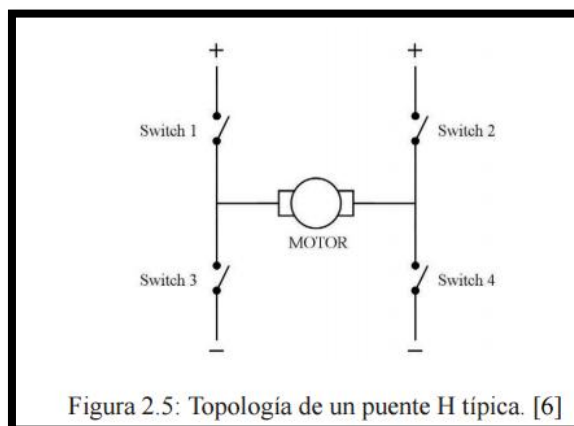


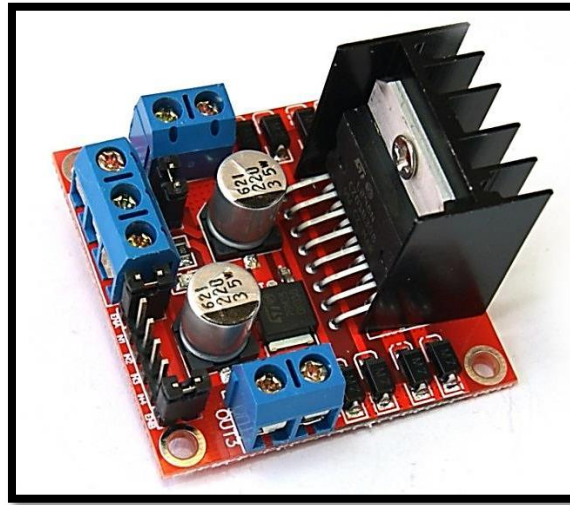
Figura 2.5: Topología de un puente H típica. [6]

**Figura 36: Topología de un puente H**

Fuente: (Álvarez, 2012)



Los puentes H presentan la ventaja de que puede ser activado con una señal de baja tensión en cualquiera de sus entradas. Estas características hacen de los puentes H circuitos muy utilizados en robótica y como convertidores de potencia. (Álvarez, 2012)



**Figura 37: Puente H L298 Modulo**

Fuente: <http://saber.patagoniatec.com/puente-h-l298-modulo/>

#### **4.4.4 Actuadores**

##### **4.4.4.1 Electroválvulas**

Es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos. No se debe confundir la electroválvula con válvulas motorizadas, en las que un motor acciona el mecanismo de la válvula, y permiten otras posiciones intermedias entre todo y nada. (Jaramillo, 2013, pág. 58)

##### **4.4.3.2 Válvulas plásticas de control hidráulico/eléctrico**

Las válvulas plásticas de control hidráulico, Bermad Serie 200, son fabricadas en tamaños de 3/4" a 2" de tipo globo o angular. Estas válvulas de control permiten alta capacidad de funcionamiento, siendo prácticamente la última palabra en hidráulica y tecnología de plásticos. (BERMAD, 2016)



**Figura 38: Electroválvula BERMAD**

Fuente: [http://fidemar.com.uy/catalogos/bermad/bermad\\_irrigacion.pdf](http://fidemar.com.uy/catalogos/bermad/bermad_irrigacion.pdf)

**Características:** La *figura 38* muestra una imagen estas son fabricadas en plásticos de alta tecnología, resistentes a la corrosión y a la radiación U. V., con partes de goma sintética y acero inoxidable. Alta capacidad de flujo con bajas pérdidas de carga. Operan en un amplio margen de presiones, la *tabla 5* muestra los datos técnicos.

**Tabla 5: Datos técnicos de electroválvula BERMAD**

Datos Técnicos	
Tipo de válvula	Globo, Angular y Oblicuo
Tamaños	3/4", 1", 1 1/2" y 2"
Conexión	Rosca hembra, BSP, NPT
Norma de Presión	ISO: PN 10 – ANSI: Clase 125
Rango de Presión	0.7-10 bar (10-150 psi)
Rango de Temperatura	Agua hasta 80°(180°F)
Datos Eléctricos	Voltaje: 24V AC (60-Hz) Corriente de operación sostenida: 0.125 A, 1,7 Wats
Materiales	Nylon reforzado, partes de acero Inoxidable y goma natural

Fuente: (BERMAD, 2016, pág. 5)

## **5.- MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Materiales y herramientas**

#### **5.1.1 Materiales de oficina**

- ✓ Computadora
- ✓ Calculadora
- ✓ Impresora

#### **5.1.2 Recursos Materiales**

- ✓ Microsoft Word
- ✓ Microsoft Excell
- ✓ Microsoft Power Point
- ✓ AutoCad
- ✓ Internet
- ✓ Arduino

#### **5.1.3 Materiales hidráulicos y eléctricos**

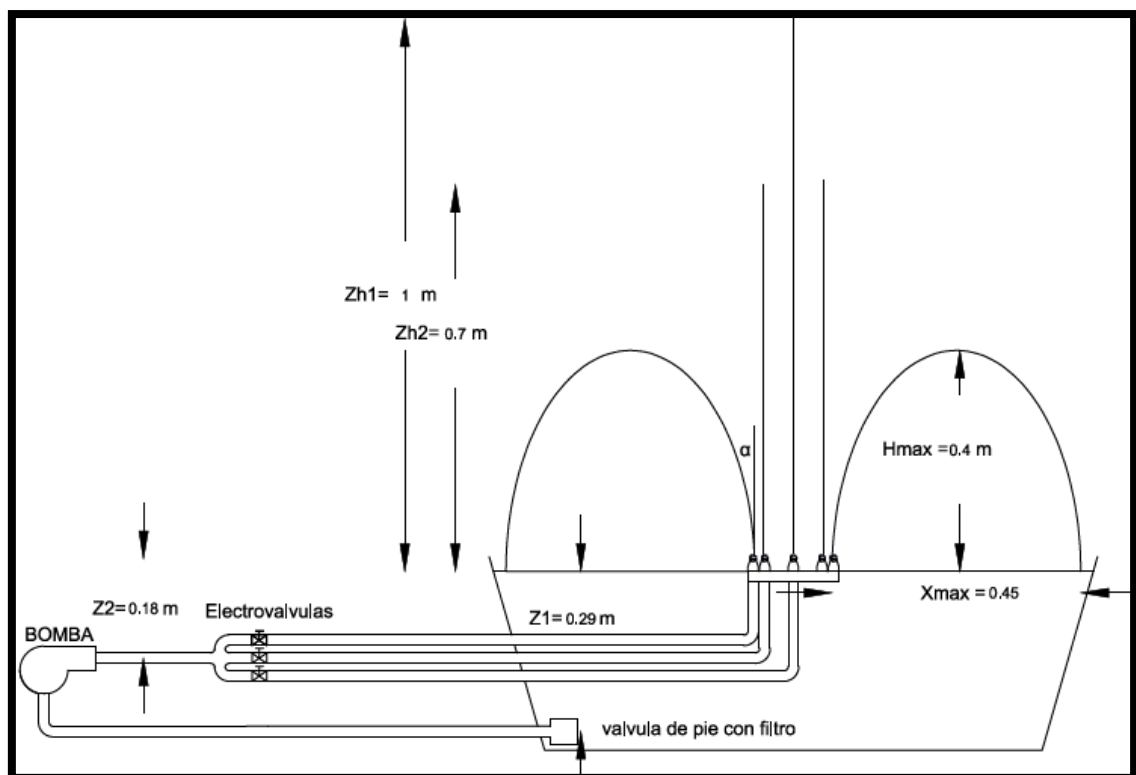
- ✓ Tubería PVC de 1' y 1/2'
- ✓ Accesorios de tubería roscados
- ✓ Bombas centrífugas
- ✓ Electroválvulas
- ✓ Tira de Led RGB
- ✓ Tarjeta Arduino MEGA 2560
- ✓ Dispositivos eléctricos y electrónicos
- ✓ Puente H L298 Modulo

#### **5.1.4 Herramientas**

- ✓ Tarraja de 1/2' y 1' de diámetro.
- ✓ Llave de tubo para ajuste de ductos.
- ✓ Llave francesa
- ✓ Playo de presión.
- ✓ Juego de llaves.
- ✓ Prensa manual para banco.

## 5.2 Métodos

Para iniciar con la construcción se realizó una investigación en diferentes medios bibliográficos ya sea en internet, libros, tesis, tutoriales de video entre otros, sobre el funcionamiento de las piletas de cómo están constituidas. En la parte hidráulica se necesitan conocer algunas variables y la selección de elementos que lo conforman, para ello se necesitó diseñar primeramente toda la red de tubería, con las alturas correspondientes a los chorros en el diseño propuesto en el proyecto de tesis el cual se muestra en la *figura 39*, aunque más adelante se mejoró el diseño, antes de ello se realizó un sondeo en el mercado local sobre el tipo de material que se utilizó, especialmente las boquillas utilizando reductores de distinta medida para dicha implementación, luego se realizó un diagrama isométrico con la selección de todos sus elementos necesarios, así mismo se continuó con los cálculos analíticos para la selección de las bombas que componen la pileta.



**Figura 39: Croquis de la pileta de agua.**

(Fuente: El autor.)

El análisis consiste en determinar el caudal necesario para alimentar cada uno de los circuitos de agua dando la altura requerida en los chorros, para el cálculo a cada circuito

se lo distribuye por tramos, se utiliza boquillas de tres diámetros diferentes para que proporcione tres alturas diferentes en los chorros. Con ello se selecciona los tipos de bomba para alimentar los dos circuitos de la fuente, teniendo en cuenta el caudal, altura manométrica, la potencia, y eficiencia de la misma.

Se utiliza Microsoft excel para trazar las curvas características tanto de la bomba como de la instalación y verificar el punto de funcionamiento de la bomba.

La tubería seleccionada es de media y una pulgada de diámetro, el tipo de tubería es de poli-cloruro de vinilo (PVC). También se utilizó accesorios como codos, té, coplas, uniones, unión universales, válvulas, entre otros; en las **tablas 6 y 9** se puede apreciar todo el material utilizado, cada uno de ellos genera pérdidas en el flujo, por lo tanto: con la **ecuación 6** de bernoulli se calcula la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas hidráulicas de los accesorios y tuberías que componen los circuitos.

Para el cálculo de pérdidas de carga en la tubería, se utiliza las ecuaciones de Darcy Weisbach tomando en cuenta las pérdidas primarias y secundarias, (**formula 18 y 23**); respectivamente. Más adelante en los resultados se encuentra el desglose de todo el proceso analítico realizado.

### **Automatización**

Para el control de todo el sistema se selecciona la tarjeta Arduino Mega 2560 como elemento principal en el diseño automático, Arduino es una plataforma de hardware abierto que facilita la programación de un microcontrolador, su bajo costo económico y de fácil obtención en el mercado son las ventajas por la cuales se ha seleccionado esta tarjeta, también se utiliza elementos secundarios tales como:

- Tablero de control
- Electroválvulas
- Transformador
- Modulo relé
- Placa de ON y OFF
- Tira de Led RGB
- Borneras Din
- Interruptores o pulsadores
- Luces de señalización
- Contactores

Para el diseño y construcción automático del prototipo se sigue los siguientes pasos:

- Dimensionamiento de todos los elementos de control
- Montaje del tablero de control en un lugar específico
- Instalación de todo el sistema eléctrico y electrónico
- Diseño de la placa para el encendido y apagado del sistema
- Código de programación para la tarjeta Arduino
- Proceso y pruebas de funcionamiento.

A medida que se selecciona los accesorios se procede a la construcción y ensamblaje de la fuente debiendo tener en cuenta los ajustes perfectos de las piezas y evitando defectos que podrían alterar los resultados esperados.

## 6.- RESULTADOS

### 6.1 Descripción del prototipo

Se pretende realizar un prototipo de pileta de agua danzante audio-rítmica de tipo dinámico, se necesita un sistema de control que gestione los juegos de agua, la iluminación y el sonido. En la parte mecánica se pretende realizar la selección y montaje de los elementos mecánicos que conforman la pileta como: la fuente de agua, estructura metálica, accesorios para cañerías, tubería, así como la selección de las bombas a través de cálculos.

De acuerdo a la literatura investigada (acápite 4.1.3) describe que un circuito de agua puede ser sin recirculación, o con recirculación del agua, para esta construcción se selecciona este último caso, con recirculación de agua con bomba externa, por motivos de ahorro de agua. A través de pruebas de funcionamiento se espera que el prototipo funcione correctamente.

### 6.2 Diseño y construcción de la red hidráulica del prototipo

#### 6.2.1 Selección del depósito de agua

Para el inicio del diseño se selecciona el tanque de almacenamiento de agua, las medidas internas del mismo son: diámetro mayor 1,18m; diámetro menor 1m; altura 0,36m, por razones de ahorro de agua y para evitar accidentes de menores, el depósito de agua se lo llenará a una altura de 0,32m; el espesor es de 1cm, su volumen  $0,299\text{m}^3$  o lo que es lo mismo 299 litros; éste representa una masa de 299 kilogramos, el material del tanque es de fibrocemento.



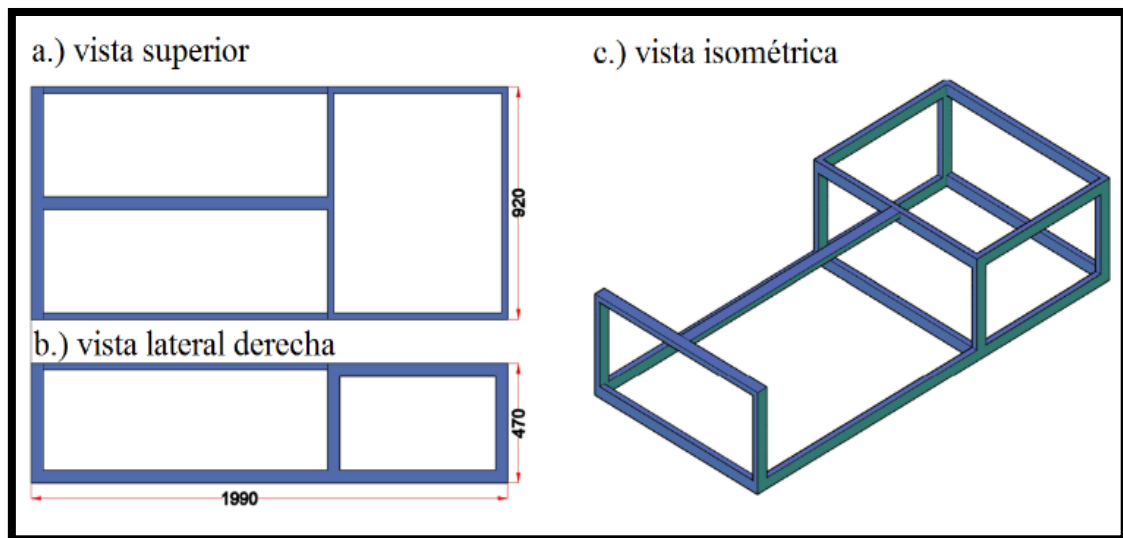
**Figura 40: Estructura de soporte**

Fuente: El autor

La **figura 40** muestra la preparación del recipiente, tal como empastada; con pasta fibroelástica y pintura elástica para evitar la filtración del agua.

### 6.2.2 Diseño de la estructura metálica

Se diseña y construye una estructura de tamaño reducido en comparación con otras fuentes, la estructura metálica debe soportar el montaje del tanque de almacenamiento, las bombas, cañerías y accesorios hidráulicos, así mismo deben soportar todo el equipo de control y de mando, ya que se tiene la oportunidad de trasladar a diferentes lugares al estar montado sobre un soporte, la **figura 41** muestra las dimensiones en milímetros de la estructura.



**Figura 41: Estructura de soporte**

Fuente: El autor

### 6.2.3 Diseño del diagrama isométrico y montaje de la red de tubería

Se realiza una observación en la localidad, con el objetivo de seleccionar los accesorios y la tubería para instalar la red de distribución de los chorros, con medidas de las boquillas y accesorios hidráulicos existentes en el mercado, se realizan arreglos para reemplazar las boquillas apropiadas de una pileta por un tipo de adaptador o reductor, el literal **a** de la **figura 42** muestra el accesorio que se utilizó para simular la boquilla del literal **b** de la misma.

Es necesario este tipo de arreglos ya que en la localidad no es posible conseguir este tipo de boquillas, incluso en nuestro país es muy difícil la adquisición de este material, ya que se puede conseguir a través de pedidos a otros países y a más de esto, estas tienen un costo muy alto.



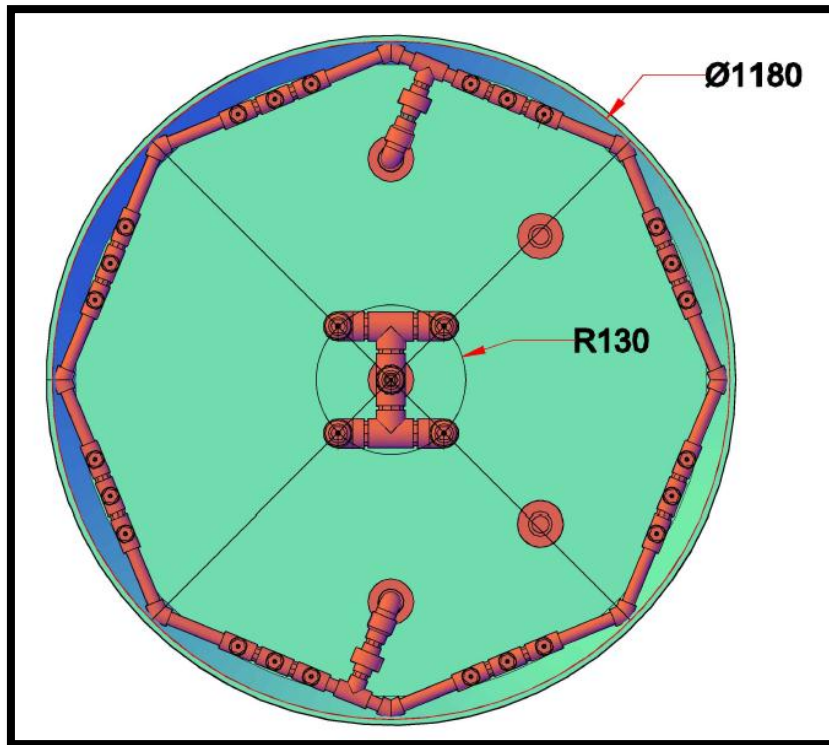


**Figura 42: Estructura de soporte**

Fuente: (Safe-Rain, s/f)

Se diseña el diagrama isométrico con medidas acorde al tanque y la estructura, para la distribución de los chorros con el diámetro interior del tanque de agua se traza un octágono inscrito en el círculo, se distribuye tres chorros por cada lado del octágono dando veinticuatro chorros oblicuos en el mismo, se colocó un chorro al centro de la fuente, luego se traza un círculo con radio R y dos diagonales alternando un vértice y en las intersecciones de estos se coloca cuatro chorros, ver **figura 43**. El radio R depende de los accesorios que se utilizó como tees, uniones y codos de PVC.

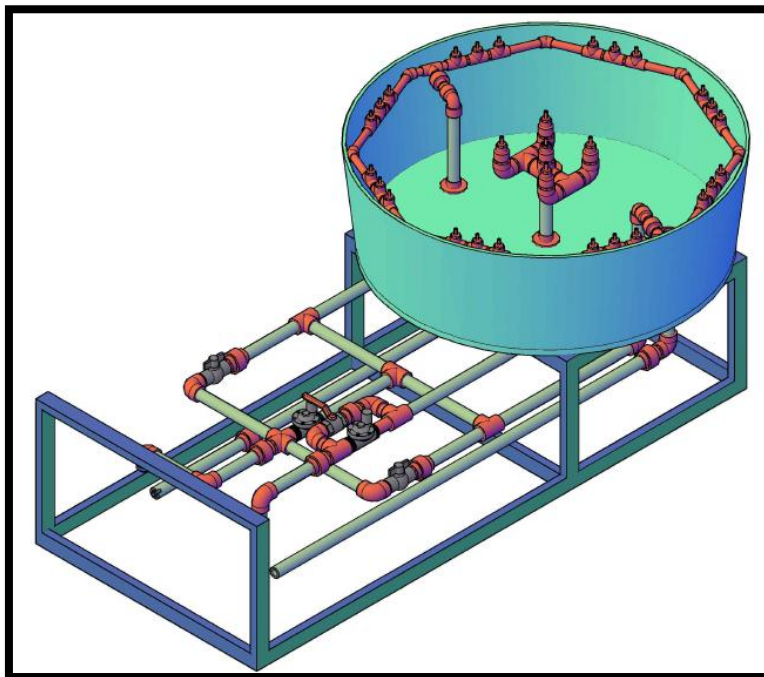
Para facilitar los cálculos se designa como circuito dos a la distribución de chorros en forma octogonal y circuito uno al central conjuntamente con los cuatro restantes, el diagrama isométrico se lo ha dividido por tramos por que el caudal en los ramales no son todos iguales, en los anexos se muestra el diagrama isométrico que se diseñó para cada circuito, también se realizó la colocación de adaptadores para el tanque en la aspiración del fluido para cada circuito. La siguiente figura muestra la distribución de los chorros y las dimensiones en milímetros.



**Figura 43: Distribución de chorros graficados en AutoCad**

Fuente: El autor

Se graficó en AutoCAD la red de tubería y accesorios hidráulicos, con apoyo del diagrama unifilar realizado anteriormente, en la *figura 44* se tiene una vista isométrica de la distribución de cañería para la entrada y salida del fluido.



**Figura 44: Estructura de soporte**

Fuente: El autor

### 6.2.4 Diseño del By-pass

El propósito para la instalación de by-pass en el diseño de la red, es para variar las alturas en los chorros de la pileta de agua. La **figura 45** muestra los dos circuitos desarrollados, el by-pass está compuesto por una válvula de bola y se lo conectó en paralelo con la electroválvula.

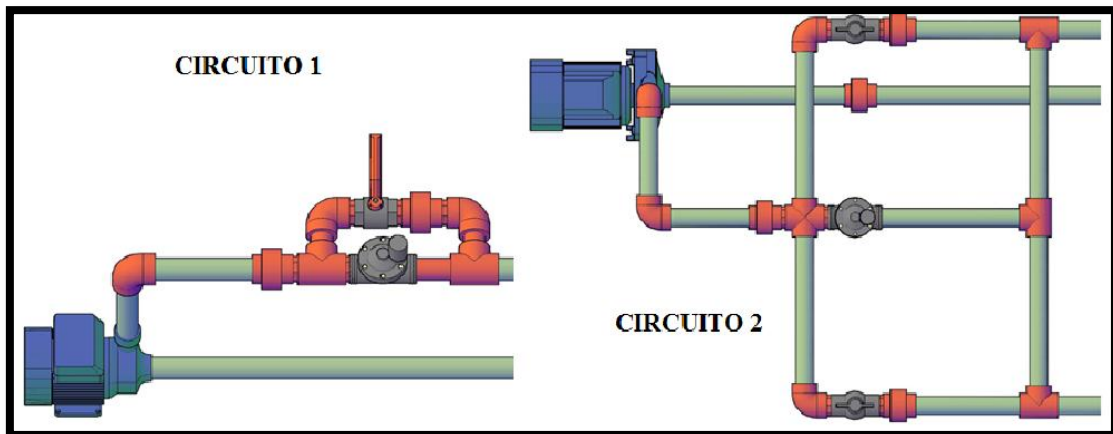
#### Funcionamiento para la válvula de bola:

1. Para el cierre del flujo, deslizar el sistema de bloqueo y actuar sobre el mando mediante un giro de  $90^\circ$  en el sentido de las agujas del reloj. Éste debe quedar en posición perpendicular al sentido del flujo.
2. Para la apertura del flujo, deslizar el sistema de bloqueo y actuar sobre el mando mediante un giro de  $90^\circ$  en el sentido contrario a las agujas del reloj. Éste debe quedar en posición paralela al sentido del flujo. (J. PARETA, s/f)

#### Funcionamiento para la electroválvula

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula, al energizarse el solenoide esta abre el paso al flujo, de lo contrario permanece normalmente cerrada, generalmente estas tienen dos posiciones: abierto y cerrado.

El circuito uno de la **figura 45** al momento que la bomba y electroválvula se activen el fluido circula a través de esta, mostrando en los chorros una altura máxima, pero cuando la electroválvula se desactive el fluido pasa a través de la válvula regulada con un cierre de  $65^\circ$  y el chorro tendrá una mínima altura de agua. El circuito dos está compuesto por dos válvulas que se las reguló con un cierre de  $60^\circ$ , si se activa la bomba y la electroválvula el fluido pasa libremente a través de ella, dando una altura máxima en los veinticuatro chorros, pero si la electroválvula es desactivada esta se cierra y el fluido circula a través de las válvulas reguladas para dar una mínima altura en los chorros.



**Figura 45: Diseño de by-pass**

Fuente: El autor

### 6.2.5 Selección de la bomba en el circuito 1

Los datos para los cálculos se toman del diseño propuesto en el proyecto de tesis, específicamente en la **figura 37** se muestran las dimensiones de altura en chorros.

La pileta se la diseñó con tres tipos de chorros de diferentes alturas. Para el diseño se propone las siguientes dimensiones para las alturas en los chorros de agua de la pileta.

Chorro central de 1m, boquilla de 5mm de diámetro. Los 4 chorros verticales de 0,8 metros con diámetro a la salida de la boquilla de 6,5mm.

Estos 5 chorros son alimentados por el circuito 1, el diámetro de la tubería y accesorios son de 1 pulgada. La altura geodésica se considera nula y la tubería es de PVC. Los datos de los accesorios se pueden ver en la **tabla 6**

#### **Datos:**

Altura de los chorros	Diámetro en boquillas	Diámetro de tubería
$Zh_1 = 1m$	$D_{b1} = 5mm = 0,005m$	$D_T = 1' = 0,0254m$
$Zh_2 = 0,8m$	$D_{b2} = 6,5mm = 0,0065m$	

#### **Caudal necesario**

Para calcular el caudal necesario y cumplir con lo propuesto, se utiliza la expresión del teorema de Torricelli ecuación 11, este es una aplicación del principio de Bernoulli.

$$V = \sqrt{2gh}$$

Despejando h se tiene:

$$h = \frac{V^2}{2g}$$

En la ecuación 7 de continuidad se despeja la velocidad V

$$Q = VA \Rightarrow V = \frac{Q}{A}$$

Luego se reemplaza el área en función del diámetro de la tubería

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Se eleva al cuadrado ambos miembros así:

$$V^2 = \left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2$$
$$V^2 = \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4}$$

Remplazando la velocidad en la expresión de Torricelli se tiene la expresión en función del caudal

$$h = \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4}$$

$$h = \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4}$$

Considerando que  $h = Zh_1$  y  $D = D_{b1}$  se tiene:

$$Zh_1 = \frac{8Q^2}{\pi^2 g D_{b1}^4}$$

Despejando Q se calcula el caudal en el chorro central

$$Q = \sqrt{\frac{Zh_1 * \pi^2 g (D_{b1})^4}{8}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{1m * \pi^2 (9,81m/s^2) (0,005m)^4}{8}}$$

$$Q = 0,00008697 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 5,22 \frac{l}{min}$$

Con la misma consideración en el chorro anterior se calcula el caudal para los 4 chorros verticales exteriores

$$Q_o = \sqrt{\frac{Zh_2 * \pi^2 g (D_{b2})^4}{8}} * \text{Numero de chorros}$$

$$Q_o = \sqrt{\frac{0,8 m * \pi^2 (9,81m/s^2) (0,0065m)^4}{8}} * 4$$

$$Q_o = 0,0005259 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_o = 31,55 \frac{l}{min}$$

El caudal total en el circuito 1 de los cinco chorros será:

$$Q_1 = Q + Q_o$$

$$Q_1 = 0,00008697 \frac{m^3}{s} + 0,0005259 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_1 = 0,000612833 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_1 = 36,77 \frac{l}{min}$$

Se encuentra todos los caudales en función de  $Q_1$

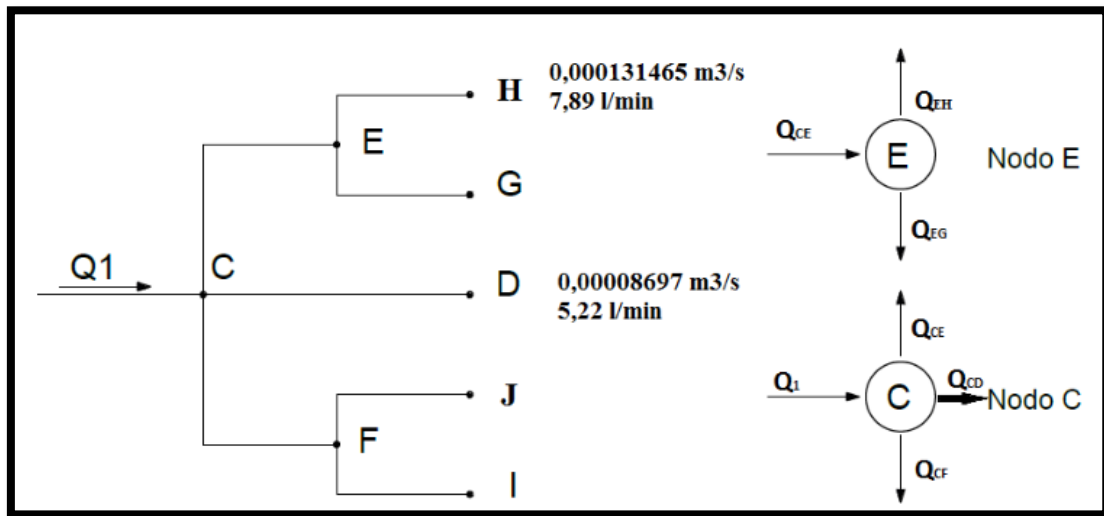


Figura 46: Nodos en el punto E y C

Fuente: El autor

A través de una regla de tres simple, conocido el caudal  $Q_1$  y el caudal en la boquilla en el punto D, se calcula la proporcionalidad del tramo  $Q_{CD}$  en función de  $Q_1$ , figura 44

$$\text{Si } Q_1 = 36,77 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

<i>Caudal</i>		<i>l/min</i>
$Q_1$	→	36,77
$x$	→	5,22

$$x = \frac{Q_1 * 5,22 \frac{\text{l}}{\text{min}}}{36,77 \frac{\text{l}}{\text{min}}} = 0,142 Q_1 \left( \frac{\text{l}}{\text{min}} \text{ o } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Si  $x$  es el caudal en el tramo  $CD$  entonces:

$$Q_{CD} = 0,142 Q_1 \left( \frac{\text{l}}{\text{min}} \text{ o } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Realizando el mismo proceso anterior, conocido el caudal  $Q_1$  y el caudal en la boquilla en el punto H, se calcula la proporcionalidad del tramo  $Q_{EH}$  en función de  $Q_1$ , figura 44

<i>Caudal</i>		<i>l/min</i>
$Q_1$	→	36,77
$x$	→	7,89

$$x = \frac{Q_1 * 7,89 \frac{l}{min}}{36,77 \frac{l}{min}} = 0,215 Q_1 \left( \frac{l}{min} \text{ o } \frac{m^3}{s} \right)$$

Si  $x$  es el caudal en el tramo  $EH$  entonces:

$$Q_{EH} = 0,215 Q_1 \left( \frac{l}{min} \text{ o } \frac{m^3}{s} \right)$$

Los caudales en los tramos  $EH$ ,  $EG$ ,  $FJ$  y  $FI$  son iguales, por lo tanto

$$Q_{EH} = Q_{EG} = Q_{FJ} = Q_{FI} = 0,215 Q_1 \left( \frac{l}{min} \text{ o } \frac{m^3}{s} \right)$$

Aplicando la ley de nodos en el punto E de la **figura 44**, se tiene la siguiente expresión:

$$Q_{CE} = Q_{EH} + Q_{EG}$$

$$Q_{CE} = 0,429 Q_1 \left( \frac{l}{min} \text{ o } \frac{m^3}{s} \right)$$

Si aplicamos la ley de nodos en el punto F será análogo al punto E, por lo tanto

$$Q_{CF} = 0,429 Q_1 \left( \frac{l}{min} \text{ o } \frac{m^3}{s} \right)$$

Si el análisis es correcto en el punto C, con la ley de nodos debe dar una igualdad

$$Q_1 = Q_{CE} + Q_{CD} + Q_{CF}$$

$$Q_1 = 0,429 Q_1 + 0,142 Q_1 + 0,429 Q_1$$

$$Q_1 = Q_1$$

**Tabla 6:** Sumatoria de coeficientes de pérdidas de accesorios hidráulicos, en cada tramo respectivo del circuito 1. (Véase *anexo B4* y *figura 21*). El diagrama unifilar del mismo se encuentra en el *anexo A1*.

Tramo AB (Aspiración)				Datos de cada tramo
Cant.	Descripción	K	$\sum K_i$	
1	Acople para tanque 1" (unión o junta)	0,4	0,4	$L_{AB} = 0,27m + 1,51m = 1,78m$ $Q_{AB} = 36,77l/min$ $D = 1"$
1	Universal de 1" (unión o junta)	0,4	0,4	
2	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	0,8	
1	Codo de 90° (recto)	0,8	0,8	
		Total	2,4	
Tramo BC ( Por electroválvula)				
3	Codo de 90° 1" (recto)	0,8	2,4	$L_{BC} = 0,24 + 0,21 + 0,76 + 0,18 + 0,22 = 1,61m$ $Q_{BC} = 36,77 l/min$
1	Universal de 1" (unión o junta)	0,4	0,4	
3	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	1,2	$D_{BC} = 1'$
1	Cruz ( <i>anexo B7</i> ) se estima Tee bilateral	3	3	
1	Acople para tanque 1" (unión o junta)	0,4	0,4	
1	Electroválvula completamente abierta	0	0	
2	Tee (salida directa )	0,6	1,2	
		Total	6,3	
Tramo BC (Por válvula de bola)				
5	Codo de 90° 1" (recto)	0,8	4	$L_{BC} = 0,24 + 0,21 + 0,76 + 0,18 + 0,22 = 1,61m$ $Q_1 = 41,82 l/min$
2	Universal de 1" (unión o junta)	0,4	0,8	
6	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	2,4	$D_{BC} = 1'$
1	Cruz ( <i>anexo B7</i> ) se estima Tee bilateral	3	3	
1	Válvula de bola 1' abierto 1/3 <i>anexo B1</i>	490	490	
2	Tee 1" (salida lateral )	1,3	2,6	
		Total	502,8	
Tramos CD				
1	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	0,4	$L = 0m$ $Q_{CD} = 0,142Q_1$ $D = 1'$
1	Reducción de 1" a 1/2" ( <i>figura 19</i> )	0,27	0,27	
1	Boquilla (reducción) ( <i>figura 19</i> )	0,28	0,28	
		Total	0,95	
Tramos CE + CF				
2	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	0,8	$L = 0m$ $Q_{CE} = 0,429Q_1$
2	Tee 1" (salida bilateral) ( <i>anexo B7</i> )	1,5	3	
		Total	3,8	
Tramos EG+EH+FI+FJ				
4	Codo de 90° 1" (recto)	0,8	3,2	$L = 0m$ $Q_{CD} = 0,215Q_1$ $D = 1'$
4	Boquilla (reducción) ( <i>figura 19</i> )	0,27	1,08	
8	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	3,2	
4	Reducción de 1" a 1/2" ( <i>figura 19</i> )	0,27	1,08	
		Total	8,56	

Fuente: El autor



### Cálculo De Reynolds y rugosidad relativa

Para encontrar lambda, con la expresión 8 se procede a calcular Reynolds Tramo AB y BC

$$Re = \frac{4\rho Q_1}{\mu * \pi * D_T}$$

Viscosidad dinámica del agua:  $\mu_{(20^\circ\text{C})} = 9 * 10^{-5} \frac{\text{Kg*s}}{\text{m}^2}$  (véase anexo B9)

Densidad del agua  $\rho = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$$Re = \frac{4 \left( 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \left( 0,00061833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{9 * 10^{-5} \frac{\text{Kg} * \text{s}}{\text{m}^2} (\pi) (0,0254\text{m})}$$

$$Re = 341051$$

Ahora se encuentra la rugosidad relativa de la tubería PVC.

$$\varepsilon = 0,0015 \text{ mm (Véase tabla \#2)}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D_T} = \frac{0,00015\text{cm}}{2,54 \text{ cm}} = 0,00006$$

Calculando Reynolds y la rugosidad relativa se adentra al diagrama de Moody y se calcula el factor de fricción. (Véase Fig. 18)

$$\lambda = 0,015$$

### Altura manométrica

Para el cálculo se utiliza la expresión de Bernoulli, ecuación 6.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_m = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$
$$H_m = \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Pérdidas de carga primaria y secundaria.

$$h_f = h_{fp} + h_{fs}$$

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \Sigma K \frac{V^2}{2g}$$

En función del caudal:

$$h_f = 24 \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4} + \lambda \frac{L}{D} \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4} + \Sigma K \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4}$$

De esta forma se obtiene la curva característica de la instalación en función del caudal.

$$H_m = \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4} + \lambda \frac{L}{D} \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4} + \Sigma K \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4} + \Sigma K_{boq} \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4}$$

### Cálculo de pérdidas primarias

Esta expresión predice las pérdidas debidas a la fricción sobre la pared en la tubería, para ello se utilizó la ecuación 18 de Darcy Weisbach

$$h_{fp} = \lambda L \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^5}$$

Tramos AB + (BC por electroválvula)

$$h_{fp} = 0,015 \left[ \frac{8(3.39m)Q_1^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^5} \right]$$

Total de pérdidas primarias

$$h_{fp} = 430241Q_1^2$$

### Cálculo de pérdidas secundarias

Para ello se utiliza la expresión 23 análoga a la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_{fs} = \Sigma K \frac{8Q_1^2}{\pi^2 g D^4}$$

**Tabla 7: Sumatoria del coeficiente de pérdidas en cada uno de los tramos.**

	$\Sigma K$	Caudal	Diámetro tubería(m)
<b>Tramo AB</b>	2,4	Q <sub>1</sub>	0,0254
<b>Tramo BC ( Por electroválvula)</b>	6,3		0,0254
<b>Tramo AB +BC (Por válvula de bola)</b>	502,8	Q <sub>1</sub>	0,0254
<b>Tramo CD</b>	0,95	0,142Q <sub>1</sub>	0,0254
<b>Tramos CE + CF</b>	3,8	0,429Q <sub>1</sub>	0,0254
<b>Tramos EG+EH+FI+FJ</b>	8,56	0,215Q <sub>1</sub>	0,0254

**Fuente:** El autor

Tramos AB + (BC por electroválvula)

$$h_{fs} = 8,7 \left[ \frac{8Q_1^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 1727052Q_1^2$$

Tramo AB+ BC (Por válvula de bola)

$$h_{fs} = 502,8 \left[ \frac{8(Q_1)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 99811742Q_1^2$$

Tramo CD

$$h_{fs} = 0,95 \left[ \frac{8(0,142Q_1)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 3802Q_2^2$$

Tramo CE + CF

$$h_{fs} = 3,8 \left[ \frac{8(0,429Q_1)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 138830Q_1^2$$

Tramos EG+EH+FI+FJ

$$h_{fs} = 8,56 \left[ \frac{8(0,215Q_1)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 78548Q_2^2$$

Pérdida de carga en electroválvula. En el **anexo B8** con  $Q_1 = 36,77\text{l/min} = 2,21\text{ m}^3/\text{h} = 0,000612833\text{ m}^3/\text{s}$  la pérdida de carga en una electroválvula tipo globo se da en bar:  $h_{felec} = 0,04\text{ bar} = 0,41\text{mca}$

$$h_{felect} = KQ_1^2$$

$$K = \frac{h_{felect}}{Q_1^2} = \frac{0,41}{(0,000612833)^2} = 1091691$$

$$h_{felect} = 1091691Q_1^2$$

Total de pérdidas secundarias con electroválvula abierta

$$h_{fs} = 3039923Q_1^2$$

Chorro vertical de 1 metro

$$Zh_1 = \frac{8Q_1^2}{\pi^2 g D_{b1}^4}$$

$$Zh_1 = \frac{8(0,142Q_1)^2}{\pi^2 (9,81\text{m/s}^2)(0,005\text{m})^4}$$

$$Zh_1 = 2665741Q_1$$

4 chorros de 0,8 metros

$$Zh_2 = (4) \frac{8(0,215Q_1)^2}{\pi^2 (9,81\text{m/s}^2)(0,0065\text{m})^4}$$

$$Zh_2 = 8558639Q_1$$

### **Altura manométrica y curva característica**

Máxima altura de los chorros (cuando el fluido pasa por la electroválvula completamente abierta), es decir por todos los tramos excepto el tramo AB+BC (por válvula de bola)

$$H_m = h_f + Zh_1 + Zh_2$$

$$h_f = h_{fp} + h_{fs}$$

$$H_m = 430241Q_1^2 + 3039923Q_1^2 + 2665741Q_1 + 8558639Q_1$$

$$H_m = 14694544Q_1^2 \left( m, \frac{m^3}{s} \right)$$

$$H_m = 0,004081818Q_1^2 \left( m, \frac{l}{min} \right)$$

Mínima altura de los chorros (cuando el fluido pasa por la válvula de bola cerrada 65° y la electroválvula está completamente cerrada) es decir, circula por los tramos AB, BC (por válvula de bola), CE + CF, EG+EH+FI+FJ

$$H_m = h_f + Zh_1 + Zh_2$$

$$H_m = 430241Q_1^2 + 99811742Q_1^2 + 2665741Q_1 + 8558639Q_1$$

$$H_m = 112779234Q_1^2 \left( m, \frac{m^3}{s} \right)$$

$$H_m = 0,031327565Q_1^2 \left( m, \frac{l}{min} \right)$$

**Tabla 8:** Valores de caudal y altura manométrica de la instalación

Q(l/min)	Hm instalación (m)
0	0,00
5	0,10
10	0,41
15	0,92
20	1,63
25	2,55
30	3,67
35	5,00
36,77	5,52
40	6,53

Fuente: El autor

### Selección de la bomba

Dado el caudal máximo y la altura manométrica resaltada de amarillo en la **tabla 8** se eligen el tipo de bomba para la impulsión del fluido en el circuito 1, al realizar una observación sobre bombas en la localidad se verifica la comercialización de las bombas PEDROLLO, según (Pedrollo, 2010, pág. 8) esta empresa es reconocida a nivel internacional, al utilizar tecnología más avanzada y sofisticada que garantiza la precisión y calidad de sus productos, esta es la razón por la cual se adoptó el catálogo de esta empresa para la selección de la bomba, en el **anexo C1** se muestran las prestaciones.

Características:

- PKm60
- 3450 rpm
- $N_1 = 550\text{W}$  (Es la potencia de la red)
- $N_2 = 370\text{W}$  (potencia del motor o potencia de la bomba si se desprecia  $\Delta P$  en el acoplamiento)

En la figura 45 se tiene la siguiente curva de la bomba y de la instalación.

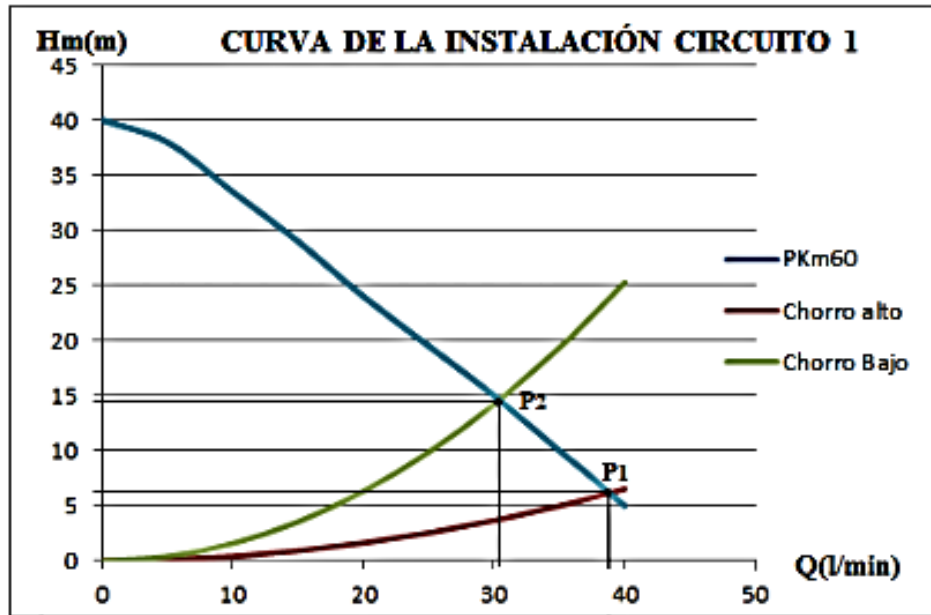


Figura 47: Curva de la bomba y de la instalación

Fuente: El autor

**Puntos de funcionamientos y eficiencia**

Punto  $P_1$  sin estrangular el fluido (altura máxima en los chorros)

$$Q = 38,5 \frac{l}{min} = 0,000642 \frac{m^3}{s}$$

$$H_m = 6,5 m$$

De las expresiones 27 y 28 calculamos el rendimiento, considerando que  $N_2 = P_b$

$$\eta_b = \frac{\rho g H Q}{P_b} * 100 = \frac{1000 * 9,81 * 6,5 * 0,000642}{370} * 100 = 11,06\%$$

Punto  $P_2$  con estrangulación por válvula (altura mínima en los chorros)

$$Q = 25 \frac{l}{min} = 0,000417 \frac{m^3}{s}$$

$$H_m = 19,5m$$

$$\eta_b = \frac{1000 * 9,81 * 24 * 0,0004}{370} * 100 = 21,31\%$$

### 6.2.6 selección de la bomba en el circuito 2

Los datos para los cálculos se toman del diseño propuesto en el proyecto de tesis, específicamente en la **figura 37** se muestran las dimensiones de alturas en chorros.

Se propone que los 24 chorros sean inclinados que tengan un alcance máximo de 0,45 m y la altura máxima de 0.4m, el diámetro a las salidas de las boquilla son de 5mm, la diferencia de niveles o carga estática se considera nula, el diámetro de la tubería y accesorios son de 1 pulgada y la tubería es de PVC. Los datos de los accesorios se pueden ver en la **tabla 9**

#### Datos

$$X_{max} = 0,45m$$

$$y_{max} = 0,4m$$

$$D_b = 5mm = 0,005m$$

$$N_b = 24$$

$$Z_1 = Z_2$$

$$D_T = 1' = 0,0254m$$

#### **Caudal necesario**

Para calcular el caudal necesario y cumplir con lo propuesto, se utiliza las expresiones de un tiro oblicuo en un chorro de agua, ecuaciones 9 y 10; en estas se despeja la velocidad inicial a cada una.

$$X_{max} = \text{sen}(2\theta) \frac{V_i^2}{g} \Rightarrow V_i = \sqrt{\frac{g * X_{max}}{\text{sen } 2\theta}}$$

$$Y_{max} = \frac{V_i^2}{2g} \text{sen}^2\theta \Rightarrow V_i = \sqrt{\frac{2g * y_{max}}{\text{sen}^2\theta}}$$

Igualando velocidades iniciales se obtiene el ángulo de inclinación de cada chorro:

$$V_i = V_i$$

$$\sqrt{\frac{g * X_{max}}{\sin 2 \theta}} = \sqrt{\frac{2g * y_{max}}{\text{sen}^2 \theta}}$$

$$\frac{\text{sen}^2 \theta}{\text{sen}(2\theta)} = \frac{2y_{max}}{X_{max}}$$

$$\frac{\text{sen}^2 \theta}{2\text{sen} \theta * \text{Cos} \theta} = \frac{2y_{max}}{X_{max}}$$

$$\text{Tang} \theta = \frac{4y_{max}}{X_{max}}$$

$$\theta = 74.3^\circ$$

La velocidad inicial a la salida de un chorro se la deduce con la ecuación 9

$$V_i = \sqrt{\frac{gX_{max}}{\text{sen}(2\theta)}}$$

$$V_i = \sqrt{\frac{9,81 \frac{m}{s^2} * 0,45m}{\text{sen}(148.6^\circ)}}$$

$$V_i = 2,91 \frac{m}{s}$$

La ecuación de continuidad y el número de chorros define el caudal total en el circuito.

$$Q_2 = V_i * A * N_b$$

$$Q_2 = V_i \left( \frac{\pi D_b^2}{4} \right) * N_b$$

$$Q_2 = 2,91 \frac{m}{s} * \frac{\pi(0,005m)^2}{4} * (24)$$

$$Q_2 = 0,0000571377 \frac{m^3}{s} * (24)$$

$$Q_2 = 0,00137 \frac{m^3}{s} = 82.3 \frac{l}{min}$$



**Tabla 9: Sumatoria del coeficiente de pérdidas de los accesorios hidráulicos de la fuente, en cada tramo del circuito 2. (Véase anexo B4 y figura 21). El diagrama isométrico del mismo se encuentra en el anexo A1.**

Tramo AB (Aspiración)				Datos de cada tramo
Cantidad	Descripción	K	$\sum K_i$	
1	Acople para tanque 1" (unión o junta)	0,4	0,4	$L_{AB} = 0,22m + 1,17m + 0,4m = 1,79m$
2	Universales de 1" (unión o junta)	0,4	0,8	$Q_{AB} = 82 \text{ l/min}$
1	Codo de 90° (recto)	0,8	0,8	$D_{AB} = 1"$
		Total	2	
Tramo BC				
2	Codo de 90° 1" (recto)	0,8	1,6	$L_{BC} = 0,22m + 0,2m = 0,42m$
1	Universal de 1" (unión o junta)	0,4	0,4	$Q_{BC} = 82 \text{ l/min}$
2	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	0,8	$D_{BC} = 1" = 0,0254m$
1	Cruz ( <i>anexo B7</i> ) Se estima Tee bilateral	1,5	1,5	
		Total	4,3	
Tramo CD				
1	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	0,4	$L_{CD} = 0,31m$
1	Electroválvula (completamente abierta)	0	0	$Q_{CD} = 82 \text{ l/min}$
1	Tee 1" (salida bilateral)	1,8	1,8	$D_{CD} = 1" = 0,0254m$
		Total	2,2	
Tramos DE + DÉ				$L_{DE} = 2(0,34m) = 0,68m$
2	Tee 1" (salida lateral)	1,3	2,6	$Q_{DE} = Q_{BC}/2$
				$D_{DE} = 1" = 0,0254m$
Tramos CE + CÉ				
2	Codo de 90° 1" (recto)	0,8	1,6	$L_{CD} = 2(0,34m + 0,25m) = 1,18m$
2	Universal de 1" (unión o junta)	0,4	0,8	$Q_{BC}/2$
4	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	1,6	$D_e = 1" = 0,0254m$
1	Válvula de bola 1" (abierto 1/3) <i>anexo B1</i>	206	206	
2	Tee 1" (salida directa)	0,6	1,2	
1	Tee 1" (salida bilateral)	1,8	1,8	
		Total	213	
Tramos EF + EF'				
4	Codo de 90° 1" (recto)	0,8	3,2	$L_{EF} = 2(0,54m + 0,28m) = 1,64m$
4	Universal de 1" (unión o junta)	0,4	1,6	$Q_{BC}/2 =$
4	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	1,6	$D = 1" = 0,0254$
2	Acople para tanque 1" (unión o junta)	0,4	0,8	
2	Reducción de 1" a 1/2" (figura 19)	0,27	0,54	
		Total	6,4	

<b>Tramos FG + F'G'</b>				
2	Neplo perdido de 1/2" (unión o junta)	0,4	0,8	Q <sub>BC</sub> /4= D = 1/2" = 0,0127m
2	Tee 1/2"(salida bilateral)	1,8	3,6	
		Total	4,4	
<b>Tramo hexagonal</b>				
8	Codo de 45° 1/2" ( <i>anexo B6</i> )	0,43	3,44	L <sub>heg</sub> = 0,12m*12 = 1,44m
20	Tee 1/2"(salida directa )	0,6	12	Q <sub>BC</sub> /4=
4	Tee 1/2"(salida lateral)	1,3	5,2	D <sub>heg</sub> = 1/2" = 0,0127m
24	Neplo perdido de 1/2" (unión o junta)	0,4	9,6	
2	Universal de 1' (unión o junta)	0,4	0,8	
		Total	31,04	

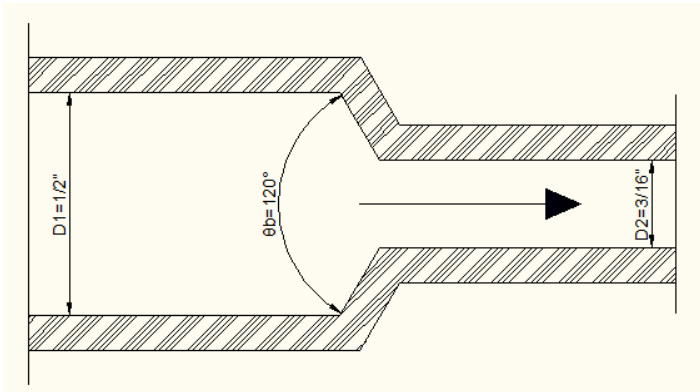
(Fuente. El autor)

<b>Tramos EF + EF'</b>				
4	Codo de 90° 1" (recto)	0,8	3,2	L <sub>EF</sub> = 2(0,54m+0,28m)=1,64m
4	Universal de 1' (unión o junta)	0,4	1,6	Q <sub>BC</sub> /2=
4	Neplo perdido de 1" (unión o junta)	0,4	1,6	D = 1" = 0,0254
2	Acople para tanque 1"(unión o junta)	0,4	0,8	
2	Reducción de 1" a 1/2" (figura 19)	0,27	0,54	
		Total	6,4	

<b>Tramos FG + F'G'</b>				
2	Neplo perdido de 1/2" (unión o junta)	0,4	0,8	Q <sub>BC</sub> /4=
2	Tee 1/2"(salida bilateral)	1,8	3,6	D = 1/2" = 0,0127
		Total	4,4	
<b>Tramo exagonal</b>				
8	Codo de 45° 1/2" (recto) (figura 36)	0,43	3,44	L <sub>exag</sub> = 0,12m*12 = 1,44m
20	Tee 1/2"(salida directa )	0,6	12	Q <sub>BC</sub> /4=
4	Tee 1/2"(salida lateral)	1,3	5,2	D <sub>exag</sub> = 1/2" = 0,0127m
4	Neplo perdido de 1/2" (unión o junta)	0,4	9,6	
2	Universal de 1' (unión o junta)	0,4	0,8	
		Total	31,04	

Fuente: El autor

## Coefficiente de resistencia (K) en las boquillas



$$\text{Proporción de diámetro } \frac{D_1}{D_2} = \frac{1/2''}{3/16''} = 2.67$$

Angulo del cono  $120^\circ$

Luego, en la **figura 18** con proporción del diámetro y ángulo de cono se encuentra el coeficiente de resistencia en una boquilla y con el número de las mismas el total.

$$K_{boq} = 0,28$$

$$\Sigma K_{boq} = K_{boq} * N_b = 0,28 * 24 = 6,72$$

## Calculo De Reynolds y rugosidad relativa

Para encontrar lambda con la expresión 8 se procede a calcular Reynolds.

Tramo AB

$$Re = \frac{4\rho Q}{\mu * \pi * D_T}$$

$$Re = \frac{4 \left( 1000 \frac{Kg}{m^3} \right) \left( 0,00137 \frac{m^3}{s} \right)}{9 * 10^{-5} \frac{Kg * s}{m^2} (\pi) (0,0254m)}$$

$$Re = 763052$$

Ahora se encuentra la rugosidad relativa de la tubería PVC.

$$\varepsilon = 0,001 \text{ cm (Véase tabla \#2)}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D_T} = \frac{0,00015 \text{ cm}}{2,54 \text{ cm}} = 0,00006$$

Factor de fricción. (Véase Fig. 18) Diagrama de Moody

$$\lambda = 0,0135$$

Con el mismo procedimiento descrito anteriormente se realiza los cálculos en los tramos restantes, obteniendo los siguientes resultados en la tabla 10.

**Tabla 10: Respuestas del factor de fricción por cada tramo.**

	Reynolds	Rugosidad relativa	Factor de fricción	Longitud(m)	Caudal
Tramo AB	763052	0,00006	0,0135	1,79	Q2
Tramo BC				0,42	
Tramo CD				0,31	
Tramos DE + DE'	381526	0,00006	0,015	0,68	Q2/2
Tramos CE + CE'	0	0	0	1,18	0
Tramos EF + EF'	381526	0,00006	0,015	1,64	Q2/2
Tramos FG + F'G'				0	
Tramo hexagonal	382083	0,00012	0,016	1,44	Q2/4

Fuente: El autor

### Calculo de pérdidas primarias

Para ello se utilizó la ecuación 18 de Darcy Weisbach

$$h_{fp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4}$$

Tramos AB+BC+CD

$$h_{fp} = 0,0135 \left[ \frac{8(2,52m) Q_2^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^5} \right]$$

$$h_{fp} = 265880 Q_2^2$$

Tramos DE + DE'

$$h_{fp} = 0,015 \left[ \frac{8(0,68m) \left(\frac{Q_2}{2}\right)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^5} \right]$$

$$h_{fp} = 19929 Q_2^2$$

Tramos EF + EF'

$$h_{fp} = 0,015 \left[ \frac{8(1,64m) \left(\frac{Q_2}{2}\right)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^5} \right]$$

$$h_{fp} = 48064Q_2^2$$

Tramo hexagonal

$$h_{fp} = 0,016 \left[ \frac{8(1,44m) \left(\frac{Q_2}{4}\right)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0127m)^5} \right]$$

$$h_{fp} = 360134Q_2^2$$

Total de pérdidas primarias

$$h_{fp} = 694007Q_2^2$$

### Calculo de pérdidas secundarias

Para ello se utiliza la expresión 23 análoga a la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_{fs} = \Sigma K \frac{8Q_2^2}{\pi^2 g D^4}$$

Tabla 11: Sumatorias del coeficiente de pérdidas en cada uno de los tramos.

	$\Sigma K$	Caudal	Diámetro Tub.(m)
<b>Tramo AB</b>	2	$Q_2$	0,0254
<b>Tramo BC</b>	4,3	$Q_2$	0,0254
<b>Tramo CD</b>	2,2	$Q_2$	0,0254
<b>Tramos DE + DÉ</b>	2,6	$Q_2/2$	0,0254
<b>Tramos CE + CÉ</b>	213	$Q_2/2$	0,0254
<b>Tramos EF + EF'</b>	6,4	$Q_2/2$	0,0254
<b>Tramos FG + F'G'</b>	4,4	$Q_2/2$	0,0127
<b>Tramo hexagonal</b>	31,04	$Q_2/4$	0,0127

Fuente: El autor

Tramos AB+BC+CD

$$h_{fs} = 7 \left[ \frac{8Q_2^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 13895832Q_2^2$$

Tramo AB+BC

$$h_{fs} = 4,8 \left[ \frac{8Q_2^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 952856Q_2^2$$

Tramos DE + DE'

$$h_{fs} = 2,6 \left[ \frac{8 \left(\frac{Q_2}{2}\right)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 129032Q_2^2$$

Tramos CE + CÉ

$$h_{fs} = 213 \left[ \frac{8 \left(\frac{Q_2}{2}\right)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 10570754Q_2^2$$

Tramos EF + EF'

$$h_{fs} = 6,4 \left[ \frac{8 \left(\frac{Q_2}{2}\right)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0254m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 317618Q_2^2$$

Tramos FG + F'G'

$$h_{fs} = 4,4 \left[ \frac{8 \left(\frac{Q_2}{2}\right)^2}{\pi^2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0,0125m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 3493808Q_2^2$$

Tramo hexagonal

$$h_{fs} = 31,04 \left[ \frac{8 \left( \frac{Q_2}{4} \right)^2}{\pi^2 \left( 9,81 \frac{m}{s^2} \right) (0,0127m)^4} \right]$$

$$h_{fs} = 6161806Q_2^2$$

Boquillas (reductores)

$$\Sigma K_{boq} = 6,72$$

$$h_{fs} = 6,72 \left[ \frac{8 \left( \frac{Q_2}{24} \right)^2}{\pi^2 \left( 9,81 \frac{m}{s^2} \right) (0,0125m)^4} \right] = 37055Q_2^2$$

Perdida de carga en electroválvula. En el **anexo B8** con  $Q_2 = 82,3l/min = 4,94 m^3/h = 0,00137 m^3/s$  la pérdida de carga en una electroválvula tipo globo se da en bar:  $h_{felec} = 0,08 bar = 0,82mca$

$$h_{flect} = KQ_2^2$$

$$K = \frac{h_{flect}}{Q_2^2} = \frac{0,82}{(0,00137)^2} = 436891$$

$$h_{flect} = 436891Q_2^2$$

Total de pérdidas secundarias

$$h_{fs} = 13522902Q_2^2$$

### Altura manométrica y curva característica

Electroválvula completamente abierta

$$H_m = h_f$$

$$h_f = h_{fp} + h_{fs}$$

$$H_m = 694010Q_2^2 + 11965792Q_2^2$$

$$H_m = 12659799Q_2^2 \left( m, \frac{m^3}{s} \right)$$

$$H_m = 0,003516611Q_2^2 \left( m, \frac{l}{min} \right)$$

Válvula de bola abierta 1/3 y la electroválvula completamente cerrada) el fluido circula por los tramos CE y CÉ

$$H_m = h_f + h_{fs}$$

$$H_m = 694010Q_2^2 + 21970788Q_2^2 \left( m, \frac{m^3}{s} \right) = 22227904Q_2^2 \left( m, \frac{m^3}{s} \right)$$

$$H_m = 0,006174418Q_1^2 j \left( m, \frac{l}{min} \right)$$

**Tabla 12: Valores de caudal y altura manométrica de la instalación cuando la electroválvula está completamente abierta**

Q(l/min)	Hm instalación (m)
0	0,00
10	0,35
20	1,41
30	3,16
40	5,63
50	8,79
63	13,96
70	17,23
80	22,51
82,3	23,82
90	28,48
100	35,17

Fuente: El autor

### Selección de la bomba

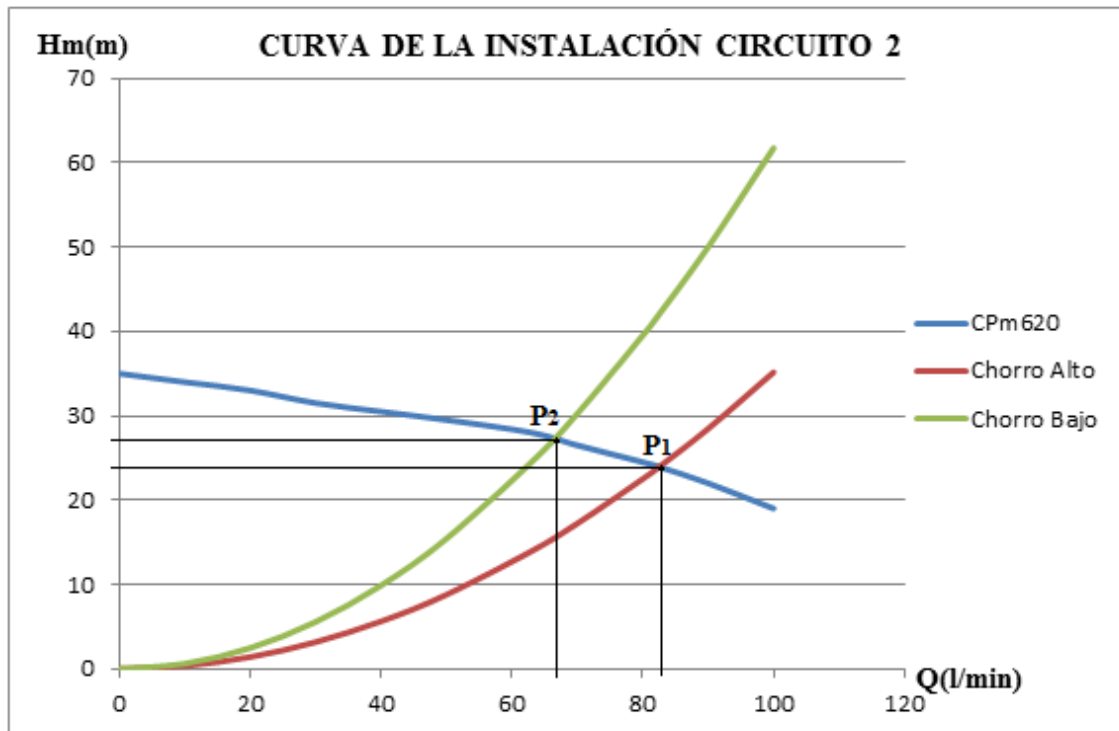
Dado el caudal máximo y la altura manométrica resaltada de amarillo en la **tabla 12**, se eligen el tipo de bomba para la impulsión del fluido en el circuito 2, al realizar una observación sobre bombas en la localidad se verifica la comercialización de las bombas PEDROLLO, según (Pedrollo, 2010, pág. 8) esta empresa es reconocida a nivel internacional, al utilizar tecnología más avanzada y sofisticada que garantiza la precisión y calidad de sus productos, esta es la razón por la cual se adoptó el catálogo de esta empresa para la selección de la bomba, en el **anexo C3** se muestran las prestaciones.

#### Características:

- CPm620
- 3450 rpm
- $N_1 = 1200W$  (Es la potencia de la red)
- $N_2 = 746W$  (potencia del motor o potencia de la bomba si se desprecia  $\Delta P$  en el acoplamiento)



En la **figura 48** se tiene la siguiente curva de la bomba y de la instalación.



**Figura 48: Curva de la bomba y de la instalación**

Fuente: El autor

### Puntos de funcionamientos y eficiencia en el circuito 1

Punto **P<sub>1</sub>** sin estrangular el fluido (altura máxima en los chorros)

$$Q = 82,3 \frac{l}{min} = 0,00137 \frac{m^3}{s}$$

$$H_m = 23,82m$$

De las expresiones 27 y 28 calculamos el rendimiento, considerando que  $N_2 = P_b$

$$\eta_b = \frac{\rho g H Q}{P_b} * 100 = \frac{1000 * 9,81 * 23,82 * 0,00137}{746} * 100 = 42,97\%$$

Punto **P<sub>2</sub>** con estrangulación por válvula (altura mínima en los chorros)

$$Q = 62 \frac{l}{min} = 0,00103 \frac{m^3}{s}$$

$$H_m = 27m$$

$$\eta_b = \frac{1000 * 9,81 * 27 * 0,00103}{746} * 100 = 36,7\%$$

## Selección del calibre del conductor y protecciones

Para la selección se utiliza la Norma Oficial Mexicana de instalaciones eléctricas NOM 001-sede 2012

$$I_{nom} = \frac{P}{V * \cos \varphi}$$

**Tabla 13: Datos de placa de bombas**

Bomba	Intensidad nominal(A)	Voltaje(V)	Potencia(W)	Cos $\varphi$
PKm60(B1)	5,5	110	550	0,9091
CPm620(B2)	12	110	1200	0,9091
$\sum (B_1 + B_2)$	17,5			

Fuente: El autor

Selección de los alimentadores para cada bomba

Se Observa que el factor F.C. es considerado igual a 1, debido a que se sobre entiende que el número de conductores por una misma tubería es máximo 3, para el presente caso son dos y el factor de temperatura FT, desde 0 a 30°C es igual a uno.

$$I_{cal} = \frac{1,25I_{nom}}{FC.FT}$$

Para conductores que alimenten un solo motor, la corriente nominal a plena carga se multiplicará por 1,25 (artículo 430-22 de NOM). En el caso de varios motores, a la suma de la corriente a plena carga de los motores se le sumará el 25% de la corriente del motor más grande (artículo 430-24).

Según (artículo 110-14) si la corriente en el circuito es mayor a 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 75°C. Y si es menor de 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 60°C.

**Tabla 14: Selección de calibre del conductor, fusible y disyuntor para el alimentador principal, así como para cada bomba.**

Bomba	Intensidad de calibre(A)	Calibre del conductor (AWG)	Fusible (A)	Breaker (A)
PKm60(B1)	6,88	14	15	15
CPm620(B2)	15,00	12	20	20
$\sum (B_1 + B_2)$	20,50	10	25	30

Fuente: El autor

Los resultados del calibre, fusible y disyuntor obtenidos en la tabla anterior se obtuvieron con apoyo de las tablas de los anexos C7 y C8, partiendo del dato de cada intensidad de calibre.

### 6.3 Diseño y construcción del sistema de automatización para el control del audio-ritmo y el flujo de agua

#### ➤ Descripción de diseño

Para el inicio del proceso se propone que el ritmo de la música sea el que gobierne el sistema de control, la señal (analógica) producida por el audio ingrese al microcontrolador seleccionado y este a su vez sea el que ordene a los actuadores lo que debe hacer según lo que se pretende programar o codificar, para ello este dispositivo de control depende de la señal de audio reproducida a través de un amplificador mp3.

#### ➤ Esquema de conexión

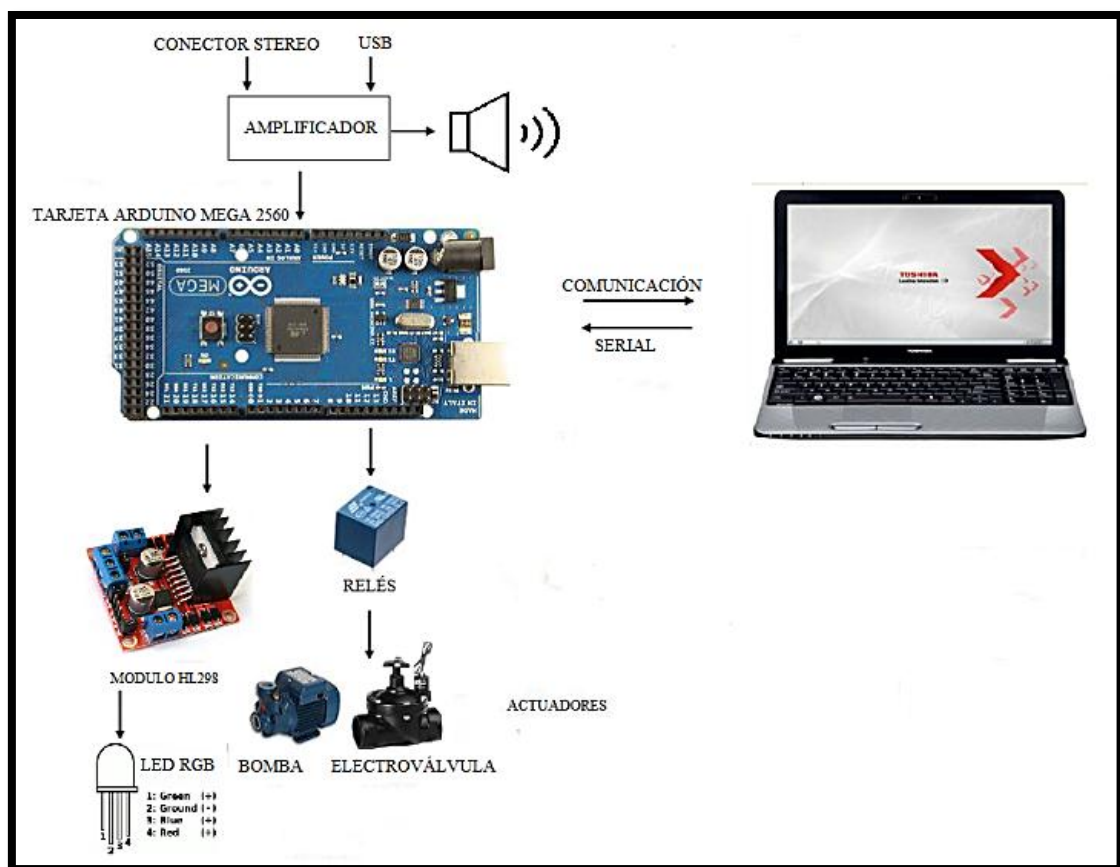


Figura 49: Esquema de la pileta.

Fuente: El autor

En la **figura 49** se muestra un esquema de cómo están conectados los dispositivos electrónicos.

La tarjeta Arduino Mega 2560 permite el control de los actuadores a través de los relés, así mismo controla los Leds RGB mediante el modulo puente H L298, según el ingreso de la señal de audio a la tarjeta.

### 6.3.1. Elementos

El control del sistema se compone por los siguientes elementos:

#### **Tablero de control**

Se empieza por la selección y colocación de un tablero de control para la puesta de los dispositivos electrónicos, se elige un tablero con las siguientes dimensiones 40\*60\*25cm, en la *figura 50* se muestra el montaje del mismo, en la que se seleccionó un lugar alejado de la fuente de agua con el propósito de evitar que humedezca el interior del tablero.



**Figura 50: Montaje del tablero de control**

Fuente: El autor

#### **Tarjeta Arduino mega 2560**

Para la implementación de este sistema se selecciona la tarjeta arduino mega 2560, su bajo costo económico, su fácil obtención en la localidad y de código abierto son las ventajas por las que se ha elegido este dispositivo.

El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como E/S (de las cuales 15 proveen salidas PWM); 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa.

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del Puerto Serie. Posee un convertidor usb-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras, puede ser alimentado mediante el puerto USB o con una fuente externa de poder. La alimentación

es seleccionada de manera automática, puede ser programado de una manera muy fácil utilizando el lenguaje propio de Arduino junto con la interfaz Arduino IDE.

### **Amplificador con altavoces**

Un amplificador es todo dispositivo que, mediante la utilización de energía, magnifica la amplitud de un fenómeno, agranda la intensidad de algo. En términos particulares un amplificador es un aparato al que se le conecta un dispositivo de sonido y aumenta la magnitud del volumen.

Un altavoz es un transductor utilizado para la reproducción del sonido el cual sigue un doble procedimiento: eléctrico-mecánico-acústico. En la primera etapa convierte las ondas eléctricas en energía mecánica, y en la segunda convierte la energía mecánica en ondas de frecuencia acústica.

Se selecciona un amplificador con salida para dos altavoces, una salida se utiliza para la entrada de señal de audio a la tarjeta Arduino y la otra para la entrada al altavoz.

### **Electroválvula**

El prototipo consta de dos electroválvulas de 1 pulgada, estas serán controladas por la tarjeta Arduino, las mismas que permiten el control del líquido, esta se seleccionó debido a que es comercial en la localidad y se consideró los datos de la placa de las bombas, estas se muestran en los anexos **C5** y **C6**, la altura máxima de cada una es 40m y 35m, respectivamente; por tanto se seleccionan las electroválvulas en base a estos datos: rango de temperatura hasta 80°C, rango de presión de 0,7-10 bar (7,14-102 mca), Voltaje de alimentación de 24 V AC(60 Hz), corriente 0,125A; potencia 1,7Wats.

### **Transformador**



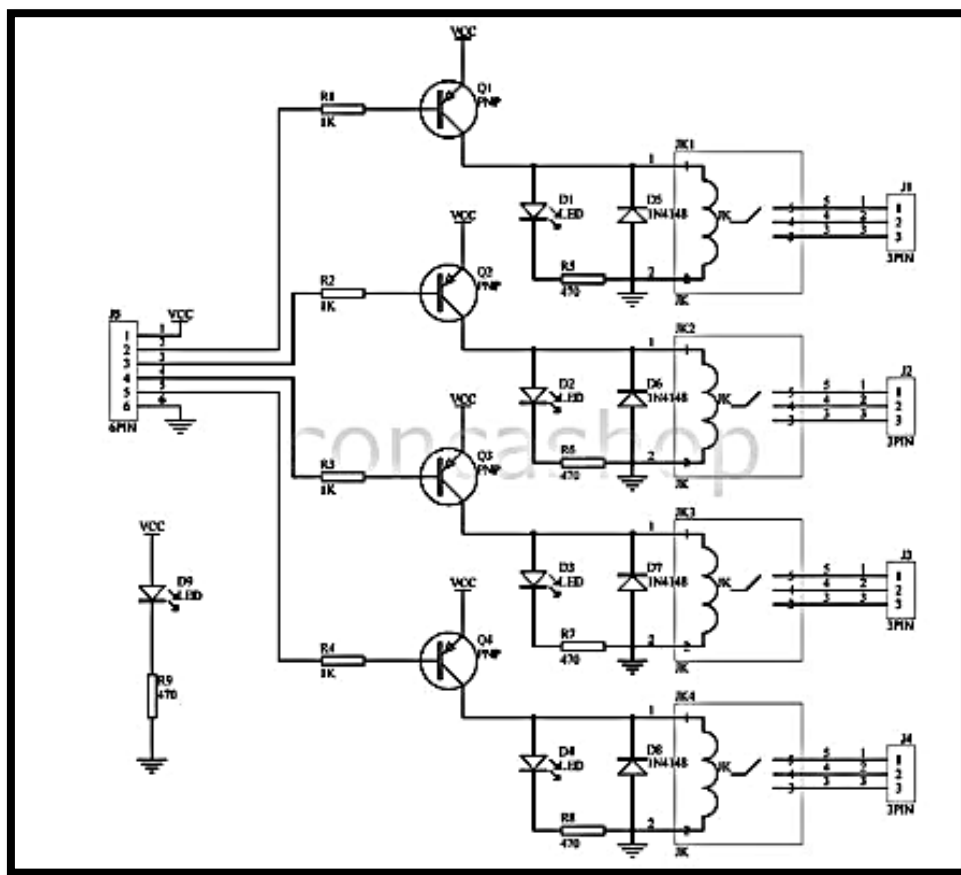
**Figura 51: Transformador de 120VAC a 24VAC**

Fuente: El autor

Se selecciona un transformador para la fuente de energía para las electroválvulas, en la **figura 49** el transformador proporciona un voltaje de 2 a 12V en los terminales amarillo y negro dando una corriente máxima de 1A, pero si se toma el voltaje entre los dos terminales amarillos tendremos 24V, esto sería suficiente para la activación de los solenoides de las electroválvulas.

### Módulo relé

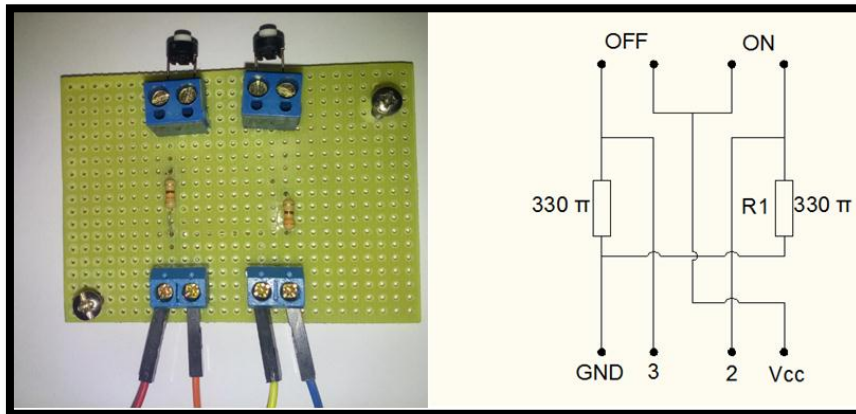
Se selecciona un módulo relé de 4 canales, necesario para la etapa de potencia, para activar las bobinas de los contactores de la bomba 1 y 2 del sistema, los dos canales restantes del módulo se utilizó para la activación de las dos electroválvulas. En la **figura 52** se aprecia el diagrama de conexión del módulo relé de 4 canales.



**Figura 52: Esquema de un módulo relé 5V 4 canales**

Fuente: <http://www.ebay.es/itm/Modulo-rele-4-canales-5V-AC250V-10A-optoacoplador-arduino-UNO-R3-Raspberry-/331210806987>

## Circuito de encendido y apagado del sistema



**Figura 53: Circuito de ON y OFF**

Fuente: El autor

El circuito se lo diseña con dos resistencias de 330 ohmios, dos pulsadores para on y off, conexión a fuente 5V en GND y Vcc, se debe conectar los pines 3 y 2 a la tarjeta Arduino, la *figura 53* ilustra el esquema, el funcionamiento es el siguiente: al oprimir el pulsador ON este envía un 1 lógico, mientras que al pulsar OFF envía un cero lógico a la tarjeta. Este circuito tiene la función del encendido y apagado de todo el sistema.

## Iluminación con tira Led RGB



**Figura 54: Tira Led RGB 5050**

Fuente: <http://www.blacktronics.com/tiras-de-led-rgb/>

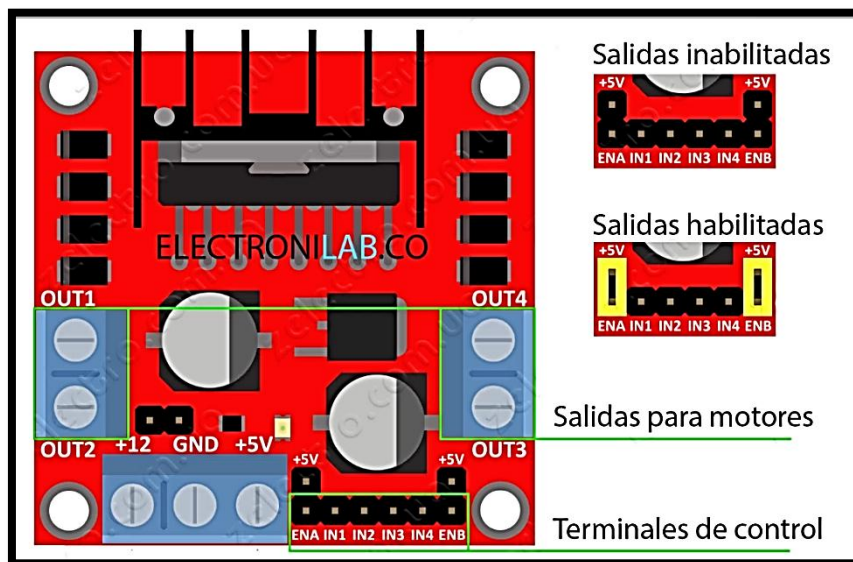
Para la iluminación de la fuente se seleccionó una tira de Led RGB SMD 5050 de 5 metros y 300 leds (60 x metro), la tecnología led presenta muchas ventajas sobre las fuentes de luz incandescente como: un consumo de energía mucho menor, mayor tiempo de vida, menor tamaño, gran durabilidad y fiabilidad, estas ventajas son el motivo principal para la selección de este dispositivo para iluminar la fuente.

El led RGB incorpora tres colores R (red, rojo), G (green, verde) y B (blue, azul), a través de la combinación de todos los colores y los mencionados son los colores que se utilizó para la iluminación del prototipo.

En el *anexo C9* se presenta las especificaciones técnicas del dispositivo como: Voltaje de operación 9-14V; Consumo 300led 72W, entre otros. Además contiene un recubrimiento epóxico para aislar partículas de agua y polvo para uso exterior.

### Puente H L298

El puente H L298 se selecciona para la etapa de potencia entre la Arduino y los led RGB, tiene la capacidad de controlar dos motores de corriente DC o un motor paso a paso bipolar, la ventaja de este dispositivo es que puede ser activado con una señal de baja tensión y son muy utilizados en robótica como convertidores de potencia. La *figura 55* muestra las características del puente H, se compone de tres pines de alimentación; el de 5V para alimentar la parte lógica del driver, el de 12 V para alimentar la carga a controlar, contiene cuatro salidas OUT1, OUT2, OUT3, OUT4, y estas son controladas por cuatro pines de entrada IN1, IN2, IN3, IN4, según corresponda a cada número. La tira de led RGB se compone de cuatro terminales y estos se conecta al L298 así: el terminal R a IN1, el G a IN2, el B a IN3 y el común a GND.

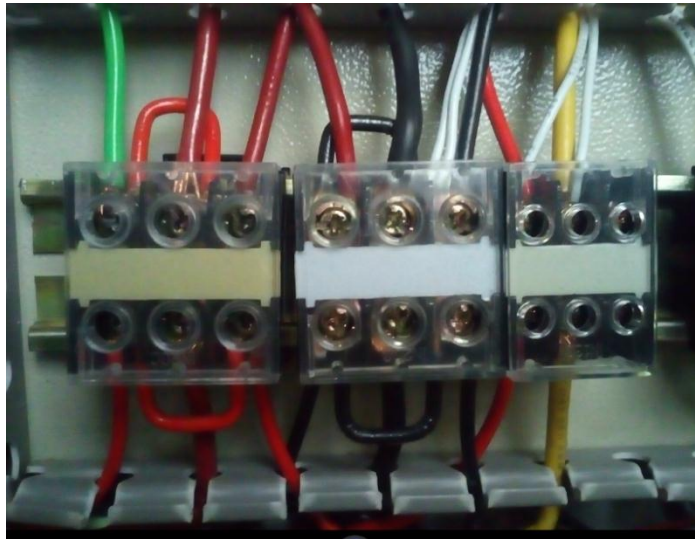


**Figura 55: Características del módulo puente H L298**

Fuente: [https://i1.wp.com/electronilab.co/wp-content/uploads/2014/05/L298N\\_pines\\_Electronilab.jpg?ssl=1](https://i1.wp.com/electronilab.co/wp-content/uploads/2014/05/L298N_pines_Electronilab.jpg?ssl=1)



## Borneras para riel DIN



**Figura 56: Borneras Din**

Fuente: El autor

Se selecciona este tipo de elemento para la distribución del cableado y una mejor conexión de toda la circuitería, se utilizan seis borneras en el sistema eléctrico.

## Interruptor



**Figura 57: Interruptor ON/OFF (ojo de cangrejo)**

Fuente: El autor

Permite desviar e interrumpir el paso de corriente eléctrica. Su construcción más sencilla consiste en dos contactos de metal inoxidable y el actuante (parte móvil que une los contactos) en la *figura 57* se puede apreciar un ejemplar.

En el tablero de control se utiliza un interruptor para el paro de emergencia de todo el sistema de control.

## Luces de señalización

Se opta por tener 5 luces de señalización, la primera y segunda serán para las bombas, la tercera para indicar la iluminación de los Led RGB, y la cuarta y quinta para las electroválvulas uno y dos, la *figura 58* indica la señalización del tablero de control.



**Figura 58: Luces de señalización del tablero de control**

Fuente: El autor

### **Montaje eléctrico y electrónico**

Luego de la selección y obtención de los dispositivos antes mencionados, se procede al montaje de todos ellos en el tablero de control, siguiendo a detalle el proceso de instalación, en conjunto con el diagrama de control y de fuerza que se puede ver en el *anexo A2*, teniendo en cuenta la designación de los pines correspondientes para cada variable, se realiza toda la instalación. A continuación se detalla cada uno de ellos.

Encendido ON	pin 2
Apagado OFF	pin 3
Bombas 1 y 2	pin 6
Electroválvula 1	pin 7
Electroválvula 2	pin 8
Led R (rojo)	pin 9
Led G (Verde)	pin 10
Led B (Azul)	pin 11
Audio	A0

La *figura 59* muestra los resultados de toda la instalación en el tablero de control, así como el circuito de control y de fuerza.

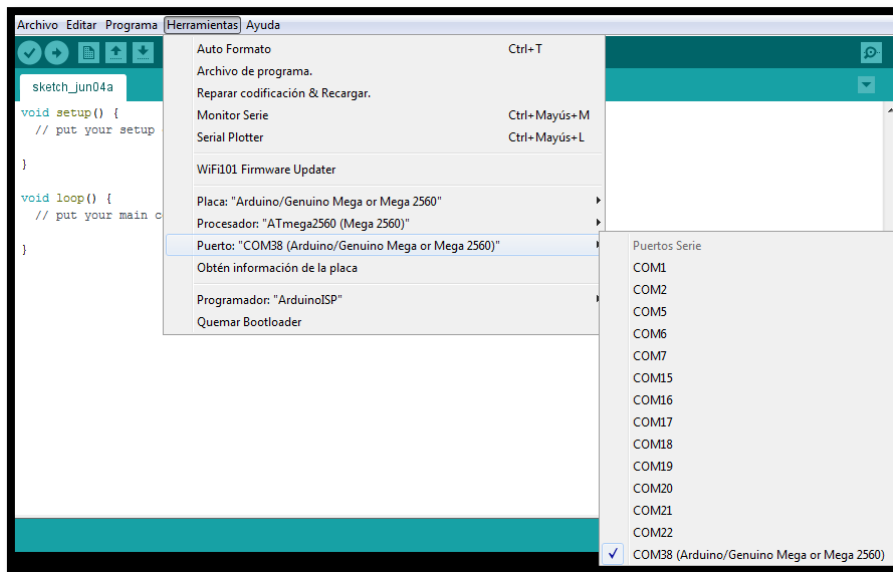


**Figura 59: Montaje de los dispositivos electrónicos en el tablero**

Fuente: El autor

### **6.3.2 Programación de la tarjeta Arduino**

En el computador se instaló previamente el programa de Arduino, este se descargó desde la página de (ARDUINO, 2016), La comunicación entre la tarjeta y el computador es serial, para ello crea automáticamente un puerto virtual COM único para cada tarjeta, el cual es preciso identificar ya que es necesario en la programación, de lo contrario no se comunican entre ellos. La **figura 60** muestra el puerto virtual COM38 necesario para la comunicación.



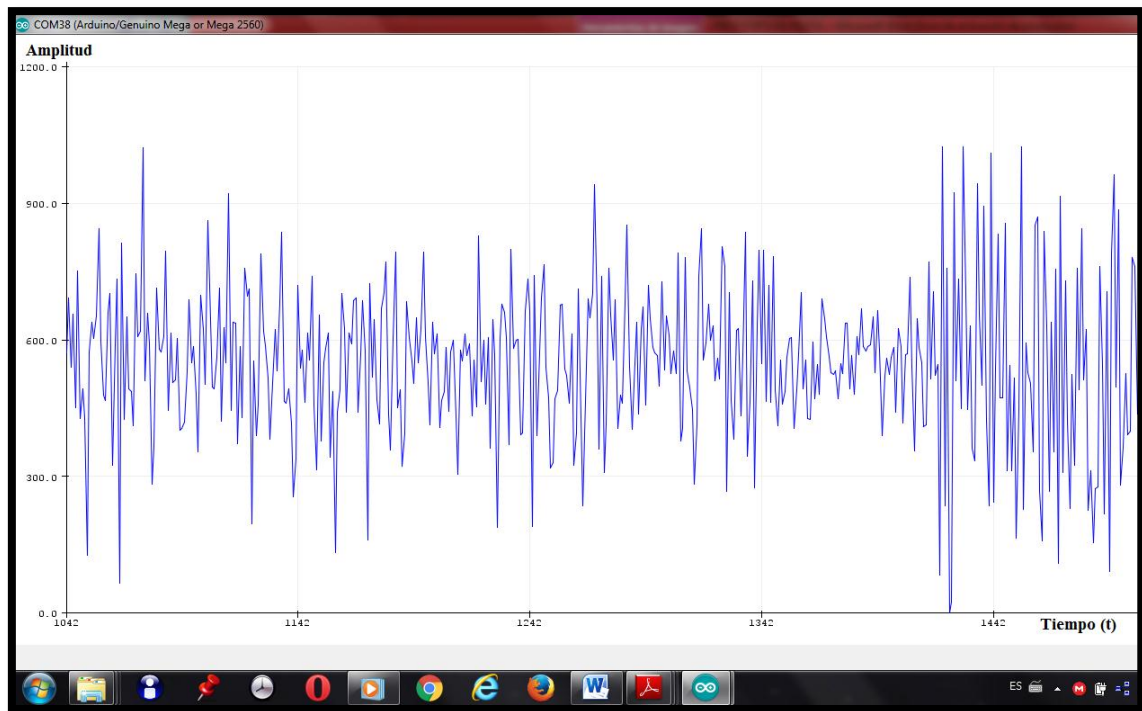
**Figura 60: Ventana principal de Arduino**

Fuente: El autor

Para representar la señal eléctrica de audio en una gráfica, se utilizó el Serial Plotter del programa de Arduino, en la **figura 60** ventana principal de Arduino, se debe acceder a este desde el menú Herramientas y después pulsar sobre Serial Plotter.

Una vez que el monitor serie este activo, podremos visualizar los datos de manera automática en la gráfica, viendo de manera efectiva como se modifica la señal de audio en función del tiempo, pudiendo comprender mejor como funciona de manera interna.

En la anterior se puede observar cómo se comporta la señal de audio que ingresa a la Arduino por una pista reproducida por el amplificador y es graficada por el software a través del puerto de comunicación COM38 y la función serial plotter.



**Figura 61: Representación gráfica de la señal de audio**

Fuente: El autor

Para que se muestren los datos, habrá que utilizar la función `Serial.println (audio)`, donde `audio` será la variable que queremos representar.

Los picos más altos representan los tonos altos de la música y los picos bajos los tonos bajos, por tanto a través de estos se apoya para abrir y cerrar las electroválvulas en un rango predeterminado de 0 a 5V que es lo mismo de 0 a 1023 datos. Para el juego de luces se verifica el punto más alto y más bajo que alcanza la señal de audio, esto es de 0 y 1023 datos respectivamente; la diferencia de ello se divide para seis, ya que un color se repite en la combinación y no se toma en cuenta, a medida que va cambiando la señal se debe encender el led correspondiente a ese rango. La **tabla 15** muestra la activación de los leds y electroválvulas Ev1 y Ev2 según el rango propuesto.

**Tabla 15: División de la señal de audio para led RGB**

	Rojo	Verde	Azul		
	R	G	B	Colores	Rango de señal de audio
1	1	0	0	Rojo	0 -170
2	0	1	0	Verde	170-340 Ev1
3	0	0	1	Azul	340-510
4	1	1	0	Amarillo	510-680
5	0	1	1	Celeste	680-850
6	1	0	1	Verde	Se repite
7	1	1	1	Blanco	850-1023 Ev2

(Fuente. El autor)

Para la programación se utiliza las funciones digitales; *figura 59*

The diagram illustrates five digital functions used in Arduino programming:

- pinMode()**: Permite configurar un pin. `pinMode(pin, modo)`. Examples: `pinMode (13, OUTPUT);` and `pinMode (a, INPUT);`
- digitalRead()**: Leer un pin digital (0 ó 1). `digitalRead(pin)`. Example: `int a = digitalRead (13);`
- digitalWrite()**: Escribir un pin digital con 1 ó 0. `digitalWrite(pin, estado)`. Examples: `digitalWrite (13, HIGH);` and `digitalWrite (13, LOW);`
- analogRead()**: Leer un valor analógico 0 a 1023. `analogRead(pin)`. Example: `int a = analogRead (A0);`
- analogWrite() -> PWM**: Escribir un valor analógico 0 a 255. `analogWrite(pin, valor de PWM)`. Example: `analogWrite (9, 134);`

**Figura 62: Funciones digitales**

Fuente: El autor

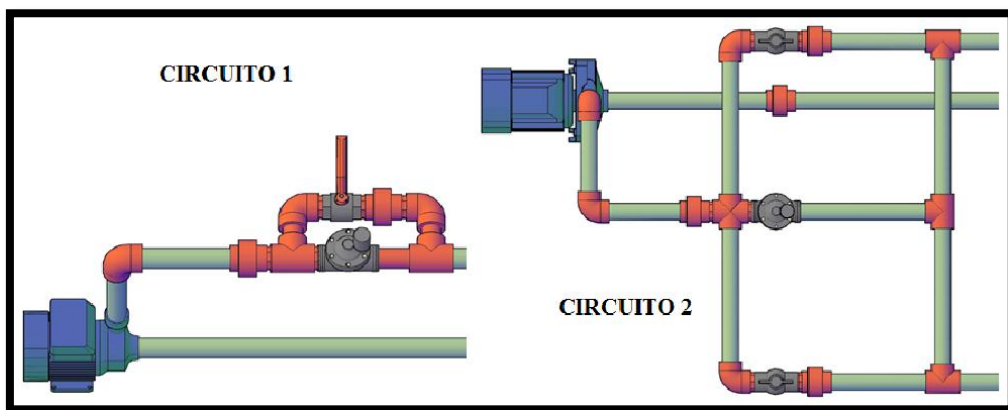
También se utilizó estructuras de control if, operadores de comparación >, comunicación serial como begin(), println(); condicionales y tiempo delay(). El código programado se lo puede observar en el *Anexo A3*. Con toda la programación realizada se procede a cargar en la tarjeta arduino mega 2560 y se empieza a verificar el funcionamiento.

## 6.4 Pruebas de funcionamiento

### 6.4.1 Mecánicas e hidráulicas

En el proceso de construcción a medida que se avanzó con el montaje, se realizó diferentes pruebas una de ellas al momento de preparar el tanque de almacenamiento se le llenó de agua durante tres días para hacer pruebas de filtración de agua, luego que se montó el grupo de cañerías con sus accesorios. Se conectó una bomba piloto y se verificó en las instalaciones de accesorios y tubería la filtración de agua, se comprueba que no cae agua en los dos casos del prototipo.

Al principio no se encontraba la manera de realizar un movimiento en los chorros sin que estos cierren totalmente, surgió la idea de utilizar válvulas motorizadas para la regulación en las bombas y así variar el caudal deseado, debido a que este tipo de dispositivos se lo encontraría únicamente en el mercado internacional, se desistió de esta idea, por ello se optó por una instalación de by-pass en cada circuito correspondiente, este consiste en estrangular de la tubería de impulsión para regular el caudal deseado, el diseño se muestra en la *figura 63*.



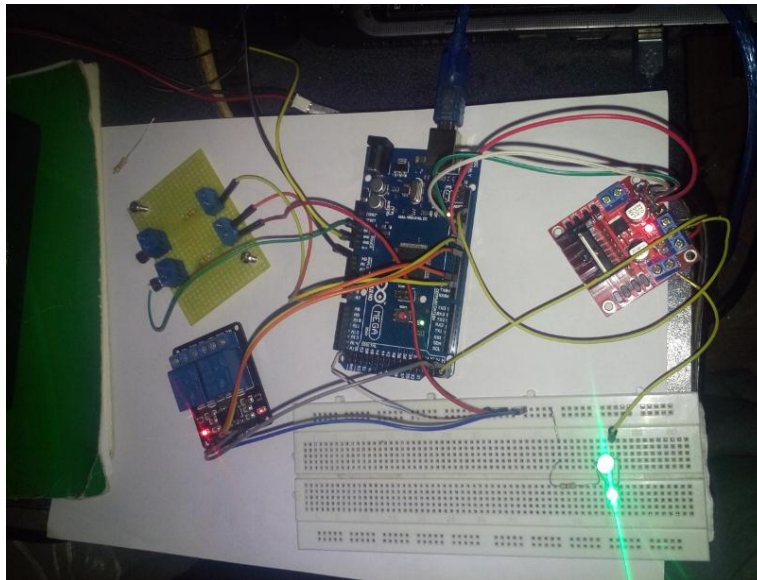
**Figura 63: Diseño de by-pass**

Fuente: El autor

Para las pruebas del by-pass se puso en funcionamiento la bomba seleccionada y con la electroválvula normalmente cerrada, se reguló la válvula a la altura mínima deseada del chorro, esta prueba se la realizó en los dos circuitos, esto marca el estado inicial y a medida que la electroválvula se energiza y se abre se tiene el chorro con la altura máxima, se tuvo éxito porque se alcanzó lo propuesto, que el fluido no cese del todo en ningún momento mientras la bomba este activa.

### 6.4.2 Eléctricos y electrónicos

Antes de realizar el montaje eléctrico y electrónico se hizo una prueba de funcionamiento para observar si la programación es apta y cumple con lo planteado, la *figura 64* muestra lo siguiente; al tocar el pulsador se observó que los led parpadean con el ritmo de la música y el módulo relé se activa y desactiva según altos y bajos de la señal analógica producida por el audio que ingresa a la Arduino.



**Figura 64: Prueba de funcionamiento**

Fuente: El autor

En el montaje del sistema eléctrico se realizaron múltiples pruebas a medida que se avanzaba con la instalación, se tomó pruebas de continuidad en todos los circuitos instalados conjuntamente en revisión con el diagrama de fuerza y de control.

Ya instalado todo el sistema de control se inicia el funcionamiento por primera vez en el prototipo y se observa que presenta lo siguientes fallos:

1. Al iniciar el sistema los led RGB no encienden, luego se verifica las conexiones eléctricas constatando correcta la instalación,
2. También se observa que la electroválvula en el circuito dos no se activa en ningún momento durante el funcionamiento de la fuente
3. Luego de dos minutos el sistema se apaga sin ninguna manipulación y se desconoce cuál es la razón.

Para ello se da la siguientes soluciones:

1. Se verifica que los Led RGB que se colocó a la fuente son de ánodo común y los que se realizaron en la práctica antes del montaje son led de cátodo común, por lo



tanto la solución para este tipo de problemas es el cambio de la tira led RGB por uno de este tipo o modificar la programación en la tarjeta, en este caso se optó por modificar el código en la programación.

2. En la electroválvula dos Ev2, esto se debe a que la señal de audio que ingresa a la fuente, no está dentro del rango para la activación de la electroválvula, por lo tanto se procede a calibrar o distribuir la señal de acuerdo al diseño.
3. En un principio se verifica que el sistema se apaga por que la Arduino alimenta el modulo relé, la placa on off y módulo L298, se cree que hay una sobrecarga y la tarjeta cierra las fuentes de voltaje, se coloca una fuente de voltaje de 5V para la alimentación independiente de estos, pero el problema continua. Por último se comprueba que el regulador de la tarjeta se recalienta, para ello se conecta con la fuente USB del computador y se verifica que el sistema funciona sin interrupciones, por lo que se debe cambiar la fuente de voltaje por una de 5V, y la que está en uso es de 12V.

La **figura 65** muestra los resultados definitivos del diseño, construcción y pruebas de funcionamiento del prototipo de pileta.



**Figura 65: Resultado final del prototipo**

Fuente: El autor

## 6.5 Valoración económica

Los gastos generados en la construcción del prototipo se detallan cada uno de ellos en las tablas 16, 17, 18, 19 y 20; estas tablas comprenden el contenido de las herramientas, material mecánico e hidráulico, material eléctrico y electrónico, mano de obra, así como el total de todos estos rubros que se utilizó para la implementación del prototipo.

**Tabla 16:** Valoración económica de herramientas.

<b>HERRAMIENTAS</b>					
<b>N o</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Descripción</b>	<b>V.unit.\$</b>	<b>Subtotal\$</b>
1	1	unidad	Calculadora Casio fx-82LA PLUS	14,65	14,65
2	1	unidad	Pinza de presión	7,80	7,80
3	1	unidad	Flexómetro	4,80	4,80
4	1	unidad	Alicate Universal	5,20	5,20
5	1	unidad	Cautín para soldar estaño	7,50	7,50
6	1	unidad	Llave inglesa 200mm	4,80	4,80
7	1	unidad	Alicate de presión	7,30	7,30
8	1	unidad	TARRAJA 1/2" a 2" MOD. 3A6 NPT	40,00	40,00
9	1	unidad	Arco de sierra	3,80	3,80
10	1	unidad	Llave de tubo	8,20	8,20
11	1	unidad	Multímetro 266 CLAMP METER	13,95	13,95
12	1	unidad	Taladro RYOBI PD-130VR Impact Drill	60,00	60,00
13	1	unidad	Tarjeta ARDUINO mega 2560	60,00	60,00
14	2	unidad	Atornillador STANLEY 2x152mm 69-180	4,40	8,80
15	1	unidad	destornillador estrella pequeño	1,20	1,20
16	1	unidad	juego de brocas para metal	12,80	12,80
17	1	unidad	juego de brocas para madera	9,20	9,20
18	1	unidad	Estilete grande	1,40	1,40
19	1	unidad	Grapadora Eagle Stapler	3,50	3,50
20	1	unidad	Protoboard	5,00	5,00
<b>TOTAL</b>					<b>274,90</b>

Fuente: El autor

**Tabla 17:** Valoración económica de material eléctrico e hidráulico.

<b>MATERIAL MÉCANICO E HIDRÁULICO</b>					
<b>No</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Descripción</b>	<b>V.unit.\$</b>	<b>Subtotal\$</b>
21	2	unidad	Válvula esférica	3,90	7,80
22	30	unidad	Cinta teflón "Todo" 1/2´x15m	0,30	9,00
23	5	unidad	Cinta teflón 19mmx0,2mmx15m	2,00	10,00
24	2	unidad	Adaptador Tanque 1" Plastigama	6,00	12,00
25	3	unidad	Acople P/Tanque cisterna 1" POLIMEX	5,75	17,25
26	1	unidad	Sierra copa Morse 1"	8,80	8,80
27	1	unidad	Tubo TG 1"x 6m	13,70	13,70
28	1	unidad	Tubo roscable 1"x 6m Plastigama A/F	22,00	22,00
29	2	unidad	Tubo 1/2" A.C	2,10	4,20
30	5	unidad	Universal 1" POLIMEX	4,50	22,50
31	2	unidad	Universal 1" Plastigama	5,50	11,00
32	4	unidad	Universal 1/2" Plastigama	0,96	3,84
33	1	unidad	Cruz 1" POLIMEX	1,70	1,70
34	22	unidad	Neplo cintura 1/2" (Bushing) Plastigama	0,50	11,00
35	4	unidad	Neplo cintura 1/2" (Bushing) POLIMEX	0,39	1,56
36	4	unidad	Neplo 1/2" x 6cm (Bushing) POLIMEX	0,50	2,00
37	6	unidad	Neplo cintura 1" (Bushing) Plastigama	1,05	6,30
38	12	unidad	Neplo cintura 1" (Bushing) POLIMEX	0,85	10,20
39	1	unidad	Neplo 1" x 6cm (Bushing) POLIMEX	1,00	1,00
40	8	unidad	Codo 1/2" x 45°POLIMEX	0,80	6,40
41	8	unidad	Codo 1" x 90° POLIMEX	1,75	14,00
42	6	unidad	Codo 1" x 90° Plastigama	2,00	12,00
43	2	unidad	Codo cachimba 1" POLIMEX	1,80	3,60
44	4	unidad	Tee roscable 1/2" POLIMEX	0,54	2,16
45	22	unidad	Tee roscable 1/2" Plastigama	0,55	12,10
46	1	unidad	Tee roscable 1" POLIMEX	2,00	2,00
47	2	unidad	Tee roscable 1" Plastigama	2,25	4,50
48	7	unidad	Reductor de 1" a 1/2" POLIMEX	1,50	10,50
49	25	unidad	Reductor 1/2" a 3/16" cobre fitting	2,80	70,00
50	4	unidad	Reductor 1/2" a 2/8" cobre fitting	3,00	12,00
51	4	unidad	Reductor 1/2" a 2/8" latón niquelado	1,50	6,00
52	1	unidad	Bomba centrifuga Cpm620	285,00	285,00
53	1	unidad	Bomba PKm60	110,00	110,00
54	1	unidad	Tanque de fibrocemento	120,00	120,00
55	1	Metros	Soldadura de estaño 2,5 mm	2,00	2,00
56	1	unidad	Estructura para montar el prototipo	233,64	233,64
57	1	unidad	Servo motor MG996R	14,00	14,00
58	1	unidad	Válvula de bola 1" DN25 inoxidable	13,00	13,00
59	15	unidad	Reducción de 1/2" a 3/16"	2,50	37,50
60	5	unidad	Pernos de 1/4´ *1,5´ con arandelas	0,15	0,75
61	4	unidad	Canaleta 20*12 Marfil 2m	2,15	8,60
62	2	unidad	Canaleta ranurada	6,00	12,00

<b>TOTAL</b>	<b>1167,60</b>
--------------	----------------

Fuente: El autor

**Tabla 18:** Valoración económica de material eléctrico y electrónico.

<b>MATERIAL ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO</b>					
<b>No</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Descripción</b>	<b>V. unit. \$</b>	<b>Subtotal \$</b>
63	12	Metros	Cable gemelo 20 AWG	0,30	3,60
64	10	Metros	Cable UTP 24 AWG	0,50	5,00
65	4	Metros	Cable flexible 12 AWG	0,80	3,20
66	6	Metros	Cable flexible 14 AWG	0,45	2,70
67	2	Metros	Cable flexible 10AWG	0,70	1,40
68	2	unidad	Cinta aislante 3m	1,00	2,00
69	1	unidad	Gabinete metálico	60,00	60,00
70	2	unidad	Contactador EBC	12,00	24,00
71	2	unidad	Breaker SCHNEIDER 32A DIN	5,00	10,00
72	5	unidad	Luces piloto color verde CNC	3,00	15,00
73	2	unidad	Electroválvula 1"	52,18	104,36
74	1	unidad	Transformador de 120VAC-12VAC	7,50	7,50
75	1	unidad	Pila energizer 9V para multímetro	4,30	4,30
76	30	unidad	Jumper macho-macho, m-h, h-h	0,10	3,00
77	1	unidad	Módulo relés 4 canales ard. 5V 250V-10A	8,00	8,00
78	1	unidad	Modulo puente H L298	9,00	9,00
79	1	unidad	Tira de led RGB 5050--1M/60LED 12V	38,00	38,00
80	1	unidad	Parlante con amplificador	42,00	42,00
81	2	unidad	Tomacorrientes Bticino	1,50	3,00
82	1	unidad	Fuente de alimentación 12V 1ª	7,00	7,00
<b>TOTAL</b>					<b>353,06</b>

Fuente: El autor

**Tabla 19:** Valoración económica de mano de obra.

<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>No</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Descripción</b>	<b>V.unit.\$</b>	<b>Subtotal\$</b>
83	70	unidad	Costo de punto de fontanería	2,00	140,00
84	1	unidad	Montaje e instalación del sistema de control	50,00	50,00
<b>TOTAL</b>					<b>190,00</b>

Fuente: El autor

**Tabla 20:** Valoración económica total.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SUBTOTAL \$</b>
HERRAMIENTAS	274,90
MATERIAL MÉCANICO E HIDRÁULICO	1167,60
MATERIAL ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	353,06
MANO DE OBRA	190,00
IMPREVISTOS	150,00
<b>TOTAL</b>	<b>2135,56</b>

**Fuente:** El autor

En la *tabla 20* se muestra los costos generales de la construcción del prototipo, cabe recalcar que el diseño realizado es auténtico y se adquirió todo este tipo de materiales con el fin de cumplir el objetivo general y los objetivos específicos deseados.

## 7. DISCUSIÓN

El propósito general de esta investigación es el diseño y construcción de un prototipo de una pileta de agua danzante audio-rítmica, el procedimiento inicia con la selección de un tanque de almacenamiento, construcción de la estructura metálica y montaje de toda la red hidráulica, se realizaron arreglos para remplazar las boquillas de una fuente normalizada por un tipo de adaptador, así mismo se propuso datos para las dimensiones de alturas en chorros y se procede a la determinación del caudal y altura manométrica, a través de ecuaciones experimentales se pudo concretar los cálculos analíticos; con estos dos parámetros se seleccionan las bombas, atendiendo a la comercialización de estas en la localidad, luego con Microsoft Excel se traza la curva de la instalación así como de la bomba, para encontrar el punto de funcionamiento que es de vital importancia para encontrar los parámetros como: caudal, altura manométrica, potencia y rendimiento en los dos circuitos. En la **tabla 21** se aprecia lo descrito.

**Tabla 21:** Resultados obtenidos a través del cálculo

<b>Datos obtenido en el cálculo</b>					
<b>CIRCUITO</b>	<b>Alturas en chorros</b>	<b>Q(l/min)</b>	<b>Hm(m)</b>		
1	Máxima	36,77	5,52		
2	Máxima	82,3	23,82		
<b>Datos en el punto de funcionamiento entre las bombas y las curvas</b>					
	<b>Alturas en chorros</b>	<b>Q(l/min)</b>	<b>Hm(m)</b>	<b>Potencia(W)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
1	Máxima	38,5	6,5	370	11,06
	Mínima	25	19,5	370	21,31
2	Máxima	82,3	23,82	746	42,97
	Mínima	63	28	746	36,7

(Fuente. El autor)

Cabe recalcar que en el proceso de construcción existieron muchos inconvenientes como la falta de experiencia, el no tener ideas de cómo realizar la pileta, pero esto no fue impedimento para continuar con aquello.

Luego se procede a dimensionar el calibre del conductor para la alimentación de energía, se seleccionan el conductor general y para cada una de las bombas. También se dimensiona el fusible y breaker para la protección de los equipos de un posible sobre voltaje, este dimensionamiento se realiza utilizando la Norma Oficial Mexicana de instalaciones eléctricas. Los resultados se pueden ver en la **tabla 14**

Para el proceso de automatización se seleccionó la tarjeta Arduino Mega 2560, su bajo costo económico y de fácil obtención en el mercado local son las ventajas por las cuales se seleccionó este tipo de tarjeta, el cual será el cerebro de todo el sistema de control.

Previo a la programación se seleccionan una serie de elementos electrónicos que conforman el cuerpo del automatismo, para la selección de estos se tomó en consideración algunos factores como: el bajo consumo energético, fácil obtención y comercialización en la localidad, algunos de ellos son las electroválvulas, transformador, módulo relé, tira led RGB, también se seleccionó el módulo puente H L298 el cual permitió la etapa de potencia entre la Arduino y los led RGB

Con ello se procede al montaje electrónico y se realiza el código de programación para el funcionamiento, este consiste en el ingreso de una señal de audio a la tarjeta Arduino, según varíe la señal, a un rango predefinido se activan las electroválvulas y los Led RGB, también se diseñó una placa para el encendido y apagado de todo el sistema.

Se efectuaron varias pruebas para corroborar el funcionamiento, en la iluminación, el grupo by-pass electroválvulas encargadas del juego de aguas, bombas, así como todos los elementos que componen la fuente, dando como resultado final el funcionamiento adecuado del prototipo

## 8. CONCLUSIONES

- ✓ La pileta de agua concebida consta de dos circuitos hidráulicos, el uno se compone de cinco chorros centrales, 4 chorros tienen una altura de 0,7m y el otro de 1m, los mismo que requieren una potencia de 0,5HP. Mientras que el circuito dos de forma octogonal se compone de 24 chorros inclinados, tienen un alcance máximo de 0,45m y una altura máxima de 0,4m y requieren una potencia de 1HP.
- ✓ Para automatizar el sistema de control es prioritario utilizar la tarjeta Arduino mega 2560, a su vez Arduino dispone de una herramienta, serial plotter que hace la gráfica de cualquier dato enviada por el puerto serie.
- ✓ Para la implementación de la pileta de agua danzante se adquirió los equipos y materiales necesarios para la construcción en el mercado local, además se realizaron arreglos para remplazar algunos por otro tipo de materiales y mejorar el funcionamiento del prototipo.
- ✓ A través de la fase de pruebas se concluye que la pileta cumple a cabalidad con todo el proceso de funcionamiento.



## **9. RECOMENDACIONES**

- ✓ Incluir variadores de frecuencia para futuros estudios, con el fin de mejorar las maniobras sobre los chorros y conseguir efectos acuáticos más acelerados.
- ✓ Utilizar boquillas apropiadas para fuentes de agua, tales como boquillas de chorros cristalinos, espumosos, dinámicos, pulverizadores, esféricos, entre otros.
- ✓ En el sistema hidráulico disminuir al máximo los accesorios tales como codos, tees, uniones, etc, con el objetivo de reducir al máximo las pérdidas en el sistema energético que intervienen en el prototipo.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

- Claudio Mataix. (1993). *MECANICA DE FLUIDOS*. Madrid, España: Ediciones del Castillo, S.A.
- CRANE. (S/f). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. (S. VALFISA, Trans.) McGRAW-HILL.
- CREUS, A. (2010). *INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL* (Octava Edición ed.). Barcelona, España: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A.
- González, J. E. (2011). *HIDRÁULICA DE FUENTES ORNAMENTALES E INSTALACIONES ACUÁTICAS*. Santa Cruz de Tenerife, España: Carpetería Drago S.L.
- Gonzales, M. (2011, Julio 6). *La guía*. Retrieved 07 26, 2015, from Física: <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/flujo-laminar-y-flujo-turbulento>
- Mataix, C. (1993). *MECANICA DE FLUIDOS*. Madrid, España: Ediciones del Castillo, S.A.
- MOTT, R. L. (1996). *Mecanica de fluidos aplicada* (Cuarta ed.). Naucalpan de Juárez, Mexico: PEARSON.
- MOTT, R. L. (2006). *MECANICA DE FLUIDOS* (Sexta Edición ed.). (P. M. Rosas, Trans.) Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidraulica de tuberias*. (L. J. D., Ed.) Bogota, Colombia: Alfaomega.
- Saldarriaga, Juan. (1998). *HIDRÁULICA DE TUBERÍAS*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S A.
- Shames, I. H. (1995). *MECANICA DE FLUIDOS* (Tercera Edición ed.). (M. E. R., Ed.) Santa Fe de Bogota, Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S. A.

### SITIOS WEB

- Álvarez, L. (2012, Noviembre). *Escuela de Ingeniería Eléctrica*. Retrieved Mayo 30, 2017, from [http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2012/pb2012\\_032.pdf](http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2012/pb2012_032.pdf)
- Ángel, G. (2011, Abril 4). Retrieved Julio 12, 2017, from Blog: <http://musicaclassicaylaconducta.blogspot.com/>
- ARDUINO. (2016). *Arduino y genuino*. Retrieved Noviembre 6, 2016, from <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

- BERMAD, I. (2016, Febrero 29). *BERMAD*. Retrieved Octubre 23, 2016, from <http://www.bermad.com/>:  
[http://fidemar.com.uy/catalogos/bermad/bermad\\_irrigacion.pdf](http://fidemar.com.uy/catalogos/bermad/bermad_irrigacion.pdf)
- BombasIdeal. (2014, Julio 26). *BOMBAS IDEAL*. Retrieved Abril 20, 2015, from Datos Técnicos de Hidráulica: [http://www.bombasideal.com/wp-content/uploads/catalogos/25-LIBRO%20HIDRAULICA%20\[D-020714\].pdf](http://www.bombasideal.com/wp-content/uploads/catalogos/25-LIBRO%20HIDRAULICA%20[D-020714].pdf)
- Calvo, I. (s/f). *Ingeniería Fluidomecánica*. Retrieved Junio 26, 2015, from Magnitudes Físicas: <http://www.uhu.es/inmaculada.pulido/docencia/PresentacionTema2.pdf>
- Castelao, D. (2015). *Academia.edu*. Retrieved Marzo 25, 2015, from [http://www.academia.edu/4530546/teorema\\_de\\_torricelli](http://www.academia.edu/4530546/teorema_de_torricelli)
- Castelao, D. (2015). *Academia.edu*. Retrieved from [http://www.academia.edu/4530546/teorema\\_de\\_torricelli](http://www.academia.edu/4530546/teorema_de_torricelli)
- CATALOGO. (2012). Retrieved febrero 1, 2015, from Master en automoción: [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2012/389/51453/1/Documento6](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/389/51453/1/Documento6)
- CATALOGO. (s/f). *BOMBAS IDEAL, S.A.* Retrieved from <http://www.bombasideal.com/catalogos/>
- CATALOGO. (s/f). *Master en automoción*. Retrieved from [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2012/389/51453/1/Documento6](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/389/51453/1/Documento6)
- Ciencias. (s/f). *Ciencias Naturales*. Retrieved Julio 25, 2015, from <http://www.areaciencias.com/fisica/propiedades-de-los-fluidos.html>
- Cruz, P. (S/F). *Academia.edu*. Retrieved Octubre 09, 2016, from [http://www.academia.edu/5440138/P%C3%89RDIDAS\\_POR\\_FRICCI%C3%93N\\_EN\\_TUBER%C3%8DAS\\_Y\\_ACCESORIOS](http://www.academia.edu/5440138/P%C3%89RDIDAS_POR_FRICCI%C3%93N_EN_TUBER%C3%8DAS_Y_ACCESORIOS)
- Fariñas, J. E. (2012, Agosto 09). *SAFE-RAIN*. Retrieved from <http://www.saferain.com/es/blog/componentes-fuentes-ornamentales-parte-1-3.html>
- Farrás, L. E. (2012, Julio). *Facultad de ingeniería*. (I. A. Bonafine, Ed.) Retrieved from FIUBA: [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_ecuaciones\\_continuidad.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_ecuaciones_continuidad.pdf)
- FuentesOrnamentales. (2012). Retrieved Julio 06, 2015, from [http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/9\\_1eg.pdf](http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/9_1eg.pdf)

- FuentesOrnamentales. (2012). *HIDROMAINAKE*. Retrieved Julio 7, 2015, from <http://www.hidromainake.com/venta-de-fuentes-ornamentales/>
- González, J. E. (2012, Agosto 09). *SAFE-RAIN*. Retrieved Junio 5, 2015, from <http://www.saferain.com/es/blog/componentes-fuentes-ornamentales-parte-1-3.html>
- Gorka, J. R. (2015, Julio 21). *Documents.mx*. Retrieved 2016, from Dpto. Ingeniería Nuclear y Mécanica de Fluidos: <http://documents.mx/documents/if-cuadros-y-abacos.html>
- J. PARETA, S. (s/f). *www.pareta.com*. Retrieved Agosto 7, 2017, from <https://mei.es/wp-content/uploads/ficha-tecnica-valvulas-de-bola-inoxidable316-ht-765.pdf>
- Jaramillo, P. M. (2013, Noviembre 5). *DSPACE*. Retrieved Abril 21, 2015, from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2891>
- MásLuz.mx. (s/f). Retrieved Junio 08, 2017, from <https://resourcesml.s3-us-west-1.amazonaws.com/documents/67387-rollo-con-proteccion-d-5m-300-5050-rgb.pdf>
- NOM-001. (2012). *WWW.utp.edu.mx*. Retrieved 19 20, 2016, from [http://www.upt.edu.mx/contenido/Certificaciones/pdf/iso/2/ReqLegales/Federal/06\\_NOM-001-SEDE-2012.pdf](http://www.upt.edu.mx/contenido/Certificaciones/pdf/iso/2/ReqLegales/Federal/06_NOM-001-SEDE-2012.pdf)
- NOM-001. (2012). *WWW.utp.edu.mx*. Retrieved 19 20, 2016
- Pedrollo. (2010). *Slideshare*. Retrieved Octubre 30, 2015, from Pedrollo.com: [http://es.slideshare.net/socialmedia\\_bonnett/catalogo-bombas-pedrollo](http://es.slideshare.net/socialmedia_bonnett/catalogo-bombas-pedrollo)
- Robotica. (2012, Abril). *Tienda de Pobotica*. Retrieved Mayo 3, 2016, from [https://mega.nz/#!Xl4y1CZA!q9P\\_ZyqfzI2LB449zD-IIsDi3enapaHdQ1UjRHY8sLs](https://mega.nz/#!Xl4y1CZA!q9P_ZyqfzI2LB449zD-IIsDi3enapaHdQ1UjRHY8sLs)
- Romeo, F. (2012, Abril 20). *Scribd*. Retrieved Julio 8, 2015, from Division de la mecanica : <https://es.scribd.com/doc/90436522/Division-de-La-Mecanica-Fisica>
- Safe-Rain. (s/f). *www.saferain.com*. Retrieved Mayo 27, 2017, from <http://www.saferain.com/es/fuentes-ornamentales/boquillas-para-fuentes/chorros-de-agua-cristalinos/chorro-de-lanza-i.html#prettyPhoto/10/>
- SIHI-Pumps. (2010, Julio 09). Retrieved Diciembre 16, 2015, from <https://www.youtube.com/watch?v=ycStpC16OwA>

- Silenzi, R. (2015, Noviembre 4). *Blog de Romeo*. Retrieved Junio 15, 2017, from <http://elblogderomeosilenzi.blogspot.com/2015/11/unidad-n-1-el-sonido-que-es-el-sonido.html>
- Sour, G. (2005). *Divertimento acuático*. Retrieved Julio 31, 2015, from [http://www.cienciaredcreativa.org/especiales/agua\\_sour.pdf](http://www.cienciaredcreativa.org/especiales/agua_sour.pdf)
- UNAD. (s/f). *Universidad Nacional Abierta Distancia*. Retrieved Julio 27, 2015, from BombasCentrifugas: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin\\_22\\_bombas\\_centrifugas.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_22_bombas_centrifugas.html)
- Valdez, K. (2013, Julio 24). *FISICA*. Retrieved Julio 26, 2015, from <http://colegioriobambakatyvaldez.blogspot.com/2013/07/ecuacion-de-continuidad-aerodinamica.html>
- Wordpress. (2008). *Wordpress.com*. Retrieved from Mecanica de energía: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/presentacion1.pdf>
- Yura, M. (2014, Agosto 18). *SLIDESHARE*. Retrieved Junio 26, 2015, from <http://es.slideshare.net/melitayura/mecanica-de-suelos-propiedades-hidraulicas-del-suelo>

## **11. ANEXOS**

## **ANEXO A: Diagramas, planos y código de programación del prototipo**

**Anexo A1:** Diagrama isométrico del circuito 1 y 2

**Anexo A2:** Diagrama de control y de fuerza

**Anexo A3:** Plano con vista superior, frontal, lateral derecha e isométrica.

#### **Anexo A4: Código de programación de la tarjeta Arduino mega 2560 para el control del sistema.**

```
// UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
// “Diseño y construcción de un prototipo de una pileta de agua danzante audio rítmica.”
// Luis Miguel Chamba Zhumi
int encendido=0;
int Bombas=6;
int Ev2=7;
int Ev1=8;
int R=9;
int G=10;
int B=11;

void setup()
{
  pinMode(2,INPUT);
  pinMode(3,INPUT);
  pinMode(R,OUTPUT);
  pinMode(G,OUTPUT);
  pinMode(B,OUTPUT);
  pinMode(Ev1,OUTPUT);
  pinMode(Ev2,OUTPUT);
  pinMode(Bombas,OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  //lectura de entradas digitsles
  int on=digitalRead(2);
  int off=digitalRead(3);
  if(on==1)
  { encendido=1;
  digitalWrite(Bombas,LOW);}
  if(off==1)
```



```

{ encendido=0;
digitalWrite(Bombas,HIGH);}
if(encendido==1)
{
int audio=analogRead(A0);
delay(300);

Serial.println(audio);
if(audio==0)
{
digitalWrite(Ev1,HIGH);
digitalWrite(Ev2,HIGH);}

digitalWrite(R,LOW);
digitalWrite(G,LOW);
digitalWrite(B,LOW);
if(audio>=0 and audio<170) // Color rojo
{digitalWrite(R,LOW);
digitalWrite(G,HIGH);
digitalWrite(B,HIGH);
digitalWrite(Ev1,HIGH);
digitalWrite(Ev2,HIGH);}

if(audio>170 and audio<340 // Color verde
{digitalWrite(R,HIGH);
digitalWrite(R,HIGH);
digitalWrite(G,LOW);
digitalWrite(B,HIGH);
digitalWrite(Ev1,LOW);
digitalWrite(Ev2,HIGH);}

if(audio>340 and audio<510) // Color azul
{digitalWrite(R,HIGH);
digitalWrite(G,HIGH);

```

```
digitalWrite(B,LOW);  
digitalWrite(Ev2,HIGH);  
digitalWrite(Ev1,HIGH);}
```

```
if(audio>510 and audio<680) // Color amarillo  
{ digitalWrite(R,LOW);  
digitalWrite(G,LOW);  
digitalWrite(B,HIGH);  
digitalWrite(Ev2,HIGH);  
digitalWrite(Ev1,HIGH);}
```

```
if(audio>680 and audio<850) // Color celeste  
{ digitalWrite(R,HIGH);  
digitalWrite(G,LOW);  
digitalWrite(B,LOW);  
digitalWrite(Ev2,HIGH);  
digitalWrite(Ev1,HIGH);}
```

```
if(audio>850) // Color Blanco  
{ digitalWrite(R,LOW);  
digitalWrite(G,LOW);  
digitalWrite(B,LOW);  
digitalWrite(Ev2,LOW);  
digitalWrite(Ev1,HIGH);}
```

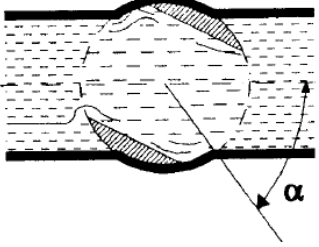
```
}
```

```
if(encendido==0)  
{ digitalWrite(R,HIGH);  
digitalWrite(G,HIGH);  
digitalWrite(B,HIGH);  
digitalWrite(Ev1,HIGH);  
digitalWrite(Ev2,HIGH);  
digitalWrite(Bombas,HIGH);}
```

```
}
```

## ANEXO B: Tablas y ábacos

### Anexo B1: Coeficiente K para válvula esférica



$\alpha$	5	10	15	20	25	30	35
K	0,05	0,3	0,75	1,56	3,1	5,47	0,7

$\alpha$	40	45	50	55	60	65	80
K	17,3	31,2	52,6	110	206	490	$\infty$

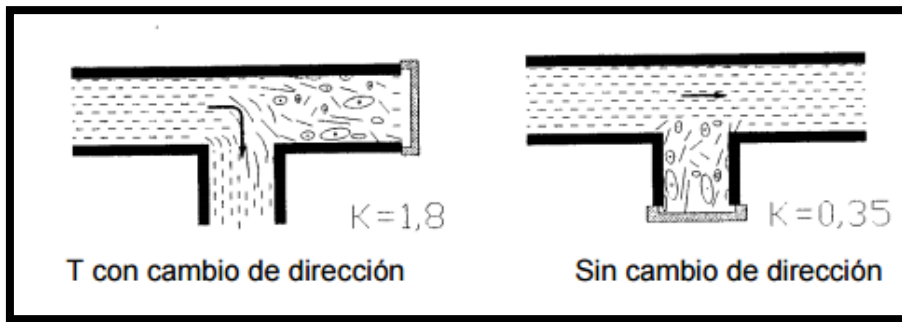
Fuente: (Gorka, 2015, pág. 45)

### Anexo B2: Altitud, localización geográfica y clima de las cabeceras cantonales de Loja.

CABECERA CANTONAL	ALTITUD M s.n.m.	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	°C	LLUVIA mm/año	CLIMA
Alamor	1.350	4° 00' 57"	80° 01' 05"	22,7	1.241,0	Subtropical-Subhúmedo; Aw
Amaluza	1.760	4° 35' 07"	79° 25' 16"	20,4	906,5	Subtropical-Seco; AwH
Cariamanga	1.960	4° 19' 39"	79° 33' 45"	17,8	1.211,1	Temperado-Húmedo; Cw
Catacocha	1.840	4° 03' 02"	79° 38' 33"	18,4	865,3	Subtropical-Seco; AwH
Catamayo	1.238	3° 59' 34"	79° 22' 03"	24,3	378,5	Tropical-Subdesértico; BSw
Celica	1.970	4° 05' 57"	79° 57' 11"	15,7	1.147,5	Temperado-Húmedo; Cw
Chaguarpamba	1.430	3° 22' 24"	79° 38' 57"	21,3	1.388,1	Subtropical-Subhúmedo; Aw
Gonzanamá	2.040	4° 13' 35"	79° 25' 50"	16,9	1.067,9	Temperado-Húmedo; Cw
Loja	2.064	4° 01' 45"	79° 11' 58"	16,0	942,7	Temperado-Subhúmedo; Cf

Fuente: <http://casadelaculturaloja.gob.ec/>

### Anexo B3: Empalme en T normal



Fuente: (Gorka, 2015, pág. 43)

### Anexo B4: Perdidas de carga en piezas especiales

Piezas	K $h_f = K \frac{v^2}{2g}$	Longitud equivalente (Número de diámetros)
Ampliación gradual	0.30	12
Codo de 90° (recto)	0.90	45
Codo de 45° (recto)	0.40	20
Codo de 90° (curvo)	0.25	30
Codo de 45° (curvo)	0.20	15
Entrada normal en tubería	0.50	17
Unión o junta	0.40	30
Reducción gradual	0.15	6
Válvula compuerta abierta	0.20	8
Válvula de globo abierta	10.0	350
Salida de tubería	1.00	35

Piezas	K $h_f = K \frac{v^2}{2g}$	Longitud equivalente (Número de diámetros)
T de paso directo	0.60	20.0
T de salida lateral	1.30	50.0
T de salida bilateral	1.80	65.0
Válvula de pie	1.75	64.7
Válvula de pie y rejilla	--	250.0
Válvula de retención	--	100.0
check	2.75	--
Orificio	1.00	35.0
Compuerta abierta	0.75	24.0
Rejilla	1.00	35.0
Entrada de borda	0.04	--

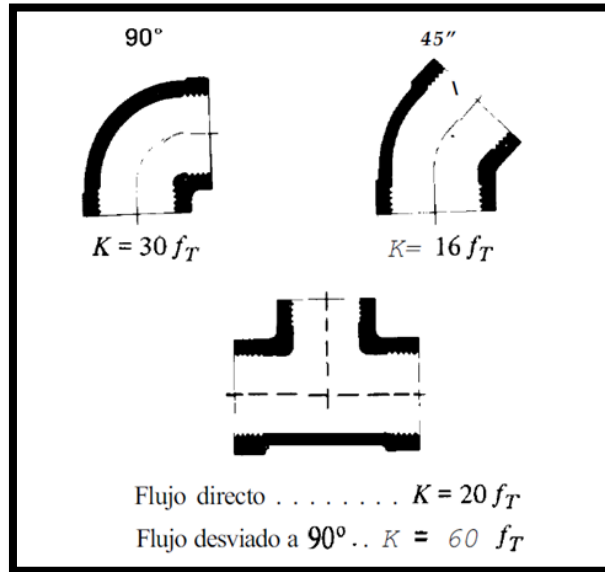
Fuente: Adquirido por Ing. Tapia

**Anexo B5: Tabla de factores de fricción para tuberías comerciales nuevas, con flujo en la zona de total turbulencia.**

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8: 10	12-16	18-24
Factor de fricción ( $f_T$ )	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

Fuente: (CRANE, S/f, págs. A-46)

**Anexo B6: Coeficiente de resistencia K de conexiones estándar en codos y "T"**



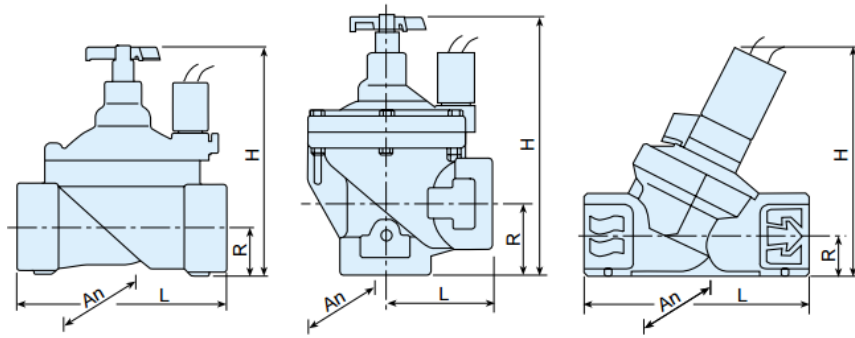
Fuente: (CRANE, S/f, págs. A-49)

**Anexo B7: Formas de Tees y coeficiente K para cada forma.**

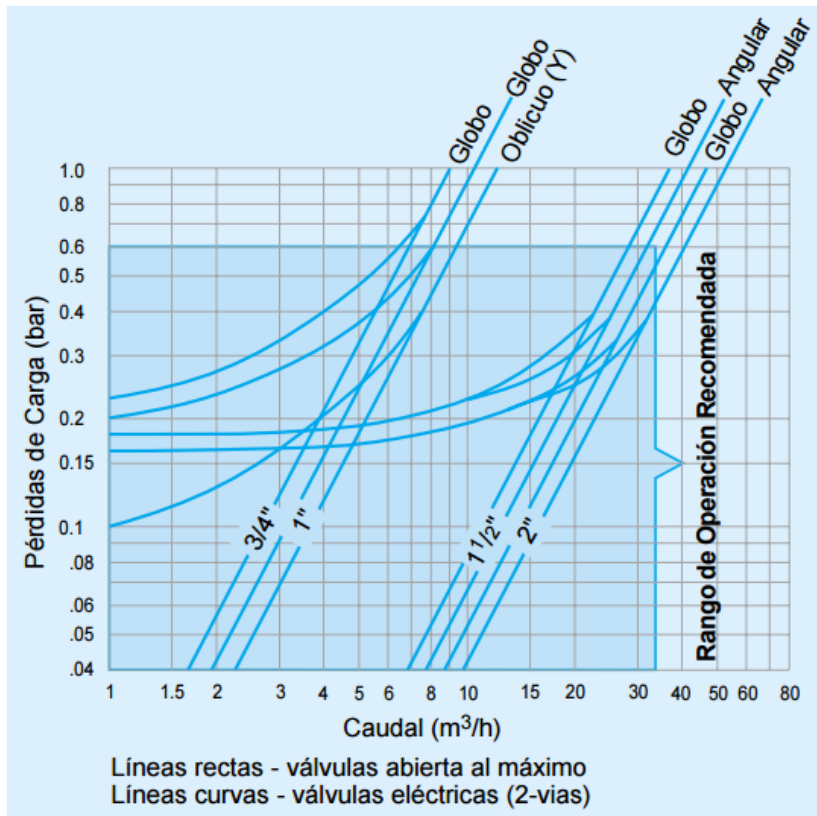
Figura					
K	0.5	1.0	1.5	3.0	0.05
Figura					
K	0.1	0.15	2.0	3.0	

Fuente: (Claudio Mataix, 1993, pág. 240)

Anexo B8: Grafica de pérdidas de carga en bares, de electroválvula BERMAD.

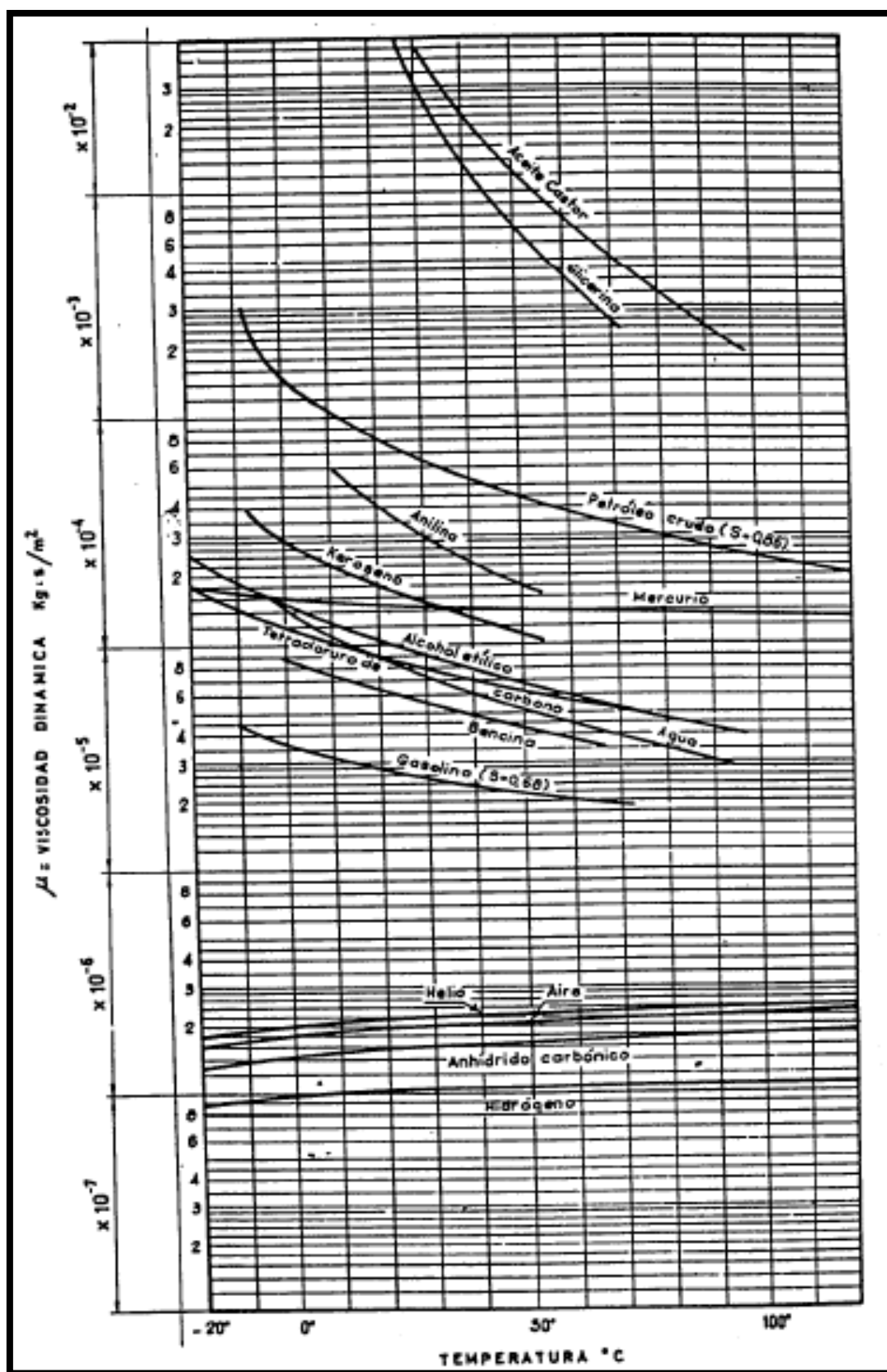


	Tipo Globo				Tipo Angular		Tipo Oblicuo (Y)
Tamaños	3/4"	1"	1 1/2"	2"	1 1/2"	2"	1"
L (mm)	110	110	160	170	80	85	114
H (mm)*	115	300	180	190	190	210	115
R (mm)	22	22	35	38	40	60	21
Ancho (mm)	78	78	125	125	125	125	68
Peso (kg)*	0.35	0.33	1.0	1.1	0.95	0.91	0.30



Fuente: (BERMAD, 2016, pág. 3)

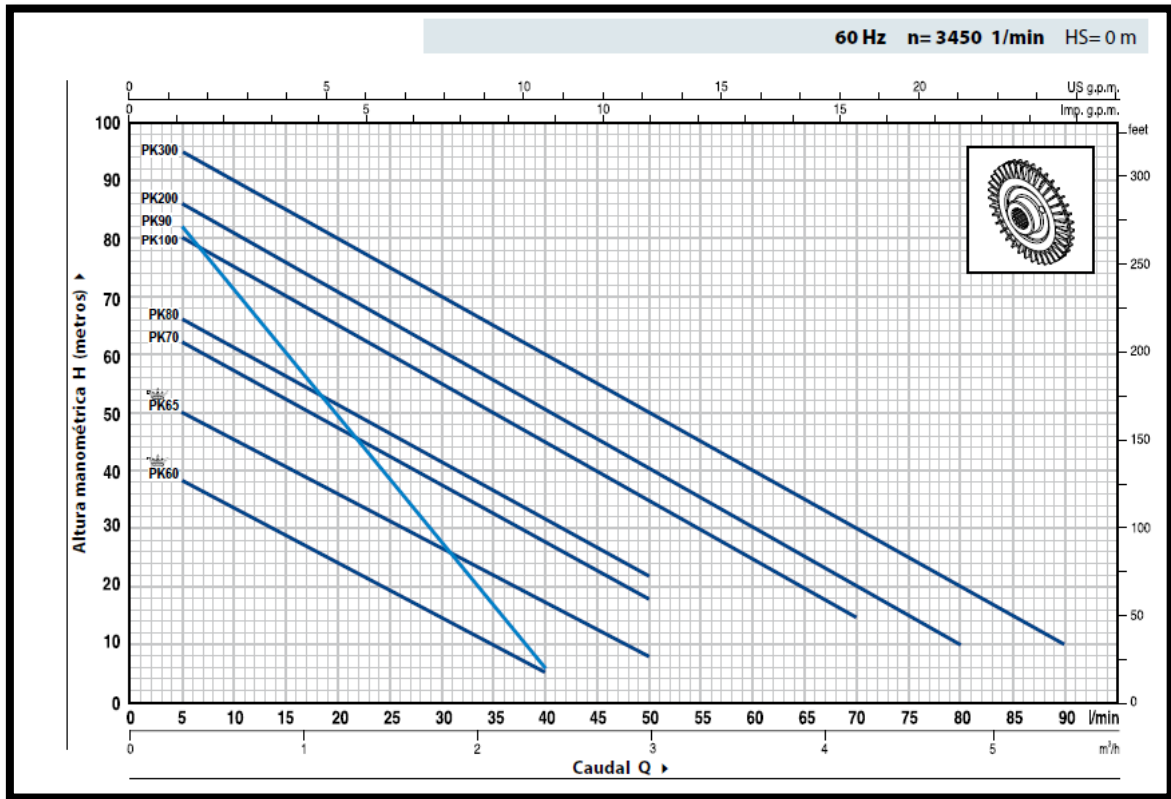
Anexo B9: Viscosidad dinámica ( $\mu$ ) de algunos gases y líquidos a la presión atmosférica normal.



Fuente: (Gorka, 2015, pág. 9)

## Anexo C: Curvas, prestaciones, placas de bombas PK y CP, especificaciones led RGB.

### Anexo C1: Curvas de bombas PK-PEDROLLO



Fuente: (Pedrollo, 2010, pág. 17)

### Anexo C2: Datos de prestaciones de bombas PEDROLLO

MODELO		POTENCIA		Q	H metros																
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4		
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90			
PKm 60°	PK 60°	0.37	0.50	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 65	PK 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8							
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18							
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22							
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15					
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10				
-	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10			

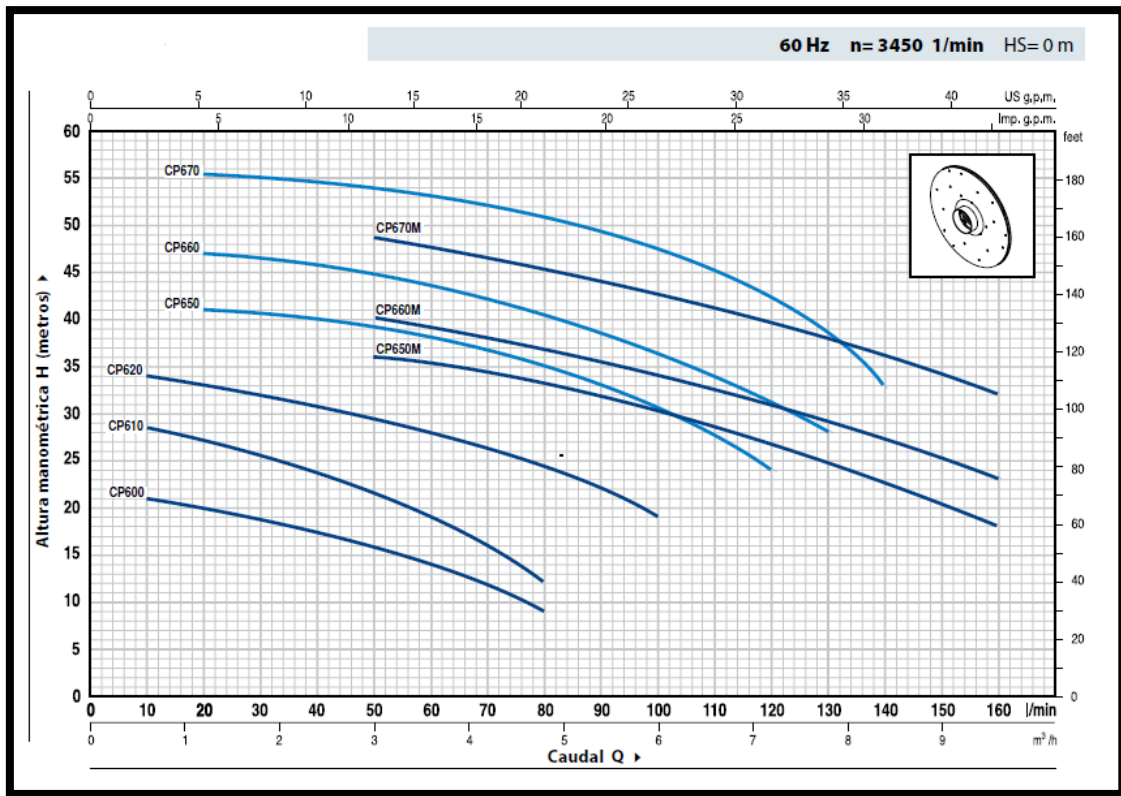
Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grade 3.

Fuente: (Pedrollo, pág. 17)



### Anexo C3: Curvas de bombas CP- PEDROLLO



Fuente: (Pedrollo, pág. 41)




### Anexo C4: Datos de prestaciones de bombas CP-PEDROLLO

MODELO		POTENCIA		Q	H metros																	
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6
				l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	H metros	22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9									
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19	16	12									
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19							
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24					
CPm 660	CP 660	1.5	2		48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28				
CPm 670	CP 670	2.2	3		57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33			
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18	
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23	
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32	

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.




Fuente: (Pedrollo, pág. 41)

Anexo C5: Placa de bomba PKm 60®

		www.pedrollo.com	
		MADE IN ITALY	
<b>PUMP PKm 60®</b>		Rel. C	
Q 5 ÷ 40 l/min	H 38 ÷ 5 m	n. 213550	
H max 40 m	H min 5 m	t max 60 °C	
V~ 110	Hz 60	min <sup>-1</sup> 3450	
kW 0.37	HP 0.5	In 5.5 A	W max 550
C. µF 25 - VL 250	I.C.L. F	IP X4	06-12
		Thermally protected Continuous duty	San Bonifacio (Verona) ITALY Tel. 045 6136311 - Fax 045 7614663

Fuente: El autor

Anexo C6: Placa de bomba CPm 620®

		www.pedrollo.com	
		MADE IN ITALY - HECHO EN ITALIA	
		Lote 07-15	
<b>MODELO CPm 620</b>		Rel. E	
Q 10 ÷ 100 l/min	H 34 ÷ 19 m		
Hmax 35 m	H min 19 m	tmax 90 °C	
~ 110 V	60 Hz	3450 min <sup>-1</sup>	
P2 0.75 kW - 1 HP	In 12 A	P1 1200 W	
C 60 µF - 250 VL	I.C.L. F	IP X4	
		Protección térmica Funcionamiento continuo 7430	Fabricado por: Pedrollo S.p.A. Via E. Fermi, 7 - 37047 San Bonifacio (VR) - Italia

Fuente: El autor

**Anexo C7: Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30°C.**

Calibre AWG o kcmil	Área de la sección transversal nominal mm <sup>2</sup>	Temperatura nominal del conductor					
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
		TW TWD CCE	THW, RHW THW-LS THWN XHHW	RHH, RHW-2 THHN, THW-2 TTHW-LS, XHHW-2	UF	RHW XHHW	RHW-2 XHHW XHHW-2 DRS
		Cobre			Aluminio		
14	2,08	20*	20*	25*	-	-	-
12	3,31	25*	25*	30*	-	-	-
10	5,26	30	35*	40*	-	-	-
8	8,37	40	50	55	-	-	-
6	13,3	55	65	75	40	50	60
4	21,2	70	85	95	55	65	75
2	33,6	95	115	130	75	90	100
1/0	53,5	125	150	170	100	120	135
2/0	67,4	145	175	195	115	135	150
3/0	85,0	165	200	225	130	155	175
4/0	107	195	230	260	150	180	205
250	127	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177	260	310	350	210	250	280
400	203	280	335	380	225	270	305
500	253	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385
750	380	400	475	535	320	385	435
1000	507	455	545	615	375	445	500

*Fuente:* (NOM-001, 2012)

A menos que se permita otra cosa específicamente en otro lugar de esta norma, la protección contra sobre corriente de los conductores marcados con un asterisco (\*), no se debe superar 15 A para 14 AWG, 20 A para 12 AWG y 30 A para 10 AWG, todos de cobre.

### Anexo C8: Tabla de selección del fusible y Breakers

Fusibles (A)	Disyuntores o "breakers" (A)
15	15
20	20
25	30
30	40
35	50
40	70
45	100
50	125
60	150
70	175
80	200
90	225

*Fuente:* (NOM-001)

### Anexo C9: Especificaciones técnicas de tira led RGB

Especificaciones	
Voltaje de Operación	9-14v
Tipo de LED	5050
Cantidad de LED's	150 (30 x metro) / 300 (60 x metro)
Grados de proyección	120°
Materiales	Cobre pintado de blanco con recubrimiento epóxico
Consumo	RGB-150 @ 36w / RGB-300 @ 72W
Consumo por metro	RGB-150 @ 7.2W / RGB-300 @ 14.4W
Lúmenes	RGB-150 @1800lm* /RGB-300 @2160 lm*
Compatibilidad	Universales, se pegan en cualquier superficie lisa
Temperatura de operación	-20°--+100°
Horas de vida	50,000 horas (puede variar)
Empaque	Bolsa de aluminio
Cont. de empaque	1 Rollo RGB de 5m 150 ó 300 LED's
Garantía	1 año
Peso	350 gr

\*Los lúmenes varían dependiendo la temperatura de color

*Fuente:* (MásLuz.mx, s/f, pág. 2)

## **ANEXO D: Fotos de la construcción del prototipo de pileta**

### **Anexo D1: Preparación del tanque de almacenamiento de agua**



Fuente: El autor

### **Anexo D2: Conexiones de los accesorios hidráulicos**



Fuente: El autor

**Anexo D3: Conexión del primer circuito y prueba de filtración de agua**



Fuente: El autor

**Anexo D4: Herramientas utilizadas en la construcción**



Fuente: El autor

**Anexo D5: Construcción de la estructura de soporte de la pileta**



Fuente: El autor

**Anexo D6: Montaje de la red de tubería, tanque, bombas y electroválvulas**



Fuente: El autor

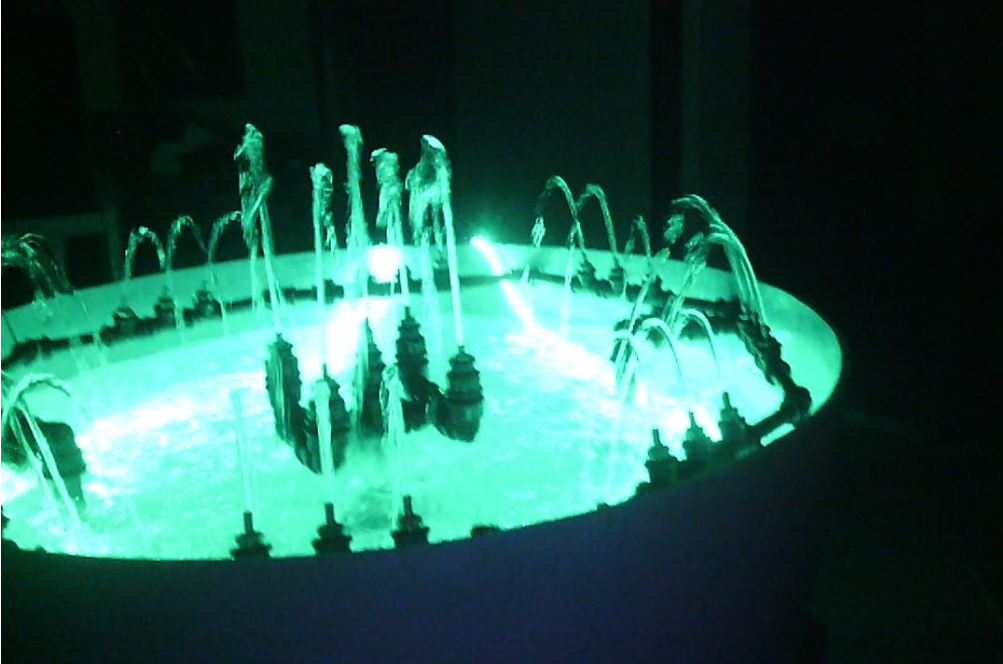
**Anexo D8: Pileta a pleno funcionamiento**



Fuente: El autor



**Anexo D7: Pileta a pleno funcionamiento**



Fuente: El autor