



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

TEMA:

“FUENTE DE AGUA DANZANTE RÍTMICA INTELIGENTE”

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTOR: PATRICIO FERNANDO AGUAS RIVADENEIRA

DIRECTOR: DANIEL MIDEROS PhD

Quito, Mayo 2015

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **PATRICIO FERNANDO AGUAS RIVADENEIRA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Patricio Aguas R.

C.I. 171306275-8

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño y construcción de una fuente danzante rítmica inteligente**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **Patricio Aguas**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Daniel Mideros PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1713177325

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 FUENTES DANZANTES	7
2.2 SONIDO	8
2.2.1 ELEMENTOS DEL SONIDO	8
2.2.1.1 Altura.....	9
2.2.2.2 Intensidad.....	9
2.2.2.3 Duración.....	10
2.2.2.4 Timbre	11
2.2.3 MÚSICA	12
2.2.3.1 Elementos de la música	12
2.2.4 BENEFICIOS DE LA MÚSICA	13
2.2.5 Espectro audible.....	14
2.3 ILUMINACIÓN	15
2.3.1 LUZ.....	16
2.3.2 DEFINICIÓN Y DESARROLLO	16
2.3.3 LUZ para ver	17
2.3.4 Luz para mirar	17
2.3.5 iluminación Led	18
2.3.6 leds rgb.....	19
2.3.6 Ventajas de la iluminación led	20
2.4 EL AGUA	21
2.4.1 AGUA EN MOVIMIENTO	21
2.4.1 Bombas hidráulicas	22
2.4.1.2 Factores de funcionamiento.	23
2.4.2 Válvulas Solenoides	24
2.4.3 toberas	25
2.4.3.1 Tipos de toberas.....	25

	PÁGINA
3. METODOLOGÍA	27
3.1. METODOLOGÍA MECATRÓNICA.....	27
3.1.1 especificaciones del sistema	28
3.1.2 Diseño mecánico	29
3.1.3 Diseño Electrico y Electrónico	29
3.1.4 Diseño de control.....	30
3.1.5 Simulación computacional.....	30
3.1.6 Implementación	31
3.1.7 Pruebas del prototipo	31
4. DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
4.1 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO	32
4.1.1Contenedory estructura	32
4.1.1.1 Selección del material	33
4.1.2 FUNDAMENTOS DE operación	38
4.1.3 elementos del sistema hidráulico	42
4.1.3.1 Bomba de agua	42
• Calculo de perdida de carga.....	42
4.1.3.2 Válvulas Solenoides.....	49
4.1.3.3 Mangueras	51
4.2 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	51
4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	54
4.3.1 Funcionamiento.....	55
4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	56
4.5 CONTROL AUDIO RÍTMICO.....	62
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1 CONCLUSIONES.....	64
5.2 RECOMENDACIONES.....	66
6. BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS.....	71

INDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Principales mercados turísticos al Ecuador	2
Tabla 2. Sonidos y decibeles comúnmente encontrados	10
Tabla 3. Elementos de la música y cualidades del sonido.	13
Tabla 4. Comparativo iluminación Led vs otras luminarias.....	21
Tabla 5. Composición química	34
Tabla 6. Planchas de Acero Inoxidable	35
Tabla 7. Bomba hidráulica, especificaciones.....	42
Tabla 8. Especificaciones de la válvula solenoide	50
Tabla 9. Características de la cinta RGB.....	55
Tabla 10. Escala Sonocromática	55
Tabla 11. Asignación de colores para cada frecuencia	56
Tabla 12. Pruebas del sistema	58

INDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Entrada de divisas, año 2013.....	2
Figura 2. Entrada de Extranjeros periodo 2011-2014	3
Figura 3. Fuente danzante de Dubái.....	4
Figura 4. Espectáculo de agua, música y luces de Guayaquil	4
Figura 5. Elementos del sonido.....	8
Figura 6. Vibración en sonidos graves y agudos.....	9
Figura 7. Sonido largo y sonido corto.....	11
Figura 8. Diferencias en el timbre de diversos instrumentos.....	11
Figura 9. Rangos del espectro audible.....	14
Figura 10. Luz para ver	17
Figura 11. Luz para mirar	17
Figura 12. Diodo Led.....	18
Figura 13. LED RGB	19
Figura 14. Bombas hidráulicas.....	22
Figura 15. Válvulas Solenoides.....	24
Figura 16. Tobera chorro de nieve	25
Figura 17. Tobera cáliz	25
Figura 18. Tobera flor de cala	26
Figura 19. Tobera chorro de lanza	26
Figura 20. Metodología para la elaboración del proyecto	27
Figura 21. Diagrama general del diseño de control.....	30
Figura 22. Diseño 3D de la Estructura de la fuente danzante de agua	33
Figura 23. Diseño 3D del Contenedor.....	33
Figura 24. Contenedor luego del proceso de perforado.....	36
Figura 25. Análisis de esfuerzos para la estructura	37
Figura 26. Sistema de ejes de referencia.....	39
Figura 27. Alcance máximo del chorro en el eje x.....	40
Figura 28. Altura máxima del chorro	41
Figura 29. Pérdida de carga sección recta, software Lflow.....	45
Figura 30. Pérdida de carga en accesorios, software Lflow.....	46
Figura 31. Perdida de carga por desnivel, software Lflow.....	47
Figura 32. Pérdida de carga vs diámetro interior, software Lflow.....	48
Figura 33. Diseño 3D de la bomba hidráulica sumergible	49
Figura 34. Diseño 3D válvula solenoide.....	50
Figura 35. Manguera de polietileno.....	51
Figura 36. Diseño del circuito electrónico, software Proteus.....	52
Figura 37. Esquema de conexión.....	56
Figura 38. Diagrama de flujo del sistema de control.	57
Figura 39. Altura para cada frecuencia.	62

RESUMEN

Se desarrolló y se realizó la construcción de una fuente de agua danzante rítmica, capaz de crear movimientos de agua sincronizados con la música y realzados por un sistema de iluminación. Para cumplir con los objetivos planteados, se diseñó y construyó un sistema de adquisición de datos, los cuales fueron procesados para obtener siete canales de frecuencia, mismos que se encargan de la activación de los actuadores del sistema como válvulas solenoides y leds RGB. Para la construcción de la fuente, al trabajar con elementos tales como agua y corriente eléctrica, es necesario garantizar que estos no lleguen a poner en riesgo la integridad de los observadores, del operario, o del mismo sistema, debido a que el agua puede dañar los componentes eléctricos y electrónicos. Para la selección de la bomba hidráulica se consideró la altura de 1,50 metros a la que se desea elevar los chorros de agua, para esto fue necesario considerar las pérdidas de carga que se presentan en el transporte de agua. Al ser las válvulas un elemento fundamental ya que interviene directamente en la sincronización musical y la altura de los chorros, se debió considerar su capacidad de respuesta ante impulsos eléctricos rápidos, generados por la frecuencia. El sistema de iluminación de la fuente, se lo realizó con una cinta de leds RGB, los cuales generan una amplia gama de colores y puede ser sumergidos en agua hasta una profundidad de 1 metro, por su nivel de protección IP7. Con la integración de controladores como arduino y logo, se logró completar el sistema de la fuente de agua, obteniendo resultados positivos, con lo que se logró cumplir con los objetivos planteados basando su funcionamiento en la frecuencia musical tanto en la generación de movimientos de agua como en su iluminación de forma rítmica, obteniendo una altura de chorros superior a los 1.50 metros. Además se buscó evitar el uso excesivo de recursos y aprovecharlos al máximo en busca de no afectar al medio ambiente.

ABSTRACT

This titling project focused on building a rhythmic dancing water source capable of creating water movement synchronized with music and enhanced by a lighting system. To meet the objectives, was designed and built a data acquisition system, which were processed for seven channels of frequency themselves who are responsible for the activation of the actuators of the system as solenoid valves and RGB LEDs. For the construction of the system, it was necessary to be very careful when selecting the materials it's built, since when working with items such as water and power, it is necessary to ensure that these do not amount to jeopardize the integrity of observers or operator, besides water can damage electrical and electronic systems implemented in the dancing fountain. The selection of the hydraulic pump is performed considering the height to which you want to raise the water jets, for it was necessary to consider the losses that occur due to piping material and accessories used in construction the water transport system. As the valves a fundamental element and directly involved in the musical timing and spouts, was due to consider their capacity to respond to fast electrical impulses generated by the frequency and with a diameter suitable to departure to allow flow enough water to meet the objectives. The lighting system of the source, I made a tape of RGB LEDs, which provide the ability to generate a wide range of colors and also have the ability to be submerged in water, its protection level IP7. Finally, it is important to note that the control system is performed with the Arduino platform, same control that has a wide range of additional elements that facilitate the realization of electronic projects and has a friendly programming software developer.

1. INTRODUCCIÓN

Día a día la tecnología va creciendo de forma acelerada con el claro objetivo de mejorar la forma de vida de las personas, y facilitar su trabajo. Es así que cada vez más la industria opta por usar menos la intervención humana, implementando maquinas específicamente desarrolladas para cumplir con las tareas necesarias en sus procesos, con la ventaja de mejorar tiempos de producción, reducir costos y evitar reprocesos los cuales representan pérdida de tiempo que son provocados frecuentemente por diversos factores que afectan a las personas.

Pero los avances tecnológicos no solamente se han visto encaminados a mejorar las industrias, actualmente, la tecnología ha tomado fuerza en otras áreas tales como la medicina, arquitectura y en el presente trabajo de titulación se lo ha orientado a la creación de nuevos atractivos turísticos artificiales para las ciudades, ya que permite el uso de elementos como luces, música, y creación de movimientos del agua los cuales resultan agradables a los sentidos.

El problema que presentan algunas de las ciudades de nuestro país, es el no contar con atractivos turísticos naturales, o no tener la posibilidad de explotar completamente los recursos que poseen, debido a que la infraestructura vial no permite tener un acceso fácil y rápido a los mismos, lo que evita que dichas ciudades puedan percibir recursos económicos generados por el turismo.

Actualmente se considera que el turismo, es uno de los ejes fundamentales para el desarrollo de los países, es por eso que cada vez más se realizan campañas que incentiven el crecimiento del turismo en el país.

Según datos de la asociación nacional de operadores de turismo receptivo del Ecuador, en el año 2013 se registró en la balanza de pagos un ingreso de divisas provocado por el turismo de 1515,6 millones de dólares, como se muestra en la figura 1, además de esto se registra que el 70% de los visitantes, ingresaron por vía aérea, mientras que solo un 30 %, lo hizo por vía terrestre, (Optur, 2014)



Figura 1. Entrada de divisas, año 2013
(Optur, 2014)

Para mayo 2014, los principales mercados turísticos al Ecuador fueron, Colombia con 161 965 visitantes (33%), Estados Unidos con 99 823 visitantes (21%), y Perú con 70 022 visitantes (14,5%), como se observa en la tabla 1.(Ministerio de Turismo, 2014)

Tabla 1. Principales mercados turísticos al Ecuador

	País	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Ene-May	% Par
1	Colombia	54.467	26.770	22.799	34.721	23.238	161965	33,4
2	USA	19.262	19.982	21.777	17.866	20.947	99.823	20,6
3	Perú	16.670	19.154	11.907	11.697	11.694	70.022	14,6
4	Argentina	11.189	6.365	6.893	3.880	6.642	33.689	7,0
5	Venezuela	6.464	7.033	6.566	6.657	4.046	31.046	6,4
6	Chile	4.964	7.076	4.926	2.816	4.693	24.308	6,1
7	España	6.402	6.158	3.926	4.629	3.224	22.005	4,5
8	Canadá	3.586	3.219	3.377	3.215	2.839	16.236	3,4
9	Alemania	2.291	3.457	3.600	2.464	1.962	13.674	2,8
10	México	2.089	1.932	2.369	2.268	2.403	11.010	2,3
	Total	152576	124584	87.039	90.202	81.688	484308	100

(Ministerio de Turismo, 2014)

Durante el periodo 2011 – 2014, se registró un incremento paulatino de ingreso de extranjeros que visitan el Ecuador pasando de 1 140 978 en 2011 a 1 364 057 en el año 2013, con una variación de 16,4% en el periodo, así también se determinó que el 58% de los visitantes, provenían de América del sur, América central y el caribe, mientras que solo un 16% provenían del mercado Europeo, como se representa en la figura 2.(Optur, 2014)



Figura 2. Entrada de Extranjeros periodo 2011-2014
(Optur, 2014)

Las ciudades más visitadas del Ecuador ha mayo de 2014, fueron: Quito (66%), Guayaquil (47%), Cuenca (19%), Galápagos (15%), y Baños (11%).

Para el año 2014 se ha registrado un incremento sostenido del 16,4% de visitantes a nuestro país, lo que demuestra la importancia del crecimiento de esta actividad.

En base a estos y muchos otros ejemplos de crecimiento turístico potenciados por la implementación de fuentes de agua danzante, varias ciudades alrededor del mundo, han utilizado a las fuentes de agua danzante como sus principales elementos para generar turismo.

Grandes ciudades como Dubái, capital de los Emiratos Árabes Unidos, han implementado fuentes danzantes de agua, como se observa en la figura 3, las cuales se han constituido como uno de los mayores atractivos turísticos de esa ciudad.



Figura 3. Fuente danzante de Dubái
(Juannav, 2012)

Pero esta no es una realidad lejana al país, ya que ciudades como Lima en Perú con su parque acuático y Guayaquil en Ecuador con su espectáculo de agua, representado en la figura 4, han integrado luces y sonido como apuesta para incentivar el movimiento turístico hacia esas ciudades con gran éxito hasta el momento.



Figura 4. Espectáculo de agua, música y luces de Guayaquil
(Explored , 2011)

De esta manera se presenta el desarrollo de este proyecto, como una alternativa viable para aumentar la afluencia de visitantes a las ciudades del país, y que de esta manera estas puedan percibir recursos generados por el turismo.

Con la finalidad de implementar con éxito el presente proyecto, es necesario empezar por plantear los objetivos que se buscan obtener al final de su ejecución, siendo estos:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de fuente de agua danzante, controlada por medio de elementos electrónicos y computarizados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un sistema de control de válvulas.
- Diseñar y construir un sistema de control de altura de los chorros de agua.
- Diseñar y construir un sistema de control de luces de animación de la fuente.
- Diseñar e implementar un sistema electrónico de reconocimiento de los decibels rítmicos para el control de los actuadores.

Los elementos mecánicos son: estructura de soporte, contenedor de acero inoxidable, bomba hidráulica, válvulas de agua, mangueras y toberas.

La estructura metálica es la encargada de soportar el peso de todo el sistema, de ahí la importancia de su correcto dimensionamiento, para su construcción se emplea tubos de acero, con sección cuadrada y una junta

por medio de suelda eléctrica a base de electrodo, con la cual se garantiza la resistencia necesaria para cumplir con su función.

El contenedor de acero inoxidable cumple con la función de recolectar el agua que es expulsada por los pitones alojados en ella. Se lo construye con acero inoxidable ya que se encuentra permanentemente en contacto directo con el agua.

Para el transporte del agua en la fuente danzante, se emplea una bomba hidráulica y un conjunto de tuberías por las cuales circulara el fluido.

La bomba hidráulica es la encargada de generar movimiento, permite que el agua se traslade a través de las tuberías y tenga la presión necesaria para elevarse al ser expulsada.

Las válvulas solenoides permiten o restringen el paso de agua dependiendo del estado en el que se encuentra ya sea este encendido o apagado. El cambio de estado se produce de acuerdo a la señal de frecuencia que recibe de parte del controlador arduino.

Con la construcción del sistema eléctrico, electrónico y de control, se cumple con actividades como adquisición de datos, filtrado de la música, procesamiento de las señales obtenidas y activación de actuadores.

Para el control de la fuente de agua danzante, se emplearon dos sistemas, el primero de ellos es arduino, un controlador que basa su programación en lenguaje de programación C, en el que se filtra la música en 7 canales de frecuencia los cuales son 63, 160, 400, 1000, 2500, 6250, y 16000Hz.

El segundo sistema de control se lo realiza con un PLC logo, con el cual se controla la activación de la bomba hidráulica y el sistema de iluminación en la noche, y distribución de energía a los elementos eléctricos y electrónicos.

De esta manera se logra la construcción de la fuente de agua danzante rítmica inteligente, optimizando el uso de recursos como el consumo energético y desperdicios de agua.

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se busca ampliar el conocimiento teórico necesario, para el desarrollo de cada uno de los elementos que constituyen la fuente de agua danzante, facilitando así su comprensión.

2.1 FUENTES DANZANTES

Las fuentes de agua se remontan a tiempos muy antiguos, se considera que las primeras fuentes se originaron en el momento en que las personas realizaron la extracción del agua de pozos sépticos en las primeras civilizaciones. (Jaramillo, 2012)

En un principio el funcionamiento de este tipo de sistemas de agua se daba por causas naturales como el desplazamiento provocado por efecto de la gravedad, sin embargo la necesidad de los seres humanos de obtener nuevas prestaciones, mayor eficiencia y gracias al desarrollo de la tecnología, dio paso a la invención de elementos mecánicos, eléctricos, electrónicos, que permitieron mejorar el proceso de transporte de agua.(Jaramillo, 2012)

En la actualidad las fuentes de agua danzantes son uno de los mayores atractivos turísticos en el mundo entero. Muchas ciudades han implementado fuentes de agua danzante, las cuales además de dar realce a la ciudad, invita a propios y extraños a visitarlas en busca de entretenimiento, distracción y relax. La sincronización de los elementos que conforman el sistema en perfecta armonía, deleitan a todas aquellas personas que diariamente llegan a observar este espectáculo.

Los elementos que conforman el sistema de una fuente de agua danzante son la música, el agua, y la iluminación, cada una de ellas aporta para que en conjunto, se pueda tener un gran espectáculo, así como los múltiples beneficios que tanto el agua, como la música pueden brindar al cuerpo humano, ya que en muchas ocasiones son utilizados para terapias de relajación o incluso como una herramienta para solucionar diversos problemas psicológicos, tales como esquizofrenia, autismo, alzheimer.

2.2 SONIDO

El sonido es una onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico. Cuando se produce una perturbación periódica en el aire, se originan ondas sonoras longitudinales. El oído, actúa como receptor de estas ondas periódicas y las interpreta como sonido. (Fuentes, 2013)

La transmisión del sonido involucra transporte de energía en forma de ondas, sin transporte de materia que se trasladan por un medio, comúnmente aire y agua. A diferencia de las ondas electromagnéticas, las ondas sonoras no se transportan en el vacío. Si las vibraciones se producen en la misma dirección del sonido se conoce como onda longitudinal, mientras que si las vibraciones son perpendiculares a la dirección de propagación, se tiene una onda transversal. (Fuentes, 2013)

2.2.1 ELEMENTOS DEL SONIDO

Actualmente se conoce de manera científica, que el sonido se fundamenta en cuatro elementos principales los cuales son: la altura, el timbre, la intensidad, y la duración, cabe mencionar también que el espacio podría ser incluido en estas consideraciones, ya que también afecta en cierto grado al sonido, ya que es este el encargado de transportar las ondas sonoras. La música surge de la combinación de estos elementos (Sag, 2009). En la figura 5 se observan los elementos del sonido.



Figura 5. Elementos del sonido
(Borrero, 2008)

2.2.1.1 Altura

La altura también conocida como tono es el elemento del sonido el cual depende del mayor o menor número de vibraciones por segundo de un cuerpo. De esta manera se pueden tener sonidos agudos los cuales tienen un gran número de vibraciones por segundo, y los sonidos graves los cuales tienen una cantidad reducida de vibraciones por segundo como se muestra en la Figura 6. La vibración se puede medir en hertzios (1 hertzio es una vibración por segundo), y el oído humano es capaz de percibir entre 20 y 20000 Hz. (Gomez, 2013)

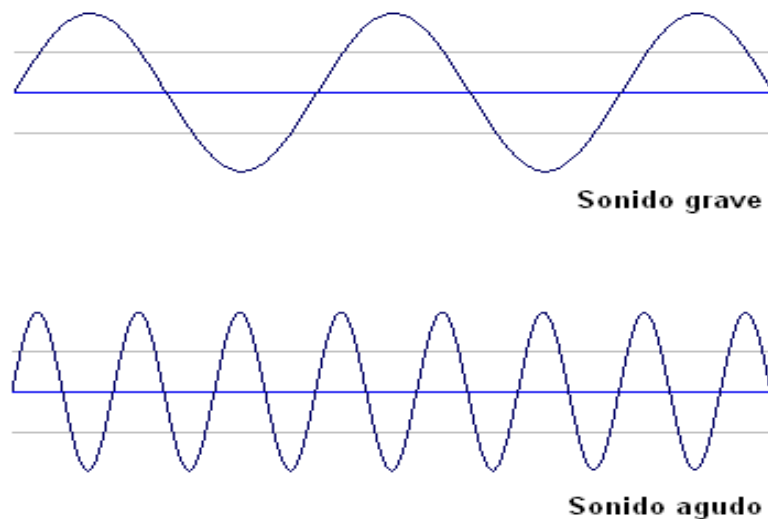


Figura 6. Vibración en sonidos graves y agudos
(Trevizo, 2013)

2.2.2.2 Intensidad

Conocido comúnmente como volumen, la intensidad al levantar la voz en mayor cantidad lo que logramos es provocar un mayor movimiento o estimulación de aire que cuando susurramos. A la intensidad se la puede medir en decibelios. Una exposición a un volumen muy alto, puede causar problemas tales como desorientación, mareos, o daños permanentes en el oído, por lo que se debe tener especial cuidado de no exceder los límites. (Gomez, 2013)

En la tabla 2 a continuación se muestra los sonidos y sus valores en decibeles comúnmente encontrados en el medio ambiente en el que nos desarrollamos, a los que diariamente se encuentra expuesto nuestros oídos, en la que al aumentar el valor va cambiando su color de verde en el cual se representa que no causa daños, hasta llegar al color rojo nivel en el cual provoca molestias y dolor, y si la exposición es prolongada, puede llegar a causar daños severos al oído, los cuales en varios casos son permanentes e irreversibles.

Tabla 2. Sonidos y decibeles comúnmente encontrados

dB	SONIDO
140 dB	Umbral del dolor
130 dB	Avión despegando
120 dB	Motor de avión en marcha
110 dB	Concierto / Acto cívico
100 dB	Perforadora eléctrica
90 dB	Tráfico / Pelea de dos personas
80 dB	Tren
70 dB	Aspiradora
50 dB	Aglomeración de gente
40 dB	Conversación
20 dB	Biblioteca
10 dB	Respiración tranquila
0 dB	Umbral de audición

(Pozo, 2011)

2.2.2.3 Duración

Este elemento se encuentra relacionado con el tiempo que permanece la vibración. El tiempo máximo de vibración se encuentra limitado por las características del instrumento que produce el sonido. Los instrumentos de cuerda y percusión generan vibraciones cortas, mientras que instrumentos como el piano generan vibraciones largas. Una duración muy corta de las vibraciones del sonido, provocan que nuestro oído, los perciba como sonidos simultáneos. En la Figura 7 se puede observar un sonido largo y un sonido corto (Gomez, 2013).

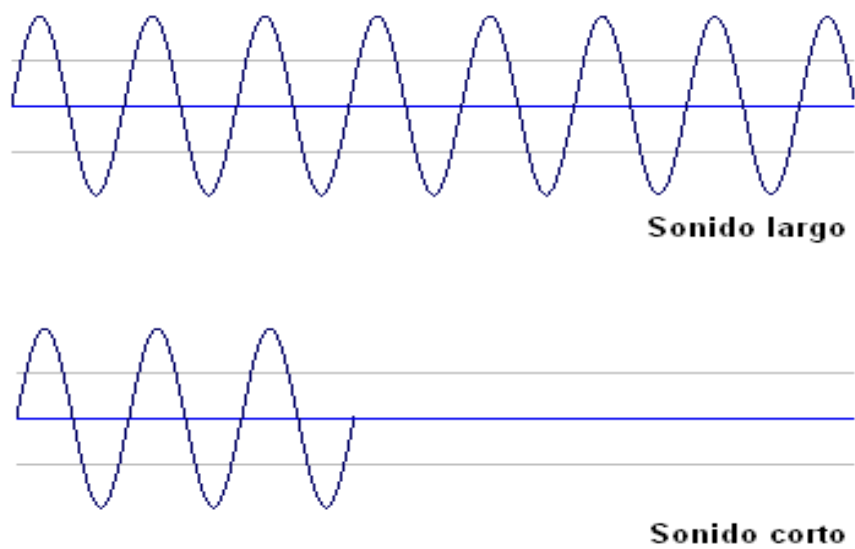


Figura 7. Sonido largo y sonido corto
(Yea, 2011)

2.2.2.4 Timbre

Es la cualidad que permite distinguir un sonido de otro, sin importar su duración, intensidad, altura, siempre se podrá diferenciar entre diferentes sonidos. En la Figura 8 se representan las diferencias entre el timbre de varios instrumentos. (Gomez, 2013)

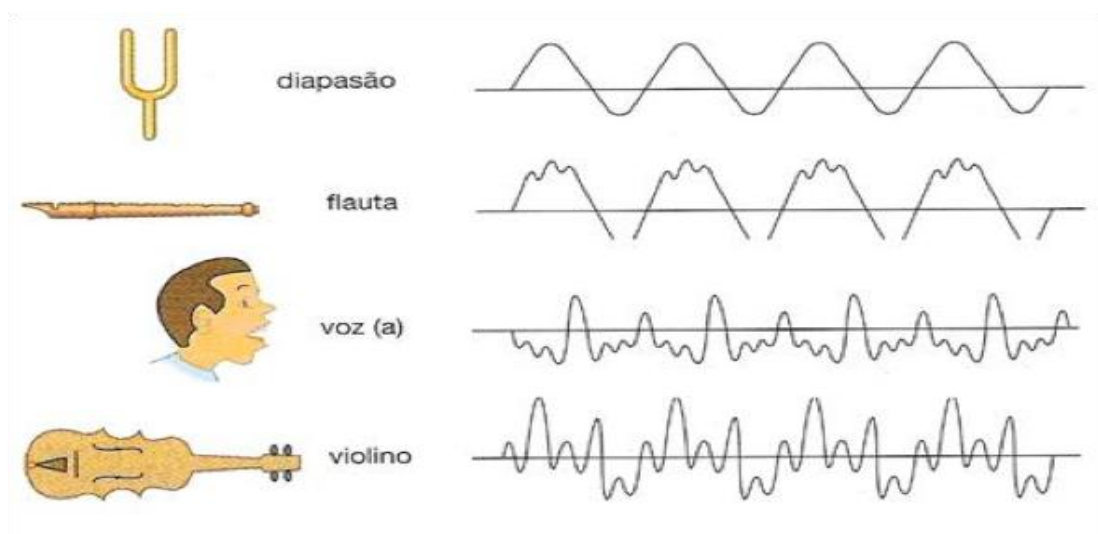


Figura 8. Diferencias en el timbre de diversos instrumentos
(Salazar, 2008)

2.2.3 MÚSICA

Desde el principio de los tiempos, el hombre estuvo rodeado por los sonidos de la naturaleza, su curiosidad lo llevo a tratar de imitar el sonido de los pájaros, del trueno, etc. (Sag, 2009).

Sin embargo el origen de la música como la conocemos en la actualidad, comprendida como la creación de sonidos complejos, se la puede ubicar de mejor manera en el tiempo de la mitología griega, ya que el término música proviene del vocablo griego “musa”, famosas deidades que tenían la capacidad de inspirar a los artistas, que escuchaban su maravilloso canto(Delgado, 2012).

2.2.3.1 Elementos de la música

La música cuenta con cuatro elementos fundamentales, cada uno de ellos cumplen con características específicas que permiten que la música suene de la manera en la que la conocemos, los elementos que la constituyen son el ritmo, la melodía, la armonía y los matices.

- **El ritmo**

Brevemente se lo puede describir como la sucesión de sonidos, silencios y acentos. Se lo considera la base de la música, ya que ayuda a mantener un orden y equilibrio. (Guevara, 2010)

- **La melodía**

Sucesión coherente de sonidos y silencios singularizados, que se desenvuelven en una secuencia lineal y que tiene una identidad y significado propio. (Guevara, 2010)

- **La armonía**

Es la incorporación de sonidos que se producen a la vez dentro de una canción, además de esto se lo considera el arte de conformar acordes. (Guevara, 2010).

- **Los matices**

Es el color o dinámica que se da a la música, para enriquecerla. En la tabla 3, podemos observar la relación entre los elementos de la música y las cualidades del sonido.(Guevara, 2010)

Tabla 3. Elementos de la música y cualidades del sonido.

ELEMENTOS DE LA MÚSICA	CUALIDADES DEL SONIDO
Ritmo	Duración
Melodía	Altura
Armonía	Altura
	Duración
Matices	Intensidad
	Duración

(Guevara, 2010)

2.2.4 BENEFICIOS DE LA MÚSICA

Según lo descrito por Correa, en su obra “Los beneficios de la música”(Correa, 2010); esta es una necesidad fundamental del ser humano, ya que más allá de dar placer, es una fuente inagotable de salud y bienestar.

La musicoterapia ha sido utilizada desde la antigüedad. En los tiempos de la antigua Grecia, historiadores, filósofos y científicos, han escrito sobre la música como un medio terapéutico.

La terapia musical moderna tiene su origen en Inglaterra. El libro más antiguo sobre la música y la medicina fue escrito por el Dr. Richard Browne, en el año 1729. Varios estudios han demostrado que la música tiene la capacidad de reducir la ansiedad y la sensación de dolor. Otro de los males en los que se aplica musicoterapia es el Alzheimer, ya que los pacientes pueden mejorar su estado de ánimo, reducir la necesidad del consumo de medicamentos, y estimular partes del cerebro, lo cual ayuda a retardar el deterioro del mismo. (Correa, 2010).

Fisiológicamente la música influye sobre el ritmo respiratorio, la presión arterial, las contracciones estomacales y los niveles hormonales. El ritmo

cardíaco se acelera o se vuelve más lento, de forma que se sincroniza con los ritmos musicales. Además de esto, se sabe que la música puede alterar los ritmos eléctricos de nuestro cerebro.

2.2.5 ESPECTRO AUDIBLE

El espectro auditivo también conocido como campo tonal, está formado por todas aquellas frecuencias que el oído humano es capaz de percibir. Dicho rango audible para personas con una fisiología auditiva sana, va desde los 20Hz hasta los 20000Hz o 20 KHz. Sin embargo, existen también sonidos que se encuentran fuera de los rangos audibles para el ser humano, de esta forma, se conoce como infrasonidos a todos aquellos sonidos cuya frecuencia es menor a los 20 Hz, mientras que aquellos que tienen una frecuencia superior a los 20KHz, se los conoce como ultrasonidos. En la figura 9 se observan los rangos del espectro audible.

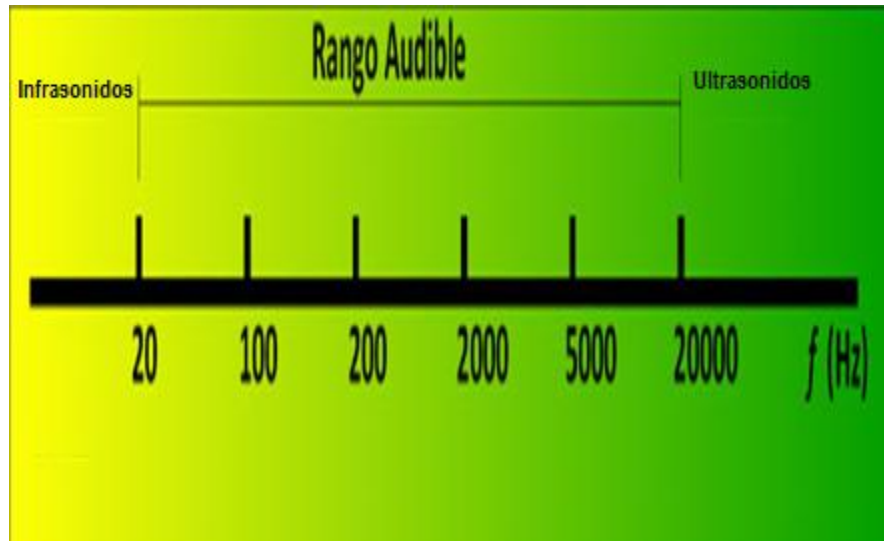


Figura 9. Rangos del espectro audible.
(Laboratorio de Ingeniería Sísmica, 2011)

El espectro de frecuencia audible se puede dividir en tres grupos de acuerdo al tono de los sonidos producidos por los diferentes instrumentos musicales, cada uno con su característica específica, los cuales son: tonos graves, tonos medios y tonos agudos.

- Tonos graves: entre 20 Hz a 400 Hz
- Tonos medios: entre 400 Hz a 2 KHz
- Tonos agudos: entre 2 KHz a 20 KHz

Instrumentos musicales como el bajo eléctrico y los tambores producen tonos graves, en el rango de 20 a 400Hz, la mayor parte de instrumentos de instrumentos musicales se desenvuelven en un rango de frecuencias entre 400 a 2000Hz, es decir en los tonos medios, mientras que los platillos de la batería se encuentran en el rango de los 2000 a 20000 Hz o tonos agudos.(Garcia, 2012)

De esta manera con la adquisición de datos de la frecuencia producida por cada uno de los instrumentos musicales, el sistema de control tiene la capacidad de procesarlos y ordenar el funcionamiento de los diferentes actuadores del sistema, generando el efecto deseado de movimiento al ritmo de la música del agua e iluminación de la misma.

En el proyecto la música es filtrada en 7 canales los cuales son de 63Hz, 160Hz, 400Hz, 1KHz, 2.5KHz, 6.25KHz y 16KHZ, con los que se puede cubrir un importante segmento del espectro audible.

2.3 ILUMINACIÓN

Hasta el siglo XVIII los seres humanos únicamente conocían dos tipos de fuentes de iluminación: la luz solar y la luz producida por el fuego, pero como en todo, la evolución trajo nuevas formas de generar luz, tales como la producida por gas y la iluminación eléctrica. (ERCO, 2013)

La iluminación por medio del fuego, quedo relegada cuando Thomas Alba Edison, construyo la primera bombilla eléctrica en 1879, la cual está constituida por un bulbo de cristal, en cuyo interior se ha generado vacío, para que no exista oxígeno que pueda producir combustión, en el interior del bulbo se encuentra un filamento de carbón por el que pasa la corriente

eléctrica. El filamento pone resistencia a su paso y por ello se vuelve incandescente, consiguiendo así la iluminación. (Gil, 2009)

2.3.1 LUZ

La luz es una forma de radiación electromagnética, la cual tiene la capacidad de estimular a la retina, creando una sensación visual. A esta radiación se la conoce como energía radiante. (Sirlin, 2005)

Sus características son:

- Amplitud: altura de la onda.
- Longitud de onda: dimensión de la onda.
- Velocidad: distancia que recorre la onda en un segundo.
- Frecuencia: Número de ondas que pasan en un segundo por un punto fijo.

Basado en datos de la teoría de la relatividad de Einstein, la luz se desplaza por el vacío a 299.792,458 km/s, y es conocida como la velocidad de la luz. (Sirlin, 2005)

2.3.2 DEFINICIÓN Y DESARROLLO

Se define a la iluminación como la acción en la cual se proporciona luz en cantidades adecuadas, para poder realizar tareas con alto rendimiento visual, creando ambientes saludables, seguros y confortables para el observador u observadores, y buscando el menor consumo energético posible, con elementos de bajo consumo, dando de esta forma un uso racional de la energía. (Raitelli, 2006)

En los años 50 Richard Kelly quien fue uno de los pioneros de la iluminación, apoyándose en los descubrimientos de otros grandes inventores como Tomas Edison y Nikola Tesla, diferenció dos tipos principales de iluminación: la luz para ver, y la luz para mirar. (ERCO, 2013)

2.3.3 LUZ PARA VER

Proporciona una iluminación general al entorno, permitiendo que sus objetos y las personas presentes sean visibles, como se muestra en la Figura 10.

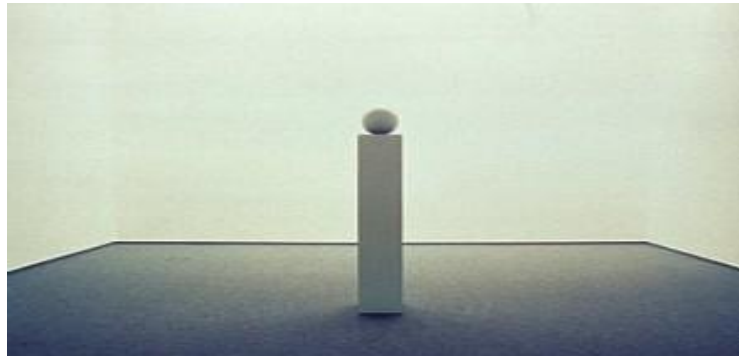


Figura 10. Luz para ver
(ERCO, 2013)

2.3.4 LUZ PARA MIRAR

Para definir este tipo de luz, Kelly se basó en el hecho de que las zonas mayormente iluminadas, atraen involuntariamente la atención, por lo que las áreas con información esencial se pueden realzar con una iluminación adecuada, como se muestra en la Figura 11. (ERCO, 2013)



Figura 11. Luz para mirar
(ERCO, 2013)

Para la fuente de agua danzante, nos enfocaremos en iluminar los chorros de agua, con colores vivos como rojo, verde, amarillo, azul, violeta, y blanco, dependiendo de la intensidad que presente la frecuencia de la música, y que

se sincronizaran con el ritmo, y de esta manera se concentra la atención de los observadores en los movimientos que el agua realiza, por lo que usaremos el concepto de iluminación para mirar como la opción más adecuada.

2.3.5 ILUMINACIÓN LED

Un led o diodo emisor de luz Figura 12, es un dispositivo semiconductor que emite luz policromática, es decir, con diferentes longitudes de onda, las cuales pueden ir desde los ultravioletas hasta los infrarrojos, pasando por los colores del espectro visible. (Fau, Martín, Sanchez, & Antón, 2007)



Figura 12. Diodo Led
(Nitz, 2012)

Su lanzamiento como componente electrónico se dio en el año 1962, los primeros leds eran de color rojo de baja intensidad, los elementos que se juntaron para crear este led fueron: galio, arsénico y fosforo (GaAsP), la frecuencia alcanzada por este led fue de 650nm, con una intensidad relativamente baja.(Jaramillo, 2012)

Pero la evolución total de los leds se dio gracias a la investigación de Shuji Nakamura, quien logró constituir el led de color azul, el cual siempre significó un gran reto debido a su elevada energía de funcionamiento.

La aparición del led azul, permitió tener los tres colores primarios rojo, verde y azul, con los cuales ahora podemos formar toda la gama de colores del espectro visible y la luz blanca(Jaramillo, 2012)

La estructura del diodo led, a diferencia de los diodos comunes no contiene cristales de silicio (Si) como elementos semiconductores, sino una combinación de diferentes elementos con la capacidad de emitir fotones de luz de varios colores al contacto con la corriente. (Garcia J. , 2013)

El funcionamiento de un diodo led es sencillo, cuando se lo conecta en polarización directa, es decir cuando el ánodo y cátodo son polarizados de manera adecuada, el semiconductor de la parte superior permite el paso de corriente que circula por su ánodo y cátodo y al pasar por dicho semiconductor este emite luz.

2.3.6 LEDS RGB

Se los conoce como LED RGB debido a que tienen la capacidad de generar los tres colores primarios rojo, verde, azul (red, green, blue), o mezclarlos para emitir diversos colores. Figura 13. (Jácome & Montenegro, 2012)



Figura 13. LED RGB

Fuente: <http://www.instructables.com/id/RGB-LED-Moodlight-in-10-minutes/>

Se puede encontrar 2 tipos de LED RGB, unos con cuatro patas; tres cátodos y un ánodo y otro de dos patas un ánodo y un cátodo. El que

comúnmente es más usado es el de cuatro patas debido a que permite un mayor control. (Lasso, 2011)

2.3.6 VENTAJAS DE LA ILUMINACIÓN LED

Una de las principales razones por las cuales el uso de los leds ha tomado tanta fuerza en la actualidad, es sin duda alguna debido a la gran cantidad de ventajas que presenta frente a los métodos tradicionales de iluminación, tales como bombillas incandescentes, tubos fluorescentes, focos de bajo consumo, entre las cuales podemos destacar las siguientes características.

Los leds al ser elementos semiconductores de estado sólido, no emiten radiaciones infrarrojas por lo que no producen calor. De esta manera los leds no causan deterioro de mercancía, obras de arte, cuadros. (Lasso, 2011)

Reduce costos ya que son de bajo consumo, con un led de 5W se puede conseguir una iluminación similar a una bombilla convencional de 40W, lo que significa una reducción de al menos 85% del consumo energético. Fau et al. (2007)

No necesitan mantenimiento ya que no poseen filamentos u otras partes mecánicas que puedan romperse o fundirse, sino que su deterioro es progresivo durante su tiempo de vida útil. Fau et al. (2007)

Se estima que la vida útil de un foco led es de 50000 horas, que es el tiempo en el cual su luminosidad decae por debajo del 70%, lo que significaría un uso continuo de 24 horas diarias por un tiempo de 6 años. (Jácome & Montenegro, 2012)

No contienen mercurio y cumplen con la normativa de prohibición de existencia de plomo en los circuitos, por lo que es un elemento ecológico. No emite radiaciones UV o IR. Fau et al. (2007)

En la Tabla 4, podemos observar una comparación entre el consumo de iluminación LED y otros tipos de luminarias comúnmente utilizados como bombillas incandescentes y fluorescentes.

Tabla 4. Comparativo iluminación Led vs otras luminarias

Tipo de bombilla	Potencia bombilla	Horas de uso	Consumo año	Ahorro	Precio Kw	Gasto económico
Incandescente	100 W	8	292 kw	0%	0.093	\$ 27.15
Bombilla Led	11 W	8	32.12 kw	89%	0.093	\$ 2.99
Bajo Consumo	30 W	8	86.7 Kw	0%	0.093	\$ 8.06
Bombillo Led	9 W	8	17.5 Kw	80%	0.093	\$ 1.63
Tubo Fluorescente	30 W	8	87.6 Kw	0%	0.093	\$ 8.15
Tubo Led	9 W	8	17.5 Kw	80%	0.093	\$ 1.63

Al emplear diodos led para la iluminación de la fuente danzante, se consigue minimizar el consumo energético, brindan la posibilidad de generar una amplia gama de colores, poseen un gran nivel de luminosidad, y con la frecuencia musical variara la intensidad de la luz.

2.4 EL AGUA

Se define al agua como la sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, de ahí su fórmula química (H_2O) sus principales características son que es inodora, insípida e incolora. El agua es considerada como uno de los recursos naturales fundamentales para que la vida se pueda desarrollar en nuestro planeta. (Felez, 2009)

El agua con fines ornamentales ha sido usada desde hace aproximadamente 2000 años, su evolución es evidente con el paso del tiempo. Desde simples cascadas artificiales con la función sencilla de simular caída de agua, hasta las innovadoras fuentes danzantes con tecnología de punta, brindan espectáculos a quien las observa. (Jaramillo, 2012)

2.4.1 AGUA EN MOVIMIENTO

Para lograr la generación de movimiento del agua en una fuente danzante, es necesario emplear varios componentes, los cuales al cumplir su función permiten que el agua produzca efectos que resultan atractivos a la vista,

estos elementos son principalmente: bombas, electroválvulas, tuberías y toberas.

2.4.1 Bombas hidráulicas

Una bomba es una maquina hidráulica, Figura 14, la cual tiene la capacidad de generar movimiento del agua a través de energía mecánica. El uso de bombas de agua generalmente está dado por la necesidad de incrementar la presión de un elemento, introduciendo energía la cual es transferida a un líquido de una presión o altura inicial a una presión o altura deseada.(Jaramillo, 2012)



Figura 14. Bombas hidráulicas

Existen dos grandes tipos de bombas las cuales son turbomáquinas y de desplazamiento.

- Turbomáquinas: Son aquellas en que el rotor transfiere un momento cinético al líquido y en el interior de la bomba se transforma el exceso de energía cinética en energía de presión.

- De desplazamiento: utiliza la energía transmitida por un elemento móvil dentro de un receptáculo cerrado.

Además de estos dos grandes grupos, se pueden distinguir también otros tipos de bombas como las neumáticas, jet y de tornillo.(Lorenzo, Bellón, & Lopez, 2009)

2.4.1.2 Factores de funcionamiento.

El funcionamiento de las bombas hidráulicas, depende de las características que posee, es importante para realizar la selección de una bomba, conocer su presión, caudal y la altura máxima a la que puede elevar el agua.

Para esto empezaremos por definir cada uno de estos conceptos:

- Presión: Se denomina así a la relación entre la fuerza aplicada por unidad de superficie.

$$p = \frac{F}{S} \quad [1]$$

Donde:

p = presión
f = fuerza
s = superficie

- Caudal: Es la cantidad de fluido, que pasa por un conducto en la unidad de tiempo. Se lo designa con la letra Q. En hidráulica la unidad más utilizada es [l/min].

$$Q = \frac{V}{t} \quad [2]$$

Donde:

Q = caudal
V = volumen
T = tiempo

- **Altura máxima:** Es la altura máxima a la que la bomba hidráulica es capaz de elevar el agua.

2.4.2 VÁLVULAS SOLENOIDES

Las válvulas solenoides, son aquellas que manejan dos posiciones, abierto y cerrado (on-off), mediante variaciones de electricidad en su bobina, en la Figura 15, se puede observar varios válvulas solenoides.



Figura 15. Válvulas Solenoides

Su funcionamiento se realiza variando la corriente que circula a través de un solenoide, el cual es un conductor ubicado alrededor de una bobina, como producto de esta circulación de corriente, el solenoide genera un campo magnético que atrae un embolo móvil, el cual permite el paso del fluido, una vez la fuerza generada por el campo magnético termina, el embolo regresa a su posición original. Lorenzo et al. (2009)

2.4.3 TOBERAS

También conocidas como boquillas, las toberas son elementos que resultan fundamentales para la creación de formas en el agua, los cuales brindan a las fuentes de agua un efecto visual altamente atractivo.

2.4.3.1 Tipos de toberas

- **Tobera chorro de nieve.**

La estructura interna de este tipo de tobera, permite el ingreso de oxígeno, el cual al mezclarse con el agua crea un efecto espumoso a su salida, como se observa en la Figura 16.(BOMDESA, 2011)



Figura 16. Tobera chorro de nieve
(BOMDESA, 2011)

- **Tobera cáliz**

Este tipo de tobera, crea una lámina cristalina de agua en forma de cáliz, tal como se muestra en la Figura 17.(BOMDESA, 2011)



Figura 17. Tobera cáliz
(BOMDESA, 2011)

- **Tobera Flor de cala**

Esta tobera, crea una lámina cristalina de agua en forma de cáliz, con un chorro en el centro. Figura 18. (BOMDESA, 2011)

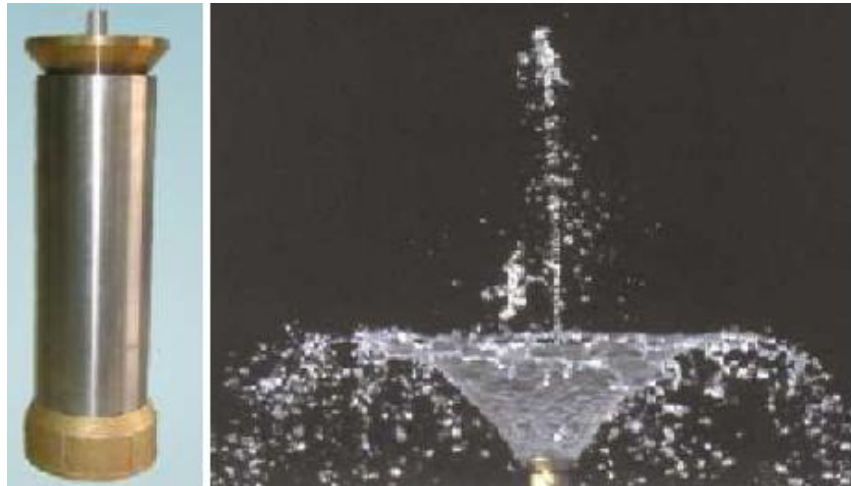


Figura 18. Tobera flor de cala
(BOMDESA, 2011)

- **Tobera chorro de lanza**

Esta tobera es la más sencilla, sin embargo permite crear chorros de hasta 14 metros de altura. Figura 19. (BOMDESA, 2011)

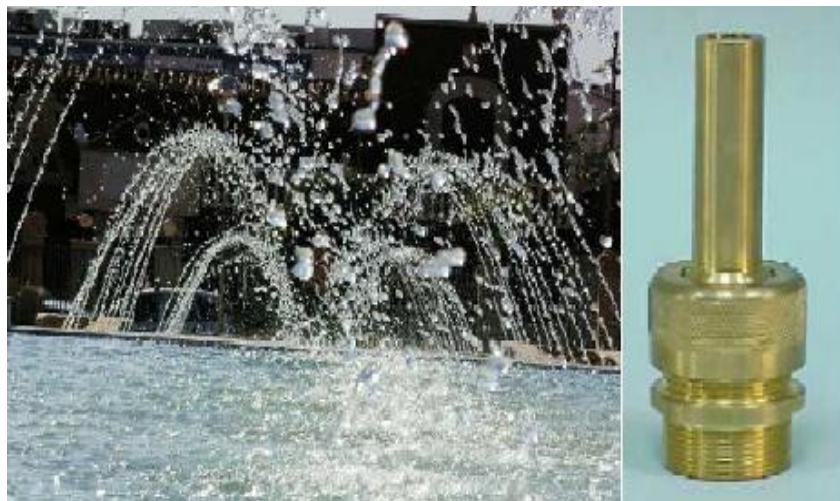


Figura 19. Tobera chorro de lanza
(BOMDESA, 2011)

Como estas existen varios tipos de toberas, las cuales pueden ser adaptadas de acuerdo a la necesidad del diseño.

3. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describe la metodología empleada para la realización del proyecto de la fuente de agua danzante rítmica inteligente.

3.1. METODOLOGÍA MECATRÓNICA

Para definir lo que es la metodología mecatrónica, es necesario empezar por conocer que es la mecatrónica. “El termino mecatrónica se usa para describir la integración de sistemas de control basado en microprocesadores, sistemas eléctricos y sistemas mecánicos. Un sistema mecatrónico no es simplemente la unión de sistemas eléctricos y mecánicos, y es más que un simple sistema de control: es una integración completa de todo lo anterior” (Bolton, 2006). En la Figura 20 se observa la metodología empleada para la elaboración del proyecto.

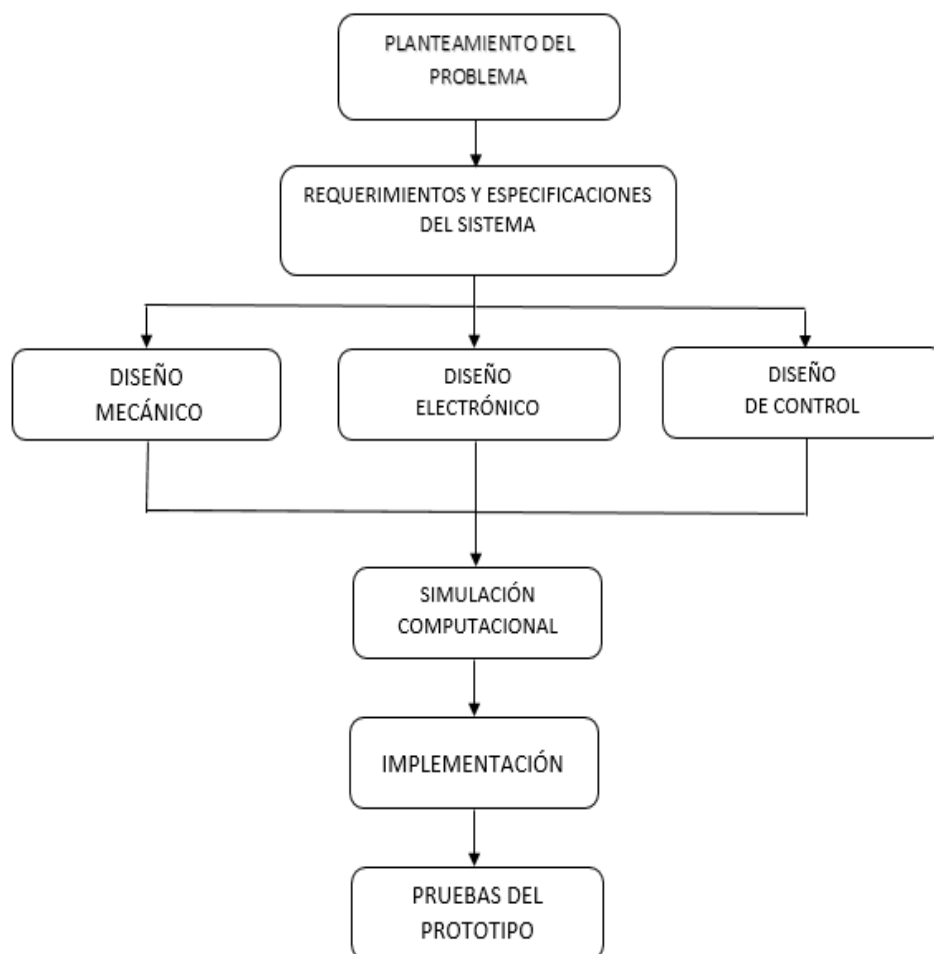


Figura 20. Metodología para la elaboración del proyecto

Como se puede observar en la figura 20, para la elaboración del prototipo, se tiene como punto de partida una necesidad o un problema, el que se buscara satisfacer por medio de la implementación de un sistema mecatrónico, para lo cual es necesario realizar análisis de requerimientos, diseñar sistemas mecánicos, electrónicos y de control, los cuales deben ser verificados por medio de una simulación computacional, para su implementación final en el prototipo.

3.1.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

En cuanto a las especificaciones del sistema, se determinó como una alternativa viable para satisfacer el problema anteriormente descrito, la construcción de una fuente de agua danzante con iluminación led, la cual es controlada por medio de la frecuencia de la música de ambientación.

Para lograr una apreciación adecuada de los movimientos sincronizados del agua, se busca obtener una altura mínima de 1,50 metros encada chorro de agua, el sistema cuenta con dos toberas o salidas para cada uno de los canales de frecuencia disponibles, de esta manera se tiene un total de 14 chorros de agua sincronizados al ritmo de la música, entre los cuales se distribuirá la altura a la que es capaz de elevar el agua la bomba hidráulica.

La música es filtrada en varios canales, los cuales cubrían un rango de frecuencia específico del espectro audible, mismos que permitieron la activación de los actuadores correspondientes, los canales filtrados son 63Hz, 160Hz, 400Hz, 1KHz, 2.5KHz, 6.25KHz y 16KHz.

Al ser el agua el elemento principal del sistema, se construyó el prototipo en material inoxidable y se proporcionó un correcto aislamiento de los elementos mecánicos y electrónicos, los cuales podrían sufrir daños al contacto con el agua, o incluso poner en riesgo la integridad del operador del sistema de fuente de agua danzante o los visitantes, que se encuentren observando el espectáculo.

3.1.2 DISEÑO MECÁNICO

En el diseño mecánico, se toma en cuenta las especificaciones técnicas que debían cumplir los elementos mecánicos empleados en la construcción de la fuente, siendo estos: tubos de sección cuadrada para la estructura metálica que soporta el sistema, plancha de acero inoxidable, la cual está en contacto directo con el agua, electroválvulas encargadas de permitir o restringir el paso del agua, conectores de pvc y mangueras para transportar el agua, todos y cada uno de estos elementos, fue seleccionado buscando cumplir con las necesidades de diseño especificadas para el sistema.

Los elementos diseñados para el sistema mecánico son:

- Mesa para soporte del sistema, se la construye con tubos de sección cuadrada de acero
- Contenedor de agua, construido en acero inoxidable.
- Dimensionamiento de las tuberías.
- Dimensionamiento de la bomba hidráulica.
- Dimensionamiento de las válvulas solenoides.
- Dimensionamiento y selección de accesorios para tubería.

3.1.3 DISEÑO ELECTRICO Y ELECTRÓNICO

En el diseño electrónico del sistema, se buscó la mejor alternativa para filtrar la música en los diversos canales de frecuencia, siendo esta la implementación de un pic msgeq7, el cual se encarga de controlar el funcionamiento del sistema. De igual manera en esta etapa se parte de las especificaciones técnicas de cada uno de los actuadores; electroválvulas e iluminación led, para la elaboración de un circuito electrónico que garantice su correcto funcionamiento.

3.1.4 DISEÑO DE CONTROL

En el diseño de control, se usa la plataforma de control Arduino, como medio de enlace entre los elementos mecánicos y electrónicos para que estos trabajen de manera conjunta en el sistema. Cabe mencionar que Arduino basa su programación en lenguaje C, por lo cual fue necesario el desarrollo de un conjunto de comandos, que permitieran activar las válvulas solenoides y la cinta rgb de acuerdo a la frecuencia musical, en la figura 21 se observa el diagrama general del diseño de control.

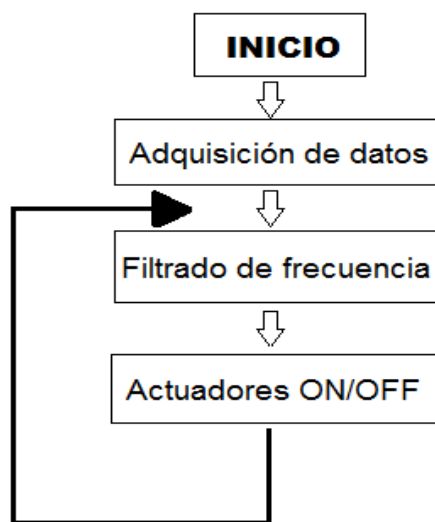


Figura 21. Diagrama general del diseño de control.

La adquisición de datos se refiere a la obtención de la señal musical desde los medios de reproducción, ya sea usb, auxiliar o micrófono, esta señal es filtrada, y dirigida a cada una de las salidas de arduino para la activación de actuadores.

3.1.5 SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

Una vez diseñado cada uno de los sistemas, se procede a la simulación de cada uno de ellos en su software correspondiente, siendo así que para el diseño mecánico los programas Md-Solid y SolidWorks, permiten construir cada elemento del sistema y someterlo a cargas aproximadas a la realidad

con el objetivo de garantizar su funcionamiento. Mientras que para el diseño electrónico el programa seleccionado fue Proteus, mismo con el cual se diseña el circuito electrónico del sistema, comprobando el funcionamiento de los actuadores sincronizados con la frecuencia musical, permitiendo tener una apreciación cercana de cómo trabajan cada uno de los sistemas del prototipo.

3.1.6 IMPLEMENTACIÓN

Una vez corregidos los problemas que se pudieron presentar en la etapa de simulación, se puede proceder con la construcción de la fuente. La integración de todos los elementos que actúan en el sistema debe ser acertada para obtener los resultados adecuados.

En esta etapa se debe cuidar hasta el más mínimo detalle, ya que una pequeña falla podría ocasionar un mal funcionamiento del sistema e incluso daños a los elementos que en él se usan, por tal razón fue necesario al finalizar su construcción, revisar una vez más que todo se encuentre correctamente implementado.

3.1.7 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Finalmente una vez que el sistema se encuentra en marcha, es necesario realizar las pruebas correspondientes para verificar la adquisición de datos, coordinación rítmica de las luces con una intensidad de luminosidad adecuada, la altura alcanzada por los chorros de agua, la presión, y el caudal proporcionado para cumplir el objetivo y sometiendo el sistema a todas las posibles situaciones que se podrían presentar en su funcionamiento, en caso de que el agua no alcance la altura deseada será necesario comprobar el caudal de la bomba o el diámetro de sección de la válvula solenoide.

Cada uno de los sistemas mecánicos, electrónicos y de control debe funcionar de manera adecuada, de esta manera el proceso de diseño mecatrónico está completo.

4. DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se detalla el diseño de cada uno de los componentes empleados para la elaboración del proyecto, así como también los cálculos correspondientes, los cuales respaldan la selección de los componentes. El diseño del sistema está directamente relacionado con el análisis de los requerimientos del proyecto.

4.1 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

Para la creación de la fuente de agua danzante, se empezó por diseñar el contenedor, el cual además de sujetar a las toberas de salida de agua, cumple la función de recolectar el fluido para su recirculación, la estructura de soporte del sistema y las dimensiones de la bomba hidráulica, válvulas, tuberías y toberas.

4.1.1 CONTENEDOR Y ESTRUCTURA

Para el dimensionamiento de la fuente de agua danzante se deben tomar en cuenta varios aspectos, entre los cuales se encuentran la disponibilidad de espacio en el cual se realizara la instalación de la misma, asegurar un área adecuada para distribuir las toberas de salida de los siete canales a ser implementados y garantizando que no se generen pérdidas del fluido, además de esto es necesario considerar las dimensiones de los materiales disponibles en el mercado local.

De esta manera se determinó que las dimensiones apropiadas para la fuente de agua fueron de 1.50 metros de largo por 1.00 metros de ancho, mientras que la altura total de la estructura fue de 1.00 metros, como se observa en la figura 22. El contenedor de la fuente de agua danzante ubicada en la parte superior de la estructura, fue el encargado de acumular el agua expulsada por las toberas, por tal razón sus dimensiones debían ser las adecuadas para evitar el derramamiento del agua, de esta manera se determinó las dimensiones del contenedor en 1.00 metros de largo por 0.80 metros de ancho, además de tener cejas de 0.10 metros para formar el contenedor de agua, como se observa en la figura 23.

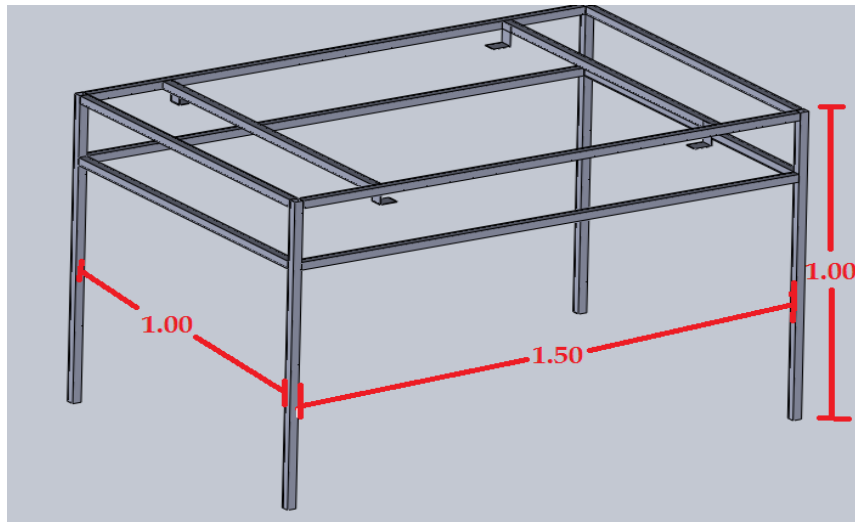


Figura 22. Diseño 3D de la Estructura de la fuente danzante de agua

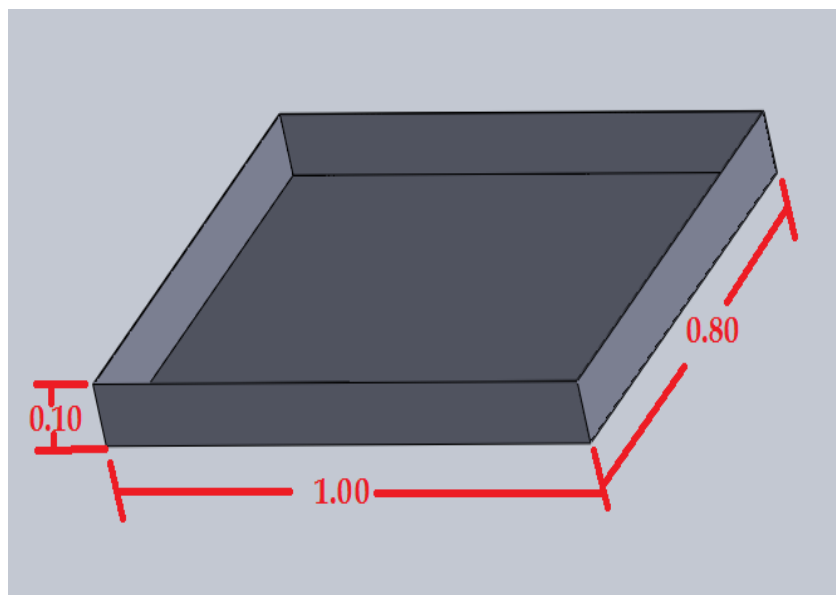


Figura 23. Diseño 3D del Contenedor

4.1.1.1 Selección del material

El contenedor es una de las piezas fundamentales de la fuente, por tal razón fue necesario tomar varias consideraciones de acuerdo a las necesidades que el material usado debía cumplir. Para seleccionar el material adecuado se buscó que este cumpla con características como la tenacidad, maquinabilidad, y resistencia a la corrosión.

Los aceros inoxidable son aleaciones de hierro (Fe) y cromo (Cr) siendo el cromo el elemento más importante, el cual brinda al acero una elevada resistencia a la corrosión, para resultados óptimos se lo debe encontrar en un porcentaje mínimo del 10.5% de la composición total.

De acuerdo a las dimensiones para la tolva de la fuente de agua danzante, se procedió a realizar el cálculo del peso máximo de acuerdo al volumen de agua que se puede acumular en ella y que deberá ser soportado por la plancha de acero inoxidable, para determinar un espesor adecuado de la misma. De esta manera utilizando la ecuación 1, se obtuvo el peso máximo que ejercerá el agua sobre la plancha:

$$V = l \times a \times h \quad [3]$$

$$V = 100 \times 80 \times 10$$

$$V = 80000 \text{ cm}^3$$

Conociendo que cada centímetro cúbico es equivalente a un gramo de agua, concluimos que el peso máximo cuando el recipiente se encuentre completamente lleno, será de 80 Kilogramos (Kg), una vez obtenido este dato estamos en capacidad de seleccionar el material más adecuado, para esto es necesario analizar las especificaciones brindadas por el fabricante.

En la tabla 5.a. podemos observar la composición química de los aceros, mientras que en la tabla 5.b. encontramos la equivalencia y propiedades de las planchas de aceros inoxidable con las que cuenta Ivan Bohman C.A., para su comercialización a nivel nacional.

Tabla 5.a. Composición química

AISI	%C	%Si	%Mn	%P Max	%S	%Cr	%Ni	%Mo
304	≤ 0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.015	18 - 20	8 – 10	-
316 L	≤ 0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.015	16 - 18	10-14	2 – 3
430	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.015	16 - 18	-	-

(Ivan Bohman C.A., 2011)

Tabla 5.b. Propiedades

AISI	Resistencia a la tracción (kg/mm²)	Resistencia a la cedencia (kg/mm²)	Elongación %	Dureza HB
304	54 – 75	23	40 – 50	190
316 L	53 – 68	24	40 -50	200
430	45 -60	26	20	180

(Ivan Bohman C.A., 2011)

Como se puede observar en la tabla 5.a., cada una de las planchas de acero inoxidable disponibles cumplen con los requerimientos hasta el momento, ya que poseen porcentajes de cromo mayores a los 10,5 requeridos para garantizar que la plancha no se oxide, así como también poseen niveles altos de resistencia a la cedencia, con estos datos confirmados se optó por usar la plancha de acero inoxidable AISI 304.

Por motivo de disponibilidad, se adquirió la plancha de acero inoxidable de 2mm de espesor, la cual especifica dimensiones de 1220mm x 2440mm, con un peso aproximado de 48 Kg, la cual tiene un acabado N° 4 , lo que significa que tiene una cara esmerilada, lo que la hace brillante y viene protegida por un film de pvc.

Tabla 6. Planchas de Acero Inoxidable

(Espesor) Mm	Ancho x Longitud Mm	Peso Aproximado (kg)	304	316 L	430	Acabado
1.0	1220 x 2440	24.0	*			2B o N°4
1.2	1220 x 2440	28.0	*		*	2B o N°4
1.5	1220 x 2440	35.0	*			2B o N°4
2.0	1220 x 2440	48.0	*	*		2B o N°4
2.5	1220 x 2440	60.0	*	*		2B
3.0	1220 x 2440	71.0	*	*		2B
4.0	1220 x 2440	97.0	*	*		N°1
5.0	1220 x 2440	118.0	*	*		N°1

*

(Ivan Bohman C.A., 2011)

En la tabla 6, se encuentra los espesores de cada una de las planchas, así como también especificaciones de sus dimensiones, peso aproximado y el

tipo de acabado superficial que le da las características propias, en las planchas de acero inoxidable fabricadas y comercializadas por la empresa Ivan Bohman C.A. en Ecuador.

Una vez adquirida la plancha de acero inoxidable, fue necesario realizar el corte a las dimensiones especificadas para el prototipo, así como también los dobleces requeridos para poder formar el contenedor de agua. Además de esto se efectuó un proceso de taladrado, el cual consiste en realizar perforaciones por medio de arranque de viruta del material. Se realizaron 14 perforaciones con una dimensión de 1 pulgada, ya que esta es la medida de los puntos de conexión de las toberas utilizadas en el prototipo, y una perforación de 1.5 pulgadas, correspondiente al desagua. En la figura 24 se representa la plancha de acero inoxidable una vez finalizado el proceso de taladrado.

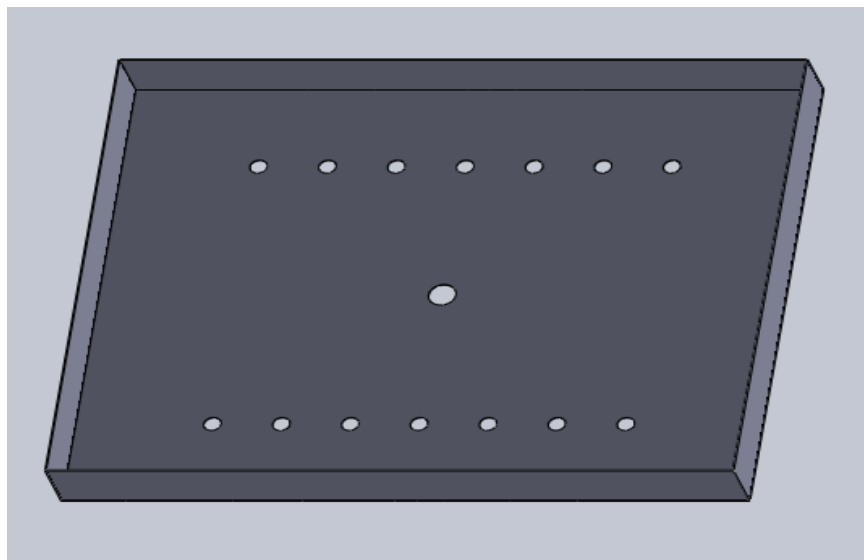


Figura 24. Contenedor luego del proceso de perforado

Para el diseño de la estructura metálica del sistema, fue necesario calcular el peso máximo total que debía soportar la base una vez que el sistema esté en funcionamiento y planteando la posibilidad de que en un determinado momento, el agua llene por completo la tolva. De esta manera usando la ecuación 2 se obtuvieron los siguientes resultados.

$$P_{max} = P_{contenedor} + P_{agua} + P_{valvulas} + P_{mangueras} + P_{toberas} \quad [4]$$

Datos:

Peso del contenedor=52.8 lb

Peso del agua máx. = 176 lb

Peso de las válvulas (7) = 7 lb

Peso de las mangueras = 3 lb

Peso de las toberas = 5 lb

Por lo tanto:

$$P_{\text{máximo}} = 52.8 + 176 + 7 + 3 + 5$$

$$P_{\text{máximo}} = 243,8 \text{ lb.}$$

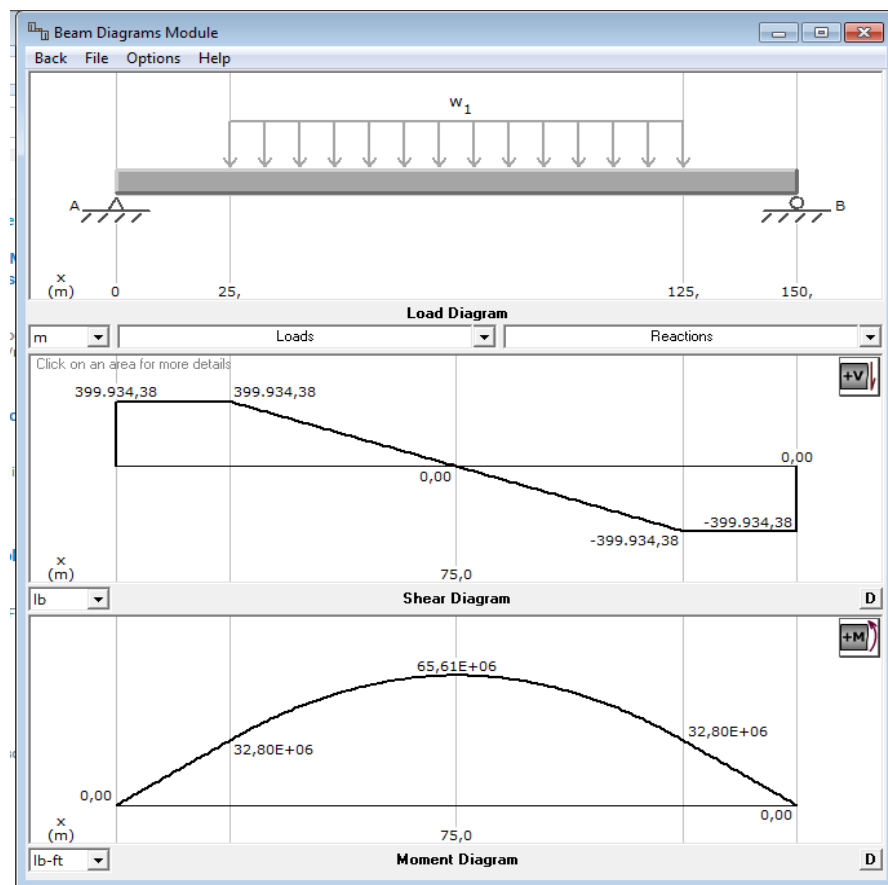


Figura 25. Análisis de esfuerzos para la estructura

Una vez obtenido el peso máximo que es soportado por la estructura, se procede a realizar el cálculo del esfuerzo en el software MDSolid, como se muestra en la figura 25, donde se obtienen los diagramas de carga, diagrama de esfuerzo máximo y el diagrama del momento con los datos recopilados en el desarrollo de la fuente de agua danzante, mostrando que los esfuerzos obtenidos, no afectan al sistema estructural, es decir las vigas no pandean ni pueden llegar a un punto de quiebre.

4.1.2 FUNDAMENTOS DE OPERACIÓN

La fuente de agua danzante posee 7 canales de frecuencia, cada uno de ellos cuenta con 2 boquillas para la salida de agua, de manera que el sistema está conformado por un total de 14 boquillas, de las que se desea obtener una altura de chorros de 1,5 metros cada uno.

El comportamiento de los chorros de agua, dependen de varias características tales como el diámetro de la boquilla de salida, la presión, el caudal, el ángulo de salida y la velocidad del fluido. Para la construcción del prototipo de fuente danzante del proyecto, se escogieron como salida pitones de manguera común, misma que cuenta con un diámetro de salida de 4mm, las cuales permitirán que el fluido que por el pasara, sin importar su nivel de viscosidad gane presión, como efecto a la reducción de la sección.

El estudio del comportamiento de los chorros de agua se lo realizó con la ayuda de la hoja de cálculo desarrollada por el Dr. Juan Eusebio Gonzales Fariñas, en su obra “Hidráulica de Fuentes Ornamentales e Instalaciones Acuáticas”, misma que permite calcular aspectos como la altura del chorro, el caudal de fluido y su velocidad. En la figura 26 se observa el sistema de referencia empleado en las ecuaciones de la trayectoria parabólica de un chorro, para la sección de cálculo.

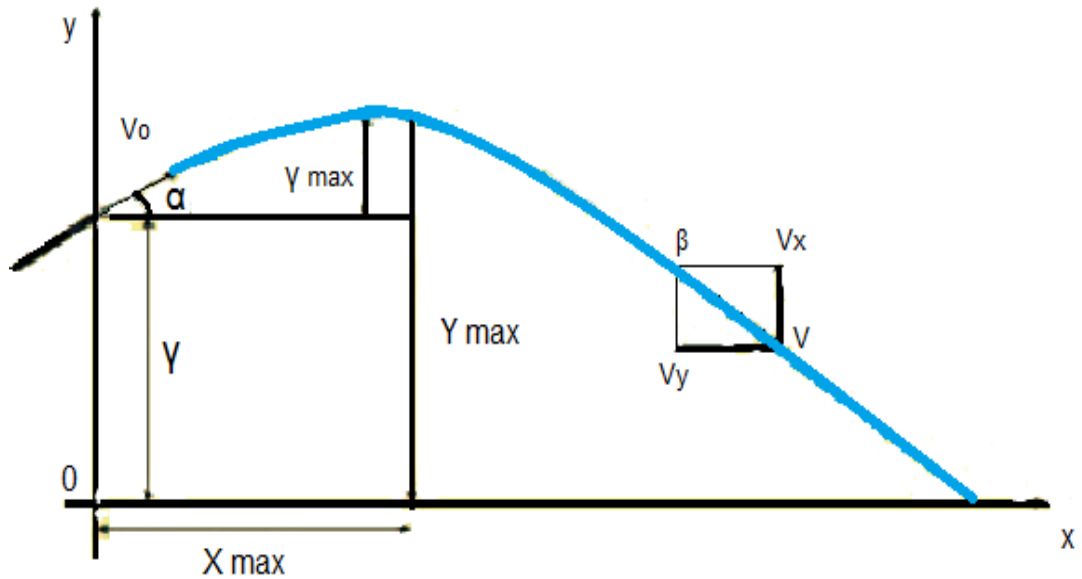


Figura 26. Sistema de ejes de referencia
(Gonzales Fariñas, 2011)

En las figuras 27 y 28 se observan los resultados a los cálculos con los datos proporcionados al sistema de la fuente de agua.

Para realizar los cálculos, se requieren ingresar los siguientes datos:

- $X_{\text{máx}} = 0.10$ m, ya que con esta medida aseguramos que el fluido pueda ser recolectado por el contenedor del sistema.
- Angulo $\alpha = 80,00$, mismo que es determinado por la salida de las toberas.
- $d = 4$ mm, diámetro en la salida de la tobera.
- Numero de boquillas: 14 salidas en el sistema

HIDRÁULICA DE FUENTES ORNAMENTALES

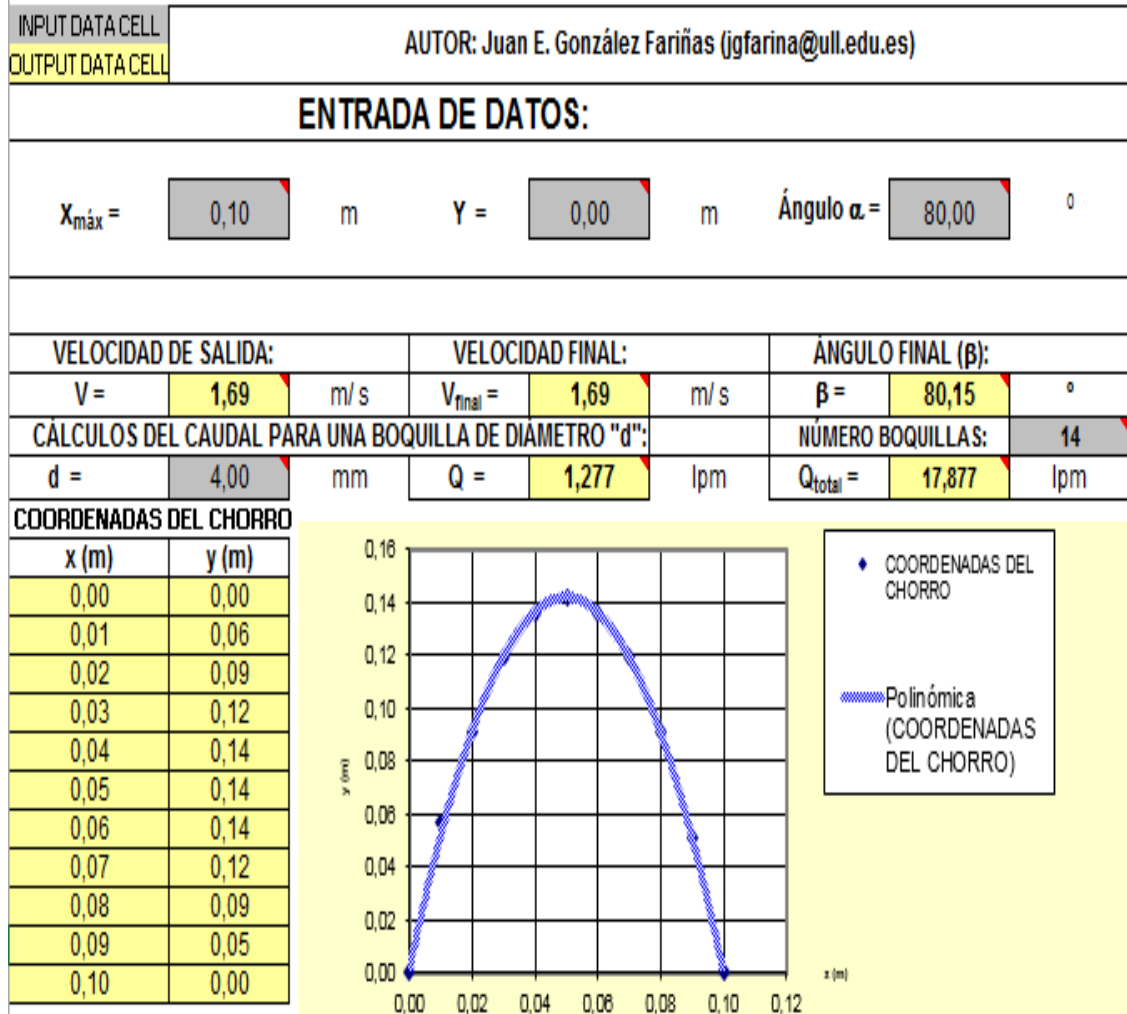


Figura 27. Alcance máximo del chorro en el eje x
(Gonzales Fariñas, 2011)

Es así que la hoja de cálculo Desarrollada por Juan Gonzales Fariñas, determina la velocidad y el caudal con la que el fluido en este caso agua a una temperatura ambiente de 15°C, es impulsada a través de las toberas con un diámetro en su salida de 4 mm, y de esta forma se puede prever la forma en la que trabajara el sistema, y además nos permite observar una ilustración que nos da una referencia cercana de cómo se formara el chorro de agua, con lo que el dimensionamiento de la fuente se puede realizar con exactitud, evitando el desperdicio del líquido lo cual es fundamental en el diseño de fuentes ornamentales.

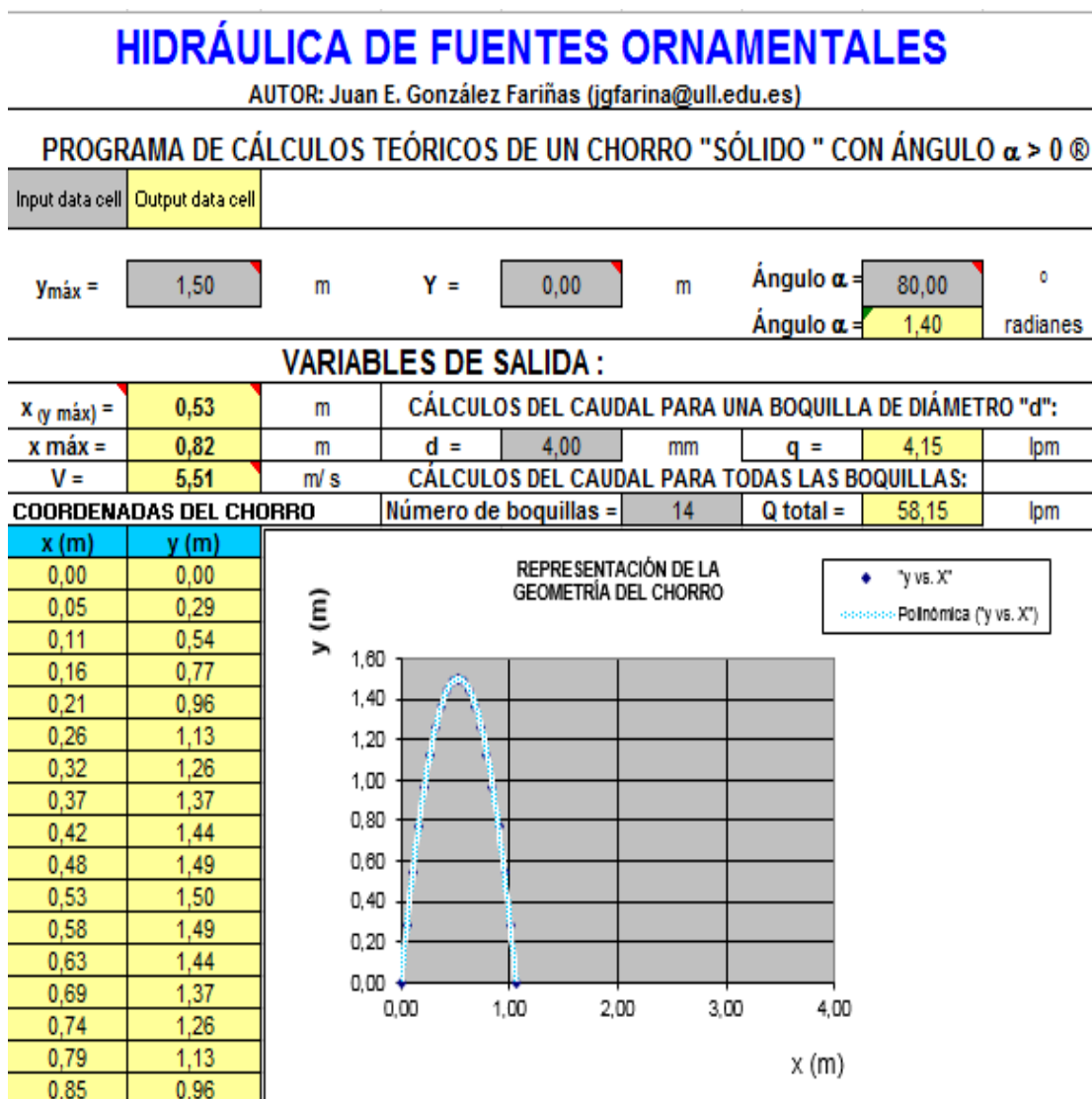


Figura 28. Altura máxima del chorro
(Gonzales Fariñas, 2011)

Para realizar los cálculos, se requieren ingresar los siguientes datos:

- $Y_{\text{máx}} = 1,50$ m, ya que es la altura que se desea alcance el fluido.
- Ángulo $\alpha = 80,00$, mismo que es determinado por la salida de las toberas.
- $d = 4$ mm, diámetro en la salida de la tobera.
- Número de boquillas: 14 salidas en el sistema

Es así que la hoja de cálculo determina la velocidad y el caudal con la que trabajara el sistema, y además nos permite observar una ilustración que nos da una referencia cercana de cómo se formara el chorro de agua en el relación al eje Y.

4.1.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico de la fuente de agua danzante, está compuesto por la bomba de agua, válvulas solenoides y las mangueras de conexión, los cuales forman parte de los actuadores del sistema, mismos que en conjunto permiten que el agua sea movilizada, de acuerdo a las ordenes emitidas por el sistema de control.

4.1.3.1 Bomba de agua

Para el sistema de la fuente de agua danzante se empleó una bomba sumergible hidráulica, con las especificaciones de la tabla 7.

Tabla 7. Bomba hidráulica, especificaciones

Marca:	EVANS
Voltaje de operación:	110 V
Frecuencia:	60HZ
Potencia	750 W
Caudal máximo:	1.5 m ³ /h
Altura máxima:	9m

Con estos datos proporcionados por el fabricante, se pudieron realizar los siguientes cálculos que nos permitieron conocer cuál es el comportamiento del resto de elementos del sistema hidráulico.

- **Calculo de perdida de carga**

Se conoce como pérdida de cargas a la pérdida de altura del líquido como resultado del rozamiento con la tubería. Se obtiene un nivel mayor de perdidas debido al nivel de rugosidad, la longitud y el caudal que pasa por la

tubería, además de estos factores, inciden elementos considerados como obstáculos entre los cuales tenemos reducciones, codos, válvulas,

Para un correcto funcionamiento de la bomba hidráulica se recomienda no sobrepasar niveles mayores al 4% de pérdidas de carga.

Para el cálculo de la pérdida de carga debido a la fricción dentro de una tubería se empleó la ecuación de Darcy Weisbach.

$$hf = f \frac{L.V^2}{D.2g} \quad [5]$$

Donde:

hf = Pérdida de carga debida a la fricción

f = Factor de fricción de Darcy

L = Longitud de la tubería

V = Velocidad media del fluido

D = Diámetro de la tubería

Como se puede observar en la ecuación, para poder obtener el valor de la pérdida de carga, es necesario determinar tanto la velocidad media del fluido como también el factor de fricción de Darcy, donde además será necesario el cálculo del número de Reynolds, para lo que se emplearon las siguientes ecuaciones:

- **Velocidad:**

$$V = \frac{4.Q}{3600.\pi.D^2} \quad [6]$$

Donde:

Q = Caudal

D = Diámetro de la tubería

- **Fricción de Darcy:**

$$f = 1,325 \cdot \ln \frac{\frac{e}{D}}{3,7} + \frac{5,47}{Re^{0,9}} \quad [7]$$

Donde:

e = Espesor de la tubería

D = Diámetro de la tubería

Re = Número de Reynols

- **Número de Reynols:**

$$Re = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D}{\mu} \quad [8]$$

Donde:

p = densidad del fluido

Vs = Velocidad media del fluido

D = Diámetro de la tubería

u = Viscosidad del fluido

Para el cálculo de la pérdida de carga que puede ser impulsada por la bomba hidráulica en el sistema de la fuente de agua danzante, provocado por las tuberías y accesorios del sistema, se empleó el software Lflow, mismo que emplea las formulas anteriormente descritas, en la figura 29, se observa los resultados para cada una de las secciones que pueden ser analizadas por el software:

The screenshot shows the Lflow software interface with the following data:

Datos Iniciales		Pérdida de carga en tramos rectos	
Caudal	1,5 m ³ /h	Pérdida de carga por metro:	0,2584 m
Densidad	999,1 kg/m ³		0,025 MPa / m
Viscosidad Dinámica	0,001139 Pa·s	Longitud Tubería	5 m
Diámetro Interior	12 mm	Pérdida de carga total en tramos rectos:	1,2920 m
Velocidad	3,684 m/s	Pérdida de carga (l)	0,012 MPa
Número de Reynolds	38778,06		
	Flujo Turbulento		

Figura 29. Pérdida de carga sección recta, software Lflow

Los datos a ser ingresados son:

- Caudal: 1,5 m³/h, dato otorgado por el fabricante de la bomba hidráulica.
- Densidad: 999.1 kg/m³, la cual viene determinada por la temperatura del agua a temperatura ambiente.
- Diámetro interior: 12 mm, seleccionado por el diseñador.

Con los datos proporcionados, y las formulas anteriormente descritas, podemos determinar la velocidad con la que avanza el fluido y el número de Reynolds, mismo que permitirá determinar el factor de fricción.

Para la determinación del factor de fricción, además del número de Reynolds es necesario obtener el nivel de rugosidad de la tubería, misma que podemos obtenerla seleccionando el material de la tubería en el programa.

Para el sistema, el material seleccionado es una manguera de polietileno, la cual registra una rugosidad de 0.001 mm, de esta manera empleando la formula previamente descrita, se puede determinar el factor de fricción.

Finalmente, para la obtención de la pérdida de carga es necesario ingresar la longitud total de tubería utilizada en el sistema. De esta manera determinamos que la pérdida de cargas en la tubería será de 1.29 m.

El software Lflow en su segunda sección, determina la pérdida de carga en accesorios, como se observa en la figura 30.

The screenshot shows the 'L Flow' software window with the 'ACCESORIOS' tab selected. At the top, there are buttons for 'Añadir Accesorio' and 'Eliminar Accesorio'. Below these is a table with the following data:

Descripción (Opcional)	Cantidad	Factor K	Kv	Pérdida Carga (m)
Válvula de compuerta brida	7	0,513		0,034
Codo 90° brida	7	0,406		0,027
				0

Below the table, there is a summary section titled 'Pérdida de carga en válvulas y accesorios' with input fields for '0,062 m' and '0,001 MPa'.

Figura 30. Pérdida de carga en accesorios, software Lflow

La pérdida de carga en el sistema también está determinada por los accesorios que en él se acoplen. En el software Lflow es necesario seleccionar los accesorios y determinar su cantidad.

De esta manera en la figura 30, se determina que la pérdida de carga total en accesorios es de 0.062 m.

Para la tercera sección, el software Lflow determina pérdida de carga por desnivel y la pérdida de carga total, como se observa en la figura 31.

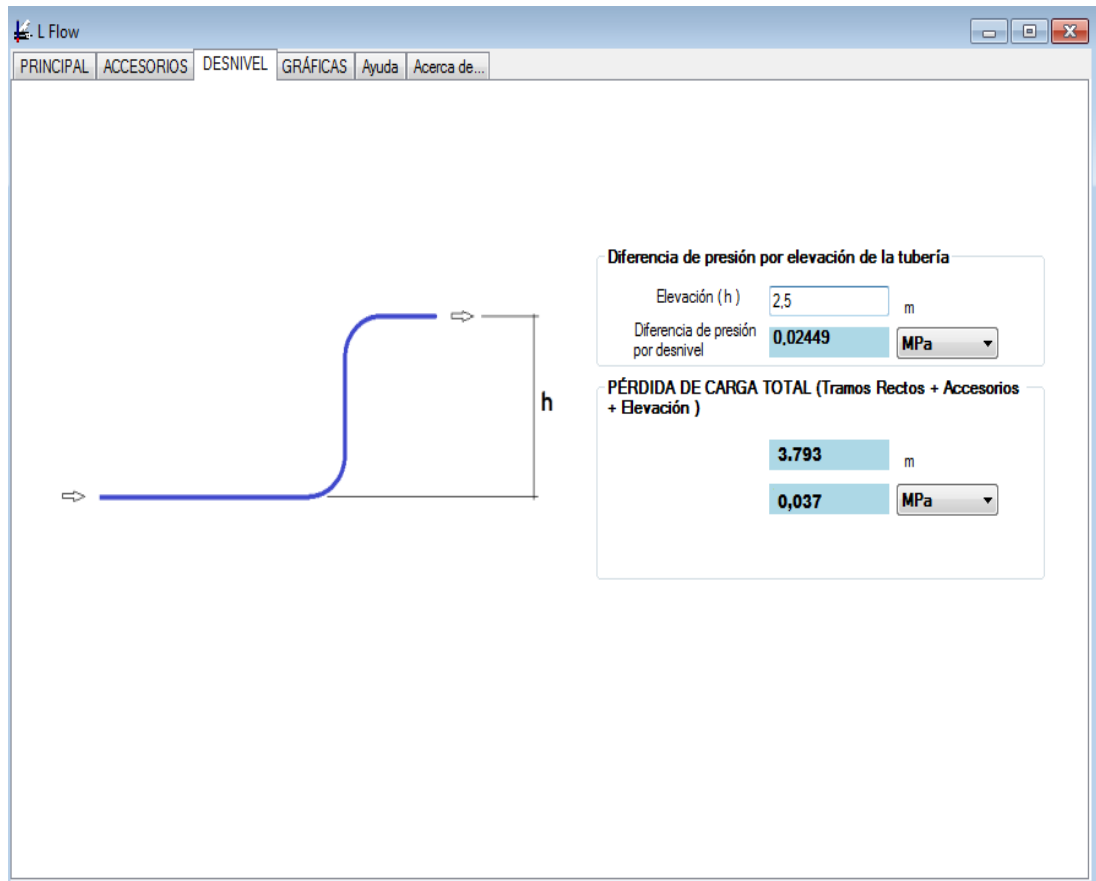


Figura 31. Pérdida de carga por desnivel, software Lflow

Finalmente el software Lflow, permite determinar la pérdida de carga provocada por la diferencia de altura a la que el fluido debe ser transportado.

En el sistema la diferencia de altura es de 2.5 m. Aplicando la fórmula para la pérdida de carga total, obtendremos el valor de la sumatoria de las pérdidas en tramos cortos, accesorios y elevación.

En la figura 31 se puede observar el resultado de la pérdida de carga total, la cual es de 3,79 m.

Con la ayuda del software Lflow, se consiguió determinar las pérdidas de altura provocadas por accesorios, fricción con el material de las tuberías, así como también por la diferencia de presión por elevación.

En la figura 32, el software Lflow permite visualizar una gráfica que representa la pérdida de carga total vs diámetro interior del sistema.

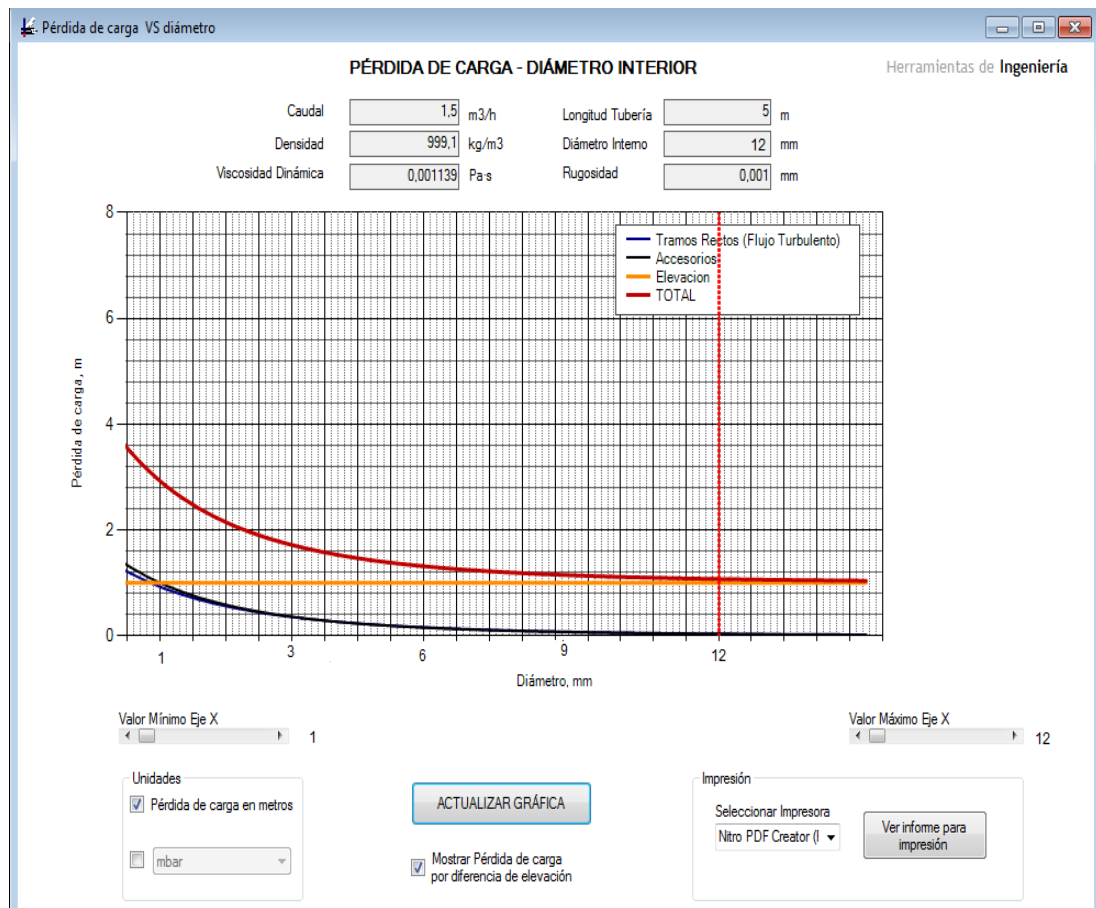


Figura 32. Pérdida de carga vs diámetro interior, software Lflow

Conociendo que la bomba hidráulica seleccionada, tiene la capacidad de elevar el agua hasta una altura máxima de 6m, y al tener pérdidas totales en el sistema de 3.79 metros, se pudo concluir que la bomba cumple con la capacidad requerida para el funcionamiento de la fuente de agua.

En la figura 33 se observa el diseño 3D de la bomba hidráulica sumergible.

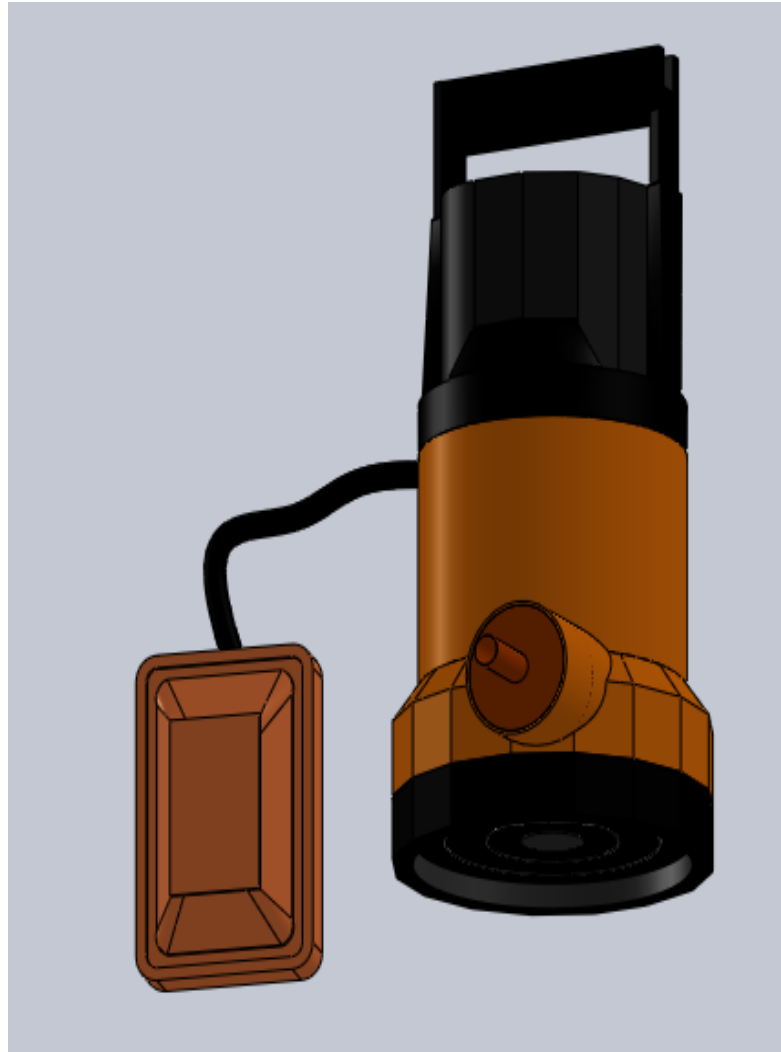


Figura 33. Diseño 3D de la bomba hidráulica sumergible

4.1.3.2 Válvulas Solenoides.

Las válvulas solenoides en el sistema, se activan al recibir la señal de la frecuencia musical, permitiendo que el agua pase.

Para la selección de la válvula se tuvo en cuenta parámetros como el tipo de fluido y su temperatura, el caudal de agua, la dimensión de su salida y el voltaje de operación. Fue necesaria la realización de pruebas con diferentes válvulas, con las cuales se buscaba obtener la altura y caudal deseados en el sistema. Conociendo que el fluido con el que se trabaja es agua, misma que estará a temperatura ambiente, y al trabajar con corriente eléctrica y

agua existen riesgos, es importante que el voltaje de operación de los elementos que estarán en contacto directo con el agua sea bajo. De esta forma se seleccionó la válvula con las siguientes especificaciones presentadas a continuación en la tabla 8:

Tabla 8. Especificaciones de la válvula solenoide

Marca:	SmartSolu
Voltaje de operación:	12 V
Temperatura	10 – 25 °C
Tipo de Fluido	Agua
Diámetro de salida	½ pulgada

Al tener un diámetro de salida de media pulgada, la válvula solenoide seleccionada permite el paso de la cantidad de agua suficiente y con una presión adecuada para alcanzar la altura de 1,50 metros deseada para el sistema.

En la figura 34 se observa el diseño 3D de la válvula solenoide.



Figura 34. Diseño 3D válvula solenoide

4.1.3.3 Mangueras

Para el transporte del agua se seleccionó manguera de polietileno de 12mm, debido a que soporta presiones altas, y posee bajos niveles de rugosidad, que pueden provocar pérdidas en el sistema. En la figura 35 se representa la manguera de polietileno.



Figura 35. Manguera de polietileno
(Ecuatoriana de mangueras , 2013)

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

Para el diseño del sistema electrónico de la fuente de agua danzante, es necesario elaborar un circuito electrónico, cuyas funciones son adquisición de datos, filtrado de la música en los canales de frecuencia, procesamiento y control de actuadores.

En la figura 36 se observa el diseño del circuito electrónico en el software Proteus, el cual permitió realizar una simulación previa a la construcción del circuito físico.

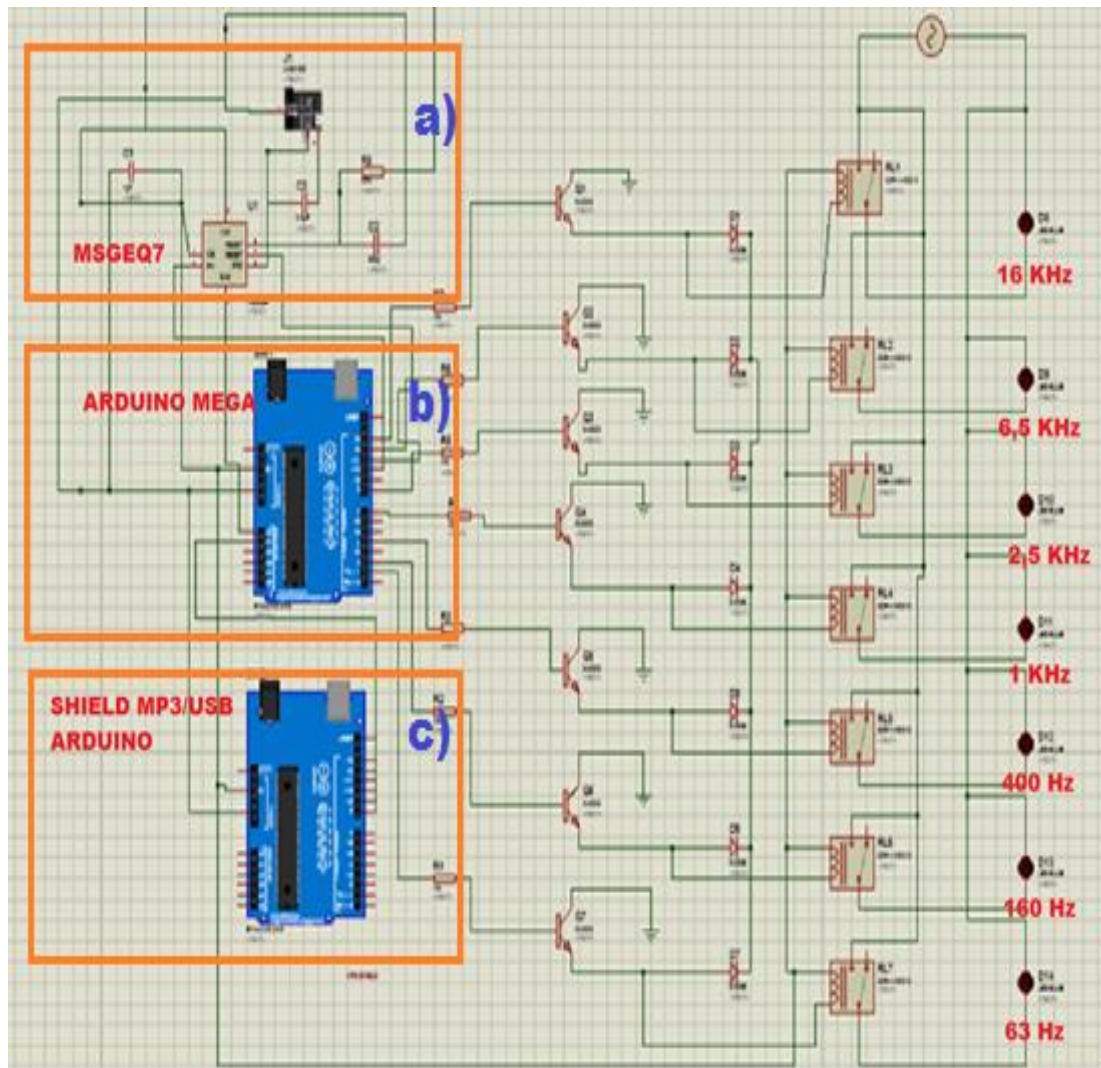


Figura 36. Diseño del circuito electrónico, software Proteus.

En el circuito electrónico, se pueden diferenciar tres secciones, la sección a, constituida por el msgeq7, se encarga de filtrar la música en 7 canales de frecuencia.

El espectro audible está constituido por audiofrecuencias comprendidas entre los 20Hz a 20KHz, con la finalidad de manejar con mayor facilidad, se lo divide en bandas, las cuales poseen secciones denominadas como octavas. (Acustica Facil, 2013)

Se denomina como octava al intervalo de ocho grados entre dos notas de la escala musical, es decir entre las notas Do - Re - Mi - Fa - Sol - La - Si – Do.

El número de octavas entre dos frecuencias se puede calcular empleando un logaritmo en base 2, de la división del rango superior por el inferior.

Empleando la división en 2/3 de octavas se obtienen las siguientes bandas de frecuencias: 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 635, 1000, 1600, 2500, 4000, 6250, 10000 y 16000Hz.(Tribaldos, 2007).

Para las frecuencias menores a los 63Hz y superiores a los 20000Hz, son pocos las personas que han logrado desarrollar sus oídos, siendo los trece canales restantes los que pueden ser percibidos con mayor facilidad.(Tribaldos, 2007).

En el analizador de espectro msgeq7, se filtra la música en 7 canales de frecuencia los cuales son: 63, 160, 400, 1000, 2500, 6250, y 16000Hz, con los cuales se puede cubrir las octavas principales de la frecuencia musical.

Una vez que la señal es filtrada, en la segunda sección el controlador arduino recepta y procesa la información, para ordenar la activación de los relevadores. Finalmente permite el flujo del voltaje necesario para activar tanto las válvulas solenoides como también el sistema de iluminación.

En la sección c, el controlador shield mp3 permite la reproducción de la música desde un dispositivo de almacenamiento USB, teniendo la posibilidad de controlar su reproducción a través de los botones en ella disponibles.

Los elementos utilizados para la realización del circuito electrónico son:

- Arduino Mega: En conjunto con el Shield mp3, permiten la adquisición de datos desde una tarjeta USB.
- Shield Arduino Mp3: Permite la lectura y reproducción de elementos mp3 desde una tarjeta USB.
- Msgeq7: Analizador de frecuencia, permite filtrar la música en siete canales de frecuencia, 63Hz, 160Hz, 400Hz, 1Khz, 2,5KHz, 6,5KHz y 16KHz.

- Transistor 2n2222: Permite amplificar la señal proveniente de la salida del arduino, para obtener un nivel adecuado para la activación de los elementos.
- Resistores 10Kohm, 220Kohm, 200ohm, ajustan el voltaje para protección de los elementos del circuito.
- Capacitor 33pf, 100pf, 1uf: cumplen la función de almacenar carga eléctrica.
- Diodo 1n4007: Su función es la de rectificar la frecuencia de la red, permitiendo pasar la corriente en un solo sentido.
- Relé 5V: Se activa con 5 voltios y es el encargado de proporcionar el voltaje necesario para activar los actuadores.
- Jack DC estéreo: conector que recepta la señal musical desde un cable Jack de 3.5mm.

En el circuito electrónico se transmite la música hasta el msgeq7 de dos maneras, una a través de una entrada auxiliar jack estéreo de 3,5 milímetros, o bien desde una memoria externa usb, para la cual se emplea el modulo adicional shield mp3.

4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El diseño del sistema de iluminación consiste en la selección de los reflectores RGB. Por motivos de dimensiones y costos se seleccionó como elemento de iluminación, una tira de led's RGB la cual cumple con los requerimientos del sistema, como generar diversos colores, posee un voltaje de operación de 12 voltios, su potencia de operación es baja por lo que no representa un gran consumo energético, posee una intensidad de 600mA por metro, ilumina un rango de 2m², iluminando los chorros de agua impulsados por el sistema, y principalmente satisface la norma de protección led IP67, lo que significa que esta cinta utiliza un pegamento epóxico para cubrirla, haciéndola completamente impermeable, con una inmersión completa en agua hasta un metro de profundidad, como se muestra en los datos especificados en la tabla 9.

Tabla 9. Características de la cinta RGB

Marca	Cosmel
Voltaje de operación:	12 V
Protección	IP67
Potencia	7,2W
Intensidad	600mA/m
Cantidad de leds	30/m

4.3.1 FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de la cinta led RGB es determinado por la frecuencia musical, cada uno de los leds de la cinta se encuentran conectados a un nivel de frecuencia proporcionado por el microprocesador msgeq7.

Al recibir corriente en uno o en varios de los ánodos del led RGB, este encenderá la cinta de acuerdo al color determinado. Se obtienen los colores primarios siendo estos rojo, verde y azul (RGB), o si bien la corriente polariza a varios ánodos al mismo tiempo, estos generaran distintos colores como el violeta, celeste, naranja, e incluso luz blanca.

Bajo la estructura de la escala sonocromática, se pueden diferenciar los colores designados a cada una de las siete notas de la escala musical, como se representa en la tabla 10.

Tabla 10. Escala Sonocromática

Color	Acorde
Verde	A (La)
Azul	C (Do)
Rojo	F (Fa)
Celeste	B (Si)
Violeta	D (Re)
Amarillo	G (Sol)
Blanco	E (Mi)

Tras las pruebas realizadas al sistema aplicando diferentes frecuencias, se obtuvieron los datos que se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Asignación de colores para cada frecuencia

Frecuencia	63Hz	160Hz	400Hz	1 KHz	2,5 KHz	6,2 KHz	16 KHz
Color	Verde	Azul	Rojo	Celeste	Violeta	Amarillo	Blanco

4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el diseño del sistema de control se utilizaron dos tipos de controladores, el primero es la placa de arduino, con la cual se controla los actuadores como leds rgb y válvulas solenoides, mismas que basan su funcionamiento con la frecuencia musical y un PLC Logo que controla el funcionamiento de elementos como la bomba de agua y sensores de luminosidad, mismo que necesitan voltajes de operación mayores al resto de elementos del sistema, en la figura 37 se observa su esquema de conexión.

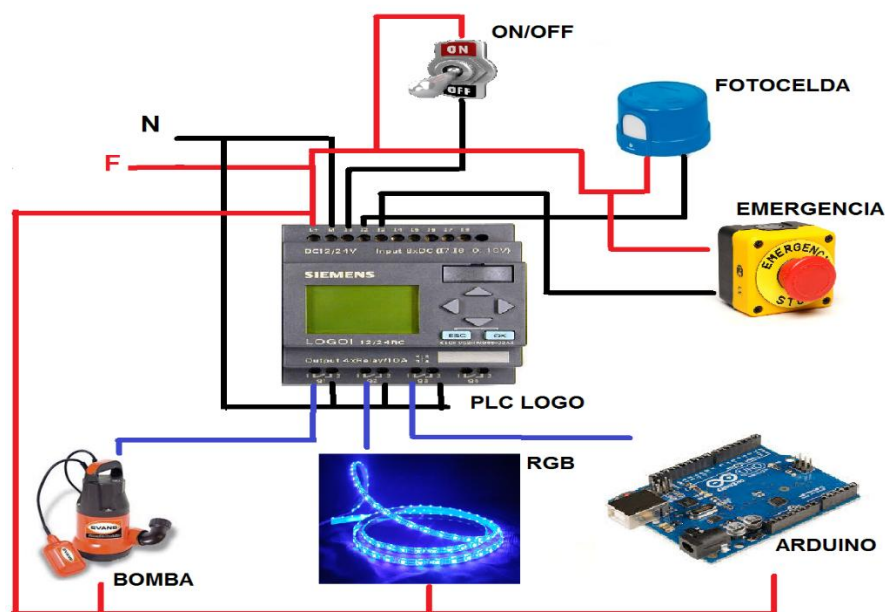


Figura 37. Esquema de conexión

Una vez se obtiene la señal de la música, el analizador de espectro msgeq7, la filtra en los siete canales de frecuencia los cuales son 63, 160, 400, 1000, 2500, 6250 y 16000Hz, los cuales conforman las octavas principales del espectro audible.

La placa de control arduino, lee los valores receptados desde el msgeq7, mismos que ordenan la activación de una de sus salidas a las que se encuentran conectados los actuadores como válvulas solenoides y luminarias RGB, se ordena mantenerlas encendidas por un lapso de 0,5 segundos, y se realiza un nuevo barrido a cada una de las entradas de señal, en busca de frecuencias presentes en la música. En la figura 38, se representa el diagrama de flujo del sistema de control.

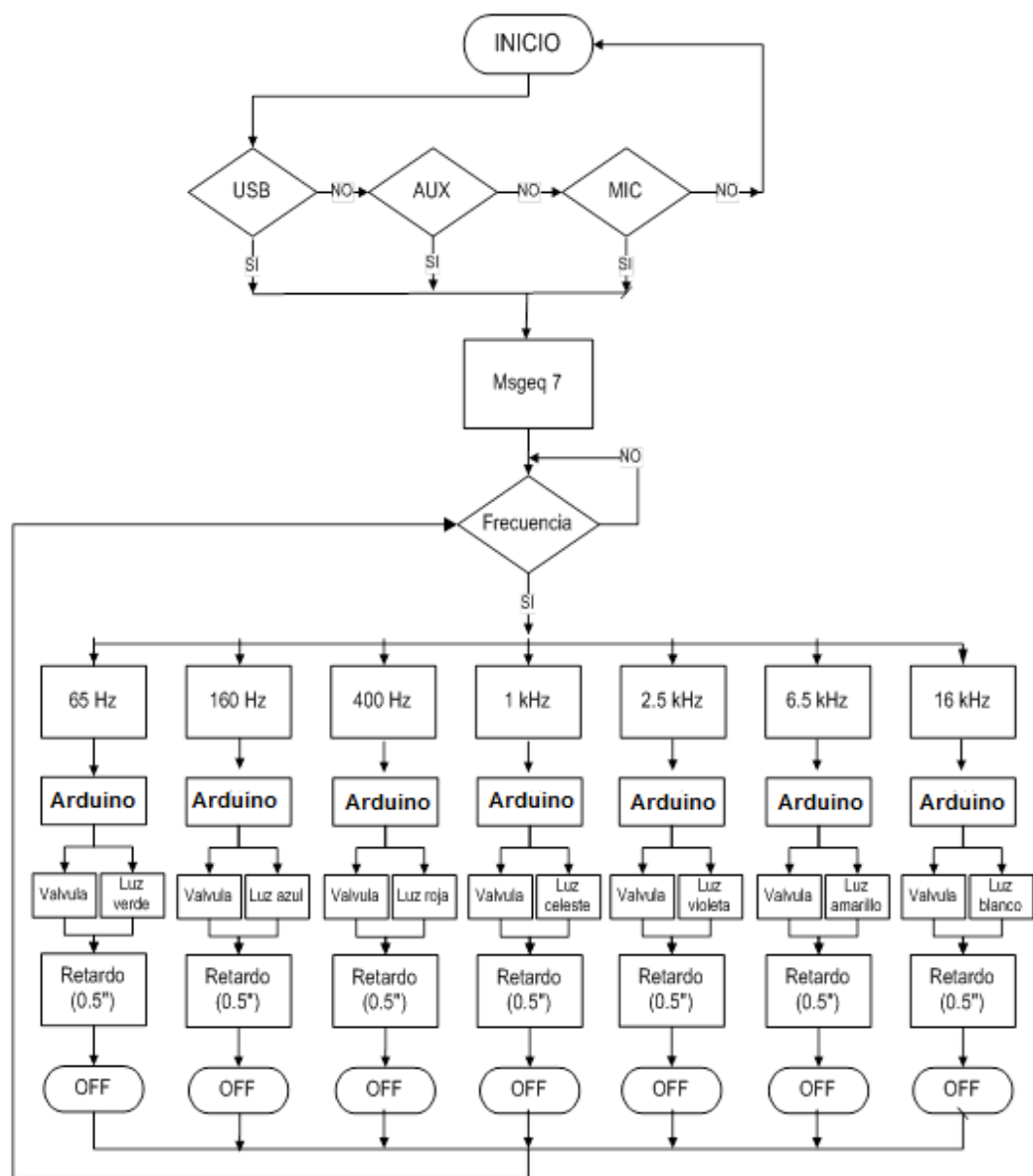









Figura 38. Diagrama de flujo del sistema de control.

Las pruebas de funcionamiento del sistema de la fuente de agua danzante, se presentan en la tabla 12, donde se puede apreciar el cambio de altura, presión y caudal obtenido en cada uno de los chorros de agua, así como también el cambio de color de acuerdo a la frecuencia con la que trabaja.

Tabla 12. Pruebas del sistema

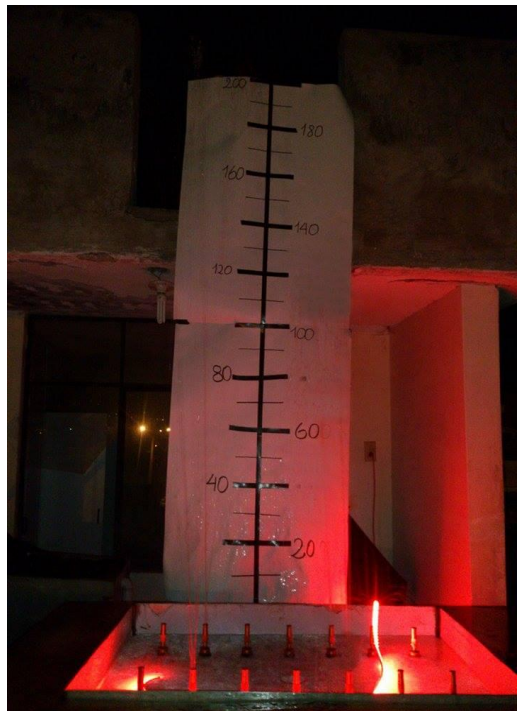
Celeste - Frecuencia 1KHz	Rojo - Frecuencia 400 Hz
	
Amarillo - Frecuencia 6,5 KHz	Azul – Frecuencia 160Hz
	

Violeta - Frecuencia 2,5 KHz	Verde - Frecuencia 65 Hz
	
Blanco – Frecuencia 16KHz	
	

Altura 1, 80 metros - Frecuencia 2,5 KHz



Altura 2,10 metros- Frecuencia 400 Hz



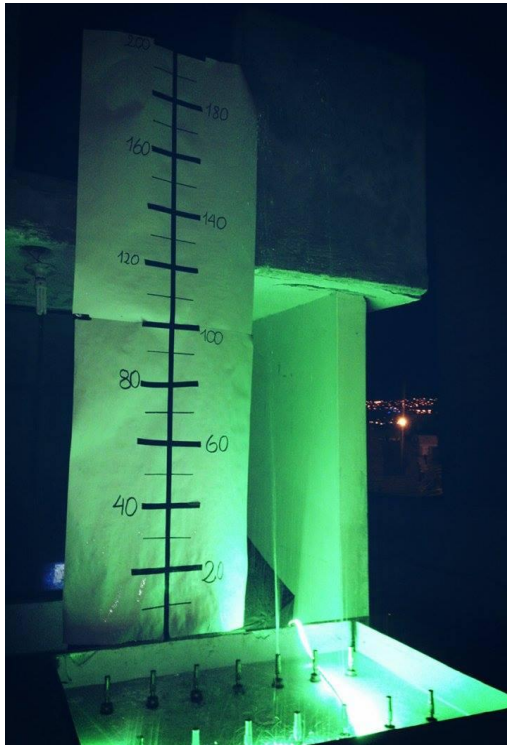
Altura 1,50 metros - Frecuencia 1 KHz



Altura 1,40 metros – Frecuencia 65 Hz



Altura 1,40 metros - Frecuencia 6,5 KHz



Altura 1,40 metros– Frecuencia 16 KHz



1,80 metros - Frecuencia 160 Hz



En base al objetivo del proyecto el cual es diseñar y construir una fuente de agua danzante rítmica inteligente, controlada por medio de elementos electrónicos y computarizados, en este capítulo se analizan los resultados obtenidos durante el diseño y las pruebas de funcionamiento a las que se sometieron al sistema.

4.5 CONTROL AUDIO RÍTMICO

El sistema de control, emplea siete canales de frecuencias para la activación de los actuadores al detectarse la presencia de una frecuencia determinada, la válvula solenoide del canal de frecuencia correspondiente, permite el paso de agua, la cual al ser expulsada por las toberas con diámetro de sección menor al de la manguera de transporte gana presión, lo que le permite aumentar su altura, como se observa en la figura 39.

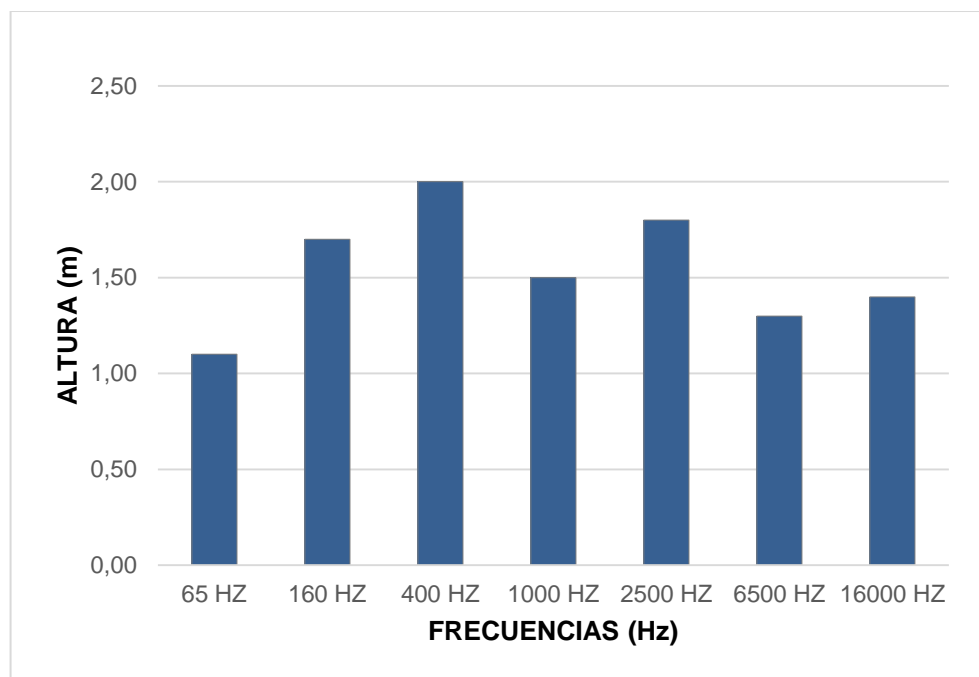
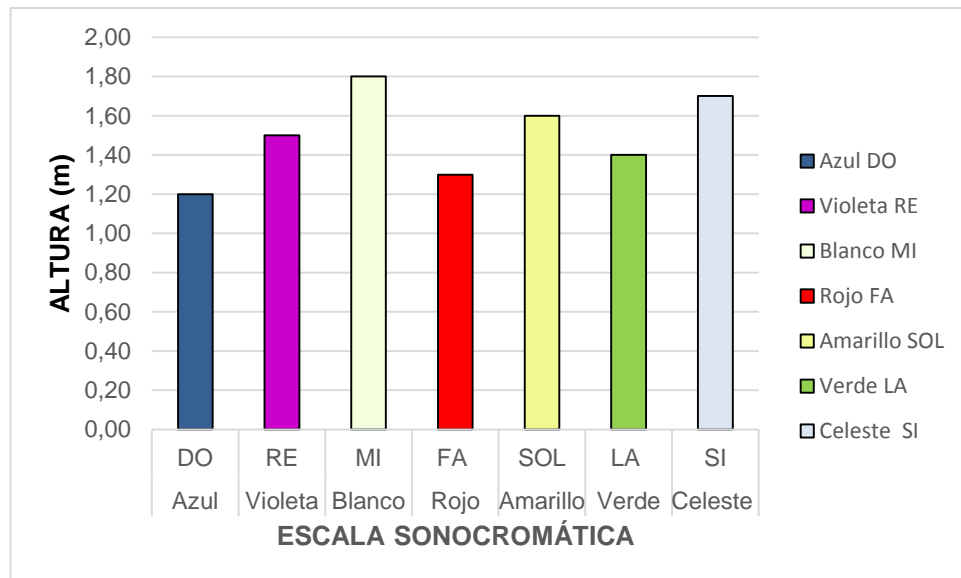


Figura 39. Altura para cada frecuencia.

De la figura 39, se puede determinar que la altura a la que se elevara el agua, depende directamente de la frecuencia, obteniendo una altura promedio de 1.54 metros y una altura máxima de 2.00 metros, con lo que se cumple con el objetivo planteado para este estudio.

De igual manera con la frecuencia se ordena la activación de la cinta RGB, para obtener la iluminación de los chorros de agua. Se establecieron colores a los rangos de frecuencia en base a la escala sonocromática, en la cual se asigna un color determinado a cada uno de los acordes musicales como se observa en la figura 40.



El sistema de válvulas más el sistema de iluminación al no una detectar frecuencia no se activan, por lo que se comprobó el funcionamiento audio rítmico del sistema.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un prototipo de fuente de agua danzante, el cual basa su funcionamiento en la frecuencia de la música, generando movimientos de agua e iluminación sincronizados filtrando las señales, para la activación de actuadores electromecánicos, que permitan generar movimientos del fluido a través del sistema de tuberías y toberas, que finalmente provocaran que el líquido se eleve y sea iluminado por la cinta RGB con el color determinado para cada frecuencia.
- Mediante la construcción de un circuito electrónico basado en las especificaciones del fabricante del circuito integrado Msgeq7, se consiguió filtrar la música en 7 bandas de frecuencia, 63, 160, 400, 1000, 2500, 6250, y 16000Hz, con las que se cubren las octavas principales del espectro audible, mismas que fueron interpretadas por el controlador arduino, para la sincronización audio rítmica del sistema.
- La altura de los chorros de agua que se generan en el sistema, depende de varios factores tales como la frecuencia musical, la presión generada por la bomba hidráulica y la dimensión de la cavidad que tiene las válvulas solenoides para permitir el paso del agua, se obtuvo una altura promedio de 1,5 metros, a excepción de la frecuencia de 400Hz, en la se llegó a obtener una altura máxima de 2,10 metros, ya que en esta actúan los instrumentos de percusión y de viento.
- El uso del software Lflow, permitió determinar la pérdida de carga que provocaron elementos tales como válvulas, uniones, el tipo de material de las tuberías y el desnivel al que debe ser elevado el agua. La pérdida de carga afecta de manera directa a la altura máxima que alcanzaron los chorros de agua.

- La iluminación por medio de leds RGB, permite la generación de una amplia gama de colores, mismos que en el sistema son determinaos por los niveles de la frecuencia de la música.
- El uso de iluminación led en el sistema presenta varias ventajas sobre otros tipos de iluminación tales como bombillas incandescentes, fluorescentes, debido a que tienen un nivel menor de consumo energético, y una mayor vida útil.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al trabajar con agua y elementos los cuales trabajan corriente alterna de 110 voltios, es importante verificar que todas las conexiones se encuentren en buen estado para evitar poner en riesgo la salud de los operadores y observadores.
- Para evitar daños a la bomba hidráulica, se recomienda evitar su funcionamiento por tiempos continuos mayores a dos horas tal como lo señala el fabricante.
- Ya que la altura de los chorros de agua vienen determinado por el caudal soportado por las válvulas solenoides, se recomienda usar válvulas con apertura de cámara completa para permitir el paso de agua suficiente.
- Se recomienda mantener el agua libre de impurezas, ya que estas pueden afectar el funcionamiento de la bomba hidráulica y de las válvulas solenoides.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acustica Facil. (2013). *Noise Solver* . Obtenido de www.noisesolver.com
- Anónimo. (2009). *Sistema Auditivo*. Madrid.
- Anónimo. (29 de Octubre de 2010). *Ya lo sabes*. Recuperado el 1 de Agosto de 2014, de <http://www.yalosabes.com/infografia-del-espectro-electromagnetico.html>
- Anónimo. (21 de Septiembre de 2011). *Lenguaje artístico*. Recuperado el 18 de Julio de 2014, de <http://lenguajeartisticocep70.blogspot.com/2011/09/los-elementos-de-la-musica.html>
- Aviles. (2008). *Optica el ojo humano*. Asturias.
- Bolton, W. (2006). *Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. Mexico : Pearson Education Limited.
- BOMDESA. (2011). Fuentes ornamentales. *BOMDESA*, 212.
- Borrero, F. (2008). los elementos de la música. *Revista digital innovacion y experiencias educativas*, 10. Obtenido de <http://www.clasemusica.com/Home/02-segundo-de-la-eso/contenidos-de-segundo-de-la-eso/02>
- Caro, J., & San Martín, J. (2011). *Anatomía y fisiología del oído*. Santiago de Chile.
- Correa, E. (2010). *Los beneficios de la música* . Granada .
- Cosmel electrónica. (2013). *Cosmel electrónica*. Obtenido de http://www.cosmel.com.ar/iluminacion_leds_rgb.php
- Delgado, J. (2012). El origen de la música. *Dice la canción*, 48.
- Ecuadoriana de mangueras . (16 de 05 de 2013). *ecuamangueras*. Obtenido de <http://www.ecuamangueras.com/productos/mangueras>
- ERCO. (2013). *Guía de Iluminación*. Buenos Aires .
- Explored . (2011). Obtenido de <http://www.explored.com.ec>
- Fau, E., Martín, J., Sanchez, J., & Antón, T. (2007). *Uso de los leds en iluminación* . Madrid.
- Felez, M. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica*. Teruel: McGraw-Hill.

- Fuentes, L. (18 de Mayo de 2013). *monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos5>
- Garcia, J. (Junio de 2013). *Asi funciona*. Obtenido de http://www.asifunciona.com/fisica/af_leds/af_leds_3.htm
- Garcia, S. (Agosto de 2012). *Manual para radialistas analfatécnicos*. Obtenido de <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=4>
- Gaston, E. (1982). *Tratado de musicoterapia*. Barcelona: Publicaciones Paidós.
- Gil, A. (Octubre de 2009). Historia de la iluminación. *Innovacion y experiencia*, 9.
- Glez, H., & Padilla, F. (11 de Noviembre de 2013). *Makingof*. Recuperado el 09 de Julio de 2014, de <http://makingofezine.com/2013/11/08/earworms-la-pandemia-musical/>
- Gomez, O. (07 de Febrero de 2013). *mailxmail.com*. Recuperado el 13 de Julio de 2014, de <http://www.mailxmail.com/curso-introduccion-teoria-musical-conceptos-basicos-practicas-ejemplos/conceptos-musicales-sonido-intensidad-altura-duracion-timbre>
- Gonzales Fariñas, J. (2011). *Hidraulica de Fuentes Ornamentales e Instalaciones Acuaticas*. Tenerife.
- Guevara, J. (2010). *Teoria de la música*.
- Ivan Bohman C.A. (2011). Aceros Inoxidables. En I. B. C.A., *Aceros* (pág. 96). Quito.
- Jácome, G., & Montenegro, D. (2012). *Diseño e implementación de un módulo prototipo para pantallas gigantes tipo led*. Tesis de Ingeniería, Escuela Politecnica del Ejercito, Departamento de eléctrica y electrónica, Sangolqui.
- Jaramillo, P. (2012). *Diseño e implementacion del modelo de una pileta de agua danzante, utilizando un sistema de adquisicion de datos, y control audio ritmico*. Trabajo de titulacion previo a la obtencion del titulo de ingeniera electronica, control y redes industriales, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de informática y electrónica, Riobamba.
- Juannav. (2012). *otromisterio.wordpress*. Obtenido de <http://otromisterio.wordpress.com>

- Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (31 de Mayo de 2011). *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=233>
- Lasso, D. (2011). *LEDS RGB*. Buenos Aires.
- Lorenzo, E., Bellón, D., & Lopez, G. (2009). *Curso de hidrología e hidráulica aplicada*. Montevideo.
- Ministerio de Turismo. (2014). *Turismo en Cifras*. Departamento de investigación, Quito.
- Nitz, B. (14 de Septiembre de 2012). *Green Prophet*. Recuperado el 08 de Agosto de 2014, de <http://www.greenprophet.com/2012/09/led-lights-health-hazard/>
- Optur. (Mayo de 2014). *Asociacion nacional de operadores de turismo receptivo del Ecuador*. Obtenido de <http://www.optur.org/estadisticas-turismo.html>
- Pomares, J. (2009). *Manual de arduino*. Universidad de Alicante, Grupo de innovacion educativa en automática, Alicante.
- Pozo, C. (24 de Abril de 2011). *América servicios educativos*. Recuperado el 16 de Julio de 2014, de <http://servicioseducativos.over-blog.org/article-los-decibeles-72411455.html>
- Raitelli, M. (2006). *Diseño de la iluminación de interiores*. San Miguel de Tucumán.
- Sag, L. (2009). *Origen de la música*. Cordoba.
- Salazar, M. (08 de Julio de 2008). *Temas de Física*. Recuperado el 18 de Julio de 2014, de <http://micursofisica.blogspot.com/p/sonido-transmission-deteccion-y.html>
- Sepulveda, C., Cortez, H., & Brito, P. (2013). *Creacion de un modelo eléctrico análogo al sistema auditivo completo*. Instituto profesional AIEP, Santiago de Chile.
- SIEMENS. (01 de Junio de 2003). *Manual Logo*. Recuperado el 28 de Agosto de 2014, de https://cache.automation.siemens.com/dnl/zQ/zQ1ODg5AAAA_16527461_HB/Logo_s.pdf
- Sirlin, E. (2005). *Física de la luz*. Buenos Aires: Atuel .

Trevizo, D. (01 de Noviembre de 2013). *bligoo*. Recuperado el 13 de Julio de 2014, de <http://metodosdeinvestigacionterminologica.bligoo.com.mx/altura#.VIEdScltJAs>

Tribaldos, C. (2007). *Sonido Profesional. Estudios de registro profesional*. Madrid : Paraninfo S.A.

Valdez, M. (2012 de Marzo de 2012). *Slideshare*. Recuperado el 23 de Julio de 2014, de <http://es.slideshare.net/safoelc/fisiologa-del-odo-externo-medio-e-interno>

www.laenfermeria.es. (02 de Marzo de 2006). *Laenfermeria.es*. Recuperado el 06 de Agosto de 2014, de <http://www.laenfermeria.es/apuntes.html>

Yea, M. (10 de Junio de 2011). *Física-Ondas*. Recuperado el 18 de Julio de 2014, de <http://4cequipo1ondas.blogspot.com/2011/06/caracteristicas-y-cualidades-del-sonido.html>

ANEXOS

ANEXO I



```
#define msg7RESET 11
#define msg7Strobe 10
#define msg7DCout 0
const int LEDpins[7] = {1,2,4,7,8,12,13}; // Se definen los pines para los 7 niveles de frecuenci

//RGB

#define pushButton 2

void setup() {
    // initialize the digital pin as an output.
    // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:
    for (int x=0; x<7; x++) {
        pinMode(LEDpins[x], OUTPUT);
    }
    pinMode(msg7RESET, OUTPUT);
    pinMode(msg7Strobe, OUTPUT);

    pinMode(pushButton, INPUT); // never actually used in this example.
    digitalWrite(pushButton, HIGH); // Enable internal pull-up

    //RGB

}
```