



**Diseño y construcción de sistema
lumínico y de suministro de aire
comprimido en una pared de burbujas
con dimensiones 75 x 60 cm para uso
decorativo de la empresa Eventos-
Revolution**

Sergio Andrés Montero Cely

Johan Andrés Castellanos Castro

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, D.C.

Diseño y construcción de sistema lumínico y de suministro de aire comprimido en una pared de burbujas con dimensiones 75 x 60 cm para uso decorativo de la empresa Eventos-Revolution

Sergio Andrés Montero Cely

Johan Andrés Castellanos Castro

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director (a): Ing. Mec. Esp. Henry Moreno Acosta

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, D.C.
2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Agradecimientos

Gracias a Dios por darnos la oportunidad de realizar este proyecto a pesar de las adversidades que se han presentado en los últimos años.

Al Ing. Henry Moreno por su apoyo en las asesorías durante el proyecto de grado y la carrera.

Resumen

El presente trabajo de grado tiene como objeto diseñar y construir el sistema de iluminación con tecnología LED y de suministro de aire comprimido en forma controlada a través de electroválvulas conectadas mediante mangueras a unas celdas llenas de agua generando el efecto de pared de burbujas para uso decorativo en los eventos realizado por la empresa Eventos Revolution en diferentes espacios como lo son hoteles, oficinas, bares, restaurantes, clubes, fincas, entre otros.

El diseño y construcción del sistema lumínico y de generación de burbujas es la base para la programación de secuencias establecidas para producir burbujas ascendentes, las cuales se deben sintonizar con la iluminación LED, en la pared de burbujas dispuesta de manera vertical.

Palabras claves: Pared de burbujas, aire comprimido, iluminación LED, electroválvulas.

Abstract

The purpose of this degree work is to design and build the lighting system with LED technology and compressed air supply in a controlled manner through solenoid valves connected by hoses to cells filled with water generating the effect of bubble wall for decorative use in the events held by the company Eventos Revolution in different spaces such as hotels, offices, bars, restaurants, clubs, farms, among others.

The design and construction of the lighting system and bubble generation is the basis for programming sequences set to produce rising bubbles, which must be tuned to the LED lighting in the bubble wall arranged vertically.

Keywords: Bubble wall, compressed air, LED illumination, solenoid valves.

CONTENIDO

Tabla de contenido

1. Generalidades.....	12
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Justificación	12
1.3 Alcance	13
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo general.....	13
1.4.2 Objetivos específicos	14
2. Estado del arte.....	15
2.1 Componentes principales de una pared de burbujas	16
2.2 Modelos comerciales de pared de burbujas en internet	21
2.3 Estudio comparativo	31
3. Marco teórico y conceptual	37
Ecuación de Bernoulli y conservación de la energía	37
Pérdidas de energía (ecuación de Darcy).....	38
Fuerza resultante sobre una pared rectangular por un fluido estático	42
Concepto PWM.....	43
Válvula de control neumática	44
4. Diseño preliminar de la pared de burbujas.....	47
4.1 Requisitos del diseño.....	47
4.2 Decisión de diseño de la pared de burbujas.....	49
4.3 Enunciado básico del problema.....	50
4.4 Base o soporte estructura	51
4.5 Compresor	51
4.6 Columnas de acrílico	55
4.7 Electroválvulas.....	57
4.8 Secuencia de las burbujas.....	57
4.9 Iluminación	58
5. Diseño del detalle	60
5.1 Selección dispositivo controlador.....	60
5.2 Selección iluminación LED	64

5.3	Selección compresor de aire	65
5.4	Selección electroválvulas	68
5.5	Diseño estructura o base	72
5.6	Diseño columna de acrílico.....	76
5.7	Circuito eléctrico	78
5.8	Diseño de la programación.....	88
6.	Construcción de la pared de burbujas	95
6.1	Estructura	95
6.2	Pared de acrílico.....	96
6.3	Prueba de fuga de agua.....	97
6.4	Prueba de inyección de aire comprimido	97
6.5	Pared de acrílico en la estructura	98
6.6	Pruebas de funcionamiento sistema de iluminación LED.....	99
6.7	Montaje sistema neumático en estructura.....	99
6.8	Pruebas de funcionamiento	100
	Primer secuencia.....	100
	Segunda secuencia.....	101
	Tercera secuencia.....	102
	Cuarta secuencia.....	102
7.	Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros	104
7.1	Conclusiones.....	104
7.2	Recomendaciones.....	104
7.2.1	Puesta en marcha pared de burbujas	104
7.2.2	Limpieza pared de burbujas	105
7.3	Trabajos futuros.....	106
A.	Anexo: Costos.....	107
B.	Anexo: Programación.	112
C.	Anexo: Planos.....	120
D.	Anexo: Fichas técnica	123
	Bibliografía.....	124
	Cibergrafía.....	125

Tabla de imágenes

Figura 1:	Pared de burbujas con secuencias controladas.....	15
Figura 2:	Partes de la pared de burbujas.....	16
Figura 3:	Láminas de acrílico.....	16
Figura 4:	Tira led RGB.....	17
Figura 5:	Base de la pared de burbujas.....	18
Figura 6:	Compresores de diafragma.....	19
Figura 7:	Funcionamiento relé.....	19
Figura 8:	Microcontroladores empresa MICROCHIP.....	20
Figura 9:	Simbología válvula antirretorno.....	20
Figura 10:	Dispensores.....	21
Figura 11:	Longitud equivalente en diámetros de tubería.....	39
Figura 12:	Propiedades del aire.....	40
Figura 13:	Valores de diseño de tubería según su rugosidad.....	41
Figura 14:	Partes del diagrama de Moody.....	41
Figura 15:	Fuerza sobre una pared vertical.....	42
Figura 16:	Ciclo de trabajo PWM.....	43
Figura 17:	Símbolos gráficos para equipos neumáticos. (DIN ISO1219-1, 03/96)....	44
Figura 18:	Designación de conexiones válvulas.....	45
Figura 19:	Simbología de mandos de circuitos neumáticos.....	45
Figura 20:	Alternativas de paredes de burbujas.....	48
Figura 21:	Diseño preliminar columnas de acrílico.....	56
Figura 22:	Representación del proceso neumático para la generación de burbujas.....	57
Figura 23:	Secuencias de las burbujas.....	57
Figura 24:	Arduino UNO.....	60
Figura 25:	Arduino LEONARDO.....	61
Figura 26:	Arduino MEGA 2560.....	62
Figura 27:	Tira LED WS2812BALL.....	64
Figura 28:	Compresor RESUN AC9902.....	65
Figura 29:	Compresor Uniclife UL40.....	66
Figura 30:	Compresor Xilong AP-002.....	67
Figura 31:	Válvula ZHV-0519 L/S.....	68
Figura 32:	Válvula FSPUMP 0526T.....	69
Figura 33:	Válvula Airtac 3V110-06-NC.....	70
Figura 34:	Vista superior elementos eléctricos base de pared de burbujas.....	73
Figura 35:	Plano estructura o base vista frontal.....	74
Figura 36:	Plano estructura o base vista derecha.....	75
Figura 37:	Plano estructura o base vista superior.....	75
Figura 38:	Piedra difusora.....	76
Figura 39:	Plano de una columna.....	77
Figura 40:	Plano de las seis columnas.....	77
Figura 41:	Plano columnas de acrílico vista frontal.....	78

Figura 42:	Esquemático Arduino UNO.....	79
Figura 43:	Módulo relé 8 salidas.....	80
Figura 44:	Esquemático módulo relé 8 salidas.....	80
Figura 45:	Esquemático Led WS2012B.....	81
Figura 46:	Esquemático electroválvula.....	82
Figura 47:	Esquemático circuito eléctrico.....	82
Figura 48:	Circuito de mando.....	83
Figura 49:	Circuito de fuerza.....	84
Figura 50:	Circuito neumático.....	85
Figura 51:	Dibujo eléctrico con su componentes.....	85
Figura 52:	Etapas de diseño.....	88
Figura 53:	Montaje circuito eléctrico en Tinkercad.....	92
Figura 54:	Montaje circuito eléctrico y programación en Tinkercad.....	92
Figura 55:	Simulación de la programación en Tinkercad.....	93
Figura 56:	Parte del código compilado en el software Arduino.....	94
Figura 57:	Diseño final pared de burbujas.....	95
Figura 58:	Estructura de la pared de burbujas.....	95
Figura 59:	Pared de acrílico.....	96
Figura 60:	Pruebas de fuga en la pared de acrílico.....	97
Figura 61:	Pruebas de inyección de aire comprimido en la pared de acrílico.....	97
Figura 62:	Montaje pared de acrílico en la estructura.....	98
Figura 63:	Sistema de iluminación LED.....	99
Figura 64:	Montaje sistema neumático.....	99
Figura 65:	Pruebas de funcionamiento secuencia 1.....	100
Figura 66:	Pruebas de funcionamiento secuencia 2.....	101
Figura 67:	Pruebas de funcionamiento secuencia 3.....	102
Figura 68:	Pruebas de funcionamiento secuencia 4.....	102

Lista de tablas

Tabla 1:	Catálogos representativos de pared de burbujas comerciales en internet.....	21
Tabla 2:	Pared de burbujas 1.....	23
Tabla 3:	Pared de burbujas 2.....	24
Tabla 4:	Pared de burbujas 3.....	25
Tabla 5:	Pared de burbujas 4.....	26
Tabla 6:	Pared de burbujas 5.....	27
Tabla 7:	Pared de burbujas 6.....	28
Tabla 8:	Pared de burbujas 7.....	29
Tabla 9:	Pared de burbujas 8.....	30
Tabla 10:	Pared de burbujas 9.....	31
Tabla 11:	Pared de burbujas según su peso.....	32
Tabla 12:	Pared de burbujas según su largo.....	33
Tabla 13:	Pared de burbujas según su ancho.....	33
Tabla 14:	Pared de burbujas según su altura.....	34

Tabla 15:	Pared de burbujas según su material.	34
Tabla 16:	Pared de burbujas según su tipo de luz.	35
Tabla 17:	Pared de burbujas según su mando a distancia iluminación.	35
Tabla 18:	Matriz de decisión diseño pared de burbujas.	49
Tabla 19:	Propiedades lámina acrílica.....	56
Tabla 20:	Características Arduino UNO.	60
Tabla 21:	Características Arduino LEONARDO.....	61
Tabla 22:	Características Arduino MEGA 2560.	62
Tabla 23:	Matriz de decisión dispositivo controlador.....	63
Tabla 24:	Características bomba de aire RUSEN AC9902.....	65
Tabla 25:	Características bomba de aire RUSEN AC9902.....	66
Tabla 26:	Características bomba de aire Xilong AP-002.....	67
Tabla 27:	Matriz de decisión compresor.	67
Tabla 28:	Características electroválvula ZHV-0519 L/S.	69
Tabla 29:	Características electroválvula FSPUMP 0526T.	70
Tabla 30:	Características electroválvula AIRTAC 3V110-06-NC.	70
Tabla 31:	Matriz de decisión electroválvula.	71
Tabla 32:	Capacidad de corriente para alambres de aparatos.....	87
Tabla 33:	Costos materiales electrónicos y eléctricos.	107
Tabla 34:	Costos accesorios y materiales neumáticos.....	108
Tabla 35:	Costos accesorios y materiales mecánicos.	108
Tabla 36:	Costos total materiales.	108
Tabla 37:	Costo transporte.	109
Tabla 38:	Costo mano de obra.	109
Tabla 39:	Costo servicio maquinarias y herramientas utilizadas.....	109
Tabla 39:	(Continuación).....	110
Tabla 40:	Costos directos.	110
Tabla 41:	Costos indirectos.	110
Tabla 42:	Consumos eléctrico.....	111

1. Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad las empresas que realizan eventos o reuniones investigan la manera de desarrollar nuevas técnicas de decoración con el fin de llamar la atención de los clientes.

Por ende, la empresa Eventos Revolution ve la necesidad de construir dispositivos con efectos lumínicos que sincronicen movimientos de agua generando así ambientes relajantes y tranquilos para los clientes que asistan a sus eventos.

Este tipo de dispositivo busca que pueda ser personalizado para diferentes tipos de eventos con el fin de que pueda ser programado con rutinas específicas que generen la atención, ayudando así a que el cliente tenga una conexión adicional entre el evento al cual asistió y la decoración dinámica.

A partir del trabajo de campo que se ha hecho hasta el momento para realizar este anteproyecto no se encuentran distribuidores a nivel local que den la posibilidad de que dispositivos hidrodinámicos se puedan programar o definir secuencias establecidas de acuerdo con los requerimientos de la empresa.

La pregunta de investigación de este proyecto es: ¿cómo diseñar un sistema lumínico y de suministro de aire comprimido, personalizable y de uso decorativo para los clientes de la empresa Eventos Revolution?

1.2 Justificación

Eventos Revolution es una empresa constituida hace más de diez años y trabaja en el sector de la industria de eventos y espectáculos musicales, realizando bodas, eventos empresariales, fiestas de cumpleaños, instalando o alquilando el sistema de luces y sonido, desean agregar un dispositivo de pared de burbujas el cual sea fácil de instalar y manejar, brindando así un toque decorativo mucho más elegante durante los eventos.

Ante esto, la Ingeniería Electromecánica cumple con realizar sistemas de decoración dinámicos dentro de un fluido que constituye la pared de burbujas o cortina de burbujas llamado así a nivel mundial. El juego de luces y el movimiento de las burbujas de aire en conjunto crean ambientes de relajación y tranquilidad ideales para los eventos realizados.

Uno de los mayores problemas en el mercado local es que no se encuentran muchas empresas dedicadas a la fabricación de las paredes de burbujas con secuencias programadas. En el mercado se encuentran modelos que oscilan entre \$4.000.000 a \$6.000.000 COP.

Por lo anterior, la empresa Eventos Revolution ve necesario apoyar este proyecto de diseñar y construir una pared de burbujas con una programación de aperturas y cierres de electroválvulas para la generación de burbujas en conjunto con la iluminación LED con las siguientes dimensiones 75 x 60 cm.

1.3 Alcance

El alcance del proyecto es el diseño y construcción de una pared de burbujas con material acrílico de unas medidas aproximadas de alto: 75 cm, ancho: 60 cm, fondo: 35 cm, con iluminación LED y secuencias controladas de la generación de burbujas por medio de electroválvulas, para presentar a la empresa Eventos Revolution.

El costo correspondiente a la fabricación será asumido por los autores del proyecto.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un sistema lumínico y de suministro de aire comprimido en una pared de burbujas con dimensiones 75 x 60 cm para uso decorativo de la empresa Eventos Revolution.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir la estructura con su base para la pared de burbujas.
- Diseñar e implementar el sistema de suministro de aire comprimido para la generación de burbujas.
- Implementar el control y la programación del sistema lumínico en la pared de burbujas con dimensiones de 75 x 60.
- Elaborar la programación para el sistema de apertura y cierre de mínimo 6 electroválvulas de suministro de aire comprimido.
- Elaborar la documentación que soporta el diseño y construcción del sistema lumínico y del suministro de aire comprimido.

2.Estado del arte

Para realizar el diseño y la construcción de la pared de burbujas se debe realizar un debido estudio del arte. Teniendo en cuenta los requerimientos del lugar a instalar y la necesidad de la empresa Eventos Revolution, realizando un análisis entre los diferentes componentes y beneficios que pueden llegar a tener en esta pared de burbujas.

Figura 1: Pared de burbujas con secuencias controladas.



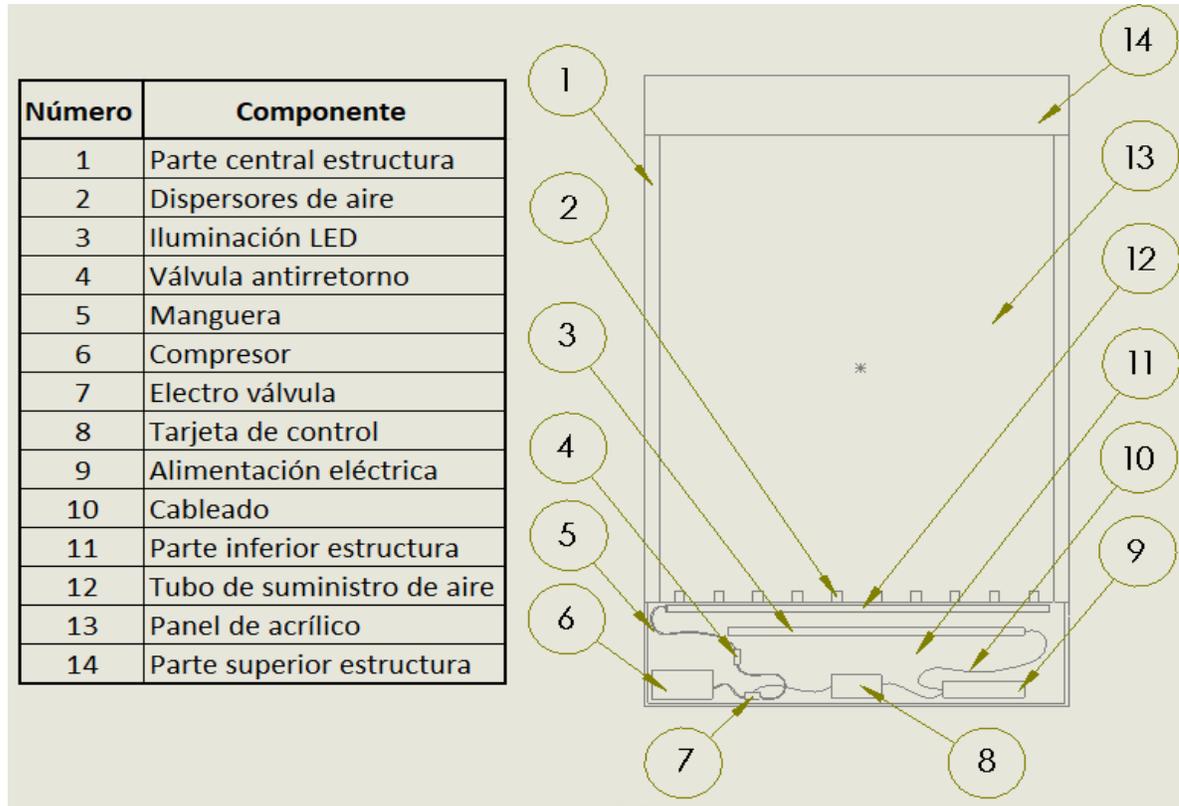
Fuente: [20]

En esta pared de burbujas se cuenta con un sistema de iluminación LED en los costados y un sistema de control para generación de burbujas, este control se realiza por medio de secuencias de aperturas y cierres de electroválvulas permitiendo así controlar la inyección

de aire comprimido generado por el compresor de aire, por medio de unas boquillas que se encuentran en la parte inferior del panel de acrílico.

2.1 Componentes principales de una pared de burbujas

Figura 2: Partes de la pared de burbujas.



Fuente: Autores, SolidWorks

A continuación, se explican alguno de los componentes de la pared de burbujas.

▪ Láminas de acrílico

Se compone por varias columnas independientes realizadas con láminas de acrílico debidamente cortadas y pegadas para que sellen e impidan que el agua que está dentro se salga o pase a otra columna, comercialmente se tiene láminas de 2 a 20 mm de espesor, la pared de acrílico está soportada en la base.

Figura 3: Láminas de acrílico.



Fuente: [19]

- **Tira led RGB**

Las tiras LED van instaladas en los laterales de la pared de acrílico para que iluminen al momento de la generación de burbujas, se tiene la posibilidad de controlar de manera independiente cada LED, generando varias secuencias lo que permite una armonía con las burbujas ascendentes.

La tira Led es una placa flexible con diodos semiconductores que emiten luz (Led). Suelen funcionar a 5, 12 o 24V en corriente continua mediante una fuente de alimentación denominada controlador. Estas fuentes son seguras; aunque se tenga contacto directo no se produce cortocircuito. [6]

El significado de la siglas RGB es “red”, “green” y “blue”, en español rojo, verde y azul, al combinar estos tres en la tira LED es posible obtener diferentes colores.

Figura 4: Tira led RGB.



Fuente: [21]

- **Base o estructura**

Esta base permite que toda la pared de burbujas sea soportada en el piso y mantiene en su interior el resto de los componentes. Puede ser de madera o aluminio según especificaciones del cliente.

Figura 5: Base de la pared de burbujas.



Fuente: [20]

- **Compresor de aire o bomba de aire**

El compresor aumenta la presión del aire, mediante accionamiento mecánico y su capacidad se determina por el caudal (L/min). Debido a su construcción y materiales internos permite que sea silencioso. Se encuentran en el mercado de una salida o de dos salidas de aire según la función que se necesite.

Figura 6: Compresores de diafragma.

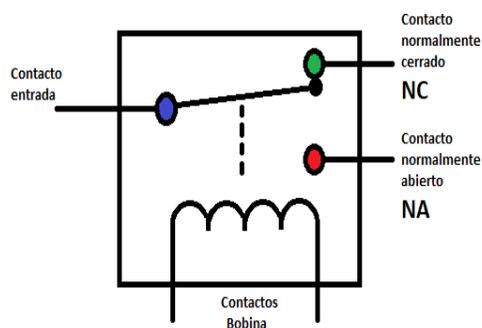


Fuente: [23]

- **Relé**

El relé es un interruptor accionado electromagnéticamente al alimentar las entradas de la bobina. El núcleo es atraído mediante un electroimán, permitiendo la apertura o cierre mecánico de diferentes contactos eléctricos. Si la bobina se encuentra alimentada, los contactos se mantienen en determinada posición, al ser desenergizada retoma la posición inicial. [7]

Figura 7: Funcionamiento relé.

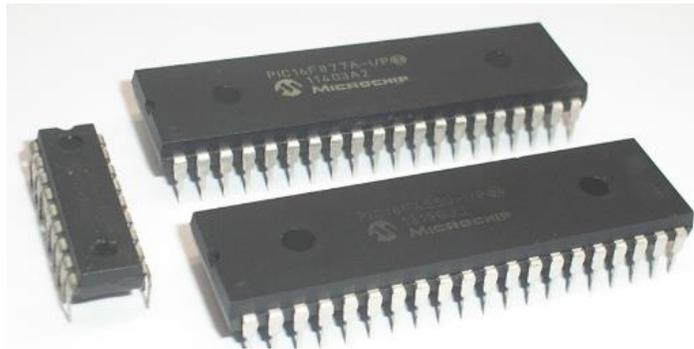


Fuente: Autores.

- **Micro controlador**

El micro controlador es un circuito integrado que contiene una unidad central de proceso, memoria y periféricos, (unidades de entrada y salida) muy similar a una mini CPU (Unidad Central de Procesamiento). Con la facilidad de ser programado mediante software para realizar diferente tipo de instrucciones mediante lenguaje C y compiladas a hexadecimal para cargar al microcontrolador.

Figura 8: Microcontroladores empresa MICROCHIP.

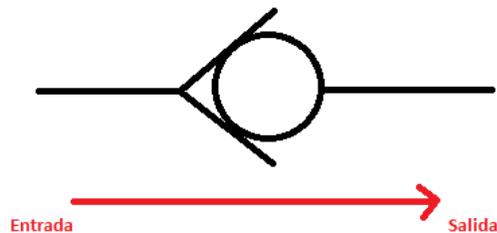


Fuente: [24]

- **Válvula antirretorno**

La válvula antirretorno es un elemento utilizado en circuitos hidráulicos y neumáticos que permite el paso del fluido (gas o líquido) en un solo sentido. En las paredes de pared de burbujas impide que el agua se devuelva a la electroválvula.

Figura 9: Simbología válvula antirretorno.



Fuente: Autores.

- **Piedra difusora**

La piedra difusora permite que el aire que llega del compresor mediante un tubo siliconado pueda escapar través de los poros de la piedra, generando así pequeñas burbujas de aire dentro de la columna de acrílico.

Figura 10: Dispersores.



Fuente: [25]

- **Mangueras**

Se define muchos tipos y tamaños estándar de acuerdo con su clasificación de presión y capacidad de flujo. Los tamaños incluyen diámetros interiores de 3/16, 1/4, 5/16, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, 1, 1 1/4, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2 y 4 in. Los rangos de presión varían desde 35 PSIG hasta más de 10 000 PSIG (de 240 kPa a 69 MPa), lo cual cubre aplicaciones desde potencias de fluidos a alta presión hasta succión a baja presión y líneas de retorno. [1]

2.2 Modelos comerciales de pared de burbujas en internet

Para la realización de este proyecto se tendrá en cuenta los diferentes tipos de pared de burbujas existentes en el mercado. A continuación, se presenta una tabla comparativa con algunos modelos comerciales representativos, asignando un número a cada uno según marca, modelo y/o referencia.

Tabla 1: Catálogos representativos de pared de burbujas comerciales en internet.

Clasificación	Marca/Referencia
Pared de burbujas 1	Uniprodo Pared De Agua Fuente para Muro LED Uni_Water_01
Pared de burbujas 2	PARED DE BURBUJAS DE AGUA MOD. BJ-P4
Pared de burbujas 3	UNIPRODO PARED DE BURBUJAS LED UNI WATER 02
Pared de burbujas 4	PARED DE BURBUJAS DE AGUA
Pared de burbujas 5	PARED DE BURBUJAS DE AGUA MOD. BJ-P52
Pared de burbujas 6	CORTINA FUENTE DE AGUA
Pared de burbujas 7	FUENTES DE AGUA HBW
Pared de burbujas 8	Uniprodo Pared De Burbujas Panel De Agua LED Uni_Water_02
Pared de burbujas 9	PARED DE BURBUJAS DE LUCES MULTICOLOR

Fuente: Autores.

A continuación, se representan las 9 paredes de burbujas con sus respectivas características presentadas en la tabla 1.

Pared de burbuja 1

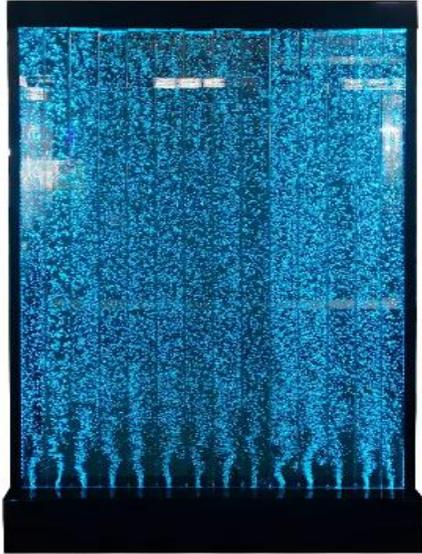
Tabla 2: Pared de burbujas 1.

UNIPRODO PARED DE AGUA FUENTE PARA MURO LED UNI-WATER-01	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Acrílico transparente
MATERIAL DE LA BASE	Acero inoxidable
PESO (KG)	13.7
LARGO (CM)	39.5
ANCHO (CM)	26
ALTURA (CM)	151.5
MANDO A DISTANCIA	Si, 20 metros
MULTIPLES COLORES EN LA ILUMINACION	SI
TIPO DE IUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	18,8

Fuente: Autores, [28] .

Pared de burbuja 2

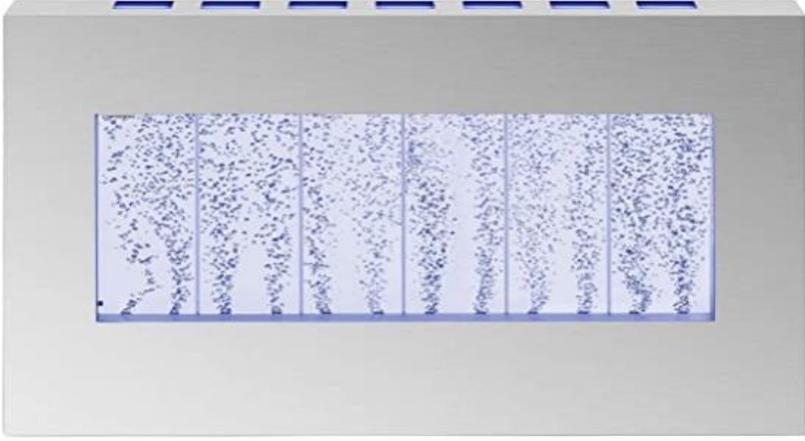
Tabla 3: Pared de burbujas 2.

PARED DE BURBUJAS DE AGUA MOD. BJ-P46	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Acrílico transparente
MATERIAL DE LA BASE	Acrílico negro
PESO (KG)	42
LARGO (CM)	60
ANCHO (CM)	22
ALTURA (CM)	200
MANDO A DISTANCIA	SI
MÚLTIPLES COLORES EN LA ILUMINACIÓN	SI
TIPO DE ILUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	No especifica

Fuente: Autores,[29].

Pared de burbuja 3

Tabla 4: Pared de burbujas 3.

UNIPRODO PARED DE BURBUJAS LED UNI WATER 02	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Acrílico
MATERIAL DE LA BASE	Acero inoxidable
PESO (KG)	8.5
LARGO (CM)	95
ANCHO (CM)	12
ALTURA (CM)	55
MANDO A DISTANCIA	Si, 20 metros
MULTIPLES COLORES EN LA ILUMINACION	SI
TIPO DE IUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	18.8

Fuente: Autores.[30]

Pared de burbuja 4

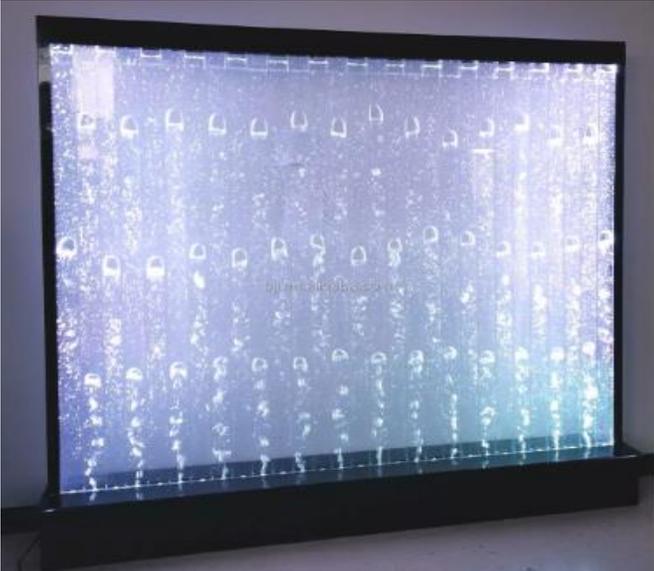
Tabla 5: Pared de burbujas 4.

PARED DE BURBUJAS DE AGUA	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Acrílico
MATERIAL DE LA BASE	Acero inoxidable
PESO (KG)	21
LARGO (CM)	51
ANCHO (CM)	28
ALTURA (CM)	183
MANDO A DISTANCIA	SI
MULTIPLES COLORES EN LA ILUMINACION	SI
TIPO DE IUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	20

Fuente: Autores,[31]

Pared de burbuja 5

Tabla 6: Pared de burbujas 5.

PARED DE BURBUJAS DE AGUA MOD. BJ-P52	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Acrílico
MATERIAL DE LA BASE	Acrílico Negro
PESO (KG)	140
LARGO (CM)	180
ANCHO (CM)	26
ALTURA (CM)	180
MANDO A DISTANCIA	SI
MULTIPLES COLORES EN LA ILUMINACION	SI
TIPO DE IUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	No especifica

Fuente: Autores,[32].

Pared de burbuja 6

Tabla 7: Pared de burbujas 6.

CORTINA FUENTE DE AGUA	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Espejo de plata
MATERIAL DE LA BASE	Metal
PESO (KG)	28
LARGO (CM)	61
ANCHO (CM)	24
ALTURA (CM)	183
MANDO A DISTANCIA	SI
MULTIPLES COLORES EN LA ILUMINACION	BLANCA
TIPO DE IUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	80

Fuente: Autores.[33].

Pared de burbuja 7

Tabla 8: Pared de burbujas 7.

PARED DE BURBUJAS DE AGUA LED BJ-P49	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Acrílico
MATERIAL DE LA BASE	Acrílico
PESO (KG)	120
LARGO (CM)	120
ANCHO (CM)	28
ALTURA (CM)	200
MANDO A DISTANCIA	SI
MULTIPLES COLORES EN LA ILUMINACION	SI
TIPO DE IUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	No especifica

Fuente: Autores.[32]

Pared de burbuja 8

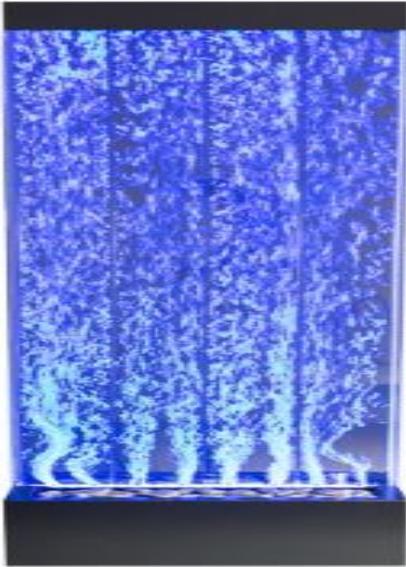
Tabla 9: Pared de burbujas 8.

FUENTES DE AGUA HBW	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Acrílico
MATERIAL DE LA BASE	Acero Inoxidable
PESO (KG)	No especifica
LARGO (CM)	40
ANCHO (CM)	25
ALTURA (CM)	180
MANDO A DISTANCIA	SI
MULTIPLES COLORES EN LA ILUMINACION	SI
TIPO DE IUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	No especifica

Fuente: Autores,[34].

Pared de burbuja 9

Tabla 10: Pared de burbujas 9.

PARED DE BURBUJAS DE LUCES MULTICOLORES	
	
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL DE LA COLUMNA	Acrílico
MATERIAL DE LA BASE	Acero Inoxidable
PESO (KG)	23
LARGO (CM)	50
ANCHO (CM)	28
ALTURA (CM)	183
MANDO A DISTANCIA	SI
MULTIPLES COLORES EN LA ILUMINACION	SI
TIPO DE IUMINACIÓN	LED
POTENCIA (W)	4

Fuente: Autores.[35].

2.3 Estudio comparativo

De acuerdo con la información referente a las especificaciones técnicas comerciales en internet correspondientes a las paredes de burbujas 1 a la 9, se realiza, a continuación, la tabulación y el análisis de los parámetros que caracterizan aspectos constructivos y de las propiedades de pared de burbujas existentes en el mercado. Dichos parámetros son los siguientes

- Peso.
- Largo.
- Ancho.
- Altura.
- Material.
- Tipo de luz.
- Mando a distancia iluminación.

El objetivo del presente análisis es el de identificar las características comunes presentes en la mayoría de los modelos y establecer un rango de valores que sirvan de guía para la realización de este proyecto.

Clasificación de la pared de burbujas según su peso.

Tabla 11: Pared de burbujas según su peso.

Clasificación	Peso (kg)
Pared de burbujas 1	13.7
Pared de burbujas 2	42
Pared de burbujas 3	8.5
Pared de burbujas 4	21
Pared de burbujas 5	140
Pared de burbujas 6	28
Pared de burbujas 7	120
Pared de burbujas 8	No especifica
Pared de burbujas 9	23
Promedio	49,52
Desviación estándar	50,92

Fuente: Autores.

Según la información tabulada, se analizan las paredes de burbujas que, si cuentan con el peso, están entre 8.5 y 140 kg, para la tabla 11 el promedio de peso es de 49.52 kg con una desviación estándar de 50,92kg.

Clasificación de la pared de burbujas según su largo.

Tabla 12: Pared de burbujas según su largo.

Clasificación	Largo (cm)
Pared de burbujas 1	39.5
Pared de burbujas 2	60
Pared de burbujas 3	95
Pared de burbujas 4	51
Pared de burbujas 5	180
Pared de burbujas 6	61
Pared de burbujas 7	120
Pared de burbujas 8	40
Pared de burbujas 9	50
Promedio	82,25
Desviación estándar	52,30

Fuente: Autores.

De acuerdo a la información tabulada, las paredes de burbujas tienen anchos entre 39.5 y 180 cm, para la tabla 12 el promedio de ancho es de 82,25 cm con una desviación estándar de 52,30 cm.

Clasificación de la pared de burbujas según su ancho.

Tabla 13: Pared de burbujas según su ancho.

Clasificación	Ancho (cm)
Pared de burbujas 1	26
Pared de burbujas 2	22
Pared de burbujas 3	12
Pared de burbujas 4	28
Pared de burbujas 5	26
Pared de burbujas 6	24
Pared de burbujas 7	28
Pared de burbujas 8	40
Pared de burbujas 9	28
Promedio	26
Desviación estándar	7.28

Fuente: Autores.

De acuerdo a la tabla 13, se encuentra que los anchos están entre 12 y 40 cm, siendo el promedio de 26 cm y la desviación estándar de 7.28 cm.

Clasificación de la pared de burbujas según su altura.

Tabla 14: Pared de burbujas según su altura.

Clasificación	Altura (cm)
Pared de burbujas 1	151.5
Pared de burbujas 2	200
Pared de burbujas 3	55
Pared de burbujas 4	183
Pared de burbujas 5	180
Pared de burbujas 6	183
Pared de burbujas 7	200
Pared de burbujas 8	180
Pared de burbujas 9	183
Promedio	170
Desviación estándar	72.08

Fuente: Autores.

Según la tabla 14, se identifica que la pared de burbujas numero 3 es la que tiene menos altura, la razón es porque sirve como si fuera un cuadro en la pared, pero las restantes superan 150 cm de alto como se puede evidenciar en el promedio que es 170 cm y una desviación estándar de 72,08 cm.

Clasificación de la pared de burbujas según su material.

Tabla 15: Pared de burbujas según su material.

Clasificación	Material de la columna	Material de la base
Pared de burbujas 1	Acrílico transparente	Acero inoxidable
Pared de burbujas 2	Acrílico transparente	Acrílico negro
Pared de burbujas 3	Acrílico transparente	Acero inoxidable
Pared de burbujas 4	Acrílico transparente	Acero inoxidable
Pared de burbujas 5	Acrílico transparente	Acrílico negro
Pared de burbujas 6	Espejo de plata	Metal
Pared de burbujas 7	Acrílico transparente	Acrílico
Pared de burbujas 8	Acrílico transparente	Acero inoxidable
Pared de burbujas 9	Acrílico transparente	Acero inoxidable

Fuente: Autores.

El material más utilizado para la fabricación de la columna de la pared de burbujas corresponde al acrílico, usado por su menor peso en comparación con el vidrio, su transmisión de la luz y fácil instalación.

El material más utilizado para la fabricación de la base de la pared de burbujas corresponde a acero inoxidable, sin embargo, se tiene algunas en acrílico.

Clasificación de la pared de burbujas según su tipo de luz.

Tabla 16: Pared de burbujas según su tipo de luz.

Clasificación	Tipo de luz
Pared de burbujas 1	LED
Pared de burbujas 2	LED
Pared de burbujas 3	LED RGB
Pared de burbujas 4	LED RGB
Pared de burbujas 5	LED
Pared de burbujas 6	LED Blanca
Pared de burbujas 7	LED
Pared de burbujas 8	LED
Pared de burbujas 9	LED

Fuente: Autores.

El tipo de luz preferido en la pared de burbujas es la luz LED por su gran variedad de colores y brillo que proporciona.

Clasificación de la pared de burbujas según su mando a distancia iluminación.

Tabla 17: Pared de burbujas según su mando a distancia iluminación.

Clasificación	Mando a distancia
Pared de burbujas 1	Sí
Pared de burbujas 2	Sí
Pared de burbujas 3	SI
Pared de burbujas 4	Sí
Pared de burbujas 5	Sí
Pared de burbujas 6	NO
Pared de burbujas 7	Sí
Pared de burbujas 8	Sí
Pared de burbujas 9	Sí

Fuente: Autores.

El mando a distancia es común en los diferentes modelos, lo cual da una ventaja para el cambio luces led de la pared de burbujas.

3. Marco teórico y conceptual

Ecuación de Bernoulli y conservación de la energía

La ecuación de Bernoulli está definida como:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.1)$$

Donde cada termino tiene su nombre denominado "carga".

Carga de presión: P/γ

Carga de elevación: Z

Carga de velocidad: $V^2/2g$

Para entendimiento del caso de la pared de burbujas se puede reescribir la ecuación de Bernoulli como:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 \quad (3.2)$$

En el caso de la pared de burbujas el fluido es estático por lo que:

$$V_1 = V_2 = 0 \quad (3.3)$$

Con esto la ecuación de Bernoulli queda:

$$P_1 + \rho gh_1 = P_2 + \rho gh_2 \quad (3.4)$$

En fluidos estáticos la presión aumenta con la profundidad por lo que la presión en la parte superior es cero, asumiendo P_1 como la parte superior del sistema:

$$\rho gh_1 = P_2 + \rho gh_2 \quad (3.5)$$

En la pared de burbujas el fluido se encuentra estático por lo que no hay cambio en la carga de elevación, con lo que se considera la altura total del sistema.

Para un fluido estático contenido en un recipiente se puede calcular la presión como se muestra en la ecuación:

$$P_2 = \rho gh \quad (3.6)$$

Para un fluido estático contenido en un recipiente se puede calcular la presión como se muestra en la ecuación.

Para hallar la potencia eléctrica de la bomba usamos la siguiente ecuación.(3.7)

$$P_W = \frac{P * Q}{\eta} \quad (3.7)$$

Donde:

P = Presión.

Q = Caudal.

η = Eficiencia.

Pérdidas de energía (ecuación de Darcy)

La ecuación para la salida del compresor y la entrada de la máquina está dada por:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.8)$$

Por lo tanto, la presión del compresor está definida por:

$$P_1 = P_2 + \gamma h_L \quad (3.9)$$

Donde h_L = Pérdidas de energía del sistema debido a la fricción en tuberías o pérdidas menores debido a válvulas y accesorios.

La ecuación de Darcy permite hallar las pérdidas h_L en el sistema:

$$h_L = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) + f_T \left(\frac{L_e}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (3.10)$$

El término L/D es la relación real de la longitud de la tubería sobre el diámetro de flujo.

Los valores de L_e/D equivalentes para las válvulas y los accesorios se encuentran en la figura 11:

Figura 11: Longitud equivalente en diámetros de tubería.

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doble de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

(Reproducido con autorización de Crane Co. *Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe*, artículo técnico núm. 410, 2011. Todos los derechos reservados).

Fuente: [1]

La velocidad del flujo se puede calcular como:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3.11)$$

El caudal se puede calcular como:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.12)$$

Cuando se conoce el peso específico del aire, es posible calcular la densidad a partir de:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (3.13)$$

La viscosidad dinámica de un gas no cambia mucho cuando cambia la presión. Aunque sean para la presión atmosférica normal. Se encuentra que la viscosidad dinámica es $\eta = 3.85 \times 10^{-7} \text{ Lb. s/ft}^2$.

Figura 12: Propiedades del aire.

Temperatura T (°F)	Densidad ρ (slugs/ft ³)	Peso específico γ (lb/ft ³)	Viscosidad dinámica η (lb-s/ft ²)	Viscosidad cinemática ν (ft ² /s)
-40	2.94×10^{-3}	0.0946	3.15×10^{-7}	1.07×10^{-4}
-20	2.80×10^{-3}	0.0903	3.27×10^{-7}	1.17×10^{-4}
0	2.68×10^{-3}	0.0864	3.41×10^{-7}	1.27×10^{-4}
20	2.57×10^{-3}	0.0828	3.52×10^{-7}	1.37×10^{-4}
40	2.47×10^{-3}	0.0795	3.64×10^{-7}	1.47×10^{-4}
60	2.37×10^{-3}	0.0764	3.74×10^{-7}	1.58×10^{-4}
80	2.28×10^{-3}	0.0736	3.85×10^{-7}	1.69×10^{-4}
100	2.20×10^{-3}	0.0709	3.97×10^{-7}	1.80×10^{-4}
120	2.13×10^{-3}	0.0685	4.06×10^{-7}	1.91×10^{-4}
140	2.06×10^{-3}	0.0662	4.16×10^{-7}	2.02×10^{-4}
160	1.99×10^{-3}	0.0641	4.27×10^{-7}	2.15×10^{-4}
180	1.93×10^{-3}	0.0621	4.38×10^{-7}	2.27×10^{-4}
200	1.87×10^{-3}	0.0602	4.48×10^{-7}	2.40×10^{-4}
220	1.81×10^{-3}	0.0584	4.58×10^{-7}	2.52×10^{-4}
240	1.76×10^{-3}	0.0567	4.68×10^{-7}	2.66×10^{-4}

Nota: Las propiedades del aire para condiciones estándar a nivel del mar, convertidas a partir del SI, son las siguientes:

Temperatura	59 °F
Presión	14.696 psi
Densidad	2.37×10^{-3}
Peso específico	.0764 lb/ft ³
Viscosidad dinámica	3.736×10^{-7} lb-s/ft ²
Viscosidad cinemática	1.57×10^{-4} ft ² /s

Fuente: [1]

Número de Reynolds:

$$N_r = \frac{VD\rho}{\eta} \quad (3.14)$$

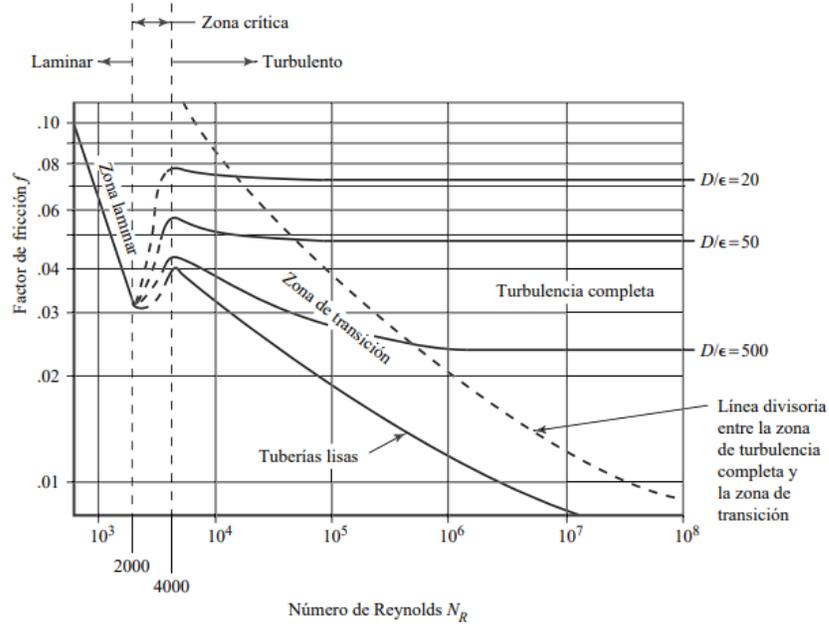
Figura 13: Valores de diseño de tubería según su rugosidad.

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo estirado; cobre, latón, acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil —revestido	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil —sin revestir	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien hecho	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: [1]

Para otros materiales de la tubería: Determine la rugosidad de la pared de la tubería a partir de la figura 13. Calcule D/ϵ . Utilice el diagrama de Moody, figura 14, para determinar f_T en la zona de turbulencia completa. [1]

Figura 14: Partes del diagrama de Moody.

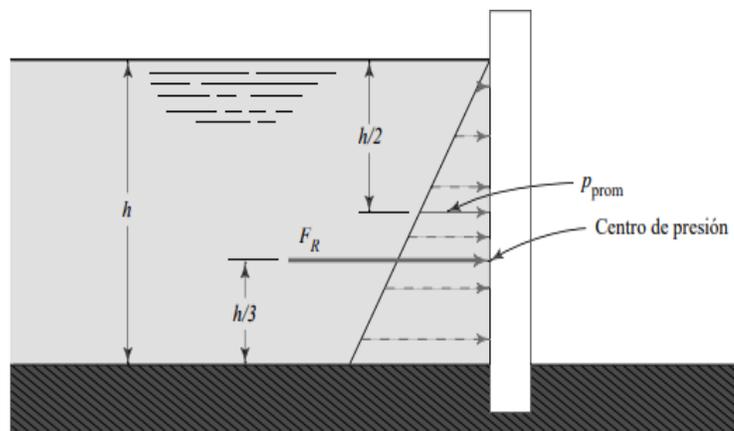


Fuente: [1]

Fuerza resultante sobre una pared rectangular por un fluido estático

La distribución de la presión que se muestra en la figura 15 indica que existe una mayor porción de la fuerza actuando sobre la parte inferior de la pared que en la parte superior. El centro de presión está en el centroide del triángulo de distribución de la presión, a un tercio de la distancia desde la parte inferior del muro. La fuerza resultante F_R actúa de manera perpendicular a la pared en este punto. A continuación, se presenta el procedimiento empleado para calcular la magnitud de la fuerza resultante debida a la presión del fluido y la ubicación del centro de presión en la pared rectangular. [1]

Figura 15: Fuerza sobre una pared vertical.



Fuente: [1]

Concepto PWM

PWM son las siglas de Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso). Para transmitir una señal, ya sea analógica o digital, se debe modular para que sea transmitida sin perder potencia o sufrir distorsión por interferencias.[8]

PWM es una técnica que se usa para transmitir señales analógicas variando el ciclo de trabajo de una señal digital para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. El ciclo de trabajo (duty cycle) de una señal periódica es el ancho de su parte positiva, en relación con el período. Está expresado en porcentaje.[8]

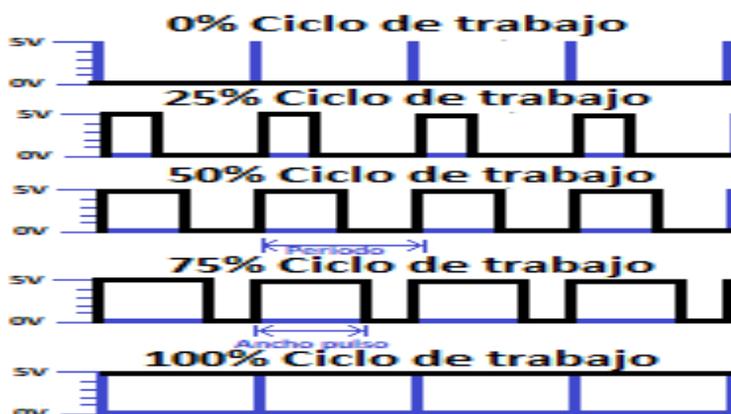
$$Duty\ cycle = \frac{t}{T} \quad (3.15)$$

t = tiempo en parte positiva.

T = Periodo, tiempo total.

Consiste en activar una salida digital durante un determinado tiempo y mantenerla apagada durante el resto, generando así pulsos positivos que se repiten de manera constante.

Figura 16: Ciclo de trabajo PWM.



Fuente: Autores.

$$V_{promedio} = (5V - 0V) * \frac{Duty\ cycle}{100} \quad (3.16)$$

Por ejemplo, si con una tensión Vcc de 5V se quiere una PWM de 1V, se generará una señal que el 20% del tiempo valdrá 5V y el 80% restante 0V como se indica en la ecuación:(3.15)

$$V_{promedio} = (5V - 0V) * \frac{Duty\ cycle}{100}$$

Remplazando por los valores del ejemplo:

$$1V = (5V - 0V) * \frac{Duty\ cycle}{100}$$

$$Duty\ cycle = 1V * \frac{100}{(5V - 0V)}$$

$$Duty\ cycle = \frac{100}{5V} = 20$$

$$Duty\ cycle = 20\%$$

Válvula de control neumática

Una válvula de control direccional determina el paso de aire por entre sus vías abriendo, cerrando o cambiando sus conexiones internas. Las válvulas se definen en términos de número de vías, número de posiciones, su posición normal (no activada) y método de activación.

Los primeros dos puntos se expresan normalmente con los términos 5/2, 3/2, 2/2, etc. La primera cifra indica el número de vías mientras que la segunda se refiere al número de posiciones.[22]

Figura 17: Símbolos gráficos para equipos neumáticos. (DIN ISO1219-1, 03/96)

Simbología	Descripción
	Válvula de 2 vías - 2 posiciones, normalmente cerrada
	Válvula de 2 vías - 2 posiciones, normalmente abierta
	Válvula de 3 vías - 2 posiciones, normalmente cerrada
	Válvula de 3 vías - 2 posiciones, normalmente abierta
	Válvula de 3 vías - 3 posiciones, centro cerrado
	Válvula de 4 vías - 2 posiciones
	Válvula de 4 vías - 3 posiciones, centro cerrado

Fuente: Autores.

Según la norma ISO 1219 se establece la identificación de los orificios de las válvulas bien sea de manera numérica o alfabética:

Figura 18: Designación de conexiones válvulas.

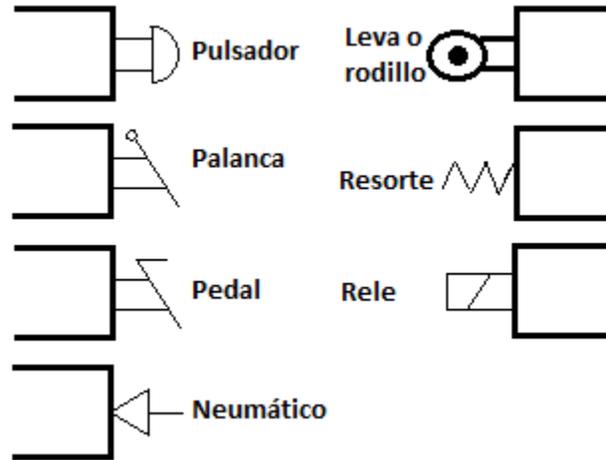
Designación de conexiones	Letras	Números
Conexión de trabajo	A, B, C ...	2, 4, 6 ...
Conexión de presión, alimentación de energía	P	1
Escape, retornos	R, S, T ...	3, 5, 7 ...
Descarga	L	
Conexiones de mando	X, Y, Z ...	10, 12, 14 ...

Fuente: Autores.

Tipos de mandos

En la figura 19 se muestra los diferentes tipos de accionamientos que logran conseguir el cambio de configuración interna de las electroválvulas:

Figura 19: Simbología de mandos de circuitos neumáticos.



Fuente: Autores.

Las válvulas pueden ser accionadas de forma manual o electrónicamente:

- Mandos manuales: el pulsador y el pedal se utilizan para cambiar la posición.
- Finales de carrera: este tipo de mandos tiene un accionamiento (palanca, leva o rodillo, muelle) que es accionado por un objeto que lo empuja haciendo que se mantenga en dicha posición mientras se produzca el contacto.
- Accionamientos secundarios: Este tipo de accionamiento es por medio de una señal eléctrica que alimenta a un relé o mediante la inyección de una salida de aire a presión.[5]

4. Diseño preliminar de la pared de burbujas

4.1 Requisitos del diseño

La pared de burbujas debe cumplir con una serie de requisitos establecido por el cliente:

- La pared de burbujas debe contar con mínimo dos secuencias en la generación de burbujas de aire.
- La iluminación debe tener múltiples colores que ayuden con el aspecto de las secuencias de las burbujas de aire.
- El compresor debe tener la capacidad de generar suficientes burbujas.
- La estructura debe ser firme y confiable para el fácil transporte sin que surjan daños internos o externos en la pared de burbujas.
- La pared de burbujas debe funcionar sin fugas de agua.

Criterios de Selección: Validando los requerimientos del cliente establecidos en el primer capítulo se elabora la siguiente lista de criterios:

Tamaño: Los componentes deben almacenarse dentro de la pared de burbujas, y el tamaño ser igual o próximo a las medidas solicitadas por el cliente.

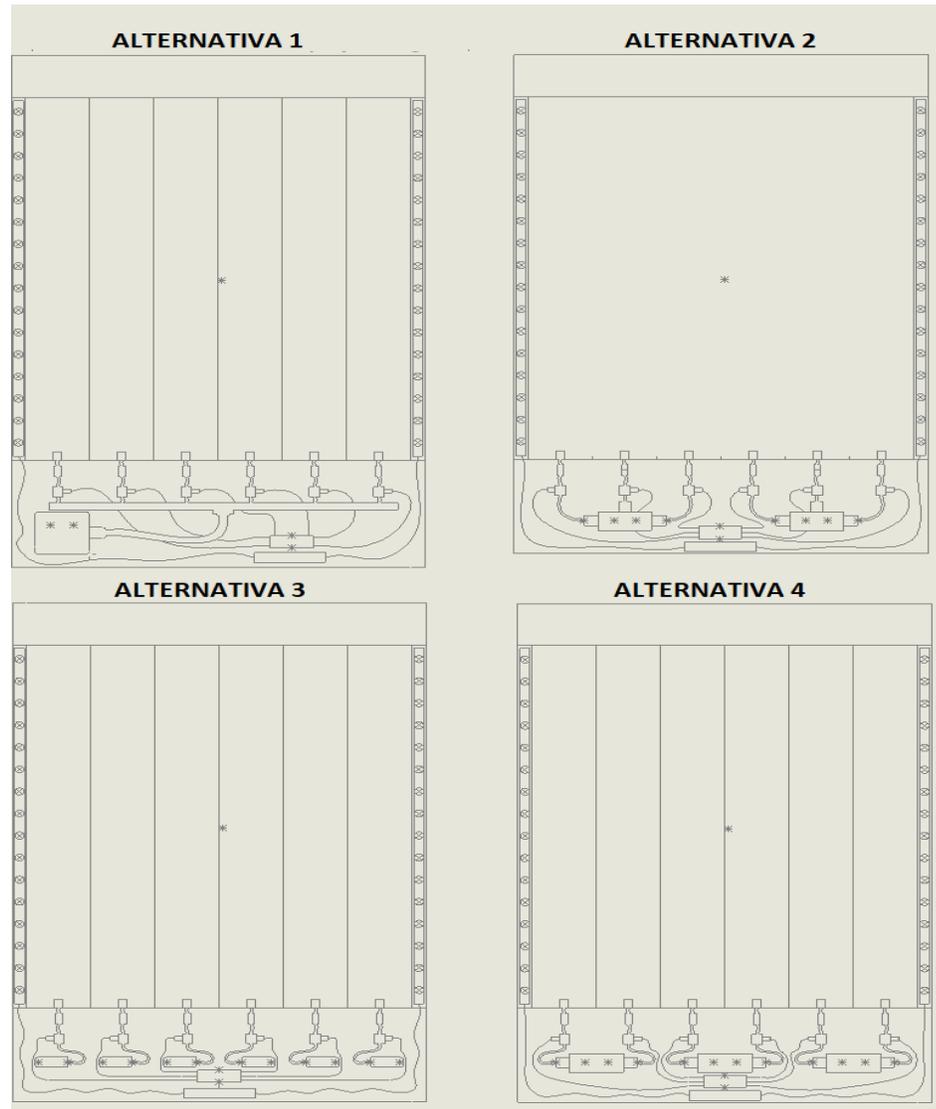
Control: Debería tener más de dos secuencias de generación de burbujas preestablecidas.

Costo: No debería superar el precio estándar del mercado establecido en el primer capítulo, para tener la facilidad de ser adquirido por empresas que estén surgiendo en el mercado de fiestas y eventos.

Confiabilidad: No debería tener fugas de agua y no presentar falla en la operación.

Uniformidad: Poca vibración en su funcionamiento.

Figura 20: Alternativas de paredes de burbujas.



Fuente: Autores, SolidWorks.

Alternativa 1

La característica principal de la primera alternativa es que cuenta con un compresor de una salida, para inyectar aire en las seis celdas de acrílico.

Alternativa 2

Las dos características de la segunda alternativa es que cuenta con dos compresores de tres salidas, para inyectar aire y cuenta con una sola celda de acrílico.

Alternativa 3

La característica principal de la tercera alternativa es que cuenta con seis compresores de una salida, para inyectar aire en las seis celdas de acrílico.

Alternativa 4

La característica principal de la cuarta alternativa es que cuenta con tres compresores de dos salidas, para inyectar aire en las seis celdas de acrílico.

4.2 Decisión de diseño de la pared de burbujas

En la figura 20 se presentan las 4 alternativas para el diseño de la pared de burbujas. La tabla 18 es una matriz de decisión con respecto a las 4 alternativas. En las columnas se encuentran diferentes tipos de criterios donde cada uno tiene una ponderación, la cual se multiplicará por una calificación de 1 a 10. Este resultado se coloca en la parte inferior del recuadro y se sumarán en la columna rango; la alternativa que más valor tenga en la columna rango será la adecuada para este proyecto:

Tabla 18: Matriz de decisión diseño pared de burbujas.

	Tamaño	Control	Costo	Confiabilidad	Uniformidad	Rango
Factor de ponderación	0,35	0,25	0,2	0,1	0,1	1
Alternativa 1	6 2,1	9 2,25	10 2	9 0,9	7 0,7	7,95
Alternativa 2	10 3,5	5 1,25	9 1,8	10 1	9 0,9	8,45
Alternativa 3	8 2,8	10 2,5	7 1,4	8 0,8	8 0,8	8,3
Alternativa 4	9 3,15	9 2,25	8 1,6	8 0,8	8 0,8	8,6

Fuente: Autores.

La alternativa 1 tiene una calificación alta en el criterio costo, pero una calificación baja en el criterio de tamaño, ya que al tener un solo compresor la pared de burbujas debería aumentar el tamaño para ser almacenado dentro de esta.

La alternativa 2 tiene la calificación más alta en el criterio confiabilidad, ya que al tener menos componentes y una sola columna la operación es más simple y segura. Sin embargo, se ve afectada la calificación de control debido a que las burbujas se van a dispersar por toda la columna de acrílico, afectando así la visibilidad de las secuencias preestablecidas.

La alternativa 3 tiene la calificación más alta en el criterio de control, ya que al tener 6 compresores es posible manejar cada columna de burbuja de manera independiente, pero tiene una calificación baja por el criterio de costo.

La alternativa 4, a pesar de no tener un criterio que sobresalga de las demás alternativas, es la mejor opción para realizar el diseño de la pared de burbujas de acuerdo a la matriz de decisión tabla 18.

4.3 Enunciado básico del problema

La empresa Eventos Revolution necesita crear ambientes en los que el cliente se sienta a gusto, cómodo y conforme dependiendo del tipo de evento al que esté asistiendo, ya sea una boda, una fiesta de cumpleaños, eventos empresariales, etc. Una buena forma de lograr lo anterior es con la ayuda de la pared de burbujas de agua, por su capacidad de generar ambientes de confort. La pared de burbujas a diseñar cuenta con unas

dimensiones aproximadas de 75 cm de altura y 60 cm de ancho, junto con un sistema de aire comprimido e iluminación, los cuales deben estar programados para crear diferentes secuencias y la iluminación será suministrada por tiras LED.

4.4 Base o soporte estructura

La estructura debe contar con un espacio que almacene y proteja los elementos internos que contribuyen al correcto funcionamiento de la pared de burbujas como el compresor de aire, mangueras, válvulas, etc. El espacio para los elementos se asigna a la base de la pared de burbujas para una mayor estabilidad y firmeza.

La estructura debe proteger la columna de la pared de burbujas, manteniendo una apariencia estética agradable a la vista.

La estructura cuenta con espacio en ambos costados para colocar las tiras LED, manteniéndose aisladas de un posible fallo por contacto con el agua.

Para la estructura que va soportar la pared de burbujas se usará lámina galvanizada calibre 18.

4.5 Compresor

La pared de burbujas será dividida en 6 columnas, por lo que se usa 3 compresores con doble salida, sin embargo, se debe calcular la presión y caudal requerido para poder generar las burbujas dentro de cada columna.

Debido a que el sistema se controla de manera independiente por cada columna y será alimentado por una salida independiente del compresor. Se tiene la facilidad de realizar los cálculos para una sola columna y ser replicado en las siguientes.

Para calcular la presión hidrostática en la parte inferior de la celda se usa la ecuación (3.6):

$$P = \rho_{agua} \cdot g \cdot h \quad (3.6)$$

Donde:

ρ = Densidad del agua = $997\text{kg}/\text{m}^3$ [37].

g = Aceleración de gravedad = $9.8\text{m}/\text{s}^2$.

h = Altura de la columna.

Al remplazar se tiene:

$$P = \frac{997\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{9.8\text{m}}{\text{s}^2} \cdot h$$

La altura de la columna aún no se tiene definida, sin embargo, en el diseño se tiene en cuenta las medidas dadas por el cliente 75 cm:

$$P = \frac{997\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{9.8\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.75\text{m} = \frac{7.327,95\text{N}}{\text{m}^2} = 7.327,95\text{Pa}$$

Por lo cual se tiene una presión de 7.33kPa o 1.0631 PSI en el punto más profundo de la columna de agua.

Para hallar el caudal se usa la ecuación (3.12):

$$Q = \frac{V}{t} \tag{3.12}$$

Donde:

Q = Caudal.

V = Volumen de la columna de burbujas.

t = Tiempo de apertura electroválvula.

Para determinar el caudal se realiza un muestreo del volumen generado de la columna de burbujas con una prueba practica en una celda de acrílico llena de agua con medidas de 70 cm de alto, 9 cm de largo y 3 cm de ancho, con la apertura de la electroválvula durante 0.35 segundo, 1 segundos y 2 segundos.

Apertura de electroválvula durante 0.35 segundo

Se promedian los datos obtenidos de las pruebas realizada dando los siguientes resultados:

Largo = 8.8 cm.

Ancho = 2.5 cm.

Alto = 13.50.

Con estos valores hallamos el volumen.

$$V = \text{Largo} \cdot \text{Ancho} \cdot \text{Alto}$$

$$V = 8.8\text{cm} \cdot 2.5\text{cm} \cdot 13.5\text{cm}$$

$$V = 297\text{cm}^3$$

Ya que el caudal se expresa en m^3 se hace la conversión:

$$V = 297\text{cm}^3 * \left(\frac{1\text{m}^3}{1.000.000\text{cm}^3} \right) = 0.000297\text{m}^3$$

Apertura de electroválvula durante 1 segundo

Se promedian los datos obtenidos de las pruebas realizada dando los siguientes resultados:

Largo = 8.8 cm.

Ancho = 2.5 cm.

Alto = 31.2 cm.

Con estos valores hallamos el volumen.

$$V = \text{Largo} \cdot \text{Ancho} \cdot \text{Alto}$$

$$V = 8.8\text{cm} \cdot 2.5\text{cm} \cdot 31.2\text{cm}$$

$$V = 686.4\text{cm}^3$$

Ya que el caudal se expresa en m^3 se hace la conversión:

$$V = 686.4cm^3 * \left(\frac{1m^3}{1.000.000cm^3} \right) = 0.0006864m^3$$

Apertura de electroválvula durante 2 segundo

Se promedian los datos obtenidos de las pruebas realizada dando los siguientes resultados:

Largo = 8.8 cm.

Ancho = 2.5 cm.

Alto = 48.75 cm.

Con estos valores hallamos el volumen.

$$\begin{aligned} V &= Largo. Ancho. Alto \\ V &= 8.8cm. 2.5cm. 48.75cm \\ V &= 1072.5cm^3 \end{aligned}$$

Ya que el caudal se expresa en m^3 se hace la conversión:

$$V = 1072.5cm^3 * \left(\frac{1m^3}{1.000.000cm^3} \right) = 0.0010725m^3$$

Ya que las burbujas generadas no son uniformes y no ocupan el 100% del volumen de la columna. Se determina que el volumen total de la columna de burbujas es 50% aire y 50% agua, por lo cual se multiplica por 0.5:

$$\begin{aligned} V_{0.35\ seg} &= 0.0002970m^3. 0.5 = 0.0001485m^3 \\ V_{1\ seg} &= 0.0006864m^3. 0.5 = 0.0003432m^3 \\ V_{2\ seg} &= 0.0010725m^3. 0.5 = 0.00053625m^3 \end{aligned}$$

Remplazando los valores en la ecuación 3,12 se tiene que:

$$Q_{0.35\ seg} = \frac{0.0001485m^3}{0.35s} = \frac{0.0004243m^3}{s}$$

$$Q_{1\text{ seg}} = \frac{0.0003432\text{m}^3}{1\text{s}} = \frac{0.0003432\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{2\text{ seg}} = \frac{0.00053625\text{m}^3}{2\text{s}} = \frac{0.0002681\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se realiza el promedio entre los 3 datos obtenidos:

$$Q_{Total} = \frac{Q_{0.35\text{ seg}} + Q_{1\text{ seg}} + Q_{2\text{ seg}}}{3}$$

$$Q_{Total} = \frac{0.0004243\text{m}^3 + 0.0003432\text{m}^3 + 0.0002681\text{m}^3}{3}$$

$$Q_{Total} = \frac{0.0003452\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para hallar la potencia demandada del compresor se usa la siguiente formula:

$$P_W = \frac{P * Q}{\eta} \quad (3.7)$$

$$P_{demandada} = \frac{\frac{7.327,95\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{0.0003452\text{m}^3}{\text{s}}}{1} = \frac{2.5296\text{Nm}}{\text{s}}$$

$$P_{demandada} = \frac{2.5296\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{2.5296\text{J}}{\text{s}} = 2.5296\text{W}$$

$$P_{demandada} = 2.5296\text{W}$$

Siendo la potencia mínima requerida para la generación de burbujas dentro de la columna de agua.

4.6 Columnas de acrílico

La pared de burbujas debe tener la capacidad de almacenar una determinada cantidad de agua sin que existan fugas que puedan afectar los componentes eléctricos y electrónicos de la pared de burbujas. De acuerdo al diseño preliminar escogido en este capítulo, la pared de burbujas cuenta con seis columnas para generar efectos visuales que den gusto al cliente, esta a su vez debe contar con orificios para los dispersores que permiten la generación de burbujas en cada una de las columnas, de acuerdo con la información

recaudada en el estado del arte se utilizara acrílico de 4mm. Según la ficha técnica del proveedor tiene las siguientes características:

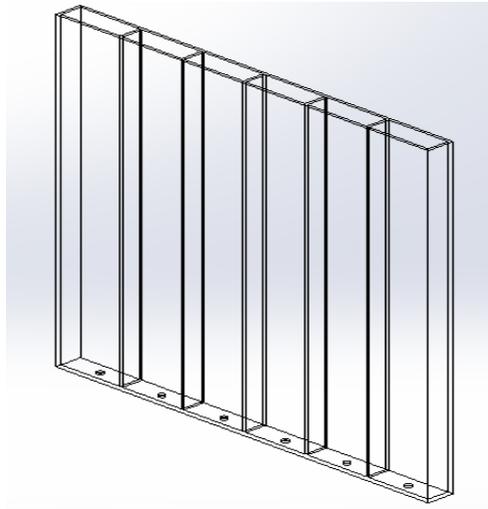
Tabla 1919: Propiedades lámina acrílica.

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Resistencia a la tracción	10.500 PSI
Resistencia a la flexión	16.000 PSI
Resistencia a la compresión	18.000 PSI
Módulo de elasticidad	450.000 PSI
Resistencia a la cizalladura	9.000 PSI

Fuente: Autores.

Ya que la presión dentro de la celda calculada en este capítulo es de 1.0631 PSI. Se determina que la lámina de acrílico es adecuada.

Figura 21: Diseño preliminar columnas de acrílico.



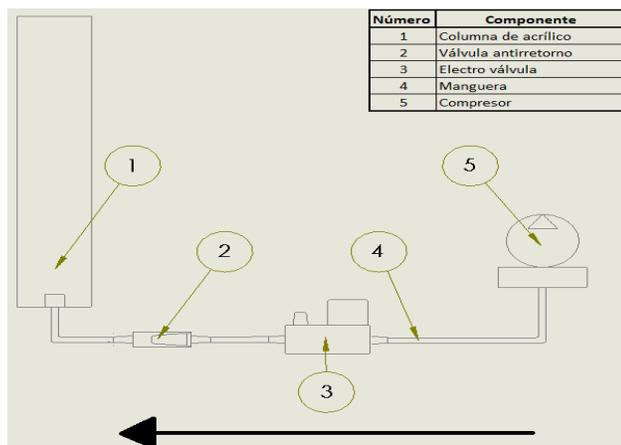
Fuente: Autores, SolidWorks

4.7 Electroválvulas

Las electroválvulas deben tener un rango de presión mayor 7,33kPa ya que esta presión es la mínima para superar la presión interna de la celda. Es importante aclarar que la electroválvula debe tener como mínimo 3 vías, la vía adicional permite que cuente con un salida de aire cuando no se esté inyectando hacia la pared de burbujas, Se recomienda que la alimentación de estas electroválvulas sea de 5V, pues es más sencillo conseguir en el mercado fuentes de este voltaje.

4.8 Secuencia de las burbujas

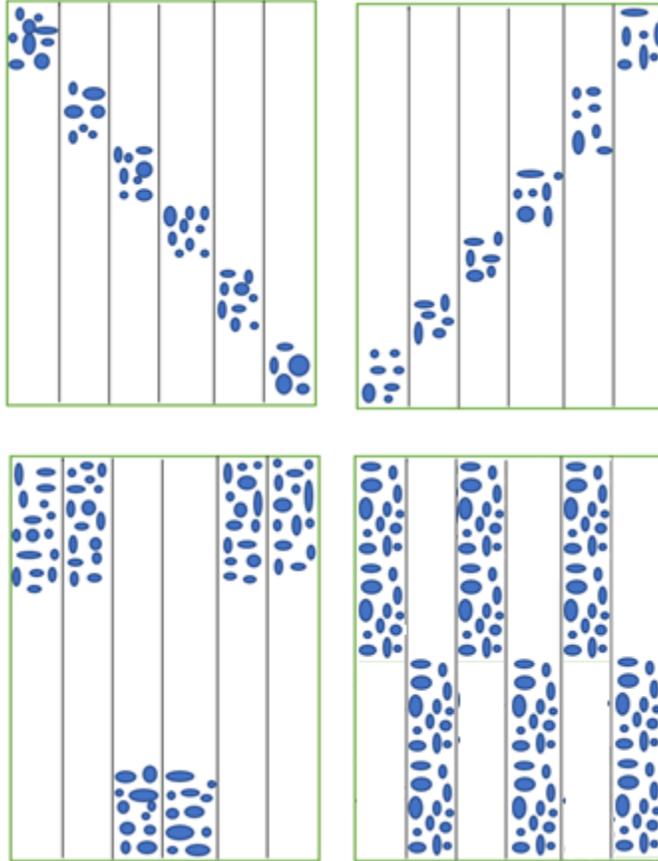
Figura 222: Representación del proceso neumático para la generación de burbujas.



Fuente: Autores, SolidWorks

Las secuencias en la pared de burbujas es la manera en la que se expulsarán las burbujas de aire creando diferentes patrones y lograr múltiples efectos visuales, para esto se utilizarán 4 secuencias como se muestra a continuación:

Figura 233: Secuencias de las burbujas.



Fuente: Autores.

En la figura 23 se observan las secuencias diseñadas para el cliente. Cada secuencia se muestra dos veces y luego pasa a la siguiente, una vez finalicen las 4 secuencias inicia nuevamente con la primera secuencia.

4.9 Iluminación

La iluminación se proporciona por medio de luces LED, las cuales pueden ser instaladas de manera horizontal o vertical, para este diseño serán instaladas de manera vertical en los bordes del soporte estructural de la pared de burbujas. También debe tener la capacidad de iluminar toda la columna de burbujas con múltiples colores para generar un buen efecto y llamar la atención del usuario, a su vez, debe ser fácil de instalar. Ya que la tira LED debería ser programable para poder realizar un juego de luces en compañía de cada secuencia de generación de burbujas, es importante encontrar un tira de Leds que se pueda controlar de manera independiente, para esto la mejor opción es la referencia WS2812B.

5. Diseño del detalle

Para el diseño de detalle se selecciona los elementos que se utilizan con el fin de tener las medidas de los elementos y dimensionar la columna y la estructura de la pared de burbujas.

5.1 Selección dispositivo controlador

Según el diseño preliminar del controlador y los requisitos mínimos de la pared de burbujas, se utiliza por temas de lenguaje de programación, costo y la facilidad de conexionado a otros componentes una tarjeta Arduino, la cual tiene diferentes modelos que se pueden utilizar para este proyecto.

Arduino UNO:

Figura 244: Arduino UNO.



Fuente: [10]

Tabla 20: Características Arduino UNO.

Arduino UNO	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de entrada	7-12V
Voltaje de operación	5V
Entradas analógicas	6
Pines	14 pines digitales E/S (6 salidas PWM)
Memoria Flash	32k
Reloj	16MHz de velocidad
Peso	0,04kg

Fuente: Autores.

Arduino UNO contiene 6 entradas analógicas, Microcontrolador ATmega328, 14 pines digitales E/S (Entrada/Salida) de los cuales 6 pueden ser utilizados como salida PWM estos se identifican con símbolo de alterna (~) los pines número 3, 5, 6, 9, 10 y 11.

Arduino Leonardo:

Figura 255: Arduino LEONARDO.



Fuente: [11]

Tabla 211: Características Arduino LEONARDO.

Arduino LEONARDO	
Microcontrolador	ATmega32U4
Voltaje de entrada	7-12V
Voltaje de operación	5V
Entradas analógicas	6
Pines	20 pines digitales E/S (7 salidas PWM)
Memoria Flash	32k
Reloj	16MHz de velocidad
Peso	0,03kg

Fuente: Autores.

Arduino Leonardo contiene 6 entradas analógicas, Microcontrolador ATMEGA32U4, 20 pines digitales E/S (Entrada/Salida) de los cuales 7 pueden ser utilizados como salida PWM estos se identifican con símbolo de alterna (~) pines número 3, 5, 6, 9, 10, 11 y 13.

Arduino Mega 2560:

Figura 266: Arduino MEGA 2560.



Fuente: [12]

Tabla 222: Características Arduino MEGA 2560.

Arduino MEGA 2560	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de entrada	7-12V
Voltaje de operación	5V
Entradas analógicas	16
Pines	54 pines digitales E/S (7 salidas PWM)
Memoria Flash	256k
Reloj	16MHz de velocidad
Peso	0,05kg

Fuente: Autores.

Arduino Mega 2560 contiene 16 entradas analógicas, Microcontrolador ATmega2560, 54 pines digitales E/S (Entrada/Salida) de los cuales 16 pueden ser utilizados como salida PWM pines número 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 44, 45 y 46.

Según las 3 referencias de las tarjetas que se revisaron, se usará una matriz de decisión para elegir la mejor opción para este proyecto.

Tabla 233: Matriz de decisión dispositivo controlador.

	Costo	Desempeño	Salidas	Rango
Factor de ponderación	0,5	0,3	0,2	1
Arduino UNO	10	7	10	9,1
Arduino LEONARDO	8	8	10	8,4
Arduino MEGA	4	10	10	7

Fuente: Autores.

De acuerdo a la matriz de decisión el Arduino UNO, es el más adecuado para este proyecto, ya que como se evidencio en el diseño preliminar se necesitan 6 salidas digitales y una salida PWM para la iluminación LED, las otras tarjetas estarían sobre dimensionadas en salidas.

5.2 Selección iluminación LED

Figura 277: Tira LED WS2812BALL.



Fuente: [27]

Según el diseño preliminar la tira LED WS2812B es la más indicada para este proyecto ya que permite programar cada led de manera independiente mediante la salida PWM.

Algunas de las características principales de esta tira de LED es la siguiente:

- Cada LED tiene un circuito integrado que maneja 3 Leds interno de color rojo, verde y azul,(RGB) la combinación de estos Leds permite representar cualquier color.
- Un integrado por cada LED con la capacidad de almacenar 3 bytes.
- Debido al integrado permite controlar cada LED de manera independiente.
- Cuenta con 3 entradas, Alimentación(5V), señal(DIN) y tierra (GDN).
- Permite controlar la intensidad de cada LED.
- La corriente máxima de cada LED es de 60 mA, la cual se tiene al obtener el color blanco (Encendiendo los 3 Leds internos)
- Voltaje 5 Vcc.

- Chip SMD 5050.

5.3 Selección compresor de aire

Según el diseño preliminar, el compresor de aire debe ser de membrana y con dos salidas de aire con una presión mínima de 7.33kPa y una potencia de 2.5296W con respecto a esto revisaran las siguientes 3 marcas de compresores para determinar cuál es la más adecuada.

RESUN AC9902:

Figura 288: Compresor RESUN AC9902.



Fuente: [13]

En la tabla 24 se presentan las características principales de esta bomba de aire.

Tabla 244: Características bomba de aire RUSEN AC9902.

RESUN AC9902	
Flujo de aire	2.0Lt/Min (X2)
Presión	> 0.012 MPa
Consumo	4.5W
Tamaño	16,6 x 9,7 x 8 cm
Precio	\$ 76.900

Fuente: Autores.

El flujo de aire es de 2 Lt/Min por cada salida para un total de 4 Lt/Min, el tamaño es adecuado para poder almacenarlo en la base de la pared de burbujas.

Unicliffe UL40:

Figura 2929: Compresor Unicliffe UL40.



Fuente: [14]

En la tabla 25 se presentan las características principales de esta bomba de aire.

Tabla 255: Características bomba de aire RUSEN AC9902.

Unicliffe UL40	
Flujo de aire	2.0Lt/Min (X2)
Presión	> 0.016 MPa
Consumo	4W
Tamaño	16 x 12 x 8 cm
Precio	\$ 192.900

Fuente: Autores.

Según las características se tiene una presión adecuada para generar un agradable efecto de la generación de burbujas sin embargo el costo es alto teniendo en cuenta que se deben comprar 3 unidades.

Xilong AP-002:

Figura 300: Compresor Xilong AP-002.



Fuente: [15]

En la tabla 26 se presentan las características principales de esta bomba de aire.

Tabla 266: Características bomba de aire Xilong AP-002.

Xilong AP-002	
Flujo de aire	2.5Lt/Min (X2)
Presión	> 0.02 MPa
Consumo	5 W
Tamaño	13 x 8 x 6 cm
Precio	\$ 46.900

Fuente: Autores.

Según las características, hay un excelente flujo de aire y presión y el tamaño es perfecto para el almacenamiento en la base de la pared de burbujas.

Para elegir la mejor opción para este proyecto se utiliza una matriz de decisión con los criterios de costo, presión y consumo.

Tabla 277: Matriz de decisión compresor.

	Costo	Presión	Consumo	Rango
Factor de ponderación	0,5	0,3	0,2	1
RESUN AC9902	9 4,5	7 2,1	8 1,6	8,2
Uniclfe UL40	7 3,5	8 2,4	10 2	7,9
Xilong AP-002	10 5	10 3	7 1,4	9,4

Fuente: Autores.

La referencia AC9902 cuenta con la presión más baja con respecto a las otras alternativas.

La referencia UL40 tiene el precio más elevado con respecto a las otras alternativas, pero el consumo es el más bajo.

La referencia AP-002 tiene el consumo más elevado, pero la presión y el precio es el mejor con respecto a las otras alternativas

De acuerdo a la matriz de decisión el compresor Xilong AP-002 es el más adecuado para este proyecto, por temas de costo y por la presión de entrega.

5.4 Selección electroválvulas

Según el diseño preliminar, las electroválvulas deben ser alimentadas por una fuente de 5V y permitir 7.33kPa de presión como mínimo, por ende, se escogieron las siguientes marcas y referencias de electroválvulas para determinar la mejor opción.

ZHV-0519 L/S

Figura 311: Válvula ZHV-0519 L/S.



Fuente: [16]

En la tabla 28 se presentan las características principales de esta electroválvula.

Tabla 288: Características electroválvula ZHV-0519 L/S.

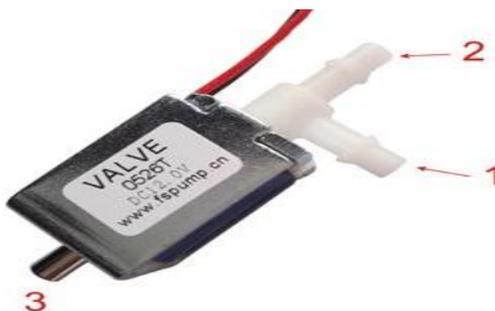
ZHV-0519 L/S	
Corriente	220mA
Alimentación	6V
Rango de presión	0-50kPa
Diámetro salida de aire	4mm
Tamaño	36 x 20,7 x 12 mm
Precio	\$ 45.000

Fuente: Autores.

Según las características de la referencia ZHV-0519 L/S se puede analizar que se tiene una presión adecuada según lo entregado por el compresor.

FSPUMP 0526T:

Figura 322: Válvula FSPUMP 0526T.



Fuente: [17]

En la tabla 29 se presentan las características principales de electroválvula.

Tabla 299: Características electroválvula FSPUMP 0526T.

FSPUMP 0526T:	
Corriente	320mA
Alimentación	6V
Rango de presión	0-78kPa
Diámetro salida de aire	4mm
Tamaño	51,6 x 20,2 x 16,8 mm
Precio	\$ 98.570

Fuente: Autores.

Según las características de la referencia FSPUMP 0526T, se encuentra que el precio es algo elevado, pero el rango de presión permite que el compresor pueda trabajar bien.

Airtac 3V110-06-NC

Figura 333: Válvula Airtac 3V110-06-NC.



Fuente: [18]

En la tabla 30 se presentan las características principales de esta electroválvula.

Tabla 30: Características electroválvula AIRTAC 3V110-06-NC.

AIRTAC 3V110-06-NC	
Corriente	104mA
Alimentación	24V
Rango de presión	150-799kPa
Diámetro salida de aire	3,17mm
Tamaño	85.5 x 53.5 x 18 mm
Precio	\$ 64.700

Fuente: Autores.

Según las características de la referencia AIRTAC 3V110-06-NC, la alimentación es a 24V, esto afectaría como tal todo el diseño eléctrico ya que se plantea instalar una fuente de voltaje de 5V.

A continuación, se utilizará una matriz de decisión para elegir la mejor opción para este proyecto.

Tabla 311: Matriz de decisión electroválvula.

	Costo	Presión	Voltaje	Tamaño	Consumo	Rango
Factor de ponderación	0,4	0,2	0,15	0,15	0,1	1
ZHV-0519 L/S	10 4	10 2	10 1,5	10 1,5	7 6	7,5
FSPUMP 0526T	8 3,2	10 2	10 1,5	8 1,2	5 0,5	6,4
AIRTAC 3V110-06-NC	9 3,6	6 1,2	9 1,35	8 1,2	10 1	6

Fuente: Autores.

La alternativa de la válvula ZHV-0519 tiene un buen precio y un tamaño pequeño que facilita el almacenamiento dentro de la pared de burbujas, sin embargo, el consumo es elevado en comparación con la referencia 3V110-06-NC.

La alternativa de la válvula FSPUMP0526T, tiene un voltaje adecuado, a pesar que el tamaño no es tan pequeño, es ideal para poder almacenar las 6 electroválvulas dentro de

la pared de burbujas, pero el consumo es bastante alto en comparación con las otras alternativas.

La alternativa de la válvula FSPUMP0526T tiene un consumo muy bajo lo cual es perfecto para este proyecto, pero la alimentación es a 24V.

De acuerdo a la matriz de decisión la electroválvula ZHV-0519 es la más adecuada para este proyecto.

5.5 Diseño estructura o base

Analizando los requerimientos de medidas establecidos por el cliente en conjunto con los elementos eléctricos y neumáticos seleccionados en este capítulo, la estructura o base estará dividida en 3 partes.

-Parte Inferior

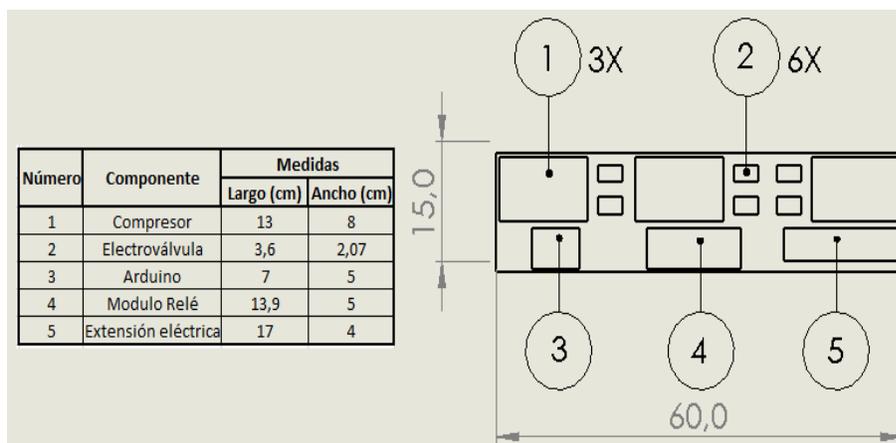
Según el estado de arte, todos los elementos eléctricos están almacenados dentro de la pared de burbujas, lo que muestra que se debe tener un espacio en el que se puedan almacenar los 3 compresores que son los elementos eléctricos con mayor altura.

El compresor seleccionado previamente es un Xilong AP-002 que tiene una altura de 6 cm. Ya que la altura de la base o compartimiento no puede ser menor a 6 cm, se toma la decisión de dejar la altura de la base en 16 cm para facilitar la instalación de los componentes eléctricos y garantizar que la conexión de la parte neumática se realice sin doblar las mangueras.

Debido a que en el proyecto no hay un requisito de medida específica para el ancho, se pueden colocar los elementos en paralelo y cumplir con el requerimiento del cliente de que este sea de 60 cm.

Para determinar el ancho de la base inferior es necesario analizar los elementos previamente seleccionados e identificar la posición más adecuada como se representa en la figura 34.

Figura 344: Vista superior elementos eléctricos base de pared de burbujas.



Fuente: Autores.

Utilizando las medidas de los componentes previamente seleccionados, se organizará en un espacio de 60 cm de largo que es la medida establecida por el cliente para obtener una medida aproximada de ancho, lo que da que la medida mínima es de 15 cm.

Parte Central

Para que las 4 secuencias de generación de burbujas establecidas puedan ser exhibidas en su totalidad cada columna como mínimo debe tener 60 cm de altura, ya que el ascenso de las burbujas de acuerdo a las mediciones experimentales es de 3 segundos, al contar con menos altura dificulta que las 4 secuencias puedan ser totalmente apreciadas.

En la parte central se deben tener dos soportes laterales para mantener la columna de acrílico dentro de la estructura de manera fija; estos soportes sirven para la instalación de la tira de Leds, la cual está encargada de iluminar toda la columna de acrílico, por ende, la altura de la parte central de la estructura debe ser de 60 a 66 cm, con un ancho entre 6 a 8 cm para que permita sostener la columna de acrílico y de firmeza a la estructura.

Parte Superior.

Como se evidencia en el estado del arte y en el diseño preliminar es necesario que la parte superior tenga una viga transversal que cierre la estructura y permita cubrir la parte superior de la columna de acrílico, que es donde se realizará el llenado de agua dentro de

las columnas. Para que la pared guarde una apariencia estética las medidas son de altura 8 a 12 cm y un ancho de 10 a 12 cm.

Dimensiones

Para hallar la altura total se suman todas las alturas:

$$Altura_{(total)} = Altura_{(parte\ inferior)} + Altura_{(parte\ central)} + Altura_{(parte\ superior)}$$

$$Altura_{(total)} = 16\text{ cm} + 66\text{ cm} + 12\text{ cm}$$

$$Altura_{(total)} = 94\text{ cm}$$

Ya que el ancho es diferente en las 3 etapas se discrimina a continuación:

$$Ancho_{(parte\ inferior)} = 15\text{ cm}$$

$$Ancho_{(parte\ central)} = 8\text{ cm}$$

$$Ancho_{(parte\ superior)} = 12\text{ cm}$$

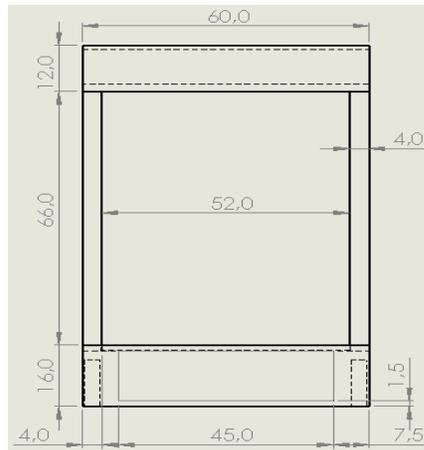
Y debido a que el largo va ser igual en las 3 partes de la base se tiene que:

$$Largo_{(total)} = 60\text{ cm}$$

Estas medidas se usan en la elaboración del plano de la base o estructura de la pared de burbujas.

Vista frontal

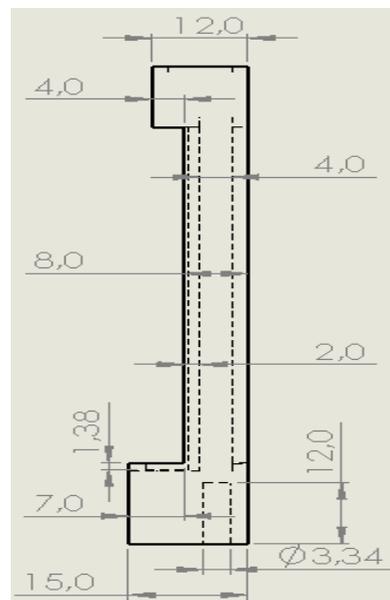
Figura 355: Plano estructura o base vista frontal.



Fuente: Autores, SolidWorks

Vista derecha

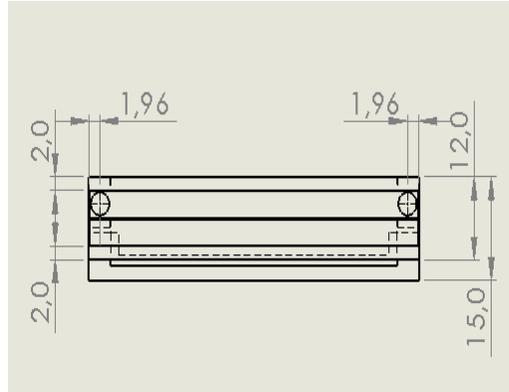
Figura 366: Plano estructura o base vista derecha.



Fuente: Autores, SolidWorks

Vista superior

Figura 377: Plano estructura o base vista superior.



Fuente: Autores, SolidWorks

5.6 Diseño columna de acrílico

De acuerdo con la alternativa de diseño seleccionada en el capítulo 4, se elaborarán 6 columnas de acrílico que se llenarán de agua para que pueda ingresar el aire comprimido desde la parte inferior y generar las burbujas.

Ya que el ingreso del aire es por la parte inferior, es indispensable que el ancho de la columna sea mayor al diámetro de la piedra difusora, la cual debe ir en el interior. Se utilizará la siguiente piedra difusora que una entrada ideal para una manguera de 4mm:

Figura 388: Piedra difusora.

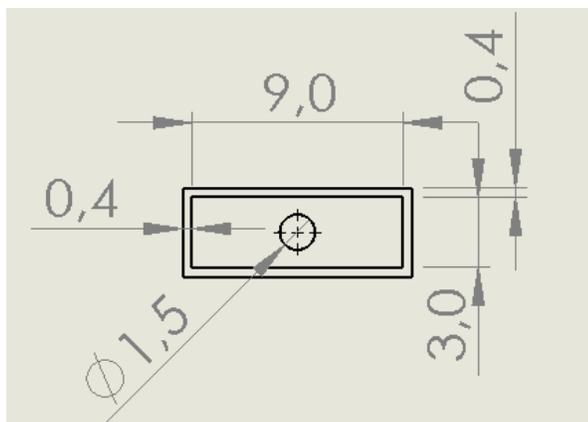


Fuente: [36]

La piedra difusora tiene un diámetro de 1.52 cm por lo que lo más pertinente es que cada columna tenga un ancho interno de 3 cm para que la piedra pueda ser instalada y genere las burbujas alrededor de ella.

El largo de las columnas no debe exceder las distancias ya establecidas en este capítulo de la estructura o base, por lo que se limita el diseño a que las 6 columnas de acrílico no superen los 60 cm y teniendo en cuenta que a los costados de la estructura se va a instalar las tiras Leds se debe procurar un espacio para que al momento de ingresar la columna por la parte superior no se despeguen o se dañen.

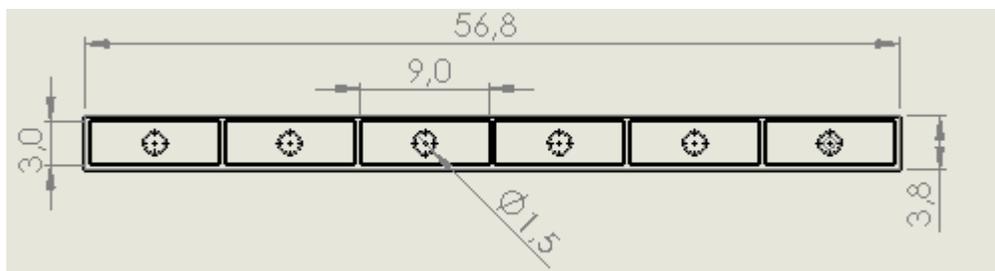
Figura 39: Plano de una columna.



Fuente: Autores, SolidWorks

Se toma la decisión en este diseño que cada columna tenga un largo interno de 9 cm con el fin de que la suma de las 6 columnas sea de 54 cm. Adicionalmente se suma el espesor de cada lámina de acrílico que separa cada columna para que la generación de burbujas sea totalmente independiente. Según el estado del arte, cada lámina tiene un espesor de 4 mm.

Figura 400: Plano de las seis columnas.



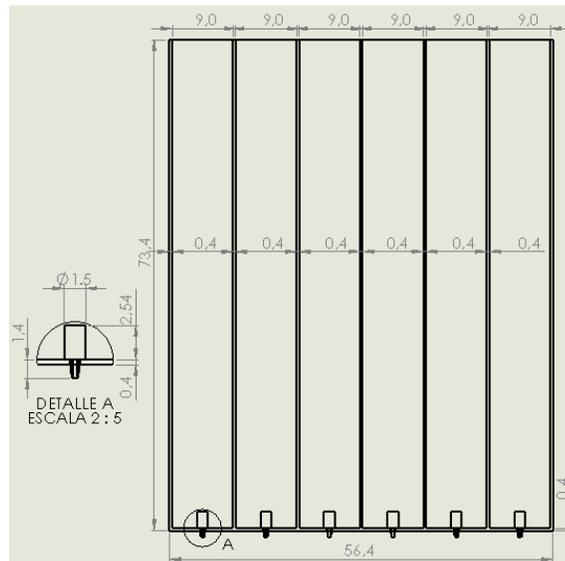
Fuente: Autores, SolidWorks

Lo que da un total de 56.8 cm de largo, permitiendo 1.6cm a cada lado de la estructura para la instalación de la iluminación LED. Teniendo en cuenta el diseño de detalle de la estructura o base, la columna de acrílico no debe ser inferior a 66 cm, lo que establece un punto inicial para determinar la altura que debe llevar.

Como se evidencio con anterioridad la piedra difusora mide de alto 2.54 cm y como se puede ver en el estado del arte en ninguna pared de burbujas se evidencia el dispersor del aire, lo que permite concluir que debe estar dentro de la estructura, para poder lograr eso se aumentara 4 cm la columna de acrílico.

Según el diseño de detalle de la estructura o base en la parte superior tiene una altura de 12 cm, por lo que se aumentara de 3 a 4 cm para que se pueda llenar las columnas de agua con normalidad.

Figura 411: Plano columnas de acrílico vista frontal.



Fuente: Autores, SolidWorks

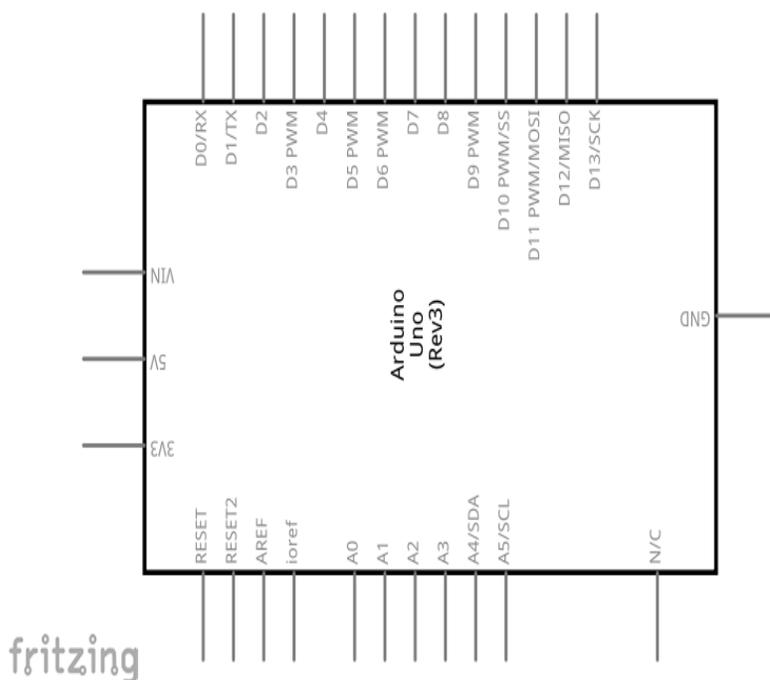
5.7 Circuito eléctrico

Como se planteó en el capítulo 4 del diseño preliminar, consta para cumplir con los requisitos de diseño y de la empresa, la pared de burbujas cuenta con los siguientes elementos eléctricos previamente seleccionados en este capítulo, a continuación, se explicará la función de cada uno de los componentes:

Tarjeta de control

De acuerdo a la selección de la tarjeta de control se eligió el Arduino UNO, ya que cuenta con un lenguaje de programación C++ y permite controlar mediante las salidas digitales PWM, la secuencia de las tiras Leds y con las salidas digitales controlar la apertura y cierre de las 6 electroválvulas.

Figura 422: Esquemático Arduino UNO.



Fuente: Autores, Fritzing

De acuerdo al datasheet del Arduino permite un máximo de 500mA y las características de la electroválvula ZHV-0519 L/S escogida en este capítulo la corriente es de 220mA.

$$I_{(total)} = 6 * I_{(Electro\ valvula)} \quad (5.17)$$

$$I_{(total)} = 6 * 220mA$$

$$I_{(total)} = 1.320mA = 1.3A$$

Lo que significa que superaría la corriente máxima permitida del Arduino.

La mejor opción es que la alimentación de las electroválvulas no llegue directamente de la salida del Arduino, si no que el Arduino alimente un relé de 5 voltios y este sea el encargado de alimentar la electroválvula, el relé consume 15mA.

$$I_{(total)} = 6 * I_{(relé)}$$

$$I_{(total)} = 6 * 15mA$$

$$I_{(total)} = 90mA = 0.09A$$

Módulo relé

Ya que la corriente total sería 90mA se puede utilizar esta opción, sin embargo, en el mercado no es muy comercial los módulos relés de 6 salidas por lo cual se utiliza un módulo relé de 8 salidas.

Figura 433: Módulo relé 8 salidas.



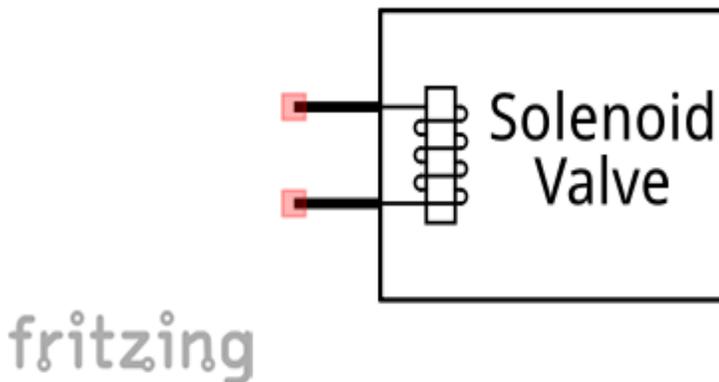
Fuente:[38]

Figura 444: Esquemático módulo relé 8 salidas.

La función de la electroválvula como se describió con antelación es permitir o interrumpir el paso del aire comprimido que va hacia la columna.

Las 6 electroválvulas ZHV-0519 L/S se conectan a los contactos normalmente abiertos de cada relé y cada electroválvula se conecta al común de una fuente externa, una vez energizado la bobina del relé mediante la señal del Arduino pasa de normalmente abierto a normalmente cerrado los contactos del relé, alimentando así la electroválvula cambiando de estado y permitiendo el paso de aire.

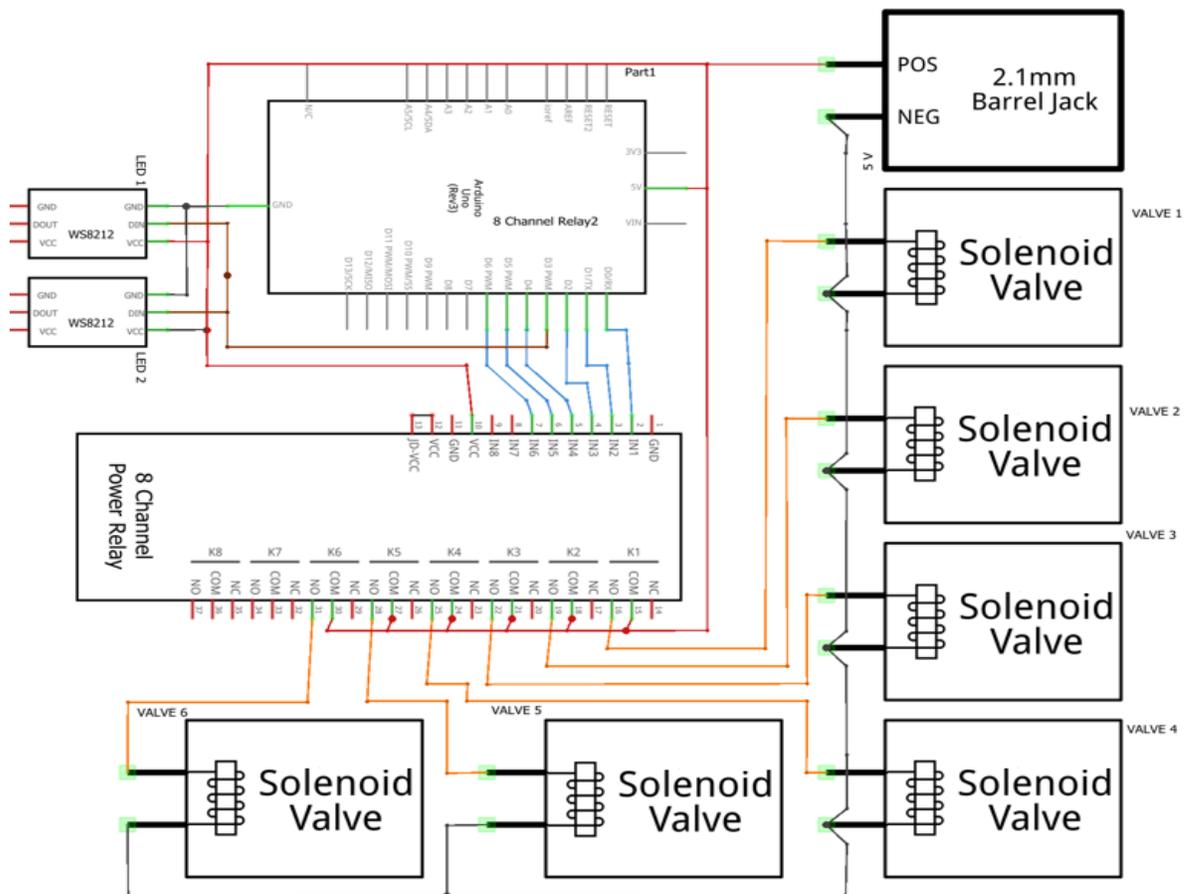
Figura 466: Esquemático electroválvula.



Fuente: Autores, Fritzing

Una vez determinados todos los componentes se realiza el esquemático del circuito eléctrico con apoyo del programa Fritzing.

Figura 477: Esquemático circuito eléctrico.

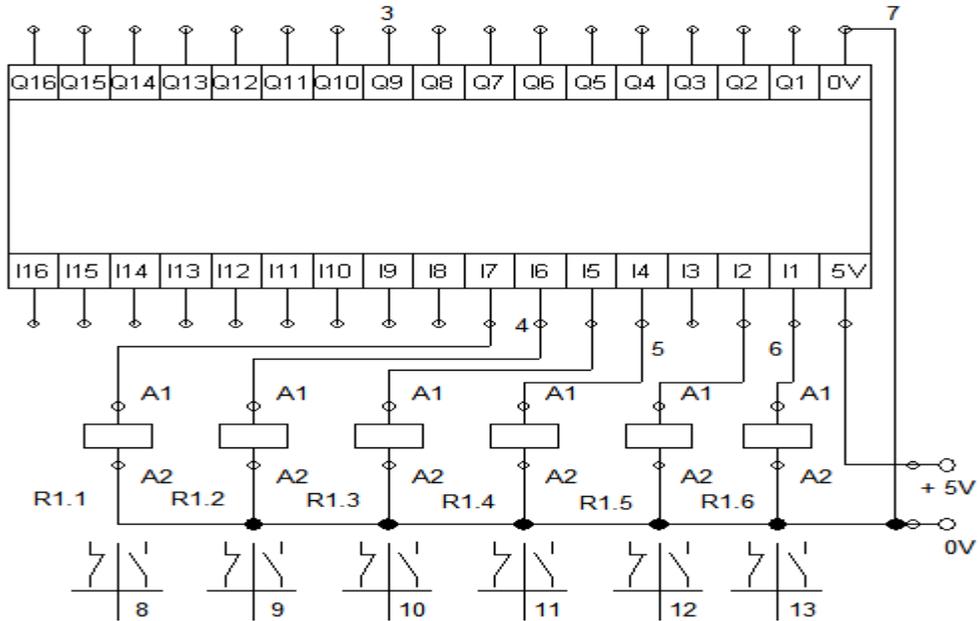


Fuente: Autores Fritzing.

Circuito de mando

Con el plano eléctrico se puede realizar el circuito de mando.

Figura 488: Circuito de mando.

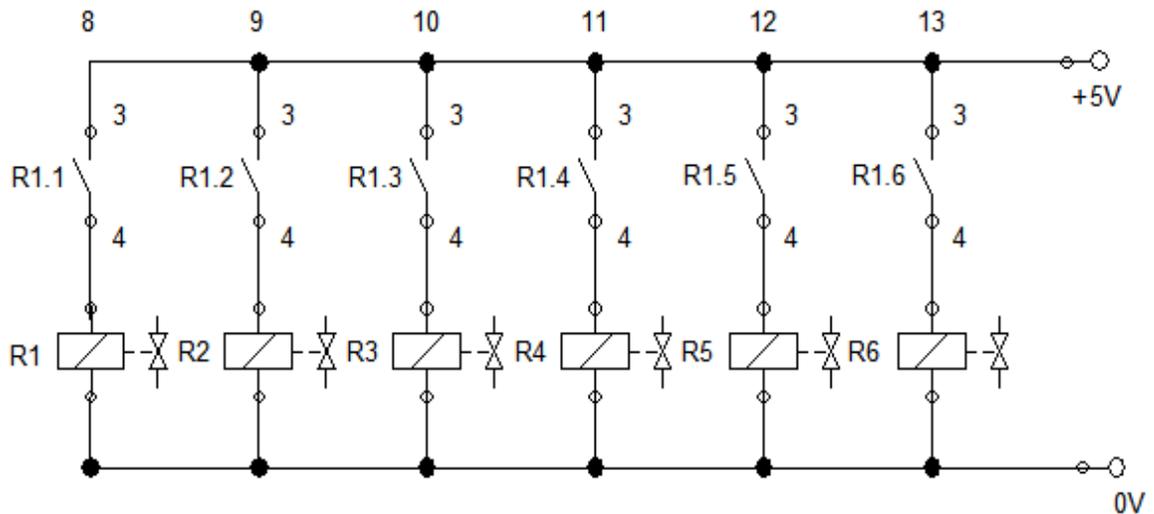


Fuente: Autores, FluidSIM

El circuito de mando se compone de la tarjeta de Arduino, la cual permite realizar la apertura y cierre de los 6 relés que trabajan a 5 voltios.

Circuito de fuerza

Figura 4949: Circuito de fuerza.

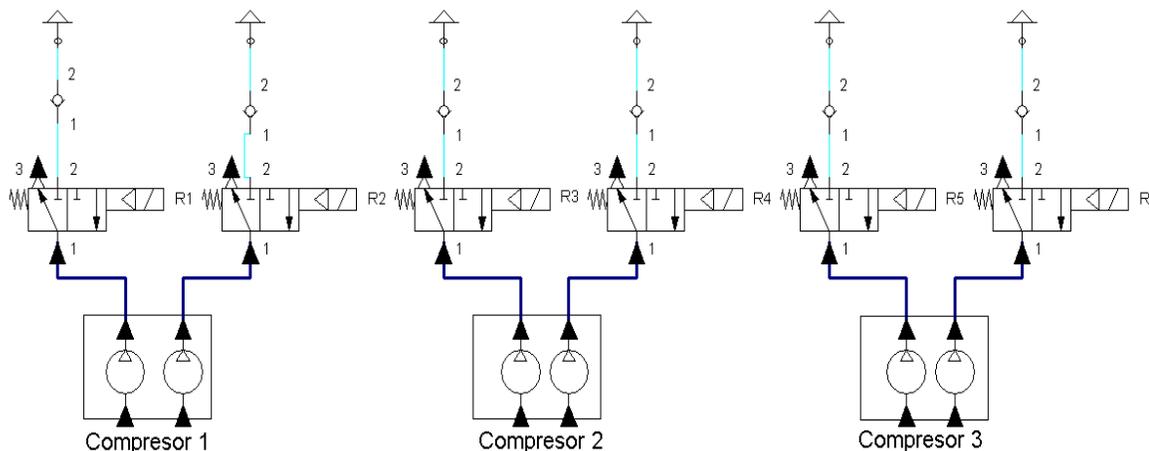


Fuente: Autores, FluidSIM

El circuito de fuerza se compone de los 6 contactos de los relés utilizados en el circuito de mando y de 6 electroválvulas que permiten o interrumpen el flujo del aire a presión.

Circuito neumático.

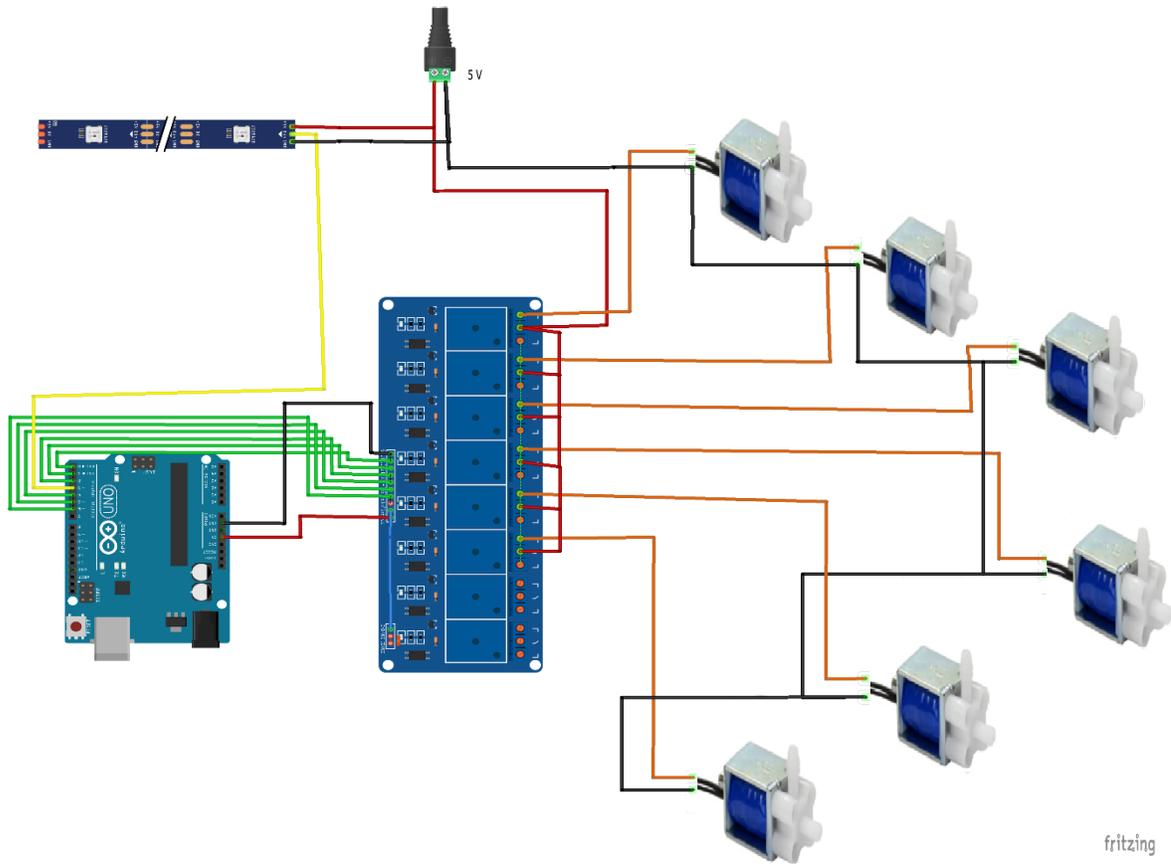
Figura 500: Circuito neumático.



Fuente: Autores, FluidSIM

El circuito neumático se compone por 3 compresores de doble salida. El diseño preliminar indica que cada salida va conectada a una electroválvula (6 en total) de 3 vías y 2 posiciones (3/2), en la primera posición, permite el paso de aire a la atmósfera para no tener que forzar el compresor y, en la segunda posición, permite el paso de aire hacia la válvula antirretorno utilizada para que el agua de la columna de burbujas no se devuelva; una vez pasa el aire comprimido, se dirige a la piedra difusora que se encuentra dentro de la columna de acrílico generando así la columna de burbujas. De acuerdo al diseño preliminar se usa una fuente de tensión de 5 Voltios para la alimentación de las electroválvulas, relés y la iluminación LED.

Figura 511: Dibujo eléctrico con sus componentes.



Fuente: Autores, Fritzing

Con lo componentes ya previamente seleccionados se analiza el consumo de corriente generado por la pared de burbujas:

$$I_{(total)} = I_{(arduino)} + 6 * I_{(Relés)} + 6 * I_{(Electro\ válvula)} + 2 * I_{(Tira\ LED)}$$

$$I_{(total)} = 46mA + 6 * 90mA + 6 * 220mA + 2 * 1680mA$$

$$I_{(total)} = 46mA + 540mA + 1320mA + 3360mA$$

$$I_{(total)} = 46mA + 540mA + 1320mA + 3360mA$$

$$I_{(total)} = 5.26\ A$$

Debido a que las fuentes de poder comercialmente se consiguen 5 voltios a 4 amperios, se toma la decisión de alimentar las tiras Leds con una fuente diferente a la de los otros componentes:

$$I_{(Tiras\ LEDs)} = 3360mA = 3.36A\ (con\ maximo\ brillo)$$

$$I_{(Otros\ componentes)} = 1906mA = 1.906 A$$

Con la corriente obtenida se saca la potencia requerida de las tiras LED:

$$P_{(Tiras\ LEDs)} = V * I_{(Tiras\ LEDs)}$$

$$P_{(Tiras\ LEDs)} = 5V * 3.36A = 16.8W$$

Se utiliza la misma fórmula para hallar la potencia de los otros componentes:

$$P_{(Otros\ componentes)} = V * I_{(Otros\ componentes)}$$

$$P_{(Otros\ componentes)} = 5V * 1.906A = 9.53W$$

De acuerdo al diseño se van instalar 3 compresores de aire, cada uno tiene un consumo de 5W con este valor y las demás potencias se tiene que:

$$P_{(Total)} = P_{(Tiras\ LEDs)} + P_{(Otros\ componentes)} + P_{(Compresores)}$$

$$P_{(Total)} = 16.8W + 9.53W + 15W = 41.03W$$

Calibre conductor.

Debido a que la corriente total es de 5.26 A el calibre indicado según la NTC 2050 tabla 402-5 ilustrada en este documento como la tabla 32 se selecciona el calibre 18 AWG.

Tabla 322: Capacidad de corriente para alambres de aparatos.

Capacidad de corriente para alambres de aparatos		
Sección Transversal		Capacidad de corriente (A)
mm ²	AWG	
0.82	18	6
1.31	16	8
2.08	14	17
3.30	12	23
5.25	10	28

Fuente: Autores, [4]

5.8 Diseño de la programación.

Para realizar el diseño de la programación se utilizan las siguientes etapas:

Figura 522: Etapas de diseño.



Fuente: Autores.

Análisis del problema

La pared de burbujas diseñada en este proyecto debe cumplir con la función de controlar 6 relés los cuales al ser energizados cambian de estado de NC a NA, al momento de cambiar de estado se energizan la bobina de las electroválvulas haciendo que cambie de estado y permita el flujo de aire comprimido que se dirige hacia las columnas de acrílico que contienen agua, permitiendo así la generación de burbujas de aire que ascienden hasta llegar a final de la columna, este proceso se realiza con todas las electroválvulas generando 4 secuencias que se repitan constantemente, esta secuencia de generación de burbujas irá acompañada de la iluminación LED que está instalada de manera vertical de la pared de burbujas.

Diseño de algoritmo

Se escribe el algoritmo de la primera secuencia, las otras tres secuencias están en el anexo B.

Algoritmo primera secuencia

- Encender tira led de un color.
- Realizar la apertura del relé 1
- Realizar el cierre del relé 1
- Realizar la apertura del relé 2
- Realizar el cierre del relé 2
- Realizar la apertura del relé 3

- Realizar el cierre del relé 3
- Realizar la apertura del relé 4
- Realizar el cierre del relé 4
- Realizar la apertura del relé 5
- Realizar el cierre del relé 5
- Realizar la apertura del relé 6
- Realizar el cierre del relé 6
- Cambiar de color la tira led y repetir.

Codificación

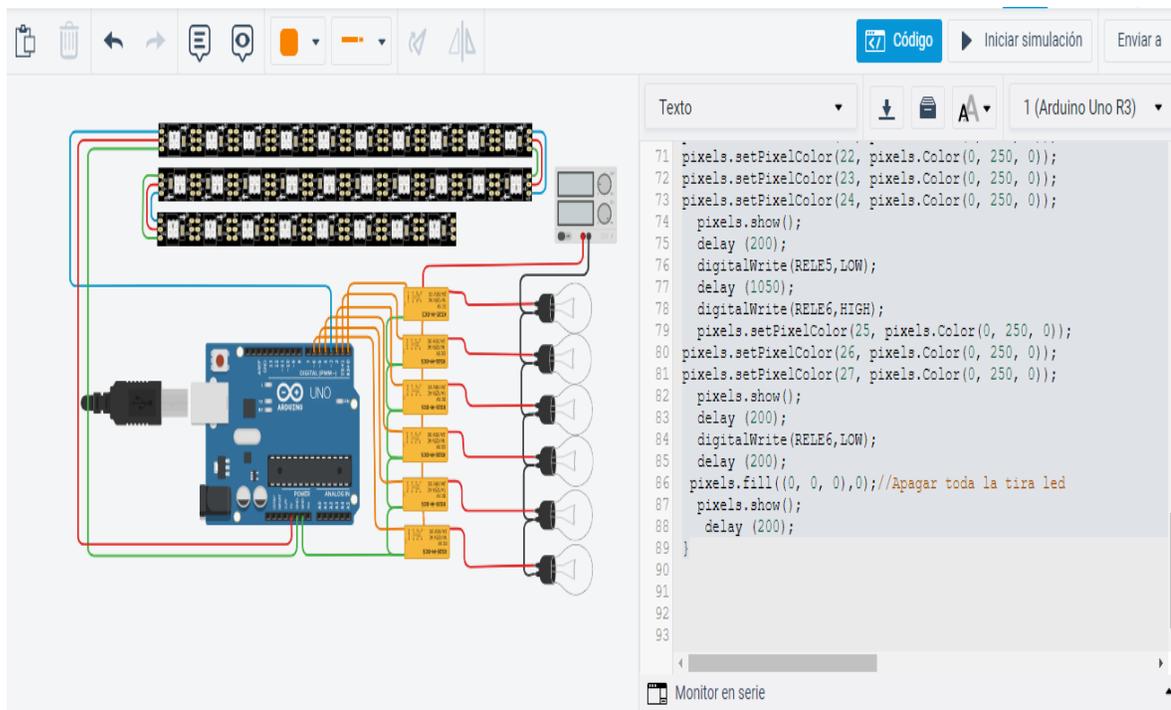
Ya con el algoritmo descrito paso por paso, se codifica mediante el lenguaje C++ Se describe la programación de la primera secuencia las otras tres están en el anexo B.

Programación C++ primera secuencia

```
//Programación Pared de burbujas.
#include <Adafruit_NeoPixel.h> // Incluir libreria para programación de la tira LED
#define PIN 10 // Selección pin de salida del Arduino
#define NUMPIXELS 28 // Numero de leds en la tira
Adafruit_NeoPixel pixels = Adafruit_NeoPixel(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB +
NEO_KHZ800); // selección de tipo de Arduino y configuración de posiciones de led
internos //Seleccionar variables
int RELE1 = 0;
int RELE2 = 1;
int RELE3 = 2;
int RELE4 = 4;
int RELE5 = 5;
int RELE6 = 6;
void setup () { //Seleccionar salidas del Arduino
  pinMode (RELE1, OUTPUT);
  pinMode (RELE2, OUTPUT);
  pinMode (RELE3, OUTPUT);
  pinMode (RELE4, OUTPUT);
```

```
pinMode (RELE5, OUTPUT);
pinMode (RELE6, OUTPUT);
pixels.begin();//inicializa la tira LED
}
//Ejecución del programa
void loop(){
pixels.fill( pixels.Color(0,150,0), 0, 29);//ACTIVAR COLOR VERDE
pixels.show();
delay (50);
//Secuencia 1
digitalWrite(RELE6,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE6,HIGH);
delay (450);
digitalWrite(RELE5,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE5,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE4,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE4,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE3,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE3,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE2,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE2,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE1,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE1,HIGH);
delay (0);
```

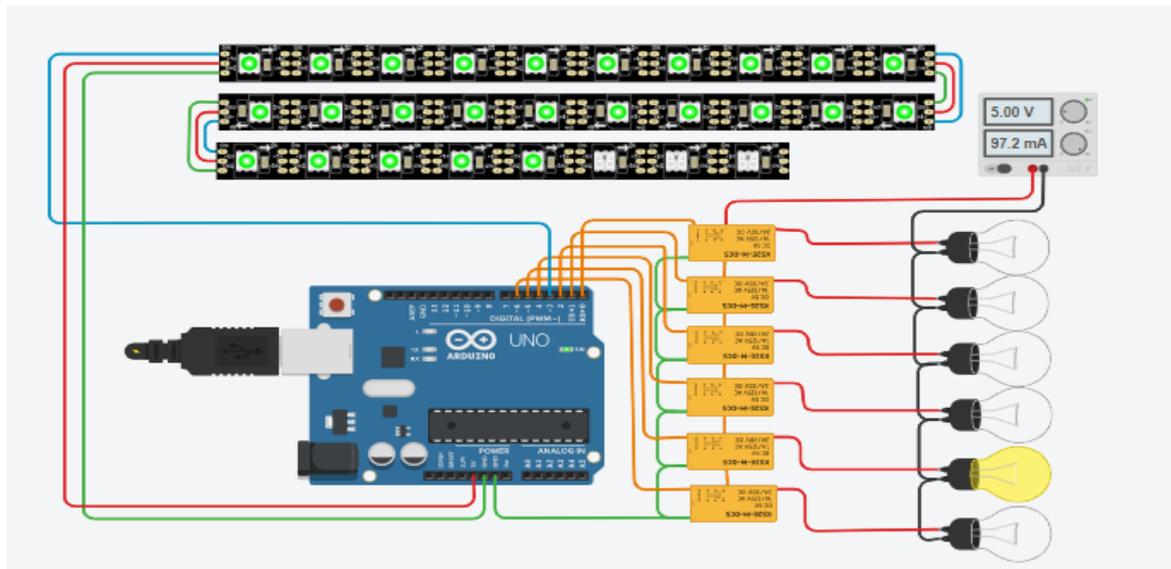
```
pixels.fill( pixels.Color(105,180,0), 0, 29);//ACTIVAR COLOR VERDE CLARO
pixels.show();
  digitalWrite(RELE1,LOW);
  delay (350);
  digitalWrite(RELE1,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE2,LOW);
  delay (350);
  digitalWrite(RELE2,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE3,LOW);
  delay (350);
  digitalWrite(RELE3,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE4,LOW);
  delay (350);
  digitalWrite(RELE4,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE5,LOW);
  delay (350);
  digitalWrite(RELE5,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE6,LOW);
  delay (350);
  digitalWrite(RELE6,HIGH);
  delay (2900);
pixels.fill((0, 0, 0),0);//Apagar toda la tira led
  pixels.show();
  delay (0);
  pixels.fill( pixels.Color(0,150,150), 0, 29);//ACTIVAR COLOR AZUL CLARO
  pixels.show();
  delay (50);
```

Fuente: Autores, Tinkercad.

Una vez cargado el programa en el módulo Código, se procede a dar inicio a la simulación.

Figura 555: Simulación de la programación en Tinkercad.

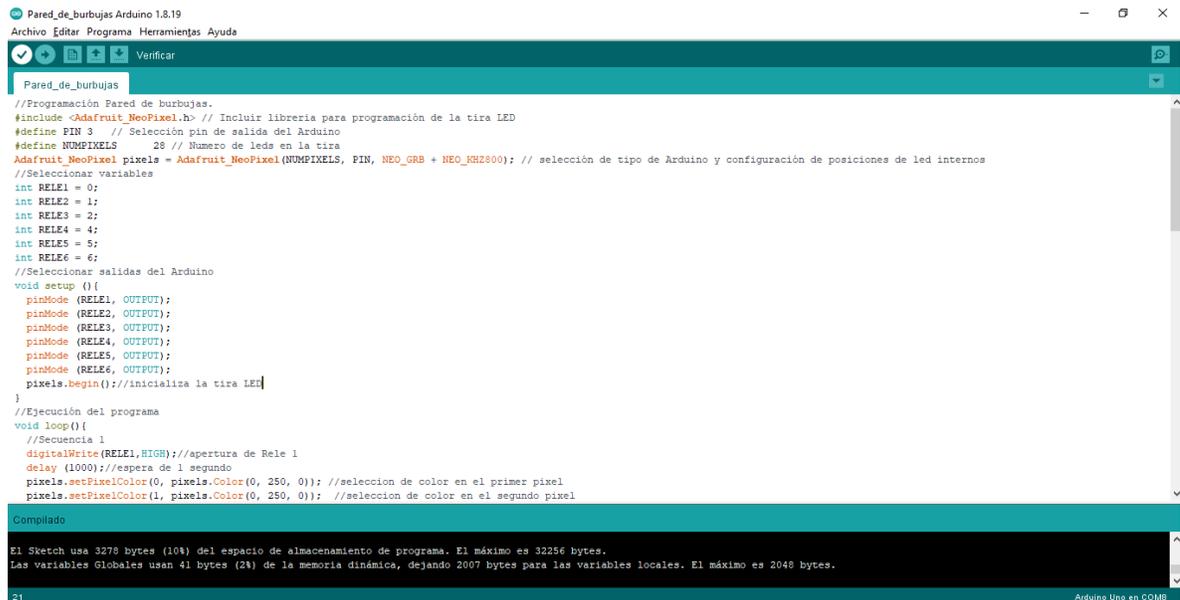


Fuente: Autores, Tinkercad.

Ya en la simulación de la primera secuencia, se evidencia en la figura 55 cuando se alimenta la quinta bombilla que haría referencia a la 5 electroválvula y en ese momento están encendidos 25 leds.

Debido a que el programa funciona en la página de Tinkercad, se realiza el cargue software de Arduino para compilarlo.

Figura 566: Parte del código compilado en el software Arduino.



```

Pared_de_burujas Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Pared_de_burujas
//Programación Pared de burujas.
#include <Adafruit_NeoPixel.h> // Incluir librería para programación de la tira LED
#define PIN 3 // Selección pin de salida del Arduino
#define NUMPIXELS 28 // Numero de leds en la tira
Adafruit_NeoPixel pixels = Adafruit_NeoPixel(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800); // selección de tipo de Arduino y configuración de posiciones de led internos
//Seleccionar variables
int RELE1 = 0;
int RELE2 = 1;
int RELE3 = 2;
int RELE4 = 4;
int RELE5 = 5;
int RELE6 = 6;
//Seleccionar salidas del Arduino
void setup() {
  pinMode (RELE1, OUTPUT);
  pinMode (RELE2, OUTPUT);
  pinMode (RELE3, OUTPUT);
  pinMode (RELE4, OUTPUT);
  pinMode (RELE5, OUTPUT);
  pinMode (RELE6, OUTPUT);
  pixels.begin();//inicializa la tira LED
}
//Ejecución del programa
void loop() {
  //Secuencia 1
  digitalWrite(RELE1,HIGH);//apertura de Rele 1
  delay (1000);//espera de 1 segundo
  pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0, 250, 0)); //selección de color en el primer pixel
  pixels.setPixelColor(1, pixels.Color(0, 250, 0)); //selección de color en el segundo pixel
}

```

Compilado

El Sketch usa 3278 bytes (10%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
 Las variables Globales usan 41 bytes (2%) de la memoria dinámica, dejando 2007 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

21 Arduino Uno en COM8

Fuente: Autores, Arduino.

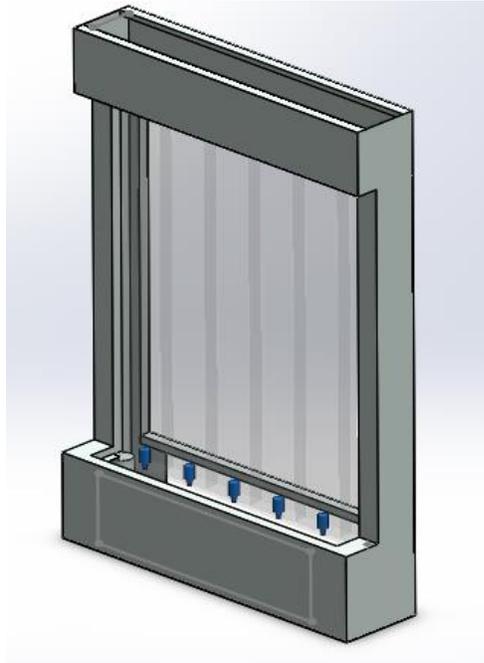
En las pruebas de funcionamiento se modifican los tiempos de aperturas y cierres de las electroválvulas al igual que el encendido y apagado de los leds.

Mantenimiento

En la etapa de mantenimiento se pueden realizar ajustes de la programación, actualizaciones, agregar nuevas secuencias de burbujas y variar la secuencia de la iluminación LED.

6. Construcción de la pared de burbujas

Figura 577: Diseño final pared de burbujas.



Fuente: Autores, SolidWorks

Con apoyo de los planos de la estructura y de la columna (ver anexos) se inicia la construcción.

6.1 Estructura

Para la fabricación de estructura de la base se utilizó lámina galvanizada calibre 18 conforme al diseño previamente realizado. La lámina fue cortada mediante cortadora hidráulica y la unión de los perfiles fueron soldados mediante sistema MIG.

Figura 588: Estructura de la pared de burbujas.



Fuente: Autores.

6.2 Pared de acrílico

En la pared de acrílico se utilizó lámina acrílica transparente de 4mm. El corte de las 2 piezas frontales, las 7 piezas que separan las celdas y la pieza que se encuentra en la parte inferior, se realizó con una cortadora laser. Estas láminas de acrílico se pegan utilizando cloruro de metileno.

Figura 59: Pared de acrílico.



Fuente: Autores.

6.3 Prueba de fuga de agua

Se abren los huecos en la parte inferior de la pared de burbuja y se instalan las piedras difusoras con sus mangueras y su válvula antirretorno, después de esto se llenan las 6 celdas de agua hasta el tope para determinar si se presentan fugas de agua y poder repararlas.

Figura 600: Pruebas de fuga en la pared de acrílico.



Fuente: Autores.

6.4 Prueba de inyección de aire comprimido

Una vez que no se presentan fugas de agua se realizan pruebas de inyección de aire comprimido mediante un compresor de aire de 6 salidas, asegurando así que no se devuelva el agua por la válvula antirretorno y se generen las burbujas de aire en la pared de acrílico.

Figura 611: Pruebas de inyección de aire comprimido en la pared de acrílico.



Fuente: Autores.

6.5 Pared de acrílico en la estructura

Se utiliza pintura electroestática para la estructura, al finalizar el secado, se procede a instalar la pared de acrílico desde la parte superior de la estructura.

Figura 622: Montaje pared de acrílico en la estructura.



Fuente: Autores.

6.6 Pruebas de funcionamiento sistema de iluminación LED

Se instalan las tiras LED WS2812B en los costados laterales de la estructura, dejando en la parte inferior los puntos de conexión. Por medio del programa Arduino UNO se realiza la programación para pruebas de funcionamiento de la iluminación.

Figura 633: Sistema de iluminación LED.



Fuente: Autores.

6.7 Montaje sistema neumático en estructura

Se realiza el montaje de los compresores de aire con dos salidas. Cada salida va a una electroválvula, la cual está conectada por medio de mangueras a la válvula antirretorno y esta, a su vez, a la piedra difusora instalada en la celda de la pared de burbujas.

Figura 644: Montaje sistema neumático.



Fuente: Autores.

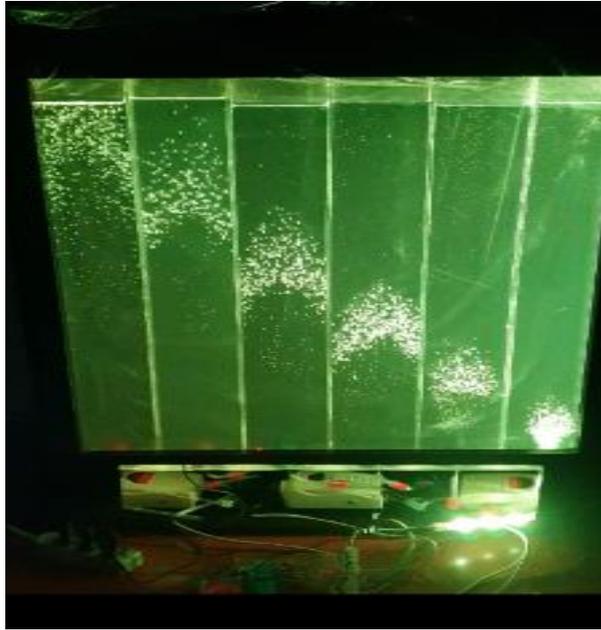
6.8 Pruebas de funcionamiento

Mediante el programa Arduino se energiza la bobina del relé haciendo que los contactos pasen de normalmente abierto a normalmente cerrado, alimentado así la electroválvula. Una vez energizada la electroválvula se permite que el flujo de aire continúe por la válvula antirretorno y llegue a la piedra difusora generando allí las burbujas ascendentes.

Primer secuencia

Como se evidencia en la figura 65, se cumple con la primera secuencia establecida en el capítulo 4 y tiene una duración de 5 segundos.

Figura 655: Pruebas de funcionamiento secuencia 1 .

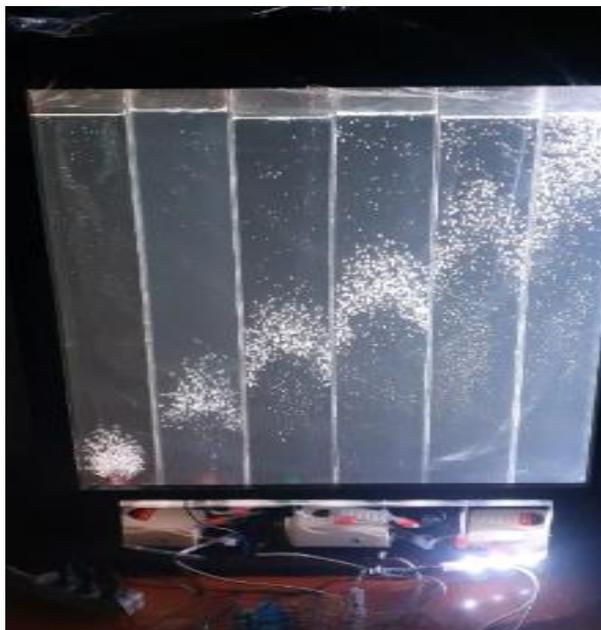


Fuente: Autores.

Segunda secuencia

Como se evidencia en la figura 66, se cumple con la segunda secuencia establecida en el capítulo 4 y tiene una duración de 5 segundos.

Figura 666: Pruebas de funcionamiento secuencia 2 .



Fuente: Autores.

Tercera secuencia

Como se evidencia en la figura 67, se cumple con la tercera secuencia establecida en el capítulo 4 y tiene una duración de 6 segundos.

Figura 677: Pruebas de funcionamiento secuencia 3 .



Fuente: Autores.

Cuarta secuencia

Como se evidencia en la figura 68, se cumple con la cuarta secuencia establecidas en el capítulo 4 y tiene una duración de 7 segundos.

Figura 688: Pruebas de funcionamiento secuencia 4 .



Fuente: Autores.

7. Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros

7.1 Conclusiones

Durante el proceso de diseño y construcción de la pared de burbujas se concluye que:

-La pared de burbujas se puede construir más alta, generando tipos de secuencias de mayor duración y mejorando los efectos visuales de la columna de burbujas.

- La referencia WS2812B es practica para este tipo de equipos ya que permite el control de cada led permitiendo controlar el cambio de la iluminación en cada secuencia.

-El dimensionamiento del compresor se realizó mediante los valores calculados en el diseño preliminar y con ayuda de una matriz de decisión se seleccionó la referencia más adecuada según los criterios previamente establecidos.

-Durante la carrera universitaria el lenguaje C++ fue explicado en diferentes asignaturas lo cual ayudo al momento de realizar la programación en el dispositivo Arduino.

-Durante toda la carrera la universidad facilito la formación en el uso de software de diseño CAD 3D "SOLIDWORKS" lo cual permitió utilizar estos conocimientos para diseñar de manera rápida la estructura y las columnas de acrílicos.

-Se cumplen las expectativas de la empresa Eventos Revolution con el diseño y construcción de la pared de burbujas , ya que es de bajo costo.

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Puesta en marcha pared de burbujas

Antes de iniciar la puesta en marcha de la pared de burbujas se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

- Revise que la pared de burbujas no se encuentra golpeada ni fisurada.
- El cable de alimentación debe estar en buen estado y organizado de manera que se evite un tropiezo.
- Con ayuda de un embudo llene la pared de burbujas por la parte superior hasta llegar a una altura de 15 cm, se recomienda agua destilada. Espere durante 5 minutos y valide que no tenga fugas, si presenta no realizar la conexión de la pared de burbujas y drene el agua inmediatamente, en caso de no tener fugas seguir con el siguiente paso.
- Seguir llenando la pared de burbujas hasta donde inicia la lámina metálica superior, espere 10 minutos y valide que no tenga fugas, si presenta no realizar la conexión de la pared de burbujas y drene el agua inmediatamente, en caso de no tener fugas seguir con el siguiente paso. No se debe llenar más ya que al momento de generar las burbujas puede desbordarse.
- Antes de proceder a conectar la fuente de poder, valide que el interruptor en la parte superior se encuentra en estado OFF, al momento de conectar la fuente de poder se encenderá la iluminación LED y los compresores, espere 1 minuto después de conectado para cambiar el estado del interruptor a estado ON y empezara con las secuencias programadas.
- Como recomendación se debe tener cuidado al momento de vaciar o llenar la pared de burbujas asegurándose que el agua no entre en contacto la fuente de poder y/o tarjetas de control.

7.2.2 Limpieza pared de burbujas

La limpieza de la pared de burbujas es muy importante, ya que la suciedad puede bloquear las salidas de aire, esta limpieza debe hacerse cada 3 meses o cuando se evidencien rastros de algas o moho en las paredes de acrílico, siga las siguientes instrucciones.

- Desconecte la fuente de poder.

- Drenar toda el agua de la pared de burbujas.
- Llene con líquido esterilizante a una altura de 4 cm dejándolo aproximadamente 10 horas con el fin de que se retire la suciedad de las salidas de aire y de las paredes de acrílico.
- Pasadas las 10 horas agregue agua limpia hasta el máximo de la pared de burbujas.
- Pasado 4 horas drene toda el agua de la pared de burbujas.
- Agregue agua limpia y drene en su totalidad, con el fin de retirar rastros del líquido esterilizante y cualquier suciedad.
- Se puede utilizar un paño húmedo para la limpieza en la parte exterior de la pared de burbujas.

7.3 Trabajos futuros

En las siguientes áreas se puede dar continuidad al presente proyecto de grado:

-Controlar la secuencia de burbujas y la iluminación LED mediante celular o control remoto.

-Manejar las secuencias mediante un panel HMI para ser programadas por las personas que visitan los eventos que realice la empresa.

-En caso de necesitar una programación más robusta y con diferentes tipo de secuencias se puede usar un controlador lógico programable (PLC), sin embargo, esto aumentaría el costo del proyecto considerablemente.

A. Anexo: Costos

Este análisis es con el fin de determinar los gastos generados para realizar el diseño y construcción de la pared de burbujas.

Costos directos

En los costos directos se describirá el valor de accesorios materiales, mano de obra, maquinaria, transporte y equipos.

Tabla 333: Costos materiales electrónicos y eléctricos.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Válvula solenoide ZHV-0519	6	\$ 43.400	\$ 260.400
Tira led por 5M WS2812B IP67	1	\$ 89.700	\$ 89.700
Arduino Uno	1	\$ 85.300	\$ 85.300
Modulo relé 8 canales	1	\$ 28.900	\$ 28.900
Cable dúplex	3	\$ 6.500	\$ 19.500
Extensión	1	\$ 19.200	\$ 19.200
Base Adhesiva Para Amarres PAQ x 100 Und.	1	\$ 12.000	\$ 12.000
Protoboard	1	\$ 9.200	\$ 9.200
Cable Jumper 20 Cm X 40 Cables	1	\$ 6.800	\$ 6.800
Mini interruptor	2	\$ 2.500	\$ 5.000
Amarres plásticos 100 Und	1	\$ 1.800	\$ 1.800
Total			\$ 537.800

Fuente: Autores.

El elemento que más aumenta el costo de los materiales eléctricos son las válvulas solenoides.

Los costos para la parte eléctrica de la pared de burbujas son de **\$537.800 COP (colombiano pesos)**

Costos accesorios y materiales neumáticos

Tabla 344: Costos accesorios y materiales neumáticos.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Compresor de aire AP-002	3	\$ 32.000	\$ 96.000
Válvula antirretorno	6	\$ 5.800	\$ 34.800
Piedra difusora	6	\$ 2.800	\$ 16.800
Conector unión manguera x3	2	\$ 7.600	\$ 15.200
Manguera	1 m	\$ 2.800	\$ 2.800
Total			\$ 165.600

Fuente: Autores.

Los costos para la parte neumática de la pared de burbujas son de **\$165.600 COP**.

Costos accesorios y materiales mecánicos

Tabla 355: Costos accesorios y materiales mecánicos.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Acrílico 4 mm 1.20x0.75M	1	\$ 320.000	\$ 320.000
Lámina galvanizada calibre 18	0.5m2	\$ 120.000	\$ 120.000
Total			\$ 440.000

Fuente: Autores.

Los costos para la parte de la base de la estructura y de las columnas de burbujas son de **\$440.000 COP**.

Tabla 366: Costos total materiales.

Accesorios y materiales	Valor
Electrónicos y eléctricos	\$ 537.100
Neumáticos	\$ 165.500
Mecánicos	\$ 440.000
Total	\$ 1.142.600

Fuente: Autores.

Se evidencia que los costos del material eléctrico son los más costosos para este proyecto.

Costo transporte

Tabla 377: Costo transporte.

Descripción	Costo
Compra de materiales	\$ 12.500
Trasladó materiales al taller	\$ 14.200
Traslado máquina a empresa	\$ 25.000
Otros	\$ 15.000
Total	\$ 66.700

Fuente: Autores.

El costo del transporte se incluyó debido a que los talleres no se encontraban cerca y es un valor significativo.

Costo mano de obra

Tabla 388: Costo mano de obra.

Personal	Cantidad	Horas trabajadas	Valor hora	Total
Eléctrico	1	32	\$ 4.166,63	\$ 133.332
Mecánico	1	40	\$ 4.166,63	\$ 166.665
Total				\$ 299.997

Fuente: Autores.

Para la mano de obra se costeó el valor hora con respecto al salario mínimo de Colombia en el año 2022 sin contar las prestaciones salariales.

Costo maquinas usadas

Tabla 399: Costo servicio maquinarias y herramientas utilizadas.

Herramienta-Maquina	Horas de uso de equipo	Costo por hora	Costo
Compresor pintura	3	\$ 20.000	\$ 60.000
Soldadura MIG	4	\$ 30.000	\$ 120.000
Dobladora	2	\$ 22.500	\$ 45.000

Fuente: Autores.

Tabla 409: (Continuación)

Herramienta-Maquina	Horas de uso de equipo	Costo por hora	Costo
Cortadora de lamina	1	\$ 35.000	\$ 35.000
Cortadora laser	1	\$ 45.000	\$ 45.000
Herramientas manuales	10 % Mano de obra		\$ 30.000
Total			\$ 335.000

Fuente: Autores.

Los costos de materiales, servicio de maquinaria y herramientas cuentan ya con el IVA incluido.

Tabla 41: Costos directos.

Descripción	Costo
Accesorios y materiales	\$ 1.142.600
Transporte	\$ 66.700
Mano de obra	\$ 299.997
Servicio maquinaria y herramientas	\$ 335.000
Total	\$ 1.844.297

Fuente: Autores.

En los costos directos el valor de accesorios y materiales es el más alto.

Costos indirectos

Tabla 421: Costos indirectos.

Descripción	Costo
Diseño	\$ 325.000
Programación	\$ 590.000
Total	\$ 915.000

Fuente: Autores.

En costos indirectos el valor de la programación es elevado ya que las aperturas y cierres de las electroválvulas deben estar acorde a la iluminación, para llegar a esto se deben realizar varias pruebas de funcionamiento, aumentando así el tiempo empleado para la programación.

Costo total

El costo total es la suma de los costos directos e indirectos para un valor de \$2.759.297 COP. Los datos de costos se realizaron durante el mes de octubre del año 2022.

Análisis de costo de operación

Para realizar el costo de operación de la pared de burbujas y teniendo en cuenta que esta va a ser utilizada en eventos sociales se aproxima 6 horas diarias de uso y debido a que puede ser usada en cualquier día de la semana se realizará el cálculo del consumo eléctrico de 25 días, los datos del consumo de cada elemento son extraídos de sus respectivos datasheet.

Tabla 432: Consumos eléctrico.

Descripción	Cantidad	Watts (W)	Watts (kW)	kWh/mes total
Compresor de aire	3	5	0,015	2,25
Tira LED WS2812B (28 leds)	2	8,4	0,0168	2,52
Válvula Solenoide	6	1,1	0,0066	0,99
Tarjetas de control	1	2,9	0,0029	0,435
Total				6,195

Fuente: Autores.

En Bogotá D.C. El kWh tiene un valor de \$723,08 COP por ende el valor a pagar mensualmente para la operación de la pared de burbujas es de \$ 4.479,48 COP. [9]

B. Anexo: Programación.

Código C++

```
//Programación Pared de burbujas.
#include <Adafruit_NeoPixel.h> // Incluir libreria para programación de la tira LED
#define PIN 10 // Selección pin de salida del Arduino
#define NUMPIXELS 28 // Numero de leds en la tira
Adafruit_NeoPixel pixels = Adafruit_NeoPixel(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB +
NEO_KHZ800); // selección de tipo de Arduino y configuración de posiciones de led
internos
//Seleccionar variables
int RELE1 = 0;
int RELE2 = 1;
int RELE3 = 2;
int RELE4 = 4;
int RELE5 = 5;
int RELE6 = 6;

//Seleccionar salidas del Arduino
void setup (){
  pinMode (RELE1, OUTPUT);
  pinMode (RELE2, OUTPUT);
  pinMode (RELE3, OUTPUT);
  pinMode (RELE4, OUTPUT);
  pinMode (RELE5, OUTPUT);
  pinMode (RELE6, OUTPUT);

  pixels.begin();//inicializa la tira LED
}
//Ejecución del programa
void loop(){
  pixels.fill( pixels.Color(0,150,0), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
  pixels.show();
```

```
delay (50);

//Secuencia 1
digitalWrite(RELE6,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE6,HIGH);
delay (450);
digitalWrite(RELE5,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE5,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE4,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE4,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE3,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE3,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE2,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE2,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE1,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE1,HIGH);
pixels.fill( pixels.Color(105,180,0), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
pixels.show();
digitalWrite(RELE1,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE1,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE2,LOW);
```

```
delay (350);
digitalWrite(RELE2,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE3,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE3,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE4,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE4,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE5,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE5,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE6,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE6,HIGH);
  delay (2900);
pixels.fill((0, 0, 0),0);//Apagar toda la tira led
  pixels.show();
  pixels.fill( pixels.Color(0,150,150), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
  pixels.show();
  delay (50);
  //Secuencia 2
digitalWrite(RELE6,LOW);
  delay (350);
  digitalWrite(RELE6,HIGH);
  delay (450);
  digitalWrite(RELE5,LOW);
  delay (350);
  digitalWrite(RELE5,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE4,LOW);
```

```
delay (350);
digitalWrite(RELE4,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE3,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE3,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE2,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE2,HIGH);
delay (100);
digitalWrite(RELE1,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE1,HIGH);
pixels.fill( pixels.Color(150,150,150), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
pixels.show();
  digitalWrite(RELE1,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE1,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE2,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE2,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE3,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE3,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE4,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE4,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE5,LOW);
```

```
delay (350);
digitalWrite(RELE5,HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite(RELE6,LOW);
delay (350);
digitalWrite(RELE6,HIGH);
  delay (2900);
pixels.fill((0, 0, 0),0);//Apagar toda la tira led
  pixels.show();
// Secuencia 3
  pixels.fill( pixels.Color(150,0,150), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
  pixels.show();
  delay (50);
digitalWrite(RELE6,LOW);
digitalWrite(RELE5,LOW);
digitalWrite(RELE2,LOW);
digitalWrite(RELE1,LOW);
delay (1050);
digitalWrite(RELE6,HIGH);
delay (170);
digitalWrite(RELE5,HIGH);
digitalWrite(RELE2,HIGH);
digitalWrite(RELE1,HIGH);
delay (550);
pixels.fill( pixels.Color(180,22,60), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
  pixels.show();
digitalWrite(RELE4,LOW);
digitalWrite(RELE3,LOW);
delay (1050);
digitalWrite(RELE4,HIGH);
digitalWrite(RELE3,HIGH);
delay (450);
delay (2000);
pixels.fill((0, 0, 0),0);//Apagar toda la tira led
```

```
pixels.show();

pixels.fill( pixels.Color(150,32, 0), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
  pixels.show();
  delay (50);
  digitalWrite(RELE6,LOW);
  digitalWrite(RELE5,LOW);
  digitalWrite(RELE2,LOW);
  digitalWrite(RELE1,LOW);
  delay (1050);
  digitalWrite(RELE6,HIGH);
  delay (170);
  digitalWrite(RELE5,HIGH);
  digitalWrite(RELE2,HIGH);
  digitalWrite(RELE1,HIGH);
  delay (550);
  pixels.fill( pixels.Color(150,64,0), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
    pixels.show();
    digitalWrite(RELE4,LOW);
    digitalWrite(RELE3,LOW);
    delay (1050);
    digitalWrite(RELE4,HIGH);
    digitalWrite(RELE3,HIGH);
    delay (450);
    delay (2000);
  pixels.fill((0, 0, 0),0);//Apagar toda la tira led
    pixels.show();

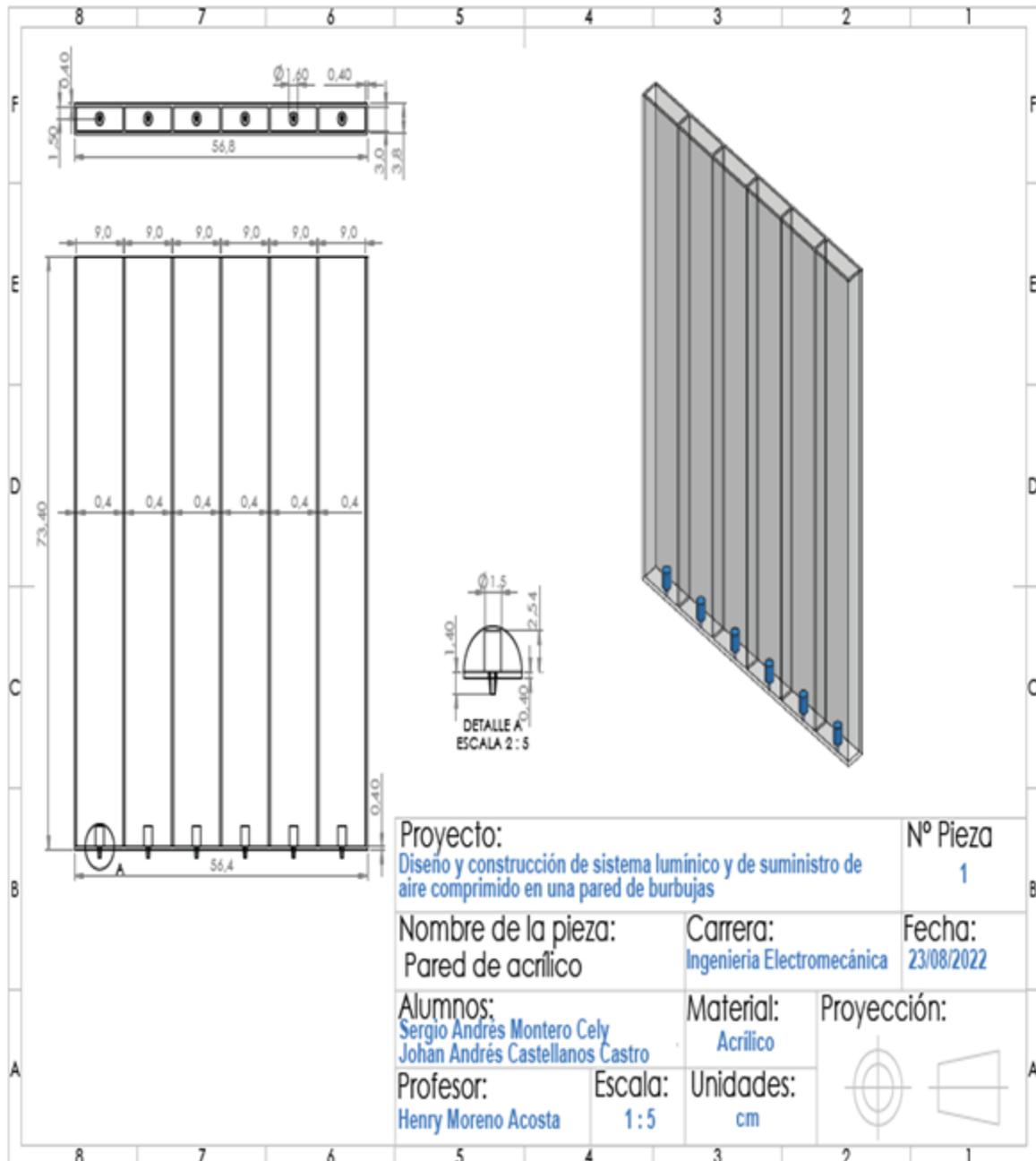
//Secuencia 4
  pixels.fill( pixels.Color(75,0,0), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
  pixels.show();
  delay (50);
  digitalWrite(RELE6,LOW);
```

```
digitalWrite(RELE4,LOW);
digitalWrite(RELE2,LOW);
delay (2050);
digitalWrite(RELE6,HIGH);
digitalWrite(RELE4,HIGH);
digitalWrite(RELE2,HIGH);
delay (250);
pixels.fill( pixels.Color(75,10,10), 0, 29);//ACTIVAR TODA LA TIRA LED
pixels.show();
digitalWrite(RELE5,LOW);
digitalWrite(RELE3,LOW);
digitalWrite(RELE1,LOW);
delay (2050);
digitalWrite(RELE5,HIGH);
digitalWrite(RELE3,HIGH);
digitalWrite(RELE1,HIGH);
delay (450);
delay (2000);
pixels.fill((0, 0, 0),0);//Apagar toda la tira led
pixels.show();
pixels.fill( pixels.Color(0,0,45), 0, 29);////ACTIVAR TODA LA TIRA LED
pixels.show();
delay (50);
digitalWrite(RELE6,LOW);
digitalWrite(RELE4,LOW);
digitalWrite(RELE2,LOW);
delay (2050);
digitalWrite(RELE6,HIGH);
digitalWrite(RELE4,HIGH);
digitalWrite(RELE2,HIGH);
delay (250);
pixels.fill( pixels.Color(25,25,25), 0, 29);////ACTIVAR TODA LA TIRA LED
pixels.show();
digitalWrite(RELE5,LOW);
```

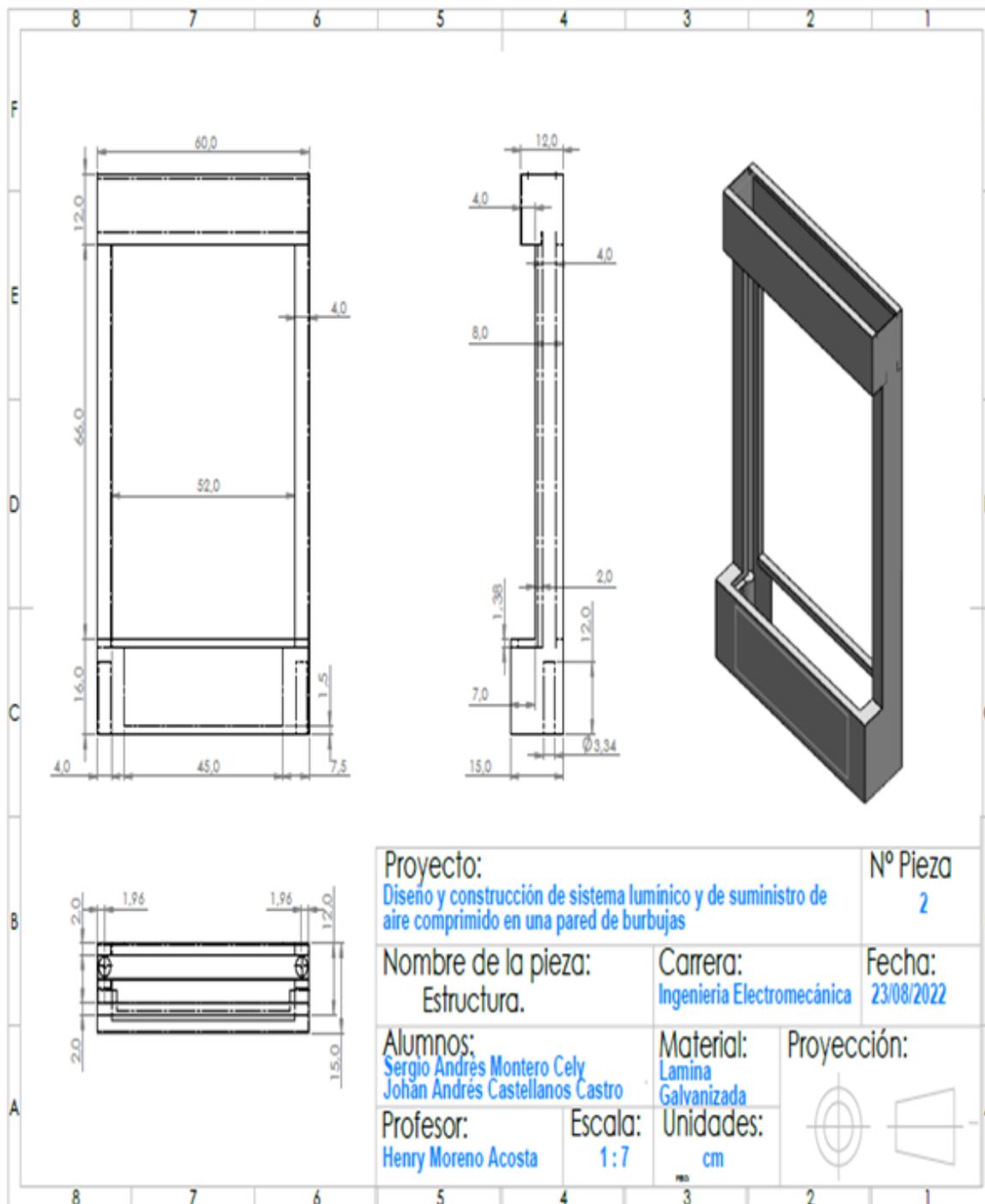
```
digitalWrite(RELE3,LOW);  
digitalWrite(RELE1,LOW);  
delay (2050);  
digitalWrite(RELE5,HIGH);  
digitalWrite(RELE3,HIGH);  
digitalWrite(RELE1,HIGH);  
delay (450);  
delay (2000);  
pixels.fill((0, 0, 0),0);//Apagar toda la tira led  
pixels.show();  
}
```

C. Anexo: Planos.

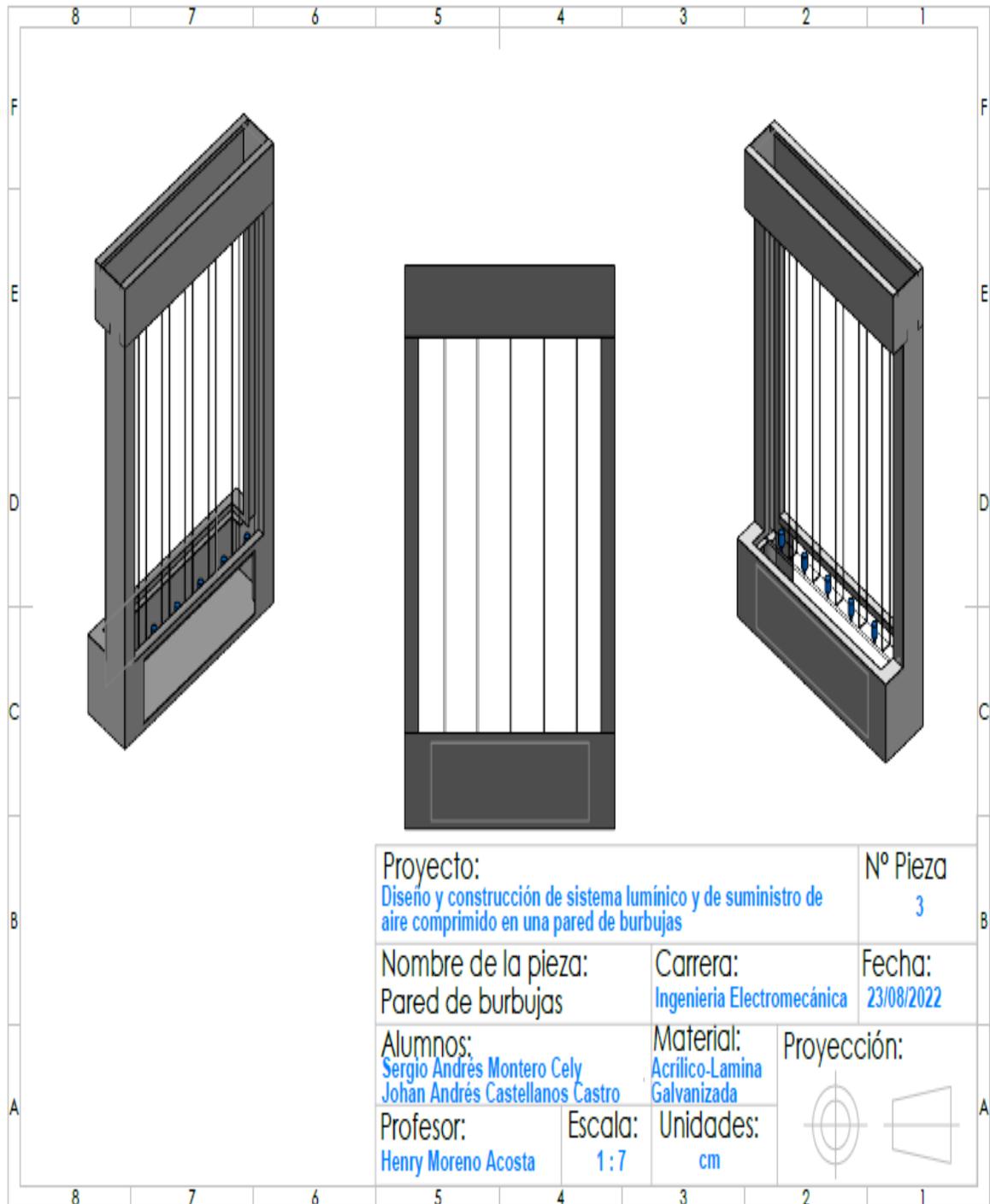
Pared de acrílico



Estructura pared de burbujas



Pared de burbujas.



D. Anexo: Fichas técnica .

Acrílico

Bibliografía

[1] Mott, R. (2015). Mecánica de fluidos (7.a ed.). Pearson Educación.

[2] Floyd, L. (2007). PRINCIPIOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS (8.a ed.). Pearson Educación.

[3] Villareal, J. (2001). INVESTIGACIÓN, ANALISIS Y DESARROLLO DE UN MANUAL PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NEUMATICO [Tesis maestría]. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON.

[4] CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO (NTC 2050). (2020). INCONTEC.

[5] HERNÁNDEZ, M. A. & MÉNDEZ, S. E. (2010). Diseño y Construcción de un Manipulador Neumático de Configuración Cilíndrica [Tesis pregrado]. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

[41] Chiluisa, J. (2016). Diseño y construcción de un apilador electro – hidráulico [Tesis pregrado]. Universidad de fuerzas armadas ESPE.

Cibergrafía

[6] Grupo Novelec (24 de marzo del 2021). Tiras de LED, todo lo que necesitas saber. <https://blog.gruponovelec.com/iluminacion/tiras-de-led-todo-lo-que-necesitas-saber/>.

[7] Automación Micromecánica s.a.i.c. (s.f.). AUTOMATIZACIÓN ELECTRONEUMÁTICA INDUSTRIAL [Archivo PDF]. https://www.academia.edu/35095437/Manual_Automatizaci%C3%B3n_Electroneum%C3%A1tica_Industrial.

[8] Solectro. (26 de agosto del 2020). ¿Qué es PWM y cómo usarlo? <https://solectroshop.com/es/blog/que-es-pwm-y-como-usarlo--n38>.

[9] ENEL COLOMBIA. (2022). Tarifario de energía eléctrica (\$/kWh) [Archivo PDF]. <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espa%C3%B1ol/personas/1-17-1/2022/tarifario-octubre-2022.pdf>.

[10] Arduino cl. (s.f.). Arduino UNO. <https://arduino.cl/producto/arduino-uno/>.

[11] Arduino cl. (s.f.). Arduino leonardo. <https://arduino.cl/producto/arduino-leonardo/>.

[12] Arduino cl. (s.f.). Arduino mega 2560. <https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560/>.

[13] Mercado Libre. (s.f.). Aireador Bomba Aire 2 Salidas Motor Silencioso Acuario Peces. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-615906150-aireador-bomba-aire-2-salidas-motor-silencioso-acuario-peces-_JM#position=23&search_layout=stack&type=item&tracking_id=46c9621e-c46b-4075-8290-2f1e0e2c63d4.

[14] Mercado Libre. (s.f.). Bomba De Aire Para Acuario Uniclife 4 Vativos 4 Lpm 2 Salidas. <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-858866925-bomba-de-aire-para-acuario-uniclife-4-vativos-4-lpm-2-salidas->

_JM#position=39&search_layout=stack&type=item&tracking_id=572888f8-5978-480e-a743-e299b54ea8aa.

[15] Mercado Libre. (s.f.). Motor Oxigenador Bomba Aire Pecera Silencioso Con Regulador. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-913369716-motor-oxigenador-bomba-aire-pecera-silencioso-con-regulador-_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=0de5d264-6552-411e-b73a-ae95ac8399ff.

[16] Mercado Libre. (s.f.). Válvula Solenoide 5v 6v 2 Posiciones 3 Vías Gas Aire Agua. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-467225610-valvula-solenoide-5v-6v-2-posiciones-3-vias-gas-aire-agua-_JM.

[17] Aliexpress. (s.f.). Válvula solenoide en miniatura 0526T, válvula de escape, interruptor de válvula de dos posiciones y tres vías. <https://es.aliexpress.com/i/33019366407.html?gatewayAdapt=glo2esp>.

[18] Industriales Andes. (s.f.). 3V110-06-NC 110VAC VÁLVULA 3/2 DE 1/8 SOLENOIDE. https://industrialesandes.co/neumatica/398-3v110-06-nc-110vac-valvula-32-de-18-solenoide-.html?gclid=Cj0KCQiAsoycBhC6ARIsAPPbeLvyJfuJljbAzan_DuVEhUBeuvo3JuobDnlKdqN626YK8-kNmdY_ueAaAm-kEALw_wcB#.

[19] Surtiacrylicos. (s.f.). Láminas de Acrílico [Imagen]. <https://www.surtiacrylicos.com/producto/colores-de-linea-en-laminas-acrilicas/>.

[20] Aquaextremeworld. (s.f.). LED De Interior De Burbujas De Agua Panel De Pared Características Divisor De Pantalla Wall Hotel Resturant KTV Bar Mall Store [Imagen]. <http://www.aquaextremeworld.net/bubble-wall/floor-standing-bubble-wall/led-indoor-water-bubble-panel-wall-features.html>.

[21] Beled. (s.f.). TIRA LED RGB ESTILO RAYO 150 LEDS [Imagen]. <https://beled.mx/tienda/tira-led-rgb-estilo-rayo-150-leds/>.

- [22] SCM. (s.f.). GUÍA COMPLETA DE NEUMÁTICA BÁSICA [Archivo PDF].
<https://smc.com.mx/wp-content/uploads/2018/01/GUIA-NEUMATICA-Web.pdf>.
- [23] Aquacultur. (s.f.). Los compresores de diafragma para el acuario [Imagen].
<https://aquaculturefrance.com/es/accueil/176-los-compresores-de-diafragma-para-el-acuario.html>.
- [24] SHERLIN.XBOT.ES. (s.f.). ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR? [Imagen].
<http://sherlin.xbot.es/microcontroladores/introduccion-a-los-microcontroladores/que-es-un-microcontrolador>.
- [25] Ideas Marinas. (s.f.). Piedras difusoras serie S [Imagen].
<https://ideasmarinas.com/piedras-difusoras-serie-s-aireacion-calidad/>.
- [26] Alibaba. (s.f.). hot sale interior design modern water feature bubble wall room dividers [Imagen]. https://www.alibaba.com/product-detail/hot-sale-interior-design-modern-water_60224943949.html.
- [27] Amazon. (s.f.). BTF-LIGHTING -Tira LED WS2812B RGB 5050SMD [Imagen].
https://www.amazon.com/WS2812BALL-negro-Black-PCB-IP67/dp/B01CDTEEZ2/ref=sr_1_1_sspa?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=2UPLJ9KUUXKSC&keywords=ws2812b%2Bip67&qid=1654624426&srefix=ws2812b%2Bip%2B67%2Caps%2C387&sr=8-1-spons&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEwUFpXN0dRSjhMVDJZJmVuY3J5cHRIZEIkPUEwNzA2MzMyMUtYNNvdCSFJCUkM1WSZlbnNyeXB0ZWRBZEIkPUEwNzc3MTk0M0Y4NUdBS0ZXTjNJVyZ3aWRnZXROYW1IPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRydWU&th=1.
- [28] Amazon. (s.f.). Uniprodo Pared De Agua Fuente para Muro LED Uni_Water_01 [Imagen]. https://www.amazon.es/Uniprodo-Pared-Fuente-Uni_Water_01-Potencia/dp/B07QHDBK7C.

- [29] Alibaba. (s.f.). PARED DE BURBUJAS DE AGUA MOD. BJ-P46.
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/Acrylic-Water-Bubble-Wall-Bubble-Screen-60581479475.html>.
- [30] Amazon. (s.f.). Uniprodo Pared De Burbujas Panel De Agua LED Uni_Water_02.
https://www.amazon.es/Uniprodo-Pared-Burbujas-Uni_Water_02-Potencia/dp/B07QC7MYKS.
- [31] Alibaba. (s.f.). Floor standing acrylic water bubble wall with multi colors led light.
https://www.alibaba.com/product-detail/Floor-standing-acrylic-water-bubble-wall_60730338886.html?spm=a2700.7724857.0.0.44932a1flfNSwW.
- [32] Alibaba. (s.f.). Panel de burbujas de agua para decoración del hogar y hotel, panel acrílico led, pantalla de pared, nuevo diseño. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/new-design-home-and-hotel-decoration-60550853962.html>.
- [33] Alibaba. (s.f.). Stylish glass water fountain curtain stainless steel water wall for hotel and office hall decoration. https://www.alibaba.com/product-detail/Stylish-glass-water-fountain-curtain-stainless_1600334834973.html?spm=a2700.details.0.0.574446c7lfwCIY.
- [34] Studylib. (s.f.). pared de burbujas - Fuentes de agua HBW.
<https://studylib.es/doc/5986058/pared-de-burbujas---fuentes-de-agua-hbw>.
- [35] Primrose. (s.f.). 183cm Pared de Burbujas De Luces Multicolores y Mando a Distancia - Para Interiores. <https://www.primrose.es/183cm-pared-burbujas-luces-multicolores-mando-distancia-para-interiores-p-111802.html>.
- [36] Mercado Libre. (s.f.). Piedra Difusora Oxigeno Peces Acuario Bomba Aire Aireador [Imagen]. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-624031008-piedra-difusora-oxigeno-peces-acuario-bomba-aire-aireador-_JM#position=22&search_layout=stack&type=item&tracking_id=b62c7b70-983d-46b8-83a9-45ef3959be99.

[37] Full Química. (s.f.). Densidad del agua.

<https://www.fullquimica.com/2012/04/densidad-del-agua.html>.

[38] Compel S.A. (s.f.). Módulo De Relé De 8 Canales De 5V Salidas Opto acopladas

RL8 [Imagen]. <https://www.compelelectronica.com/product/modulo-de-rele-de-8-canales-de-5v-salidas-optoacopladas-rl8/>.

[39] American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American

Psychological Association (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>.

[40] Surtiacrylicos. (s.f). Ficha técnica lámina. [Archivo PDF] .

<https://www.surtiacrylicos.com/wp-content/uploads/Ficha-T%C3%A9cnica-L%C3%A1minas.pdf>