

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
AUTOMATIZADO PARA DESINFECTAR AGUA
SUPERFICIAL USANDO OZONO Y RADIACIÓN
ULTRAVIOLETA EN EL AEROPUERTO DE JAÉN”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor:

Bach. Eduard Denis Espinoza Campos.

Asesor:

Ing. Paulo Jaime Martínez Castillo.

JAÉN-PERÚ, JUNIO 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eduard Denis Espinoza Campos', written in a cursive style.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Paulo Jaime Martínez Castillo', written in a cursive style.



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 09 de diciembre del año 2021, siendo las 16:00 horas, se reunieron de manera virtual los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Walter Linder Cabrera Torres

Secretario: Mg. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado

Vocal : Mg. José Luis Piedra Tineo, para evaluar la Sustentación del informe final:

() Trabajo de Investigación

(**X**) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA DESINFECTAR AGUA SUPERFICIAL USANDO OZONO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN EL AEROPUERTO DE JAÉN", presentado por el egresado: **Eduard Denis Espinoza Campos**, de la Carrera profesional de Ingeniería mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(**X**) Aprobar () Desaprobar (**X**) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ò menos | () |

Siendo las 17:09 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

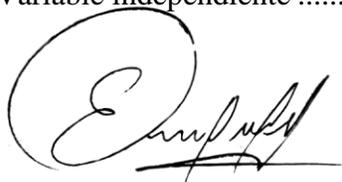
Mg. WALTER LINDER CABRERA TORRES
Presidente

Mg. LENIN FRANCHESCOLETH NÚÑEZ PINTADO
Secretario

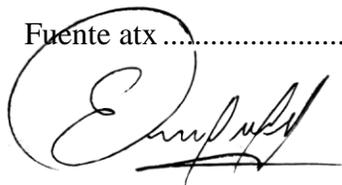
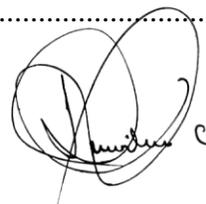
Mg. JOSÉ LUIS PIEDRA TINEO
Vocal

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Problema.....	13
1.2. Planteamiento del problema.....	13
1.3. Justificación.....	14
1.4. Antecedentes.....	14
II. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo general.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1. Población y Muestra.....	18
3.1.1. Población y muestra.....	18
3.1.2. Muestreo.....	18
3.2. Tipo de investigación empleada.....	18
3.3. Variables de estudio.....	19
3.3.1. Variable dependiente.....	19
3.3.2. Variable independiente.....	19



3.4.	Diseño de la investigación.....	20
3.5.	Métodos, técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos.....	21
3.6.	Materiales y equipos.....	22
3.6.1.	Equipos	22
3.6.2.	Software	22
3.7.	Metodología	22
3.7.1.	Aspectos generales del ozono	22
3.7.1.1.	Características físicas y químicas del ozono.....	23
3.7.1.2.	Toxicidad y normativa	25
3.7.1.3.	Producción de ozono	26
3.7.1.4.	Inyección de ozono en agua.....	27
3.7.2.	Aspectos generales de la radiación ultravioleta	29
3.7.3.	Desinfección con ozono y radiación ultravioleta.....	29
3.7.4.	Bosquejo preliminar.....	31
3.7.5.	Cálculo y dimensionamiento hidráulico	32
3.7.5.1.	Selección de electrobomba.	33
3.7.5.2.	Inyector Venturi	34
3.7.5.3.	Mezclador estático.	36
3.7.6.	Selección del generador de ozono.....	39
3.7.7.	Selección del esterilizador de agua por radiación ultravioleta	41
3.7.8.	Selección y dimensionamiento de materiales electrónicos.....	44
3.7.8.1.	Arduino	44
3.7.8.2.	Pantalla LCD 20x4.....	45
3.7.8.3.	Voltímetro digital	46
3.7.8.4.	Sensor de flujo.....	46
3.7.8.5.	Sensor de nivel	47
3.7.8.6.	Fuente atx	49

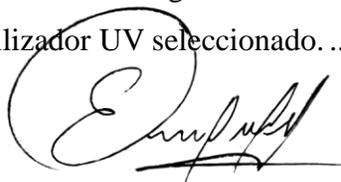



3.7.8.7.	Dimensionamiento de conductores eléctricos.....	50
3.7.8.8.	Fusible.....	52
3.7.9.	Diseño de estructura mecánica.....	53
3.7.10.	Programación de Arduino.....	57
3.7.10.1.	Diagrama de conexiones eléctricas.....	64
3.7.11.	Construcción del prototipo.....	64
IV.	RESULTADOS.....	71
4.1.	Cálculo y dimensionamiento hidráulico.....	71
4.2.	Selección del generador de ozono.....	75
4.3.	Selección del esterilizador de agua por radiación ultravioleta.....	77
4.4.	Selección y dimensionamiento de materiales electrónicos.....	78
4.5.	Programación de Arduino y conexiones eléctricas.....	81
4.6.	Ensamblado final.....	82
4.7.	Instalación del prototipo.....	84
4.8.	Pruebas de funcionamiento.....	87
4.9.	Resultados de pruebas.....	88
4.10.	Especificaciones del prototipo final.....	95
V.	DISCUSIÓN.....	96
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
6.1.	Conclusiones.....	98
6.2.	Recomendaciones.....	99
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
	AGRADECIMIENTO.....	104
	DEDICATORIA.....	105
	ANEXOS.....	106




ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Variable dependiente	19
Tabla 2: Variable independiente.....	19
Tabla 3 : Softwares utilizados en el desarrollo del prototipo.	22
Tabla 4: Propiedades del ozono.....	23
Tabla 5 : Tiempo de vida media del ozono en función a la temperatura.....	24
Tabla 6: Concentración del ozono.....	25
Tabla 7: Producción de ozono	26
Tabla 8: Puntuación de las tecnologías más usadas para la desinfección de agua. Los atributos de cada tecnología se clasifican de 1 (débil) a 5 (fuerte).....	30
Tabla 9: Consumo de agua por día en el Aeropuerto de Jaén.	32
Tabla 10: Selección de electrobomba.....	34
Tabla 11: Selección de la válvula Venturi.	36
Tabla 12: Parámetros para mezclado turbulento	39
Tabla 13: Métodos más utilizados para la generación de ozono.	40
Tabla 14: Producción de ozono	41
Tabla 15: Datos para cálculo de dosificación UV	42
Tabla 16: Selección del generador ultravioleta.	43
Tabla 17: Selección de la placa Arduino.	44
Tabla 19: Selección del sensor de flujo.....	47
Tabla 20: Selección del sensor de nivel	48
Tabla 21: Características de la fuente atx.....	49
Tabla 22: Potencia en w	51
Tabla 23: Sección de conductores	52
Tabla 24: Caudal de agua a tratar	71
Tabla 25: Selección de electrobomba.....	72
Tabla 26: Selección de la válvula Venturi.....	73
Tabla 27: Características del generador de ozono seleccionado.....	76
Tabla 28: Esterilizador UV seleccionado.....	77



v

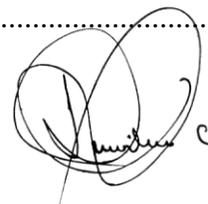


Tabla 29: Selección de la placa Arduino.....	79
Tabla 30: Características voltímetro digital.....	79
Tabla 31: Selección del sensor de nivel	80
Tabla 32: Resultados físico químico de la muestra 1.....	89
Tabla 33: Resultados físico químico de la muestra 2.....	90
Tabla 34: Resultados físico químico de la muestra 3.....	92
Tabla 35: Resultados físico químico de la muestra 4.....	93



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Diseño de investigación de la tesis	20
Figura 2 : Diagrama general de las partes de un generador de ozono.....	27
Figura 3: Difusión de ozono por burbujeo	28
Figura 4: Inyector Venturi.....	28
Figura 5: Espectro electromagnético de la luz ultravioleta.	29
Figura 6 : Bosquejo preliminar del prototipo	32
Figura 7: Diferentes formas de instalación de una válvula Venturi.	35
Figura 8: Mezcladores más usados.....	37
Figura 9: Pantalla LCD.	45
Figura 10: Protector para pantalla LCD.	46
Figura 11: Sensor de nivel Giropumps 121026.....	48
Figura 12: Estructura mecánica	54
Figura 13: Chapa metálica desplegada.....	55
Figura 14: Diseño mecánico completo.....	56
Figura 15: Diagrama de programación.....	57
Figura 16: Diagrama de conexiones eléctricas de la placa Arduino.	64
Figura 17: Diagrama para la construcción del prototipo.....	65
Figura 18: Estructura de fierro cuadrado 20*20mm soldado y pintado con base anticorrosiva.	66
Figura 19: Estructura con agujeros para todos los accesorios	67
Figura 20: Pintado de la estructura metálica	68
Figura 21: Instalación del inyector Venturi.....	69
Figura 22: Aletas mezcladoras	70
Figura 23 : Unión con soldadura de las aletas mezcladoras	70
Figura 24: Electrobomba seleccionada	72
Figura 25: Diseño del mezclado estático en Solidwords	74
Figura 26: Simulación del mezclador estático en el software SolidWorks	74

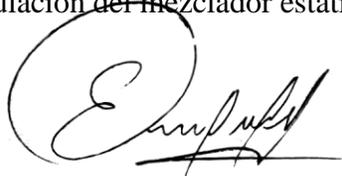


Figura 27: Mezclador estático terminado.....	75
Figura 28: Generador de ozono.....	76
Figura 29: Esterilizador ultravioleta seleccionado.	78
Figura 30 Voltímetro digital.....	80
Figura 31: Diagrama de conexiones eléctricas de la placa Arduino.	81
Figura 32: Instalación pruebas de funcionamiento de Arduino.	81
Figura 33: Instalación del esterilizador ultravioleta	82
Figura 34: Instalación de los componentes eléctricos.....	82
Figura 35: Prototipo terminado.	83
Figura 36: Pruebas de funcionamiento.....	83
Figura 37: Comprobación de componentes del prototipo.....	85
Figura 38 instalación 1	85
Figura 39: Instalación 2	86
Figura 40: instalación 3	86
Figura 41: Prototipo instalado en el Aeropuerto de Jaén.	87
Figura 42: Resultados bacteriológicos muestra 1.....	90
Figura 43: Resultados bacteriológico muestra 2.	91
Figura 44: Resultado bacteriológico muestra 3.....	93
Figura 45: Resultados bacteriológicos muestra 4.....	94




ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Dosificación de radiación UV, capaz de eliminar patógenos del agua	106
Anexo 2: Selección del tipo de mezclador estático.....	107
Anexo 3: Selección del generador de ozono.	108
Anexo 4: Planos de la estructura mecánica del prototipo (cotas en milímetros)	109
Anexo 5: Planos del mezclador estático.....	113
Anexo 6: Instalación del prototipo.....	115
Anexo 7: Instalación del prototipo con tanque de mezclado.....	116
Anexo 8: Instalación del prototipo con tanque de mezclado y tanque de floculación.	117
Anexo 9: Resultados físico químico muestra 1	118
Anexo 10: Resultados bacteriológico muestra 1	119
Anexo 11: Resultados físico químico muestra 2.....	120
Anexo 12: Resultados bacteriológico muestra 2.....	121
Anexo 13: Resultados físico químico muestra 3.....	122
Anexo 14: Resultados bacteriológico muestra 3.....	123
Anexo 15: Resultados físico químico muestra 4.....	124
Anexo 16: Resultados bacteriológico muestra 4.....	125
Anexo 17: Panel fotográfico	126



LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
UV	Radiación ultravioleta
OMS	Organización Mundial de la Salud
O ₂	Molécula de oxígeno
O ₃	Molécula de ozono
ml	Mililitros
g/mol	Gramos por mol
mg/l	Miligramos por litro
cm	Centímetro
kPa	Kilopascales
°C	Grados centígrados
mV	Milivoltios
mW	Miliwatts
Q	Caudal
l/m	Litros por minuto
In	Pulgadas
mm	Milímetros
kg/m ³	Kilogramo por metro cubico
ρ	Densidad
π	Pi
m_v	Flujo másico
μ	Viscosidad dinámica del fluido



x



c

RESUMEN

Muchas regiones de Perú no cuentan con servicio de agua potable provocando un alto índice de personas con enfermedades por el consumo de agua contaminada. La mayor contribución de este trabajo es el diseño y construcción de un prototipo que garantice la desinfección de agua usando la tecnología del ozono y radiación ultravioleta. La selección de los componentes se hizo teniendo en cuenta un caudal de agua a desinfectar máximo de 30 litros por minuto; la inyección de ozono se hace través de una válvula Venturi a una presión de 4 bar y la regulación de presión producida por la electrobomba se hace través de una llave de control y un manómetro. Para la automatización del prototipo se utilizó sensores de nivel, de flujo, pantalla LCD y un Arduino uno; el diseño de la estructura metálica y de un mezclador estático se hizo con ayuda del software SolidWorks. Al finalizar la construcción del prototipo se hicieron diferentes pruebas para garantizar el buen funcionamiento del mismo. Las pruebas microbiológicas fueron realizadas por la DISA – JAÉN, quienes usaron su metodología para hacer sus respectivos análisis logrando desinfectar el 100% del agua que se trató. La potencia del prototipo es de 550 watt.

Palabras claves: Radiación ultravioleta, ozono, caudal.



xi



ABSTRACT

Many regions of Peru do not have drinking water service, causing a high rate of people with diseases due to the consumption of contaminated water. The greatest contribution of this work is the design and construction of a prototype that guarantees the disinfection of water using ozone and ultraviolet radiation technology. The selection of the components was made taking into account a maximum flow of water to disinfect of 30 liters per minute; the ozone injection is done through a Venturi valve at a pressure of 4 bar and the pressure regulation produced by the electric pump is done through a control key and a pressure gauge. For the automation of the prototype level sensors, flow sensors, LCD screen and an Arduino uno were used; the design of the metallic structure and of a static mixer was done with the help of SolidWorks software. At the end of the prototype construction, different tests were carried out to guarantee its proper functioning. The microbiological tests were carried out by DISA - JAÉN, who used their methodology to carry out their respective analyzes, achieving disinfection of 100% of the water that was treated. The power of the prototype is 500 watts.

Keywords: Ultraviolet radiation, ozone, flow rate.



I. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta, sin embargo, para el consumo humano debe pasar por un proceso de purificación y desinfección.

El prototipo a desarrollar deberá brindar una alternativa compacta, fácil de instalar, capaz de desinfectar un caudal de agua máximo de 30 litros por minuto, donde el único insumo será la energía eléctrica y para desinfectar no hará uso de agentes químicos como el cloro y demás permitiendo de esta manera que el agua no cambie sus propiedades físicas; igualmente no habrá riesgo por sobredosificación y la limpieza junto a su mantenimiento será simple y sencilla. Posteriormente se podrá replicar el mismo para dar atención a localidades alejadas, colegios rurales, postas médicas, establecimientos públicos y privados, entre otros.

1.1. Problema

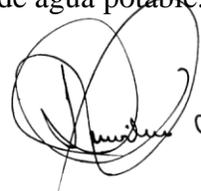
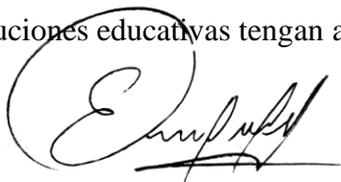
- El Aeropuerto de Jaén no cuenta con agua apta para el consumo humano.

1.2. Planteamiento del problema

El agua sin potabilizar no es apta para el consumo humano, ya que contiene microorganismos que son dañinos para la salud. Según la Organización Mundial De La Salud el consumo de agua no potable causa enfermedades como la diarrea, cólera, tifus, hepatitis, entre otros. En el mundo las diarreas son la tercera causa de muerte entre menores de cinco años y más de 340 000 niños menores de cinco años mueren por enfermedades diarreicas (Cabezas, 2018).

El 22% de la población del Perú consume agua no potable por otro lado los departamentos con menor acceso al agua potabilizada son: Huancavelica, Cajamarca, Pasco, Amazonas y Huánuco. Cajamarca es el departamento que presenta una situación crítica respecto al servicio de agua potable; cuenta con el 41.7% de la población sin este servicio. Las provincias de Santa Cruz, Cutervo, Chota y Jaén son las provincias con mayor porcentaje de población que no cuentan con agua apta para el consumo humano (INEI, 2018).

La falta de interés, conocimiento y elevados costos para la construcción de plantas de tratamiento de agua hacen inaccesible que los habitantes en las zonas rurales, establecimientos públicos e instituciones educativas tengan acceso al servicio de agua potable. En estos casos el



agua se consume directamente de acueductos, vertientes, riachuelos sin importar el riesgo que esto implica.

El desarrollo del presente proyecto es para conseguir un prototipo capaz de desinfectar agua sin usar agentes químicos, aplicando tecnologías novedosas derivadas de las propiedades del ozono y la radiación ultravioleta.

1.3. Justificación

El desarrollo de la presente tesis se justifica teniendo en cuenta que en la provincia de Jaén se ha determinado que más del 51.6 % de nuestra población consume agua no potable, y en el Aeropuerto de Jaén se dispone agua tomada directamente de una vertiente sin ningún tipo de tratamiento.

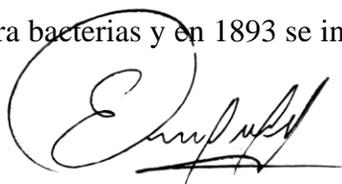
Existen dificultades para obtener agua apta para el consumo humano pues las plantas de tratamiento tradicionales, son costosas y no al alcance de pequeñas poblaciones.

El prototipo a desarrollar deberá brindar una alternativa compacta, fácil de instalar, donde el único insumo será la energía eléctrica y que para desinfectar no hará uso de agentes químicos como el cloro y demás permitiendo de esta manera que el agua no cambie sus propiedades físicas, igualmente no habrá riesgo por sobredosificación y la limpieza junto a su mantenimiento será simple y sencilla.

Posteriormente se podrá replicar el mismo para dar atención a localidades alejadas, colegios rurales, establecimientos públicos y privados.

1.4. Antecedentes

En 1785 el físico holandés Martinus Van Marum percibió un extraño olor mientras estaba llevando a cabo experimentos con chispas eléctricas por encima del agua, sin darse cuenta que había descubierto el ozono, pero no fue hasta mayo de 1840 que el químico Cristian Friedrich Schobein lo sintetiza en su publicación “The production of Ozone by Chemical Means”. En 1886 se descubrió la capacidad del ozono para desinfectar agua contaminada por De Meritens. Años después oficiales prusianos interesados en probar el ozono para potabilizar agua contrataron a la empresa alemana Siemens & Halske que construyó una planta piloto en Martinikenfeld, Alemania. Los resultados fueron publicados en 1891 demostrando su efectividad contra bacterias y en 1893 se instaló la primera planta de tratamiento a gran escala



en Oudshoorn, Holanda. El inventor Nicola Tesla en 1896 fue el primero que patentó un generador de ozono para uso médico y formó la compañía TESLA OZON. A inicios del siglo XX sus aplicaciones se redujeron considerablemente debido a las investigaciones sobre gases venenosos que se realizaron durante la primera guerra mundial esta situación provoco el uso del cloro en la desinfección del agua y frenó el desarrollo de la tecnología del ozono (Langlais, 1991).

Las aplicaciones prácticas de la radiación ultravioleta (luz ultravioleta o UV) comenzaron en 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente. Los primeros experimentos se llevaron a cabo en Marsella, Francia, en 1910. Entre 1916 y 1926, Estados Unidos la utilizó para proveer agua potable a los barcos. Al comienzo del siglo XXI su uso se extendió en Europa a tal punto que hoy en día existe 2000 plantas de tratamiento de agua, entre ellas la planta potabilizadora de Wahnbachtalsperrenverband, Alemania, que trata un caudal de 329000 m³/día (Solsona & Méndez, 2002).

A pesar que la cloración ha sido el método predominante de desinfección en plantas potabilizadoras de agua, la ozonización y la radiación ultravioleta ha sido ampliamente usada en Francia, Alemania y Canadá. Con la aparición de los subproductos de la desinfección y efectos adversos del cloro la aplicación del ozono y la radiación ultravioleta (UV) en el tratamiento de agua potable es más eficiente, saludable y lo más importante que no deja residuos de los agentes desinfectantes.

Estudios realizados en todo el mundo desde el descubrimiento del ozono hasta la actualidad han demostrado la efectividad del mismo en la desinfección total del agua; aquí hay que destacar el estudio de Smith y Bodkin quienes en 1944 compararon la acción bactericida del ozono y el cloro, demostrando que el tiempo necesario para esterilizar un litro de agua a pH 7 y con bacterias totales de $8 \cdot 10^7/100\text{ml}$ es de 7,5 minutos con una concentración de ozono de 0,13mg/l, para la misma muestra se utilizó 7,9 mg/l de cloro, es decir 60 veces más que el ozono. Por otro lado, Bringman observó que 0,1mg/l de cloro requiere 4 horas para eliminar $6 \cdot 10^4$ células de *E. coli* en agua, mientras que 0,1mg/l de ozono solo requiere 5 segundos (Wang, et al., 2007).



El poder desinfectante del ozono es 3000 veces superior a la de otros desinfectantes comúnmente utilizados, además considerándose la rapidez con la que actúa, se deduce que el ozono en el tratamiento de agua presenta múltiples ventajas con respecto al tratamiento con cloro (HIDRITEC, 2016)

Así como el ozono, la radiación ultravioleta ha dado buenos resultados en la aplicación de tratamiento de agua, no sólo en agua procedente de ríos y vertientes sino también en tratamiento de aguas residuales. Comprobando así la efectividad en la eliminación de Coliformes (Lopes, 2017).

El agua utilizada en procesos industriales presenta un alto riesgo de contaminación al ambiente, motivo por el cual se ha realizado investigaciones para aplicar la radiación ultravioleta y el ozono en un solo sistema de purificación de agua para eliminar hongos, bacterias, virus y algunos metales disueltos como el hierro, manganeso y el cianuro (Hanela , et al., 2015). También se han realizado trabajos de diseño, construcción y pruebas a con diferentes muestras de agua (Samoyoa, 2013)



II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo automatizado para desinfectar agua superficial usando ozono y radiación ultravioleta.

2.2. Objetivos específicos

- Describir las propiedades y beneficios del ozono y radiación ultravioleta (UV) para la obtención de agua potable.
- Diseñar el prototipo automatizado para desinfectar agua.
- Construir el prototipo automatizado que desinfectará el agua.
- Realizar pruebas para verificar el correcto funcionamiento del prototipo.
- Instalar el prototipo automatizado.



III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Población y Muestra

3.1.1. Población y muestra

Lo constituye el prototipo a diseñar y construir.

3.1.2. Muestreo

Al tratarse de una investigación tecnológica, no se realizará un muestreo probabilístico ya que el objetivo consiste en diseñar y construir un prototipo automatizado para desinfectar agua. La elaboración del prototipo se basará en ensayo error, teniéndose como optimización la purificación o desinfección total del agua.

3.2. Tipo de investigación empleada

Se realizó una investigación aplicada experimental tecnológica, mediante la utilización de la tecnología del ozono y radiación ultravioleta para desinfectar agua; esto permitirá resolver uno de los principales problemas relacionado con la salud de la población.



3.3. Variables de estudio

3.3.1. Variable dependiente

Tabla 1:

Variable dependiente

Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Técnicas e instrumentos
Agua a tratar	Elemento vital para sostenimiento y la reproducción de la vida.	Calidad de agua.	Cantidad de patógenos presentes en el agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía. • Pruebas microbiológicas. • Laboratorio de DISA Jaén.

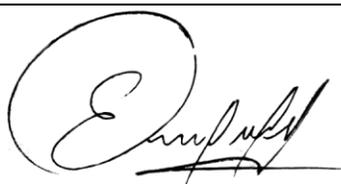
Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Variable independiente

Tabla 2:

Variable independiente.

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Técnicas e instrumentos
Radiación ultravioleta	Mecanismo de desinfección que se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas de radiación ultravioleta inciden sobre el material	Procesos para aplicar radiación ultravioleta.	Tiempo y dosis a aplicar.	Bibliografía.
		Generación de radiación ultravioleta.	Caudal de agua a tratar.	Cámara de radiación ultravioleta.



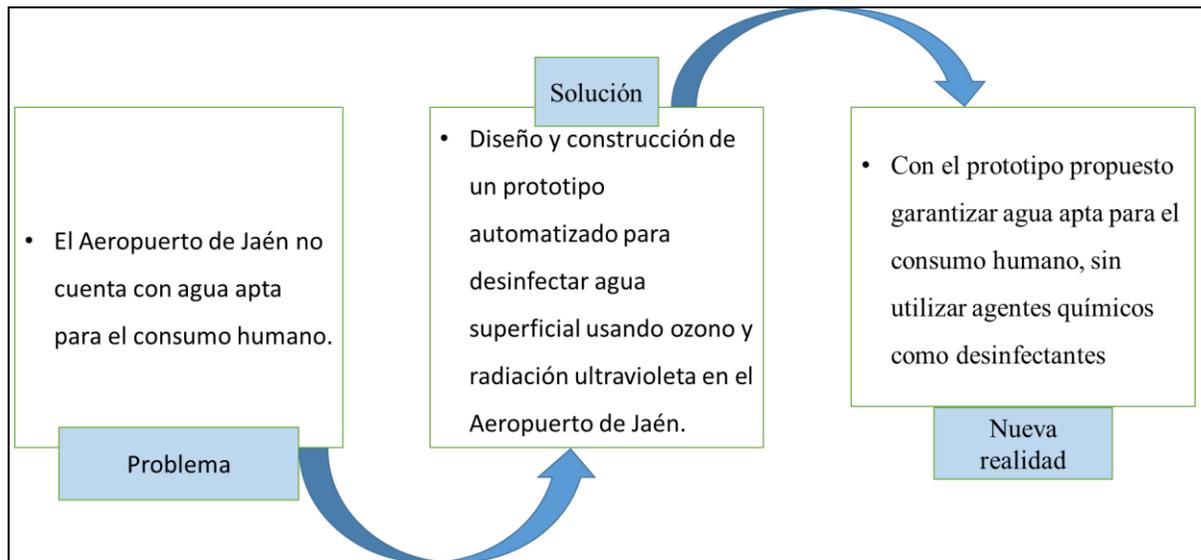

	genético (ADN) de los microorganismos.			
ozono	El ozono (O ₃) es un gas cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, es altamente oxidante.	Proceso para aplicar ozono.	Tiempo y dosis a aplicar.	Bibliografía.
		Generación de ozono.	Caudal de agua tratar.	Generador de ozono.

Fuente: elaboración propia.

3.4. Diseño de la investigación

Figura 1 :

Diseño de investigación de la tesis.



Fuente: elaboración propia.

3.5. Métodos, técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos.

a) Método

Deductivo: Las propiedades oxidativas del ozono e ionizantes de la radiación ultravioleta sirven para eliminar vida microbiana incluidos virus en el agua. La determinación de la misma se realizará a través de exámenes microbiológicos antes y después de instalar en el prototipo.

Para validar la eficiencia del prototipo que se fabricara nos regiremos de acuerdo al Reglamento de la Calidad de Agua para el Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA.).

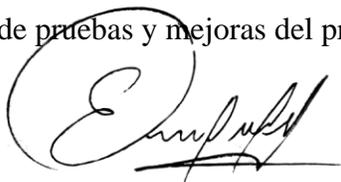
b) Técnicas, instrumento y procedimiento de recolección de datos

La técnica que se utilizará es la observación directa para el caso de monitoreo de indicadores señalización de luz, pantalla lcd y sonido del prototipo; y observación indirecta utilizando diversos instrumentos y análisis a las muestras que evidencian la eficiencia del prototipo.

Los instrumentos de recolección de datos están constituidos por formatos elaborados para la determinación de las dosis de radiación ultravioleta, y el gas ozono, así como los formatos de reporte del laboratorio de análisis físico químico y microbiológico. Al ser una investigación tecnológica se utilizan como instrumentos adicionales planos y croquis del prototipo.

El procedimiento que se siguió para el desarrollo de la siguiente investigación se describe a continuación.

- Recopilación y revisión de información.
- Calculo y dimensionamiento hidráulico.
- Diseño del prototipo.
- Desarrollo de la programación en Arduino y automatización del prototipo.
- Selección del generador de ozono y del esterilizador de radiación ultravioleta de acuerdo al caudal de agua calculado y bosquejo preliminar desarrollado.
- Construcción del prototipo.
- Pruebas de funcionamiento.
- Análisis de pruebas y mejoras del prototipo.



3.6. Materiales y equipos

3.6.1. Equipos

- Multímetro.
- Laptop.
- Herramientas de taller mecánico.

3.6.2. Software

Tabla 3 :

Softwares utilizados en el desarrollo del prototipo.

Nombre del software	Aplicación
Microsoft Word 2016	Redactar el proyecto de investigación.
Microsoft Excel 2016	Redactar y calcular el presupuesto de la tesis.
Arduino IDE 1.8.13	Diseñar el código de programación.
Fritzing.0.9.3B.64	Diseñar el circuito eléctrico.
Smarth Draw 2014	
SolidWorks 2018	Diseño mecánico.

Fuente: elaboración propia.

3.7. Metodología

3.7.1. Aspectos generales del ozono

El ozono (O_3) es un gas cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno. Se forma al disociarse los dos átomos que componen el gas de oxígeno. Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de oxígeno (O_2), formando moléculas de ozono (López & Vásconez, 2013).



3.7.1.1. Características físicas y químicas del ozono

La aplicación del ozono como desinfectante para el tratamiento de agua requiere un entendimiento de sus características físicas y químicas, ya que factores como la temperatura, presión, humedad, entre otros afectan la eficiencia como desinfectante. El ozono, forma alotrópica del oxígeno, es un oxidante muy energético. Es utilizado como tal en la desinfección del agua; está comprobada su eficacia en oxidación de materias orgánicas e inorgánicas (entre estas últimas destacan el hierro y manganeso). Su poder oxidante y desinfectante, mayor que el del cloro, le hace más eficaz que éste en la eliminación del olor, sabor y color del agua, así como en la eliminación de bacterias, virus y otros microorganismos (Casero, 2008).

La materia orgánica como el corcho, la goma y algunos metales pesados como el hierro, manganeso, plata son corroídos rápidamente. El vidrio, teflón, acero inoxidable, PVC son los materiales resistentes a la corrosión por el ozono (Vázquez, 2000).

Tabla 4:

Propiedades del ozono.

Color	Azul claro a altas concentraciones
Olor	Picante y penetrante (umbral olfativo 0.01-0.015ppm)
Peso específico	2,144
Peso molecular	48 g/mol
Densidad (a 0°C y 101.3 KPa)	2,154 g/mol
Punto de ebullición (a 101.3 KPa)	-111,9 °C
Solubilidad en agua (a 0°C)	20 mg/l
Solubilidad en agua (a 30°C)	1,5 mg/l
Potencial redox	2,07 mV

Fuente: Rodríguez (2003).



a) Solubilidad

La solubilidad del ozono varía dependiendo de la temperatura, conforme disminuye la temperatura es más soluble y estable. Esta propiedad es importante porque a mayor solubilidad aumenta la eficiencia de purificación.

b) Temperatura

La temperatura tiene gran influencia en la inestabilidad de la molécula de ozono. En la siguiente tabla podemos observar que a menor temperatura se incrementa la vida media del ozono, por otro lado, tener en cuenta que a temperaturas superiores a los 40°C no es posible utilizar ozono disuelto en agua, ya que a partir de esta temperatura la vida media del ozono es muy corta (López & Vásquez, 2013).

Tabla 5 :

Tiempo de vida media del ozono en función a la temperatura.

Temperatura (°C)	Vida media del ozono (minutos)
15	30
20	20
25	15
30	12
35	8

Fuente: López & Vásquez (2013).

c) Humedad

En la generación de ozono es fundamental que se utilice aire seco ya que si existe gran cantidad de vapor de agua presente se formara óxido de nitrógeno, el mismo que al combinarse con el aire forma ácido nítrico causando corrosión acortando la vida útil del reactor (López & Vásquez, 2013).



3.7.1.2. Toxicidad y normativa

Las normas de uso del ozono en el Perú no están registradas, ya que no existe plantas de tratamiento de agua a gran escala, por ello a continuación se mostrarán los límites máximos permisibles que han expuesto investigaciones y normativas expresas en Estados Unidos y Europa, donde el ozono tiene gran acogida.

Tabla 6:

Concentración del ozono.

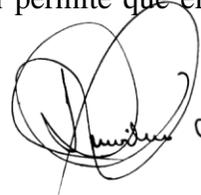
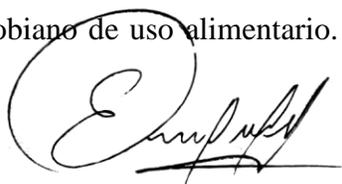
Ozono mg/l	Redox mV	Comentarios
0,1	200	Mala calidad de agua natural.
0,2	300	Buena calidad del agua natural.
0,3	400	Límite para acuarios.
0,4	500	Daño a la piel de animales acuáticos.
0,5	600	Desinfección 100%. Muerte de los peces.
0,6	700	Desinfección de piscinas y agua potable.

Fuente: TOP OZONO (2014).

En la ficha toxicológica del ozono está clasificado únicamente como agente irritante, esta clasificación se refiere exclusivamente a sus concentraciones en aire, es decir, a los problemas derivados de su inhalación dependiendo de la concentración a la cual las personas están expuestas. El ozono disuelto en agua resulta completamente inocuo dado que su acción sobre la materia orgánica provoca su rápida descomposición (TOP OZONO, 2014).

En 1999 España reconoce al ozono como desinfectante en la potabilización de agua por la norma UNE- EN 1278:1999. En palabras textuales de la norma española: “el ozono se auto descompone en el agua. Por tanto, a las dosis habituales aplicadas, no se requiere generalmente ningún proceso de eliminación” (UNE, 1999).

La FDA (Administración Americana de Alimentos y Drogas) en el 2001, lo incluyó como agente antimicrobiano de uso alimentario. Esta autorización permite que el ozono pueda ser



utilizado en forma gaseosa o líquida en el tratamiento, almacenaje y procesado de alimentos, incluyendo carne y pollo (TOP OZONO, 2014).

Por otra parte, en el Codex Alimentarius, el ozono viene definido por tener un uso funcional en alimentos como agente antimicrobiano y desinfectante, tanto del agua destinada a consumo directo, del hielo o de sustancias de consumo indirecto, como es el caso del agua utilizada en el tratamiento o presentación del pescado, productos agrícolas y otros alimentos perecederos (CODEX ALIMENTARIUS, 2001).

3.7.1.3. Producción de ozono

Para la producción de ozono puede partirse de aire u oxígeno puro. Cuando se utiliza aire, la concentración de ozono a la salida del ozonizador varía ya que solamente el 21 por ciento del volumen de aire es oxígeno y es el que se convierte en ozono. Si se emplea oxígeno puro la concentración aumentará en un 20 por ciento. En cualquier caso, el ozono se obtiene por descarga eléctrica alterna de alta tensión y/o frecuencia, entre dos electrodos separados por un medio dieléctrico, generalmente vidrio (Casero, 2008).

En la siguiente tabla la producción de ozono requerido para un determinado caudal de agua.

Tabla 7:

Producción de ozono.

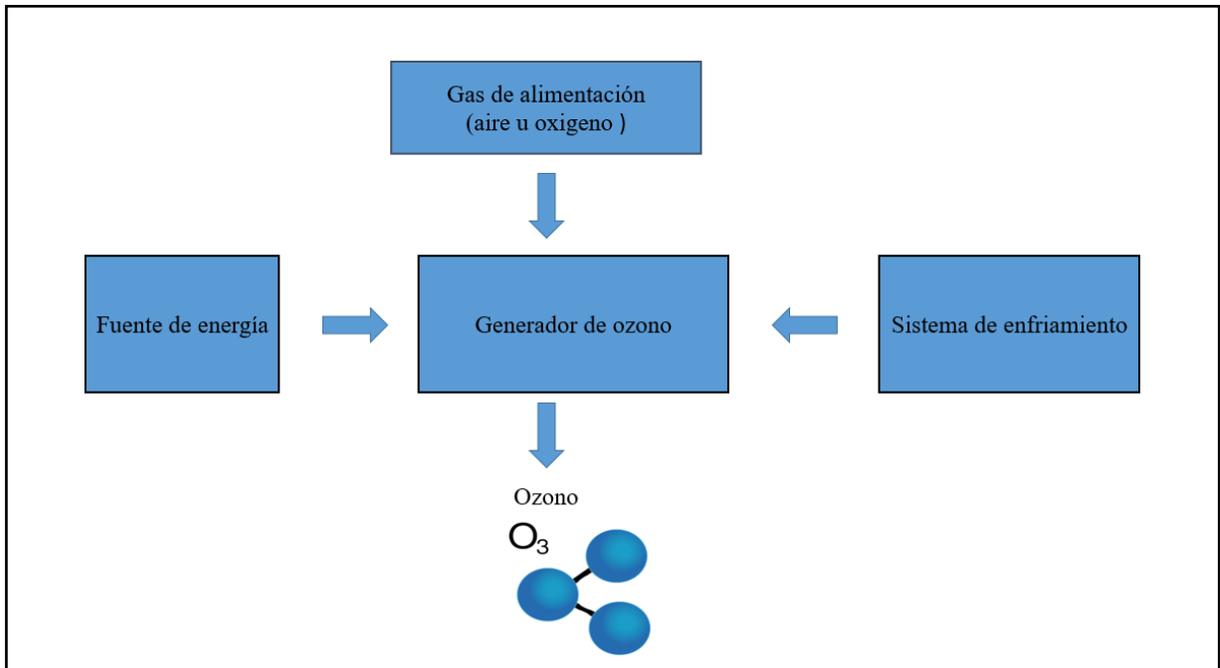
M ³ /hora	Litros/hora	Litros/segundo	Producción de ozono g O ₃ /h
2	2 000	0,56	2
5	5 000	0,39	5
10	10 000	2,78	10
20	20 000	5,56	20
30	30 000	8,33	30

Fuente: Rodriguez (2008).



Figura 2 :

Diagrama general de las partes de un generador de ozono.



Fuente: elaboración propia basándose en López & Vásquez (2013).

3.7.1.4. Inyección de ozono en agua

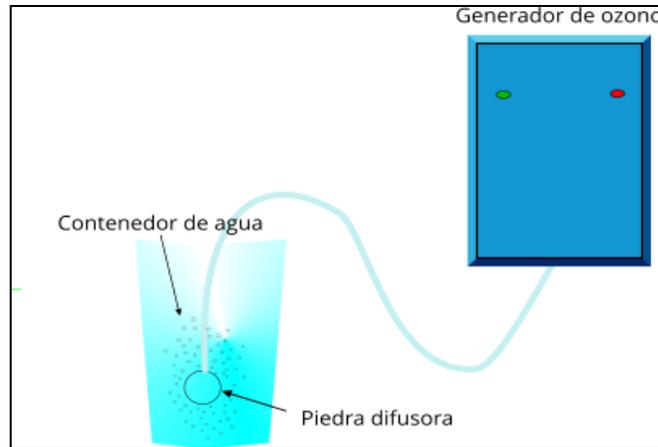
Para obtener el agua desinfectada se requiere una técnica adecuada de contacto del ozono en agua. La difusión por burbujeo y la inyección por tubo Venturi son los métodos más utilizados en la aplicación de agua potable.

a) Difusión por burbujeo

Esta técnica utiliza un difusor para producir pequeñas burbujas que entran en contacto con el agua. Es fácil de implementar, no tiene partes móviles, consta de una manguera de material resistente a la oxidación, puede ser de silicona o teflón, y una piedra difusora. Requiere bajo mantenimiento.

Figura 3:

Difusión de ozono por burbujeo.



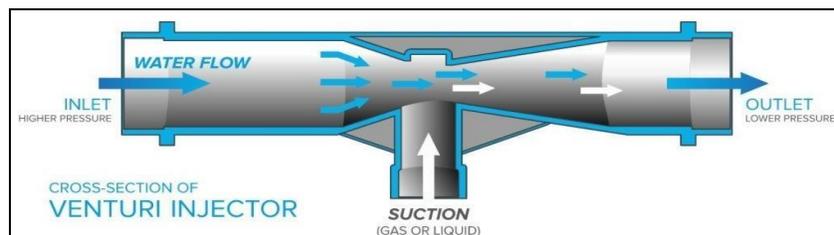
Fuente: elaboración propia

b) Inyector Venturi

El inyector Venturi o válvula Venturi se basa en el principio de Bernoulli y el Principio de Continuidad de Masa de Mecánica de Fluidos. Si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, la velocidad aumenta tras atravesar esta sección. Por el teorema de la conservación de la energía mecánica, si la energía cinética aumenta, la energía de la presión disminuye forzosamente. Al aplicar dicho principio, un fluido en movimiento dentro de un canal cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor; en este punto se aprovecha para inyectar el ozono. De esta forma aumentamos en un 90 por ciento el rendimiento de desinfección del agua (Samayoa, 2013).

Figura 4:

Inyector Venturi.



Fuente: <https://www.experimentoscientificos.es/efecto-venturi/>.

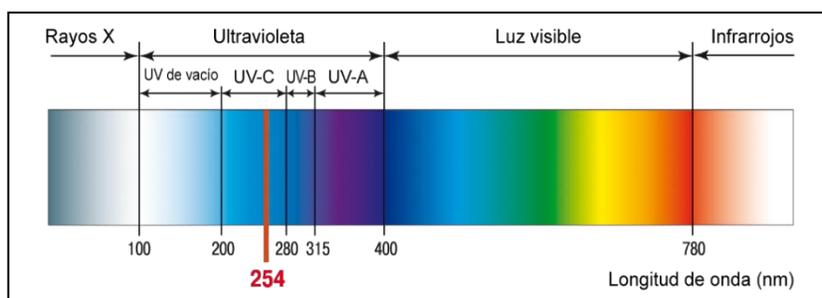
3.7.2. Aspectos generales de la radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta, luz ultravioleta o rayos ultravioleta es parte del espectro electromagnético de radiación que es emitida por el Sol con longitudes de onda que van desde 100 hasta 400 nanómetros (nm). Se ha determinado que la longitud de onda con mayor efecto germicida es 254 nm.

La desinfección por radiación ultravioleta no requiere de productos químicos, por lo tanto, no genera ningún sub producto durante el proceso desinfección de agua. Los rayos ultravioletas actúan en cuestión de segundos y alcanzan ratios de desinfección muy altos. El agua cumple con la normativa del agua potable y los costes de inversión y mantenimiento son relativamente bajos (Kuprat, 2013).

Figura 5:

Espectro electromagnético de la luz ultravioleta.



Fuente: <https://www.lit-uv.com/es/technology/>

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas de radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y virus, eliminándolos en corto tiempo, sin producir residuos colaterales en el agua (Solsona & Méndez, 2002).

3.7.3. Desinfección con ozono y radiación ultravioleta

El ozono es un poderoso oxidante con un efecto bactericida de amplio espectro que no genera residuos químicos dado que se degrada rápidamente para dar oxígeno, y la luz ultravioleta (UV) es un germicida que no tiene ningún efecto residual ni secundario. Por ello, la utilización de estas dos tecnologías juntas, actualmente, en los países más desarrollados se ha convertido en

una herramienta eficiente para la desinfección del agua eliminando al 100% bacterias, virus, hongos, nematodos, pesticidas, sabor, olor; entre otros; dando así agua apta para el consumo humano (Rodriguez , Botelho, & Cleto, 2008).

A continuación, se numeran las ventajas al usar ozono y radiación ultravioleta según (Gordillo, 2014):

- Se consigue la destrucción del contaminante. En cambio, las tecnologías convencionales no alcanzan a oxidar completamente la materia orgánica.
- No generan lodos que a su vez requieren de un proceso de tratamiento.
- Son muy útiles para microorganismos resistentes a otros métodos de desinfección.
- Sirven para tratar contaminantes a muy bajas concentraciones.
- No se forman subproductos de reacción.
- Generalmente, mejoran las propiedades organolépticas del agua tratada.
- Elimina los productos residuales de otros desinfectantes como el cloro.

Tabla 8:

Puntuación de las tecnologías más usadas para la desinfección de agua. Los atributos de cada tecnología se clasifican de 1 (débil) a 5 (fuerte).

Tecnología	Ozono	UV	Dióxidos de cloro	Gas de cloro	Ácido peracético	Hipoclorito
Respetuoso con el ambiente	5	5	2	1	2	1
Subproductos	5	5	2	1	2	1
Eficiencia	5	3	3	2	2	2
Inversión	2	3	4	4	4	4
Gastos de funcionamiento	5	4	3	4	4	4




Líquidos	5	4	5	3	3	3
Superficies	5	5	1	1	1	1
Desinfección residual	3	1	5	5	4	5
Manipulación	5	4	3	3	2	2
Puntuación	40	34	29	24	24	23

Fuente: OZONETECH (2019).

3.7.4. Bosquejo preliminar

Para usar este equipo el agua debería estar sin partículas observables, o sea ser cristalina a la vista, esto se logrará a través de algunos filtros que retengan impurezas en el agua.

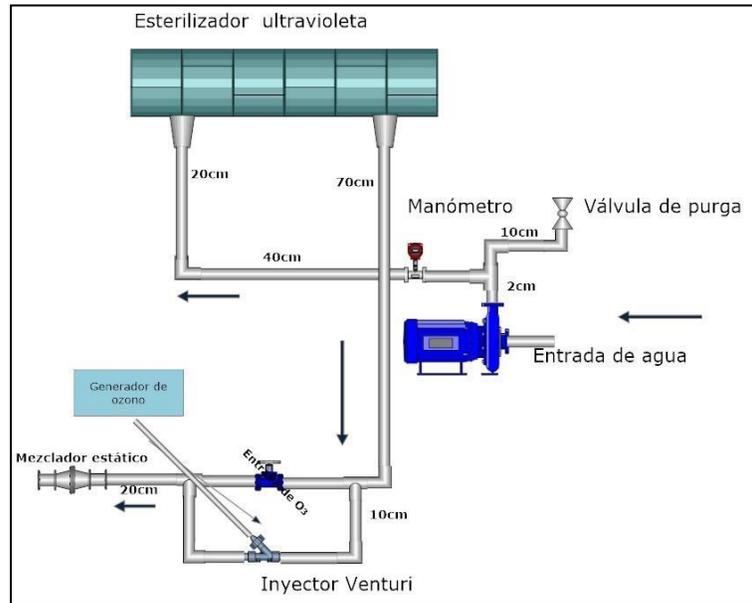
El funcionamiento del sistema se realiza de la siguiente manera:

1. Acoplar las entradas y salidas de agua del aparato a la tubería conductora de agua.
2. Un sensor de nivel de agua, previamente calibrado, arrancará al sistema.
3. El agua circulará, alcanzando una presión determinada gracias a una electrobomba, por una ampolla que contiene una lámpara de radiación UV, que debería destruir toda forma de patógeno en el agua.
4. Seguidamente el agua se ve forzada a pasar por el inyector Venturi, el mismo que succionará el ozono generado por el reactor permitiendo de esta manera mezclar este gas con el agua. Este paso es importante pues en este nivel se garantiza de que cualquier elemento patógeno que no haya podido ser eliminado en el paso anterior, se destruya; igualmente aquí el ozono ejerce acción sobre las características del agua en cuanto a eliminación de pesticidas, destrucción de olor, sabor y ayudar también a clarificar la misma.




Figura 6

Bosquejo preliminar del prototipo.



Fuente: elaboración propia.

3.7.5. Cálculo y dimensionamiento hidráulico

En la tabla 9 se resume la cantidad de agua que se consume en el Aeropuerto de Jaén. El prototipo se ha diseñado con una capacidad para desinfectar 30 litros de agua por minuto, cantidad más que suficiente para poder mantener abastecido los tanques cisternas del sistema de agua del aeropuerto.

Tabla 9:

Consumo de agua por día en el Aeropuerto de Jaén.

	Número de personas	Consumo de agua (litros/día)	Total (litros/día)
Personal	30	20*	600
Pasajeros	394	3**	1182
Cafetería		2880***	2880
Total			4662

Nota. *De acuerdo a la OMS cada persona consume 3 litros de agua por día y usa 17 litros para aseo personal.

** Se ha considerado un promedio de 3 litros de agua por pasajero para consumo y aseo personal.

*** El flujo de agua promedio para cafeterías es de 6 litros por minuto operando 8 horas diarias la cantidad de agua que necesita es de 2880 litros/día.

La velocidad del fluido se calcula con la fórmula (Cordón Orellana, 2013).

$$V = \frac{\dot{m}_v}{\pi D^2/4} \quad (1)$$

Donde:

V = velocidad (m/s)

\dot{m}_v = flujo volumétrico (m³/s)

D = diámetro de la tubería (m²)

$$V = \frac{0,0005}{\frac{\pi 0,0166^2}{4}} = 2,48 \frac{m}{s}$$

3.7.5.1. Selección de electrobomba.

Conociendo tanto el caudal de agua a tratar y la presión requerida por el inyector Venturi, se procedió a elegir la electrobomba adecuada, que para nuestro caso su descripción se detalla en la tabla 10.

No se tomó en cuenta las pérdidas de presión en las tuberías ya que son distancias cortas las que recorrerá el agua.



Tabla 10:*Selección de electrobomba*

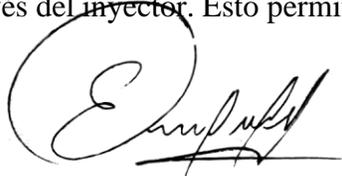
Características	Electrobomba 1	Electrobomba 2	Electrobomba 3
Marca	Werken	Pedrollo	Speroni
Modelo	Periférica	PKM 60	Periférica
Peso	5,5 kg	6 kg	6 kg
Potencia	0,5 hp	0,5 hp	0,5 hp
Voltaje	220 v	220 v	220 v
Presión máxima de trabajo	20 PSI	50PSI	50 PSI
Altura máxima	15 m	40 m	30 m
Máxima succión	8 m	7 m	7 m
Caudal máximo	40 l/m	60 l/m	60 l/m
Garantía	3 años	1 año	1 año
Precio S/	129	229	199

Fuente: elaboración propia.

3.7.5.2. Inyector Venturi.

En el mercado existen varios tamaños y tipos de inyector Venturi que se deben seleccionar en base a las necesidades, el tamaño del Venturi a utilizar debe estar en función al caudal de entrada, caudal de succión y la forma o modalidad de instalación.

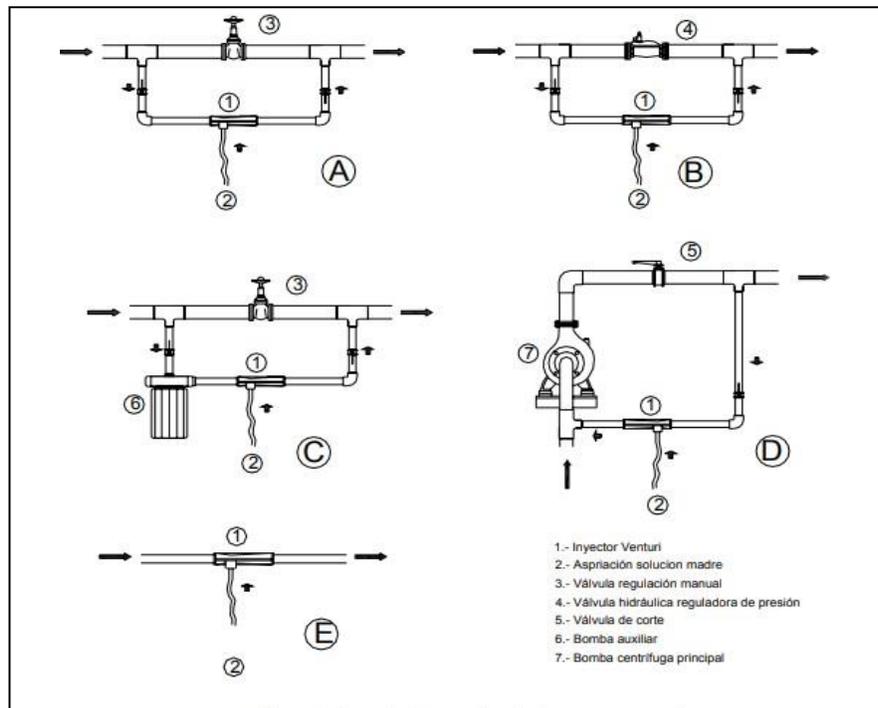
En la figura 7 se muestra diferentes tipos de instalación del inyector Venturi, siendo las instalaciones A y B más comunes, en estos casos el inyector está instalado sobre un punto de restricción como una válvula reguladora o una válvula compuerta/bola para crear un diferencial de presión a través del inyector. Esto permite un control de caudal en la succión del inyector.




El montaje C, donde la diferencia de presión se consigue con una bomba auxiliar, la inclusión de ésta elevaría el consumo de corriente eléctrica y por ende en el costo del prototipo. La disposición D, no se puede utilizar en la inyección de gases porque se produciría cavitación en la bomba. La conexión en serie, E, debe contar con un diferencial de presión, en otras palabras, la presión de entrada debe ser mayor que la presión de salida (Manzano, 2008).

Figura 7:

Diferentes formas de instalación de una válvula Venturi.



Fuente: Manzano (2008).

Tabla 11:

Selección de la válvula Venturi.

Características	Venturi 10090	Venturi 10091	Venturi 10108
Caudal de entrada (m ³ /h)	1,82 – 6,34	0,8 - 3	0,6 - 2
Caudal succión (l/h)	34 - 276	9 - 92	3 - 37
Presión de trabajo (bar)	0,7 – 9,5	0,4 - 7	0,2 - 4
Diámetro de entrada (in)	1	¾ in	½ in
Diámetro de salida (in)	1	¾ in	½ in

Fuente: elaboración propia.

3.7.5.3. Mezclador estático.

Los mezcladores estáticos son ampliamente utilizados para conseguir la homogenización de gases, líquidos y materiales viscosos sin el uso de piezas mecánicas o móviles, únicamente se valen en las propiedades del flujo como son la presión y la velocidad. Su bajo costo de construcción y sus buenos resultados ha hecho que se use en mezcla de pinturas, desinfectantes, petróleo, gas natural, en la producción de polímeros, entre otros (Díaz , 2016).

La aplicación de este dispositivo en la desinfección de agua con ozono nos garantiza una mayor eficiencia en cuanto a la eliminación de microorganismos ya que se consigue una mezcla total en todo el caudal de agua.

Actualmente, en el mercado existen un gran número de modelos de mezcladores estáticos que se adaptan prácticamente a cualquier necesidad, en la imagen 8 se muestra los mezcladores más usados.



Figura 8:

Mezcladores más usados.



Fuente: <https://es.made-in-china.com/>.

Para seleccionar el mezclador correcto, el caudal es fundamental, así como su viscosidad, la miscibilidad de un fluido, el tiempo de residencia y la caída de presión en la tubería (Cordón Orellana, 2013).

En el anexo 2, se presenta una tabla para determinar el tipo de mezclador a utilizar según su aplicación. Para la selección del tipo de mezclador es necesario conocer los parámetros de mezclado ya sea turbulento o laminar y para ello se hace necesario calcular el número de Reynolds que se encuentra con la siguiente ecuación (Anexo2).

$$Re = \frac{\rho DV}{\mu} \quad (2)$$

Donde:

ρ = Densidad del agua a 25C (kg/m^3).

D= Diámetro de la tubería (m).

μ = viscosidad dinámica del fluido (Pa s).

$$Re = \frac{997,13 \times 0,025 \times 2,48}{0,00891} = 69417$$

Si $Re \leq 2300$ el flujo es laminar, $Re \geq 4000$ el flujo es turbulento, basándose en el valor encontrado el flujo es turbulento, entonces el tipo de mezclador a utilizar es SMV.A continuación, encontraremos la longitud del mezclador con la formula (2) y la tabla 12 (Cordón Orellana, 2013).

$$\frac{L}{D} = \frac{\ln(0,033)}{\ln(Ki)} \quad (3)$$

Donde:

L= Longitud del mezclador.

D= Diámetro de la tubería.

Ki= Constante que depende del tipo de mezclador tabla 13.

$$\frac{L}{D} = \frac{\ln(0,033)}{\ln(0,46)} = 4,40$$

$$L = 0,025 \times 4,40 = 110 \text{ mm}$$



Tabla 12:

Parámetros para mezclado turbulento

Tipo	Ne ^a	KT	Ki
KMS	1,5	150	0,50
KVM	0,24	24	0,42
SMX	5	500	0,46
SMXL	1	100	0,87
SMV	1-2	100-200	0,21-0,46
SMF	1,3	130	0,40

Fuente: Cordón (2013).

El tipo de mezclador dimensionado se diseñó en el software Solidworks, también se hizo una simulación en el mismo software donde podemos apreciar que el mezclador diseñado funciona correctamente.

3.7.6. Selección del generador de ozono

En la tabla siguiente se hace una comparación de los métodos más utilizados para la generación de ozono, de los cuales el más destacado, por el desempeño de su eficiencia e implementación, es el método de descargas eléctricas.



Tabla 13:

Métodos más utilizados para la generación de ozono.

Método	Capacidad típica de generación de ozono gO₃/h	Implementación	Volumen de agua a tratar	Consumo de energía	Precio
Descargas eléctricas	100	Sencilla	Bajo a alto	El menos	Moderado
Radiación ultravioleta	2	Sencilla	Bajo	10 veces más que el primer método	Elevado
Electrólisis	1 a 4	Complicado	Bajo	15 a 20 veces más que el primer método	Elevado

Fuente: Lozano Churo & Soto Flores (2010).

Teniendo en cuenta el método de generación de ozono. Haciendo uso de la fórmula tomada de Sánchez (2014) se calcula la producción de ozono necesario para desinfectar un caudal de 30 l/m o 1800 l/h de agua.

$$Pd = Ds(mg/l) \times Q(l/h) \quad (4)$$



Tabla 14:

Producción de ozono.

Valor	Descripción	Unidad de medida
D _s = 2	Dosis de ozono abalado por la IBWA	Miligramos por litro (mg/l).
Q= 1800 l/h	Caudal de agua a desinfectar	Litros por hora.
Pd=3,6 gO ₃ /h	Producción de ozono	Gramos de ozono por hora.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 1 se muestra las partes que conforman un generador de ozono. El gas de alimentación que se utilizará en este prototipo es oxígeno tomado del aire. La cantidad de aire necesario para la producción de ozono de 5 g/h nos especifica el fabricante que es de 20 l/m; éste es inyectado por una bomba de aire. Por otro lado, para el sistema de enfriamiento se ha visto conveniente poner 4 ventiladores de 4,8w de potencia a 24 voltios con el fin de tener el generador de ozono refrigerado, ya que la temperatura es un factor que va a variar la inestabilidad de este gas como se muestra en la tabla 5 a mayor temperatura el ozono es más inestable, alcanzados los 40 grados se hace muy difícil su producción.

3.7.7. Selección del esterilizador de agua por radiación ultravioleta

La selección de un esterilizador de agua por radiación ultravioleta se basa principalmente en los costos y la capacidad de desinfección. En la tabla 16 se especifica las características de tres marcas de esterilizadores ultravioleta. Por otro lado, es importante calcular la dosificación de radiación ultravioleta con la finalidad de saber si la lámpara ultravioleta logra eliminar los microorganismos más comunes (*Escherichia coli*, coliformes, pseudomonas, virus de la hepatitis, entre otros), en el anexo 1 se muestra la dosificación de radiación ultravioleta capaz de eliminar patógenos del agua. A continuación, se hace el cálculo correspondiente con la formula tomada de Wright & Cairns (1998).



$$Dosis\ UV = I_r * T \tag{5}$$

Para calcular el tiempo de contacto de la lámpara se utiliza las siguientes fórmulas.

$$A = \pi DL = \pi 4\ cm * 55\ cm = 691,15\ cm^2 \tag{6}$$

$$I_r = \frac{Potencia}{Área} = \frac{25000\ mW}{691,15\ cm^2} = 36\ mW/cm^2$$

Resolviendo la ecuación 5 para encontrar el tiempo de contacto:

$$T = \frac{Dosis\ W}{I_r} = \frac{200\ mWs/cm^2}{36\ mW/cm^2} = 5,55\ seg$$

Según Solsona & Méndez (2002) la dosis para inactivar todo tipo de microorganismos es de 200mW/cm², tomando ese dato el tiempo de contacto requerido es de 6 segundos.

Tabla 15:

Datos para cálculo de dosificación UV.

Valor	Descripción	Unidad de medida
A=691,15	Área de contacto de la lámpara UV	Centímetros cuadrados (cm ²)
P=25000	Potencia de la lámpara UV	Milivatos(mW)
T=6	Tiempo de contacto	Segundos (s)
Ir = 36	Intensidad de radiación	mw/cm ²

Fuente: elaboración propia.




Tabla 16:*Selección del generador ultravioleta.*

Características	Esterilizador UV	Esterilizador UV	Esterilizador UV
	1	2	3
Marca	Bluekangen	Coronwater	Chcyus
Modelo	QY-UV25W	SEV- 5345	4JSQ-UV-12W
Material	Acero inoxidable 304	Acero inoxidable 304	Acero inoxidable 304
Voltaje	220 v	220 v	220 v
Frecuencia	50 -60 Hz	50 -60 Hz	50 -60 Hz
Potencia	25w	16 w	12 w
Rango de presión de funcionamiento	1 - 8 bar	1 - 8 bar	1 - 8 bar
Rango de temperatura de funcionamiento	2 - 40 °C	5 – 37 °C	3 -38 °C
Volumen de radiación	1,35 l	0,8 l	0,5 l
Diámetro de tubería de entrada y salida de agua	1/2"	1/2"	1/2"
Vida útil	8000 h	8000 h	8000 h
Precio	600 soles	450 soles	300 soles

Fuente: elaboración propia.



3.7.8. Selección y dimensionamiento de materiales electrónicos

3.7.8.1. Arduino

Arduino es una plataforma de hardware y software libre. Tanto su diseño como su distribución puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia. En la placa Arduino es donde conectaremos los sensores, actuadores y otros elementos necesarios para automatizar el prototipo.

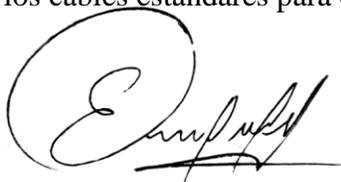
Tabla 17:

Selección de la placa Arduino.

Características	Arduino Uno R3	Arduino Uno R3 snd micro USB	Arduino mega 2560 R3
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega328P	ATmega2560
Chip USB	ATmega16U2	ATmega16U2	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V	5 V	5 V
Voltaje de alimentación	7- 12 V	7- 12 V	7- 12 V
Pines digitales	14 (6 salidas PWM)	14 (6 salidas PWM)	54 (15 salidas PWM)
Entradas analógicas	6	8	16
Corriente máxima de entrada y salida	40mA	40 mA	40 mA
Precio	S/45	S/ 30	S/ 70

Fuente: elaboración propia.

En nuestro caso utilizaremos 7 salidas, es por ello que elegimos el “Arduino Uno R3 snd micro USB”, la diferencia principal de esta versión es que incluye un conector micro USB para conectar usando los cables estándares para cargar celulares.



3.7.8.2. Pantalla LCD 20x4

Estas pantallas son muy comunes en los proyectos de electrónica, la mayoría vienen unidas a una placa de circuito y poseen pines de entrada/salida, la inclusión del módulo I2C hace que podamos enviar datos a la pantalla utilizando solamente dos pins.

Figura 9:

Pantalla LCD.



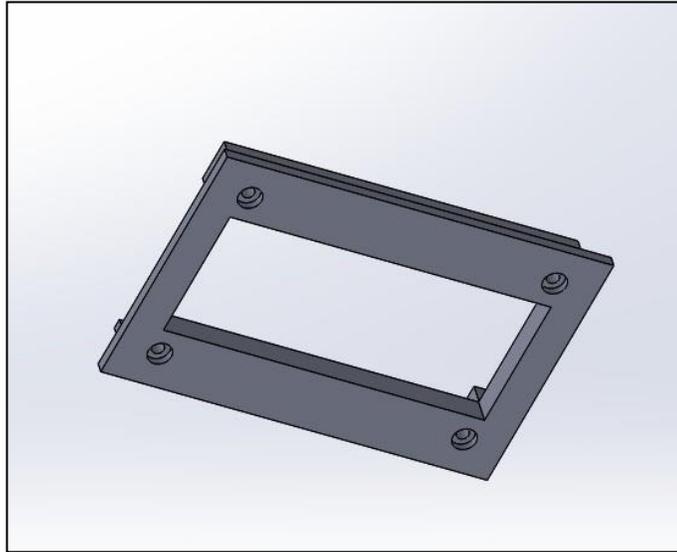
Fuente: <https://naylampmechatronics.com/>.

Para la protección de la pantalla lcd se diseñó un protector e impreso en 3d en material de plástico.



Figura 10:

Protector para pantalla LCD.



Fuente: elaboración propia en software solidworks 2018.

3.7.8.3. Voltímetro digital.

Este dispositivo tiene como finalidad marcar el consumo de corriente del prototipo, además podemos visualizar el voltaje, frecuencia, factor de potencia, potencia y energía.

3.7.8.4. Sensor de flujo

Para la selección del sensor de flujo se realizó un cuadro comparativo con las principales características de los mismos como se muestra en la tabla 18.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Enrique'.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Enrique'.

Tabla 18:*Selección del sensor de flujo.*

Características	Sensor de flujo G1/2"	Sensor de flujo YF- S201	Sensor de flujo OOTDTY
Material	Plástico	Plástico	Bronce
Salida de señal	Analógico	Analógico	Analógico
Voltaje de funcionamiento	5 – 15 V	5 – 18V	5 – 250 V
Corriente	10 mA	15 mA	50 mA
Número de cables	3	3	2
Temperatura	5 – 80 C°	-5 – 50C°	-5 – 100C°
Presión	0,5 – 2 MPa	0,5 – 2 MPa	0,3 – 10MPa
Rango de caudal	1 – 15 l/m	1 – 50 l/m	1 – 20 l/m
Diámetro de tubería	½"	½"	½"
Precio	S/35	S/20	S/70

Fuente: elaboración propia.

En base a las características de los sensores comparados anteriormente se eligió al sensor YF-S201 que acepta el caudal de agua con la que trabajará el prototipo.

3.7.8.5. Sensor de nivel

Para la selección del sensor de nivel se tomó en cuenta el voltaje y la potencia, cabe mencionar que la potencia que se requiere es más de 300W (potencia que consume la electrobomba). El que cumple con nuestras necesidades es el sensor Giropumps 121026. La instalación de este sensor es sencilla a diferencia de los otros modelos que requieren de un actuador o relé.




Tabla 19:

Selección del sensor de nivel.

Características	Sensor de nivel SEN-NLIQH	Sensor de nivel SEN-NLIQV	Sensor de nivel Giropumps 121026
Tipo	Boya o interruptor flotador	Boya o interruptor flotador	Boya o interruptor flotador
Voltaje máximo	100V	100V	250V
Corriente máxima	0,5A	0,5A	15A
Carga máxima	10W	10W	2500W
Temperatura	5 – 50 C°	5 – 50 C°	5 – 60 C°
Longitud del cable	30 cm	30 cm	3 m
Precio	S/ 10	S/12	S/ 25

Fuente: elaboración propia.

Figura 11:

Sensor de nivel Giropumps 121026.



Fuente: <https://www.promart.pe/>



3.7.8.6. Fuente atx

Para la selección de la fuente atx, se consideró los niveles de voltajes de los dispositivos electrónicos (5 V, 12V y 24V), en cuanto a la corriente no se tuvo ningún inconveniente ya que la fuente atx estándar nos da mayor corriente a la requerida que es 1,5 A.

Tabla 20:

Características de la fuente atx.

	Voltaje		Corriente		Frecuencia	
AC Entrada	110v 220v		4A		50 - HZ	
	Naranja	Rojo	Amarillo	blanco	Azul	Púrpura
DC salida	+3,3 V	+5V	+12V	-5V	-12V	+5V sb
	30 A	50 A	20 A	0,6 A	0,6 A	2 A
Tolerancia	±5%	±5%	±5%	±5%	±5%	±5%
Potencia			530w			

Fuente: elaboración propia.




3.7.8.7. Dimensionamiento de conductores eléctricos.

El dimensionamiento de un conductor es muy importante ya que puede generar sobrecargas y hacer cortocircuitos. Con la formula (7) (Harper, 2005) se calcula el diámetro de los conductores que se utilizará en el prototipo. Los conductores de corriente continua tienen alimentación individual desde la fuente atx y arduino estos tienen un consumo de corriente de 40 mA, para ello se seleccionó un cable de 0,35 mm de cobre que se encuentra disponible en el mercado local. El máximo amperaje que soporta es 1 amperio.

$$S = \frac{2 \times L \times P}{\Delta V \times V \times K} \quad (7)$$

Donde:

S = sección del cable (mm²).

L = longitud del cable (m).

P = Potencia (w).

ΔV = caída de tensión permitida en el tramo (v).

K = conductividad eléctrica del cable ($54 \frac{m}{\Omega mm^2}$).



➤ **Cálculo de potencia.**

Tabla 21:

Potencia en w

	Unidad	Intensidad de corriente(A)	Voltaje V	Potencia (W)	Sub total (W)
Electrobomba	1	2	220	440	440
Generador de ozono	1	0,21	220	45	45
Esterilizador ultravioleta	1	0,12	220	25	25
Ventiladores de disipación	4	0,2	24	4,8	19,2
Arduino	1	0,1	5	0,5	0,5
Pantalla lcd	1	0,1	5	0,5	0,5
Porcentaje de carga máxima			5%		19,5
			Total		556,71

Fuente: elaboración propia.

➤ **Conductor general.**

Para la alimentación del prototipo se tuvo en cuenta la potencia total como se puede observar en la tabla 22, la potencia máxima es de 409,71W, para mejor presentación y seguridad se seleccionó un cable poder de computadora que soporta una potencia de 550 W.




➤ **Conductor para la electrobomba y generador de ozono.**

Al trazarse una longitud desde el punto de alimentación hasta los dispositivos se obtuvo 5 metros como máximo, por tratarse de distancias cortas no se consideró el 1% de caída de tensión.

$$s = \frac{2 \times 5 \times 300}{2,2 \times 220 \times 54} = 0,11 \text{mm}^2$$

Tabla 22:

Sección de conductores.

AWG	Sección (mm ²)
22	0,324
20	0,517
18	0,821
16	1,32
14	2,08
12	3,31
10	5,26
8	8,37

Fuente: Harper (2005).

La sección del conductor que más se aproxima a lo calculado es 0,324 o 24 AWG (ver tabla 22). Utilizaremos el mismo conductor para alimentar al generador de ozono. En el caso del esterilizador ultravioleta el fabricante incluye su propio cable de alimentación.

3.7.8.8. Fusible

Un fusible funciona como un protector de una sobrecarga o cortocircuito, para su selección se debe tener en cuenta el voltaje y la potencia. Hacemos uso de la ecuación 8 y 9 para la selección del fusible.



$$I_t = \frac{r}{V} \quad (8)$$

$$I_f = 1,25 \times I_t \quad (9)$$

Donde:

I_t = Intensidad de corriente total (A).

I_f = Intensidad de corriente del fusible (A).

P = Potencia (W).

V = Voltaje.

$$I_t = \frac{409,71}{220} = 1,86 \text{ A}$$

$$I_f = 1,25 \times 1,86 = 2,32 \text{ A}$$

El valor encontrado para el fusible no hay en el comercio, por lo que utilizaremos un fusible de 3 A 220 V.

3.7.9. Diseño de estructura mecánica

Para el diseño de la estructura mecánica se consideró los siguientes aspectos:

- Espacio suficiente para el ensamblado de los componentes.
- La estructura debe tener dos compartimientos de tal forma que no se mezcle los circuitos electrónicos con las tuberías de agua.
- El generador de ozono debe estar refrigerado para su óptimo funcionamiento.
- Se limitaron los estudios de esfuerzos mecánicos ya que el prototipo no estará sujeto a esfuerzos mayores más que su propio peso.
- Debe tener la facilidad para el transporte.

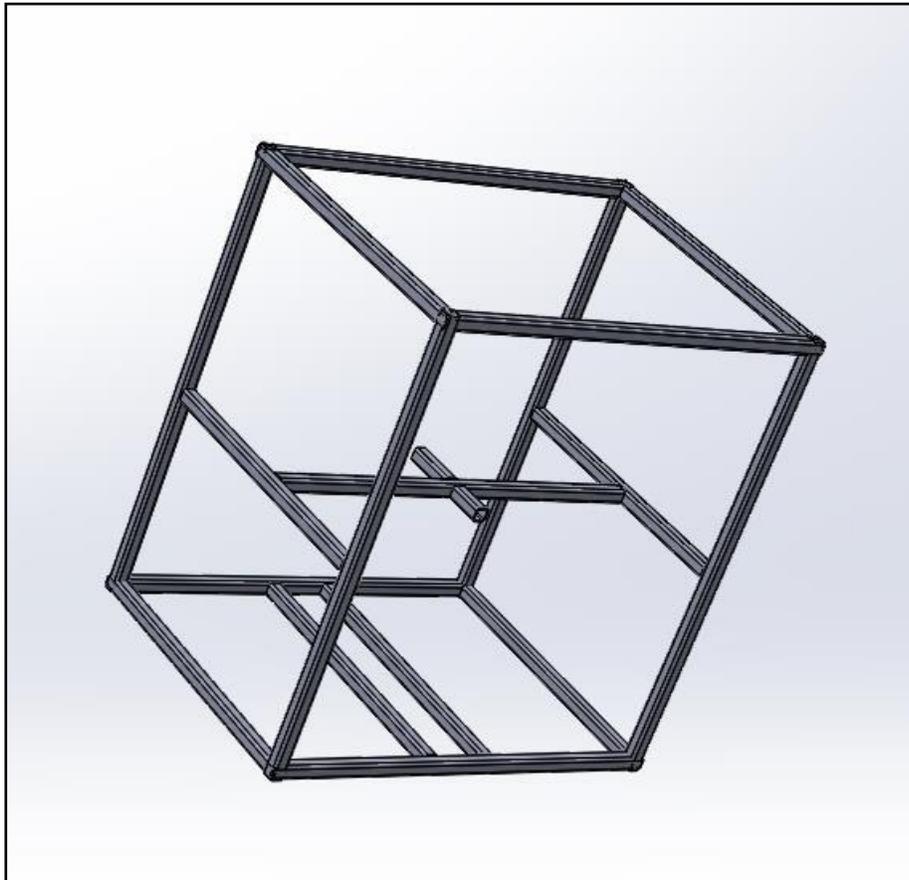


El diseño consta una estructura de fierro cuadrado soldado tal como se muestra en la figura 16, y cubierto por tapas de chapa metálica protegido con una base antioxidante y pintado con pintura acrílica. A continuación, se muestra las especificaciones de los materiales usados.

- Tubo cuadrado.
- Chapa metálica de fierro de 120cm x 240 cm x 1,2 mm.
- Soldadura.
- Pintura acrílica.
- Pintura anticorrosiva.
- Thinner.
- Pernos 4mm.
- Remache de 4mm x 10mm.

Figura 12:

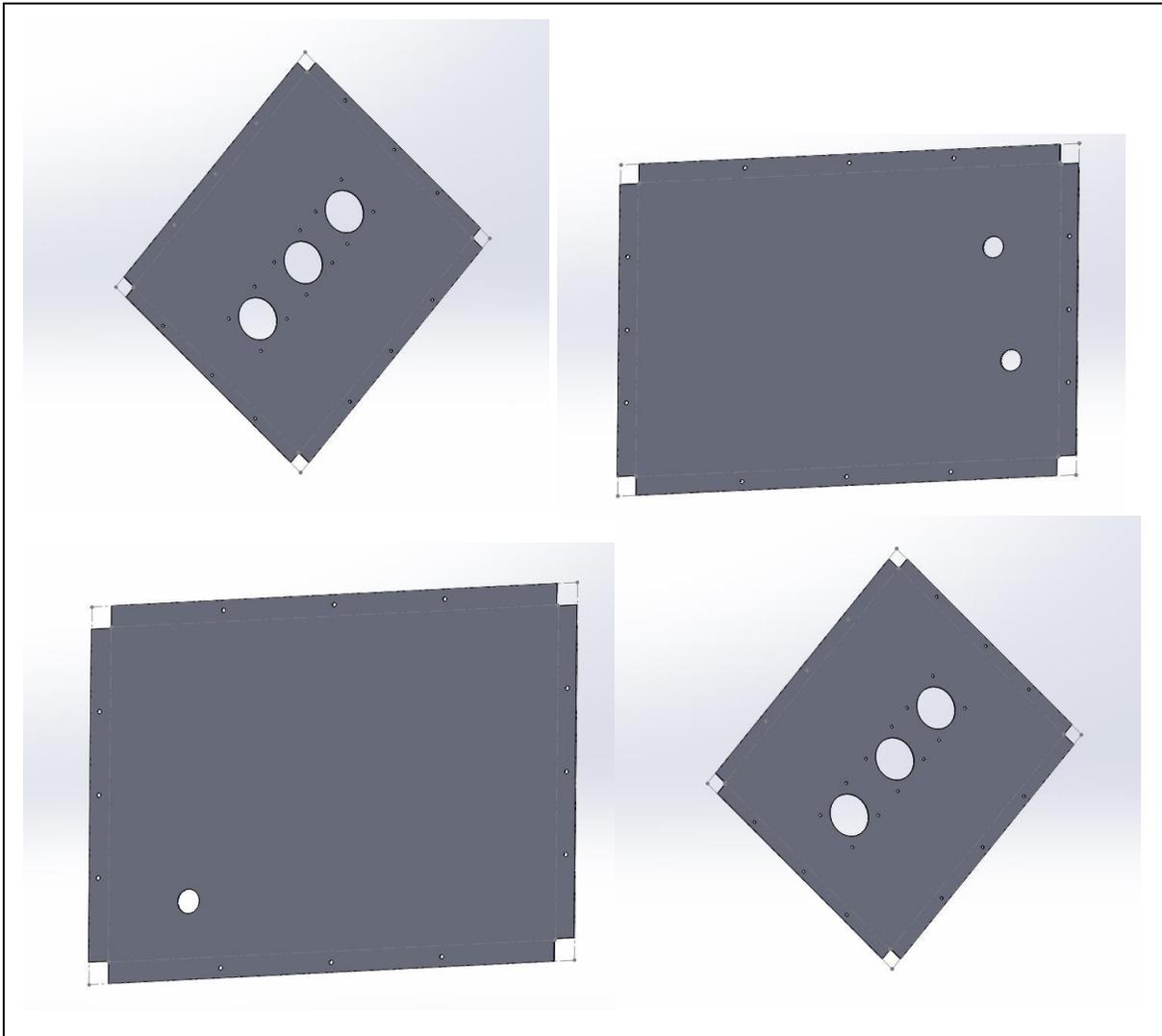
Estructura mecánica.



Fuente: elaboración propia. software SolidWorks.

Figura 13:

Chapa metálica desplegada.



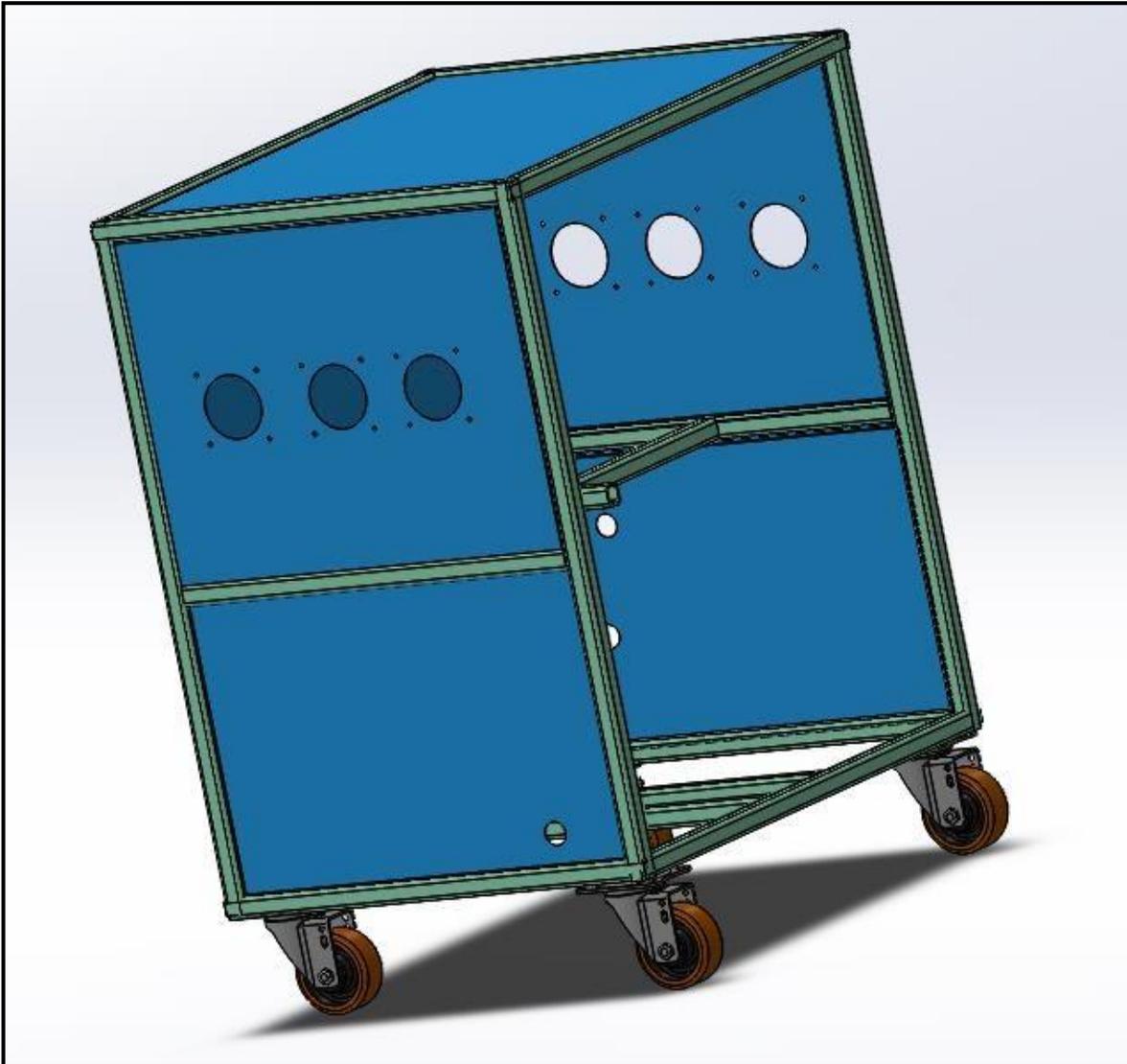
Fuente: elaboración propia.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'E. Ampuero'.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Muñoz'.

Figura 14:

Diseño mecánico completo.

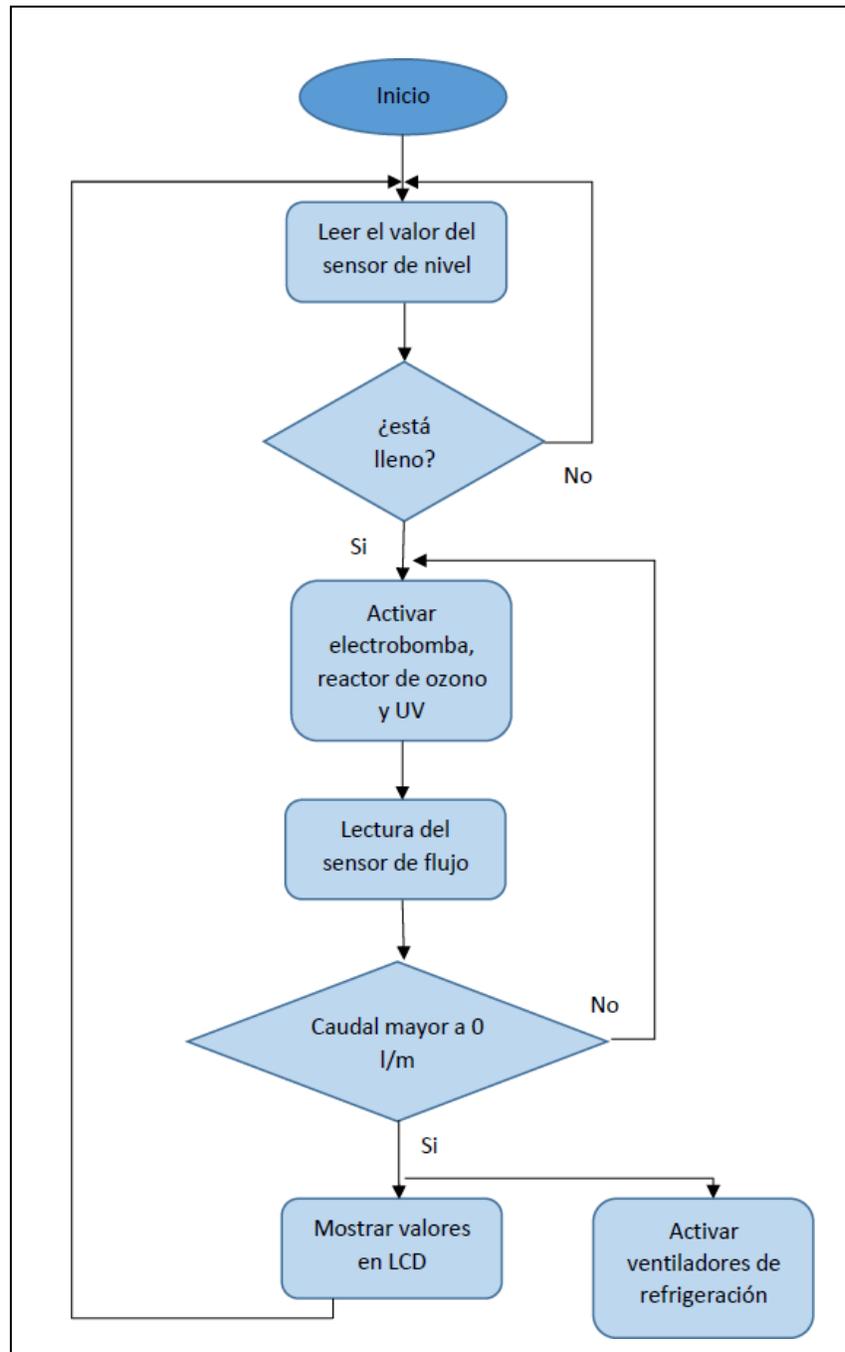


Fuente: elaboración propia.

3.7.10. Programación de Arduino.

Figura 15:

Diagrama de programación.



Fuente: elaboración propia.

```

#include <LCD.h>

#include <LiquidCrystal.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // iniciar la biblioteca

////////////////////// declaración de variables ////////////////////////

byte resetButtonA = 3; //restablecer la última lectura

byte resetButtonB = 5; //restablecer todas v las lecturas

byte sensorInterrupt = 0;

byte sensorPin = 2;

byte relay1=12;

byte relay2=13;

float calibrationFactor = 4.5; //calibración del sensor

volatile byte pulseCount;

float tiempo;

float flowRate;

unsigned int flowMilliLitres;

unsigned long totalMilliLitresA;

unsigned long totalMilliLitresB;

unsigned long oldTime;

void setup()

{

lcd.begin (20, 4); //define el LCD como 20 columnas 4 filas

```




```
lcd.setBacklight(HIGH); // enciende la luz del fondo

lcd.setCursor(0, 0); // coloca el cursor en la 1 fila 1 columna

lcd.print("UNIVERSIDAD NACIONAL");

lcd.setCursor(0, 1); // coloca el cursor en 2 fila 1 columna

lcd.print("    DE JAEN    ");

lcd.setCursor(0, 2); // coloca el cursor en 3 fila 1 columna

lcd.print("MECANICA Y ELECTRICA");

lcd.setCursor(0, 3); // coloca el cursor 4 fila 1 columna

lcd.print("*****");

delay (10000); //establece el retraso durante 4 segundos

lcd.clear(); //borrar la pantalla

pinMode(relay1, OUTPUT); // establece relay como salida

pinMode (relay2, OUTPUT);

digitalWrite(relay1, HIGH);

digitalWrite(relay2,HIGH);

Serial.begin(9600);

// Configure el par de botones de reinicio

pinMode(resetButtonA, INPUT);

digitalWrite(resetButtonA, HIGH);

pinMode(resetButtonB, INPUT);

digitalWrite(resetButtonB, HIGH);
```

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Enrique', written in a cursive style.A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Enrique', written in a cursive style.

```
pinMode(sensorPin, INPUT);  
digitalWrite(sensorPin, HIGH);  
  
pulseCount = 0;  
flowRate = 0.0;  
flowMilliLitres = 0;  
totalMilliLitresA = 0;  
totalMilliLitresB = 0;  
oldTime = 0;  
  
attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);  
  
}  
  
void loop ()  
{  
  
if(digitalRead(resetButtonA) == LOW)  
{  
  
totalMilliLitresA = 0;  
  
lcd.setCursor(14, 1);  
  
lcd.print("0L ");  
  
}  
  
if(digitalRead(resetButtonB) == LOW)  
{  
  
totalMilliLitresB = 0;  
  
lcd.setCursor(7, 2);
```



```

lcd.print("0L ");

}

if((millis() - oldTime) > 1000)
{
detachInterrupt(sensorInterrupt);

flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) / calibrationFactor;

oldTime = millis();

flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;

totalMilliLitresA += flowMilliLitres;

totalMilliLitresB += flowMilliLitres;

tiempo = (1/flowRate)*totalMilliLitresA ;

unsigned int frac;

Serial.print(int(flowRate));

Serial.print(".");

frac = (flowRate - int(flowRate)) * 10;

Serial.print(frac, DEC) ;

Serial.print(" ");

Serial.print(flowMilliLitres);

Serial.print(" ");

Serial.print(totalMilliLitresA);

Serial.print(" ");

Serial.println(totalMilliLitresB);

```




```
lcd.setCursor(0, 0);  
  
lcd.print(" ");  
  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("Caudal:");  
if(int(flowRate) < 10)  
{  
  lcd.print(" ");  
}  
lcd.print((int)flowRate);  
lcd.print('.');  
lcd.print(frac, DEC) ;  
lcd.print(" L/min");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("Litros: ");  
lcd.setCursor(9, 1);  
lcd.print(int(totalMilliLitresA / 1000));  
lcd.print("  L");  
lcd.setCursor(0, 2);  
lcd.print("Tiempo: ");  
lcd.setCursor(8, 2);  
lcd.print(int(tiempo));  
lcd.print("  min");
```

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Enrique', written in a cursive style with a large initial 'E'.A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Enrique', written in a cursive style with a large initial 'E'.

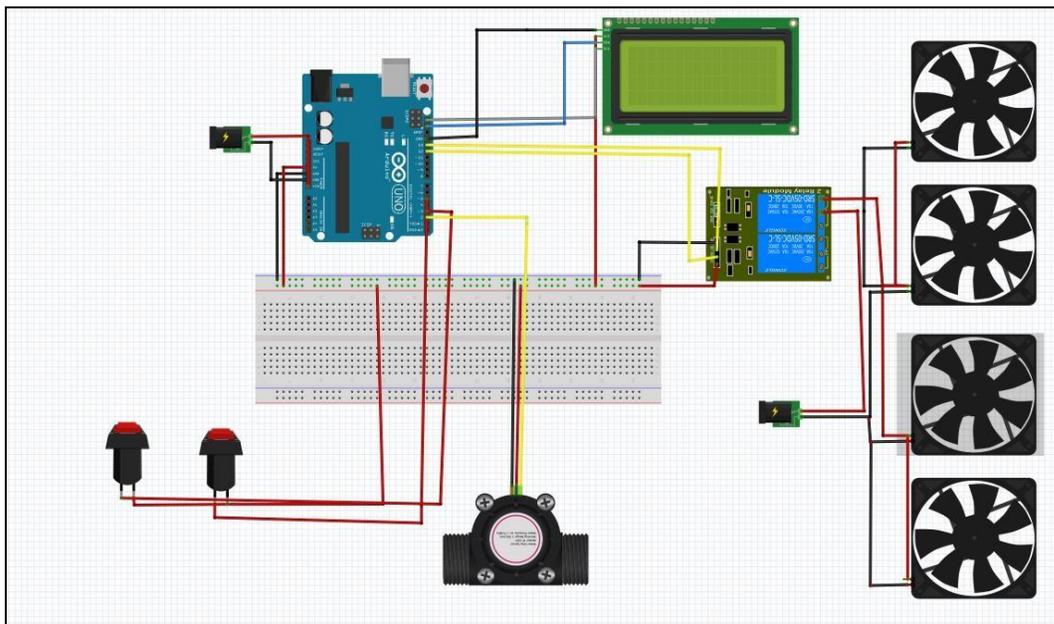
```
lcd.setCursor(0, 3);  
  
lcd.print("Reset pulsador B");  
  
if ((int)(flowRate) >= 3)  
{  
    digitalWrite(relay1, LOW);  
    digitalWrite(relay2, LOW);  
}  
  
else {  
    digitalWrite(relay1, HIGH);  
    digitalWrite(relay2, HIGH);  
}  
  
pulseCount = 0;  
  
attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);  
  
}  
  
}  
  
void pulseCounter()
```

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Enrique', written in a cursive style.A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Enrique', written in a cursive style.

3.7.10.1. Diagrama de conexiones eléctricas.

Figura 16:

Diagrama de conexiones eléctricas de la placa Arduino.



Fuente: elaboración propia

3.7.11. Construcción del prototipo

La construcción del prototipo fue fundamental en el desarrollo del proyecto y una de las mayores fuentes de información para analizar la efectividad del ozono y la radiación ultravioleta en la desinfección de agua. Para la construcción se desarrollaron diferentes actividades como por ejemplo la compra de materiales, cortado de chapa metálica, entre otros (ver figura 17).

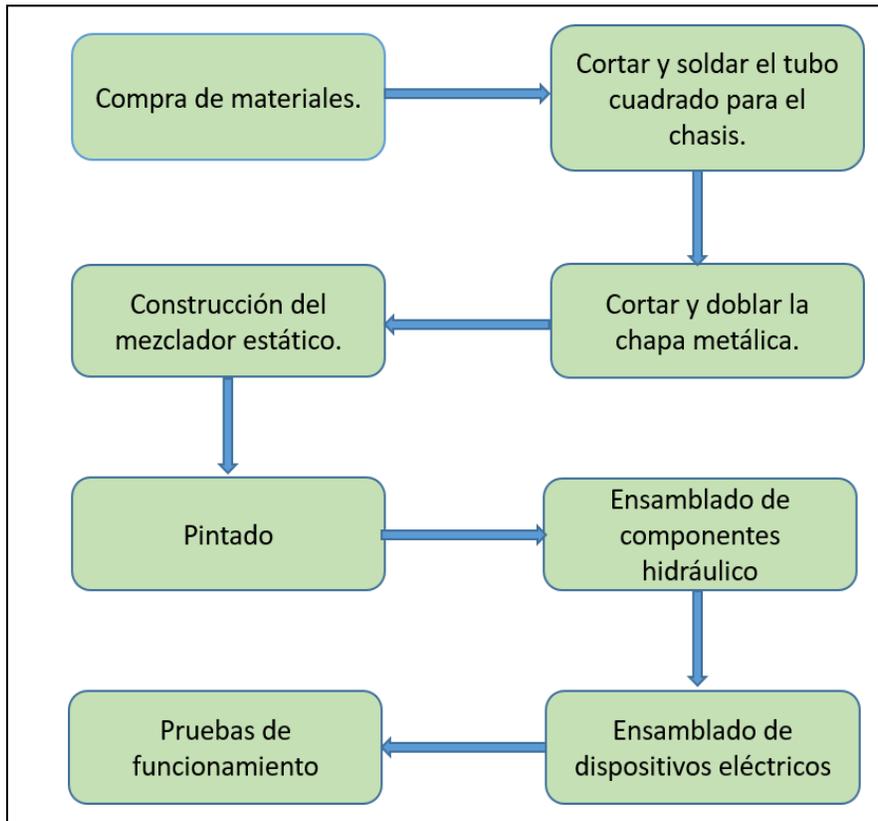
El prototipo se construyó aproximadamente en un mes. En el desarrollo de las actividades se presentaron diferentes complicaciones como la búsqueda de proveedores de insumos, verificación de la existencia de piezas en el mercado local y si no las hay buscar en tiendas online, falta de experiencia en la construcción y armado de sistemas hidráulicos.

Sin embargo, el conocimiento y las habilidades técnicas se fortalecieron durante la construcción del prototipo. Con la experiencia obtenida se estima que la construcción de la

máquina para la desinfección de agua se puede realizar en 5 días trabajando una jornada de 8 horas y otro día más para realizar pruebas y ajustes.

Figura 17:

Diagrama para la construcción del prototipo.



Fuente: elaboración propia.

La construcción del prototipo se inició con el corte del material para la estructura metálica, posteriormente se procedió a soldar según el diseño desarrollado (Anexo 4), luego se pintó con pintura anticorrosiva color plomo para evitar la oxidación en el fierro.

Figura 18:

*Estructura de fierro cuadrado 20*20mm soldado y pintado con base anticorrosiva.*



Fuente: elaboración propia

Con el uso de una amoladora se cortó la chapa metálica según las dimensiones diseñadas en el software SolidWorks 2018 (ver Anexo 4) luego con un taladro eléctrico y una broca de 3 mm se hicieron agujeros para remaches y pernos autorroscantes, con broca de 12 mm para el portafusible y broca de 22 mm para un led señalizador. Con una broca tipo copa de 70 mm de diámetro y un taladro de banco se hicieron los agujeros para los ventiladores.

Figura 19:

Estructura con agujeros para todos los accesorios.



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se dobló la chapa metálica con el uso de una plegadora para finalmente pintar con pintura acrílica.

Figura 20:

Pintado de la estructura metálica.



Fuente: elaboración propia.

Después de 48 horas de secado de la pintura se procedió a ensamblar toda la estructura metálica.

La instalación del inyector Venturi se hizo con materiales de PVC pesado y se utilizó los siguientes accesorios: una llave de paso, dos codos, dos upr, dos tees, dos uniones universales, todos estos con un diámetro de media pulgada.

Figura 21:

Instalación del inyector Venturi.



Fuente: elaboración propia.

La construcción del mezclador estático se inició con el corte en semicírculos de acero inoxidable tal como se muestra en los planos diseñados (Anexo 5). luego se soldó con soldadura Rod (soldadura para acero inoxidable), finalmente se introdujo en un tubo de PVC.

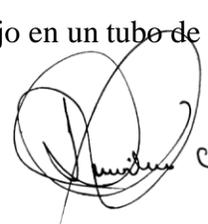
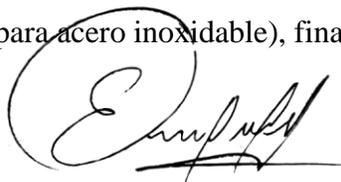


Figura 22:

Aletas mezcladoras.



Figura 23 :

Unión con soldadura de las aletas mezcladoras.



Fuente: elaboración propia

IV. RESULTADOS

4.1. Cálculo y dimensionamiento hidráulico

Tabla 23:

Caudal de agua a tratar.

Valor	Descripción	Unidad de medida
Q=30	Caudal	l/m
$m_v = 0,0005$	Flujo másico	m ³ /s
D _n = 1/2"	Diámetro nominal de la tubería	In
D= 16,6	Diámetro interior de la tubería	mm
$\rho = 997,13$	Densidad del agua a 25 C°	kg/m ³

Fuente: elaboración propia.

- Selección de electrobomba.

En comparación del resto de electrobombas disponibles en el mercado local la que cumple con los requisitos requeridos para el prototipo es la electrobomba marca Werken que a continuación describo.



Figura 24:

Electrobomba seleccionada.



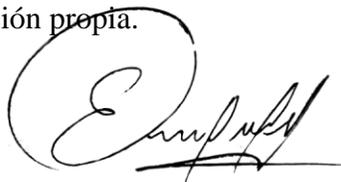
Fuente: <https://www.promart.pe/electrobomba-periferica-werken-0-5hp/p>.

Tabla 24:

Selección de electrobomba.

Características	Electrobomba 1
Marca	Werken
Modelo	Periférica
Peso	5,5 kg
Potencia	0,5 hp
Voltaje	220 v
Presión máxima de trabajo	20 PSI
Altura máxima	15 m
Máxima succión	8 m
Caudal máximo	40 l/m
Garantía	3 años
Precio S/	129

Fuente: elaboración propia.



➤ Inyector Venturi

El tipo de instalación del inyector Venturi a utilizar es el modelo A (ver figura 7) y la Venturi seleccionada se muestra en la tabla 25, la Venturi 10108 cumple con el caudal que se necesita en el prototipo que es de $1,8\text{m}^3/\text{h}$ ($30\text{l}/\text{m}$), la presión de trabajo se logra con la bomba seleccionada anteriormente.

Tabla 25:

Selección de la válvula Venturi.

Características	Venturi 10108
Caudal de entrada (m^3/h)	0,6 - 2
Caudal succión (l/h)	3 - 37
Presión de trabajo (bar)	0,2 - 4
Diámetro de entrada (in)	$\frac{1}{2}$ in
Diámetro de salida (in)	$\frac{1}{2}$ in

Fuente: elaboración propia.

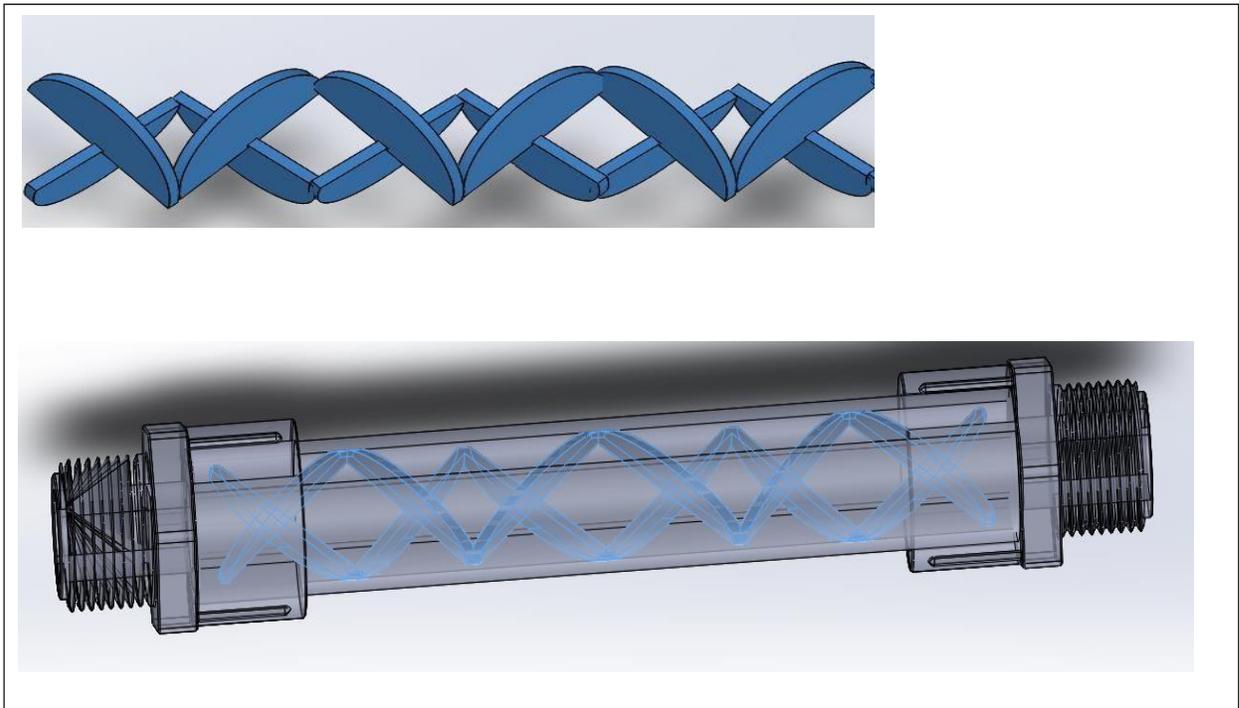
➤ Mezclador estático

El tipo de mezclador dimensionado se diseñó en el software Solidworks, también se hizo una simulación en el mismo software donde podemos apreciar que el mezclador diseñado funciona correctamente.



Figura 25:

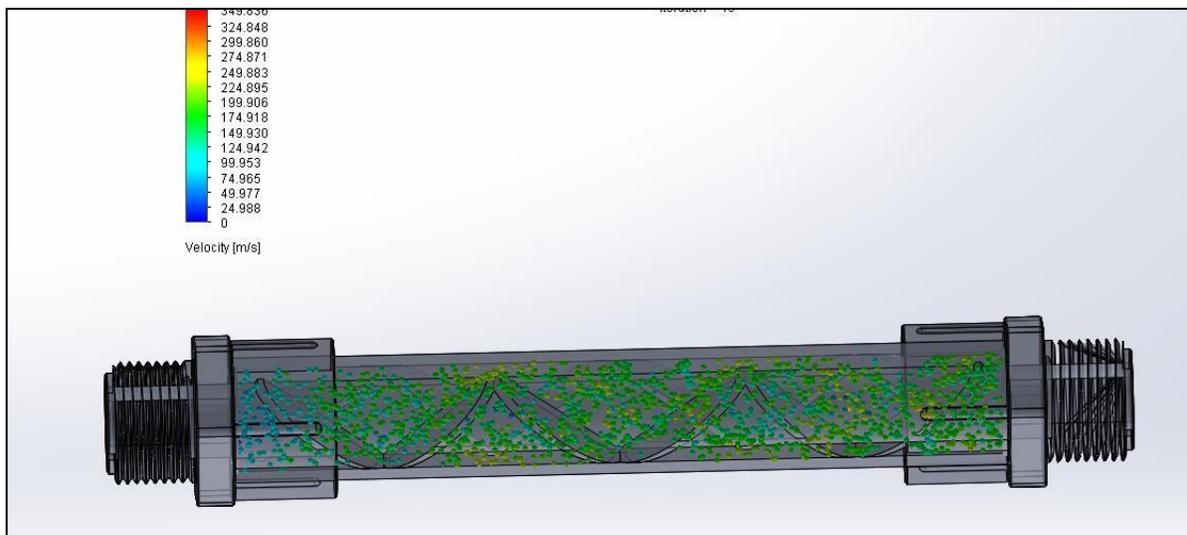
Diseño del mezclador estático en Solidwords.



Fuente: elaboración propia.

Figura 26:

Simulación del mezclador estático en el software SolidWorks.



Fuente: elaboración propia.

Figura 27:

Mezclador estático terminado.



Fuente: elaboración propia.

4.2. Selección del generador de ozono

La selección del generador de ozono se consideró la producción de ozono calculado y el método de generación por descargas eléctricas, cabe mencionar que los generadores de ozono comerciales como se muestra en el anexo 3 no cuentan con la producción de 3,6 gO₃/h, entonces el valor elegido es de 5g O₃/h.

Tabla 26:

Características del generador de ozono seleccionado.

Voltaje	220 v
Frecuencia	60hz
Potencia	45 w
Flujo de aire	20 l/m
Producción de ozono	5 g O ₃ /h
Concentración de ozono	3,6 mg O ₃ /l
Rango de temperatura de funcionamiento	15 a 40C°
Vida útil	10000 horas

Fuente: Elaboración propia basándose en las características técnicas del fabricante del generador de ozono

Figura 28:

Generador de ozono.



Fuente: <https://es.aliexpress.com/store/222528?spm=a2g0o.detail.1000007.1.19bc1204i5CnZw>.

4.3. Selección del esterilizador de agua por radiación ultravioleta

La dosis del esterilizador UV 1 es el más alto en comparación con los otros dos. La dosis es capaz de eliminar en su totalidad bacterias, levaduras, hongos, virus y algas.

Tabla 27:

Esterilizador UV seleccionado.

Características	Esterilizador UV 1
Marca	Bluekangen
Modelo	QY-UV25W
Material	Acero inoxidable 304
Voltaje	220 v
Frecuencia	50 -60 Hz
Potencia	25w
Rango de presión de funcionamiento	1 - 8 bar
Rango de temperatura de funcionamiento	2 - 40 °C
Volumen de radiación	1,35 l
Diámetro de tubería de entrada y salida de agua	1/2"
Vida útil	8000 h
Precio	600 soles

Fuente: elaboración propia.



Figura 29:

Esterilizador ultravioleta seleccionado.



Fuente: <https://livingwatersolution.es.aliexpress.com>.

4.4. Selección y dimensionamiento de materiales electrónicos.

➤ **Arduino**

En nuestro caso utilizaremos 7 salidas, es por ello que elegimos el “Arduino Uno R3 snd micro USB”, la diferencia principal de esta versión es que incluye un conector micro USB para conectar usando los cables estándares para cargar celulares.

Tabla 28:

Selección de la placa Arduino.

Características	Arduino Uno R3
Microcontrolador	ATmega328P
Chip USB	ATmega16U2
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de alimentación	7- 12 V
Pines digitales	14 (6 salidas PWM)
Entradas analógicas	6
Corriente máxima de entrada y salida	40mA
Precio	S/45

Fuente: elaboración propia.

- Voltímetro digital

Tabla 29:

Características voltímetro digital.

Características	Valor
Voltaje de entrada	110 -250
Frecuencia	50 – 60 Hz
Rango de corriente	0,01 – 20 A
Medición de energía	0,01 – 99999 kwh
Tipo de pantalla	LCD
Tamaño del panel	90 x 54,5 mm

Fuente: elaboración propia.

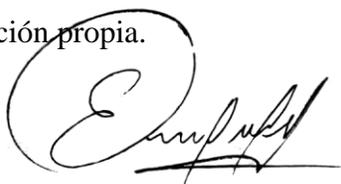


Figura 30

Voltímetro digital.



Fuente: <https://www.amazon.com/-/es/volt%C3%ADmetro-amper%C3%ADmetro-corriente-indicador-combinado/dp/B07KMC6YGG>.

➤ Sensor de flujo

En base a las características de los sensores comparados anteriormente se eligió al sensor YF-S201 que acepta el caudal de agua con la que trabajará el prototipo.

➤ Sensor de nivel

Tabla 30:

Selección del sensor de nivel.

Características	Sensor de nivel Giropumps 121026
Tipo	Boya o interruptor flotador
Voltaje máximo	250V
Corriente máxima	15A
Carga máxima	2500W
Temperatura	5 – 60 C°
Longitud del cable	3 m
Precio	S/ 25

Fuente: elaboración propia.

4.5. Programación de Arduino y conexiones eléctricas.

Figura 31:

Diagrama de conexiones eléctricas de la placa Arduino.

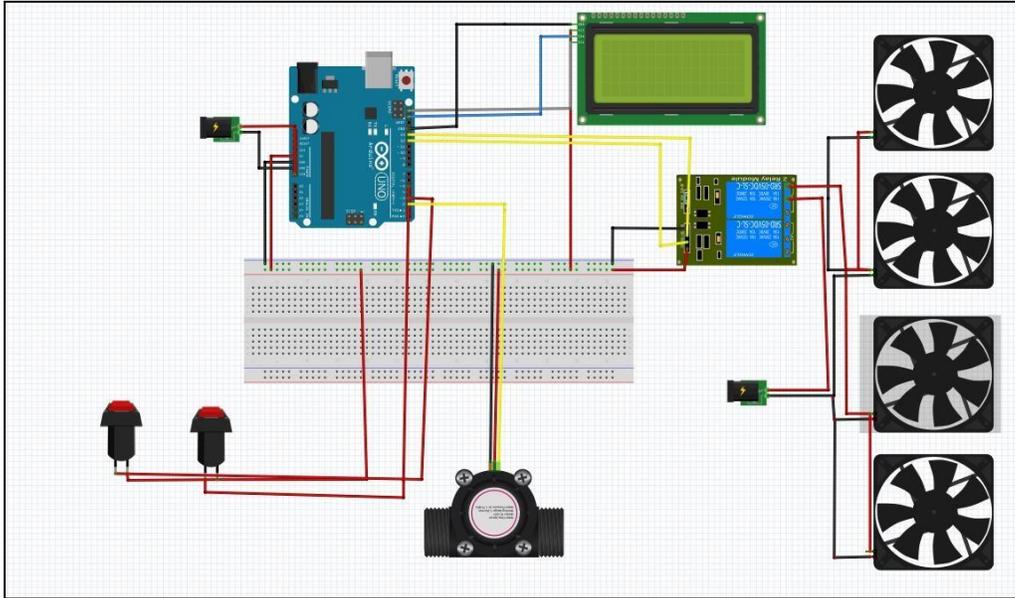
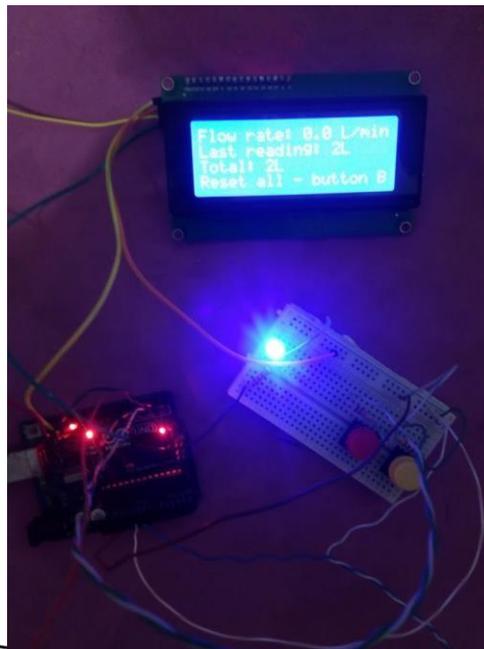


Figura 32:

Instalación pruebas de funcionamiento de Arduino.



Empujes

América

4.6. Ensamblado final

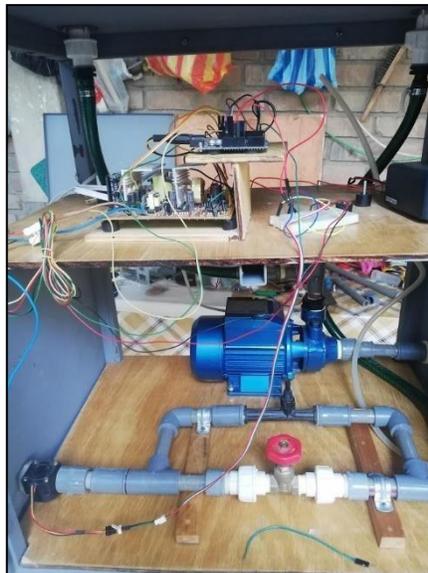
Figura 33:

Instalación del esterilizador ultravioleta.



Figura 34:

Instalación de los componentes eléctricos



Fuente: elaboración propia

Figura 35:

Prototipo terminado.



Figura 36:

Pruebas de funcionamiento.



4.7. Instalación del prototipo

Después trasladar el prototipo de la ciudad de Jaén al aeropuerto de Jaén y verificar que componentes no estén dañados por el transporte, se hicieron 3 instalación diferentes, esto nos permite garantizar la instalación adecuada para la máquina.

- Instalación 1: se instaló el prototipo tal como se muestra en el anexo 6. Para esta instalación se consideró un tanque reservorio que se encontraba lleno de agua e instalado en el aeropuerto; el prototipo se abastecía con esta agua y entraba en funcionamiento cuando se abre un caño en la salida. Realizadas las pruebas físico químico y microbiológico (ver figura 42) notamos que no garantizaban una óptima desinfección debido a una alta turbidez presente que dificultaba el acceso de la radiación UV en el agua, igualmente las micropartículas de sedimento suspendidas ofrecen una barrera de protección para los patógenos dificultando también el contacto con el ozono.
- Instalación 2: se hizo mejoras en la instalación considerando un tanque de mezclado para tener mayor tiempo de contacto de la radiación UV y del ozono. La presencia del tanque de mezclado (anexo7) permitió comprobar una de las características descritas para el ozono en la bibliografía y es la de su capacidad para clarificar el agua. Pudiendo ver que en la muestra inicial el agua presentaba una turbidez de 38,2 UNT y después de unos cinco minutos de contacto, esta turbidez bajo a tanto 19,6, en los resultados microbiológicos notamos disminución de bacterias.
- Instalación 3: adicional a la instalación 2 se agregó un tanque de 100 litros de capacidad que nos sirvió para flocular los sedimentos y partículas suspendidas en el agua, para este proceso de utilizó 100 g de sulfato de aluminio en forma de alumbre pulverizado y mezclado por algunos minutos con el agua, se dejó reposar 30 minutos y posteriormente se realizó el trasvase al tanque de mezclado de 100 litros pasando por un filtro de agua de 50 micras. En esta etapa es donde se procedió a encender la máquina que estuvo trabajando por un tiempo de aproximadamente cinco minutos recirculando el agua para garantizar un mayor contacto con el ozono y también mayor radiación uv. Después de este tiempo se tomó la muestra, esta instalación nos permitió desinfectar el agua al 100%.



Figura 37:

Comprobación de componentes del prototipo



Figura 38

Instalación 1



Carvajal

Sanchez

Figura 39:

Instalación 2



Figura 40:

Instalación 3



Figura 41:

Prototipo instalado en el Aeropuerto de Jaén.



4.8. Pruebas de funcionamiento

Para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo se realizaron varias pruebas para verificar que sus piezas y el equipo no presenten ninguna falla, se realizaron 4 pruebas que se detallan a continuación:

- ✓ Prueba 1: Se puso en funcionamiento la electrobomba para probar si hay fugas de agua en las uniones de las tuberías.
- ✓ Prueba 2: Con la llave de paso instalada se reguló la presión de tal forma que no rompa el tubo de cuarzo del generador de radiación ultravioleta y que la válvula Venturi funcione correctamente.

- ✓ Prueba 3. Se verificó el funcionamiento de la programación en Arduino. Gracias al sensor de flujo instalado se controló la cantidad de caudal de agua a tratar que fácilmente se visualiza en la pantalla lcd del prototipo.
- ✓ Prueba 4: Una vez armado todo el sistema se realizó una revisión general para identificar fallas y corregirlas antes de trasladar el prototipo al Aeropuerto de Jaén.
- ✓ Prueba 5: pruebas microbiológicas en el laboratorio de DISA Jaén. Una prueba muy importante ya que nos permitirá ver la calidad de agua que brinda el prototipo desarrollado y hacer ajustes en la instalación del mismo.

4.9. Resultados de pruebas

Las diferentes pruebas realizadas al prototipo, dieron diferentes resultados que ayudaron para hacer mejoras en la máquina.

- ✓ Prueba 1: Después de media hora de su funcionamiento se observaron múltiples fugas de agua en las uniones, y acoples de PVC. Esto se produjo porque la unión que se utilizó en la electrobomba no tenía el mismo hilo, de tal manera que se cambió por accesorios de bronce garantizando así el óptimo funcionamiento de la máquina.
- ✓ Prueba 2: Según las especificaciones técnicas del esterilizador ultravioleta soporta 8 bar de presión, gracias al manómetro instalado en el prototipo se fue ajustando cuidadosamente la presión a 4 bar logrando la succión ideal que no dañó al esterilizador ultravioleta.
- ✓ Prueba 3: la programación desarrollada funcionó correctamente.
- ✓ Prueba 4: Ensayo final no hubo ninguna falla.
- ✓ Prueba 5: Se tomaron diferentes muestras de agua con el fin de analizar el estado del agua antes y después de instalar el prototipo. Las muestras se realizaron en diferentes días con la ayuda del personal del laboratorio de la DISA Jaén. Con los resultados obtenidos se fue realizando ajustes y mejoras en la instalación de la máquina. A continuación, se detallan los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos obtenidos.



Tabla 31:*Resultados físico químico de la muestra 1.*

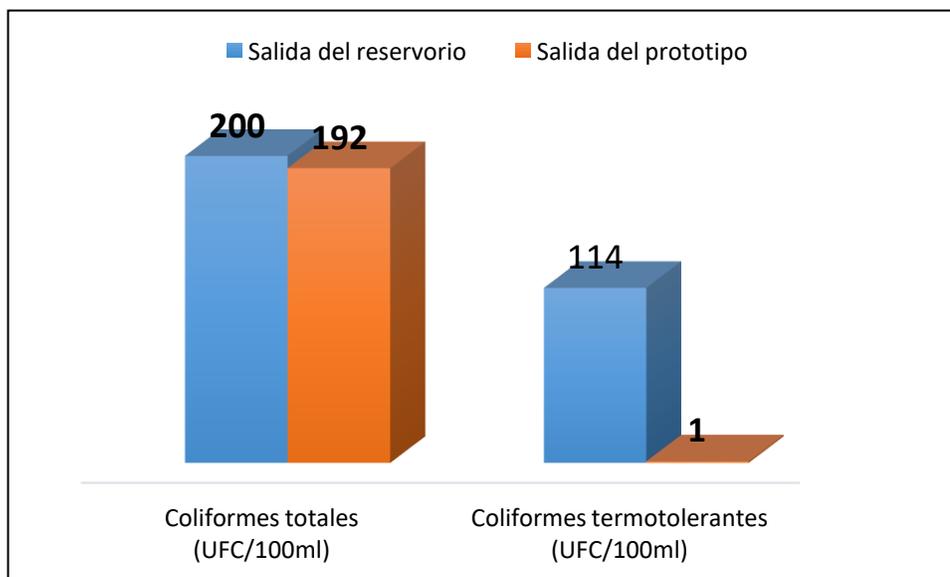
Muestra 1				
Análisis físico químico				
	Salida del reservorio		Salida del prototipo	
Olor y sabor	...		...
Temperatura	29,8	°C	30,1	°C
PH	8,1		8	
Turbidez	15	UNT	14,0	UNT
Conductividad	174,9	us a 20°C	172,3	us a 20°C
Dureza total	45	mg/l	43	mg/l
Dureza cálcica	43	mg/l	40	mg/l
Dureza magnesio	2	mg/l	3	mg/l
Solidos disueltos totales	116,5	ppm	115	ppm
Salinidad	0	%	0	%

Fuente: Elaboración propia basándose en los resultados de las muestras tomadas por la DISA Jaén.



Figura 42:

Resultados bacteriológicos muestra 1.



Fuente: Elaboración propia basándose en los resultados de las muestras tomadas por la DISA Jaén.

Tabla 32:

Resultados físico químico de la muestra 2.

Muestra 2				
Análisis físico químico				
	Salida del reservorio		Salida del prototipo	
Olor y sabor	...		...
Temperatura	28,6	°C	30,1	°C
PH	7,52		8	
Turbidez	46,9	UNT	41,7	UNT

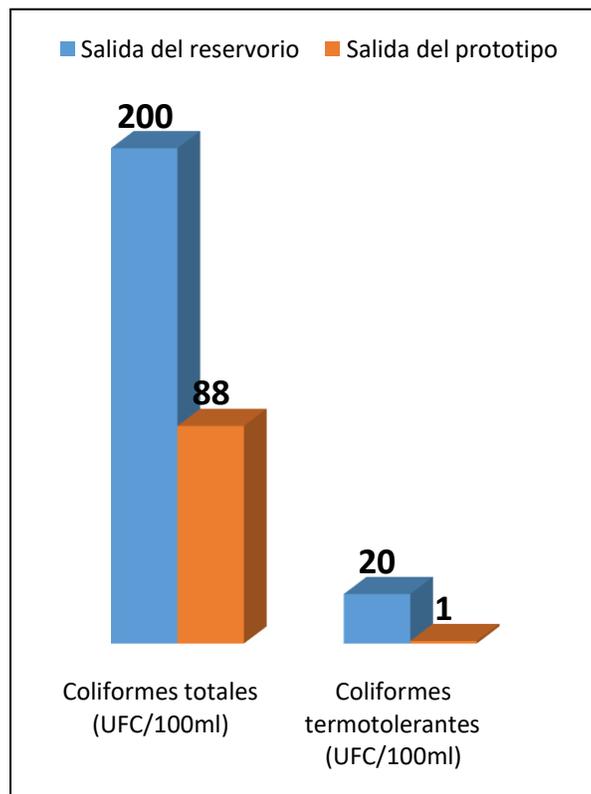
90

Conductividad	186,8	us a 20°C	170,9	us a 20°C
Dureza total	48	mg/l	47	mg/l
Dureza cálcica	46	mg/l	44	mg/l
Dureza magnesio	2	mg/l	3	mg/l
Solidos disueltos totales	115,6	ppm	113,7	ppm
Salinidad	0	%	0	%

Fuente: Elaboración propia basándose en los resultados de las muestras tomadas por la DISA Jaén.

Figura 43:

Resultados bacteriológico muestra 2.



Fuente: Elaboración propia basándose en los resultados de las muestras tomadas por la DISA Jaén.

Tabla 33:*Resultados físico químico de la muestra 3.*

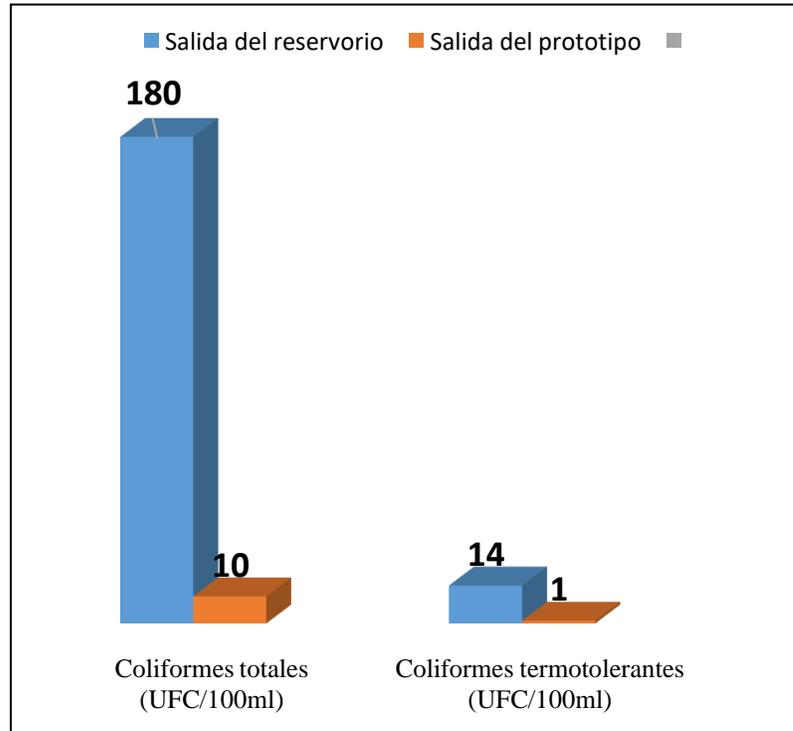
Muestra 3		
Análisis físico químico		
	Salida del reservorio	Salida del prototipo
Olor y sabor	...	...
Temperatura	29,7 °C	30,1 °C
PH	7,8	8,2
Turbidez	38,2 UNT	19,6 UNT
Conductividad	230 us a 20°C	218 us a 20°C
Dureza total	175 mg/l	168 mg/l
Dureza cálcica	90 mg/l	89 mg/l
Dureza magnesio	85 mg/l	79 mg/l
Solidos disueltos totales	152 ppm	113,7 ppm
Salinidad	0 %	0 %

Fuente: Elaboración propia basándose en los resultados de las muestras tomadas por la DISA Jaén.



Figura 44:

Resultado bacteriológico muestra 3.



Fuente: Elaboración propia basándose en los resultados de las muestras tomadas por la DISA Jaén.

Tabla 34:

Resultados físico químico de la muestra 4.

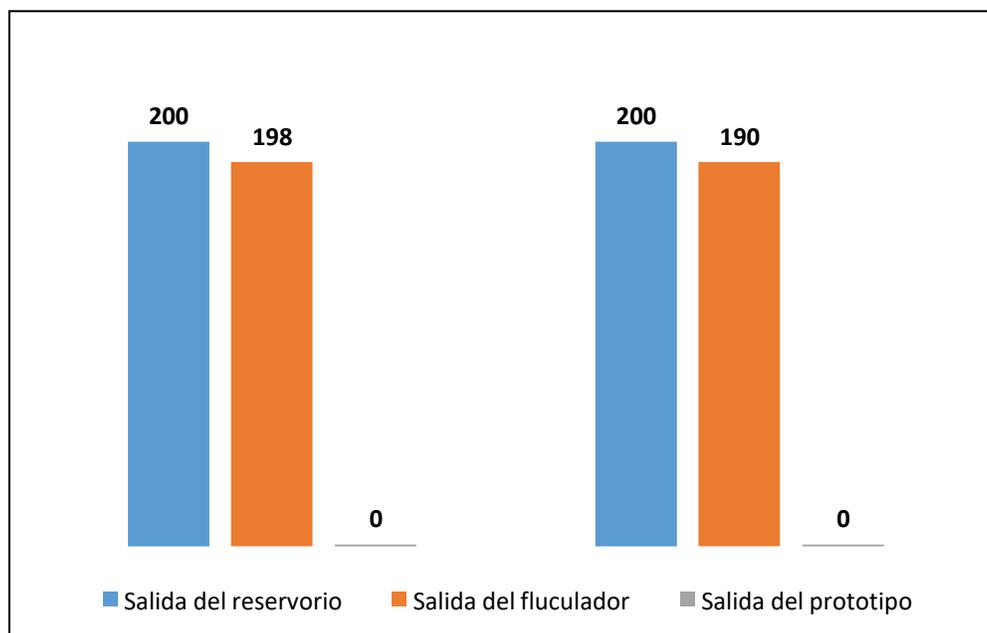
Muestra 4					
Análisis físico químico					
	Salida del reservorio		Salida del floculador		Salida del prototipo
Olor y sabor	...		...
Temperatura	29,7	°C	29,9	°C	30,4 °C
PH	7,8		7,4		7,4

Turbidez	38,2	UNT	15,2	UNT	10	UNT
Conductividad	297	us a 20°C	549	us a 20°C	584	us a 20°C
Dureza total	175	mg/l	171	mg/l	168	mg/l
Dureza cálcica	90	mg/l	889	mg/l	89	mg/l
Dureza magnesio	85	mg/l	82	mg/l	79	mg/l
Sólidos disueltos totales	197	ppm	366	ppm	390	ppm
Salinidad	0	%	0,01	%		%

Fuente: Elaboración propia basándose en los resultados de las muestras tomadas por la DISA Jaén.

Figura 45:

Resultados bacteriológicos muestra 4.



Fuente: Elaboración propia basándose en los resultados de las muestras tomadas por la DISA Jaén.

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

4.10. Especificaciones del prototipo final

Voltaje:	220 v
Potencia:	550 w
Producción de ozono:	5g/h
Potencia de radiación ultravioleta:	25W
Presión máxima:	4 bar
Caudal:	16 - 30 l/m
Turbiedad del agua de desinfectar:	5 - 10 UNT
Diámetro de la tubería de entrada:	12,7 mm
Diámetro de la tubería de salida:	12,7 mm
Duración de la maquina:	6000 horas



V. DISCUSIÓN

- Cálculo y dimensionamiento hidráulico

Con base al estudio de Samayoa (2013), en el capítulo denominado “estudio de ingeniería”, desarrolla los cálculos y selección de componentes hidráulicos a usar, estos de acuerdo al caudal de agua a desinfectar. Su sistema consta de muchas partes móviles las cuales hacen difícil su traslado tal como él lo menciona en su investigación. También desarrolló un circuito largo de mezclado de ozono para evitar fallas a causa del transporte, ahorro de material de PVC y ahorrar espacio en la instalación. En la investigación desarrollada, se incluyó dentro de un solo artefacto todas las partes móviles que a las que hace referencia Samayoa (2013), es más para mejorar mi investigación se diseñó y construyó un mezclador estático de sólo 35 cm que garantiza una alta eficiencia en el mezclado del agua.

- Selección del generador de ozono.

En la investigación de Sánchez (2014) se logró observar la eficiencia del ozono en pequeñas cantidades. Para tal fin construyó un generador de ozono con una producción de 0,97 mg/h y concentración de 0,68mg/l; este prototipo fue probado con diferentes muestras de agua obteniendo resultados favorables tales como una reducción de 75% de coliformes totales. Si bien es cierto no logró obtener resultados al 100% pero esta investigación sirvió para modificar el método de inyección de ozono que se hizo a través de válvula Venturi optando por un generador de ozono de los ya existentes en el mercado pues estos nos dan mayor producción de ozono y altas concentraciones del mismo.

La investigación de Lopes & Vasconez (2013) incluye en su prototipo un sistema de recirculación de agua para alcanzar mayor concentración de ozono en la misma; el ozono es inyectado con válvula Venturi, tiene un tanque de mezclado de 35 litros. El tiempo de contacto es de 15 minutos logrando destruir coliformes totales en un 99,86%. se tomó en cuenta esta investigación mejorando al disminuir tiempo de contacto de ozono.



- Selección del Esterilizador de Agua por Radiación Ultravioleta

La investigación Wright & Cairns (1998) destaca la importancia de la utilización de la radiación ultravioleta en la destrucción de todo tipo de microorganismos en agua, también nos facilita las dosis de radiación aplicadas, así como las fórmulas para dimensionar y seleccionar adecuadamente la potencia del esterilizador ultravioleta. Samayoa (2013) aprovecha la radiación ultravioleta para eliminar cualquier bacteria o virus presentes en el agua también utiliza la radiación UV- C para la generación de ozono obteniendo excelentes resultados. Si bien es cierto la radiación UV también se utiliza para la generación de ozono estas son en pequeñas cantidades. En nuestro prototipo hemos incluido ambos elementos en un solo dispositivo, reduciendo el tamaño y aumentando la eficiencia.

- Diseño y Construcción del Prototipo

Una máquina de fácil traslado, instalación y eficiente en su funcionamiento fueron los objetivos que se tomaron en cuenta al momento de diseñarla. La construcción del prototipo se desarrolló en el patio de una casa; los materiales para su estructura metálica fueron comprados en el mercado local en cambio el generador de ozono y el dispositivo de radiación ultravioleta por las características exigidas fueron importados.



VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

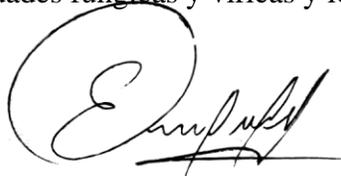
6.1. Conclusiones

- ✓ Para obtener agua potable en el Aeropuerto de Jaén es necesario la implementación de un sistema de prefiltrado, floculación y filtración de agua para garantizar una turbidez igual o menor a 8 UNT.
- ✓ El software SolidWorks fue el elegido para el diseño del prototipo, pues presenta todas las herramientas que permitieron diseñar y simular el mezclador estático, la estructura metálica.
- ✓ La programación en Arduino funcionó correctamente dando la lectura del caudal de agua óptima de acuerdo a la capacidad del prototipo, esto se demostró con la comparación de un tanque de 100 litros, este fue llenado en 4 minutos.
- ✓ Al diseñar, construir y hacer pruebas de funcionamiento concluimos que la utilización de 5g/h de ozono y 25w de radiación ultravioleta fue suficiente para desinfectar un caudal de agua mayor a 16 l/m y menor a 30 l/m.
- ✓ La adición de un tanque de mezclado mejoró la capacidad de desinfección del prototipo, redujo el 94% de coliformes totales y 93% de coliformes termotolerantes. También se apreció reducción en la turbidez del agua en un 50% quedando demostrado otra de las propiedades del ozono. La desinfección al 100% del agua se logró con la instalación 3 que se muestra en el anexo 8.
- ✓ El equipo diseñado tiene un amplio rango de uso y puede ser utilizado por una empresa purificadora de agua hasta por una familia que lo requiera, gracias a la flexibilidad de instalación.
- ✓ El bajo consumo de energía del prototipo facilita la instalación con energías renovables en lugares donde no existe una red de servicio eléctrico.
- ✓ Las pruebas físicas y de laboratorio nos indican que el prototipo construido funciona correctamente y que es factible reproducirlo para brindar agua apta para el consumo humano.



6.2. Recomendaciones

- ✓ El agua a desinfectar con el prototipo tiene que tener un grado de turbidez menor a 8 UNT.
- ✓ Cuando el prototipo esté funcionando no se debe manipular el generador de ozono ya que hay conductores que conducen alto voltaje.
- ✓ Para una óptima desinfección se recomienda acompañar al equipo con un tanque de mezclador, que es un accesorio adicional que permite al prototipo hacer una recirculación de agua con ozono, para garantizar un mayor tiempo de contacto entre el gas y el líquido.
- ✓ Se recomienda hacer estudios para establecer los tiempos óptimos de desinfección.
- ✓ Realizar modelos de purificadores de agua por medio de ozono y radiación ultravioleta de mayor tamaño, para así beneficiar a mayor cantidad de personas.
- ✓ La instalación de tuberías de agua que alimentan al prototipo no debe tener ninguna fuga ya que pueden malograr los componentes y producir electrificación en la estructura metálica.
- ✓ Las instituciones y autoridades vinculadas al saneamiento de agua se recomiendan optar por nuevas tecnologías para el tratamiento de agua y de esta manera remplazar los sistemas tradicionales de desinfección por cloro, pues este elemento está comprobado que es altamente cancerígeno poniendo en riesgo la salud a mediano y largo plazo de los usuarios.
- ✓ Se recomienda la implementación del prototipo diseñado y probado en la presente investigación en proyectos de potabilización de agua en zonas rurales como caseríos, centros poblados, colegios, postas médicas entre otras.
- ✓ Teniendo en cuenta el auge de la tecnología del ozono en diferentes actividades del desarrollo humano se recomienda a los docentes de la carrera de Ing. Mecánica Eléctrica motiven a realizar mayores investigaciones como por ejemplo en dispositivos para alcanzar altas concentraciones de ozono en agua y con esto fumigar cultivos para tratar enfermedades fúngicas y víricas y lograr cultivos ecológicos.



Example

100

Example c

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beutelspacher, E. y Calderón, J. (2005). *Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua*. [Tesis de Maestría]. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico de México.
- Cabezas, C. (2018). *Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú*. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000200020
- Casero, D. (2008). *Potabilización del agua*. Escuela de Organización Industrial.
<https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20096/potabilizacion-del-agua>
- CODEX ALIMENTARIUS. (2001). *CODEX ALIMENTARIUS*, 227. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/search/es/?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&q=OZONO&cof=FORID%3A9&siteurl=www.fao.org%2Ffao-who-codexalimentarius%2Fes%2F&ref=www.google.com%2F&ss=1023j391953j5>
- Cordón , A. (2013). *Diseño de un sistema de dilución continua de ácido sulfúrico* . [Tesis de pregrado]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Díaz, H. (2016). *Modelamiento fluido dinámico de un mezclador estático kenicsestudio de influencia del angulo de torsión helicoidal en calidad de mezcla* . Universidad de Chile].
- DIGESA-MINSA. (2017). *Listado de requisitos para recepción de muestras de agua*.
<http://www.digesa.minsa.gob.pe/lab/AT-LI-02%20RECEPCION%20MUESTRAS%20ALIMENTOS%20V01%20Rev%2002.pdf>
- Gordillo , G. (2014). *Investigación técnica y economica sobre desinfección de aguas residuales por sistemas de oxidación*.
- Harper, G. (2005). *El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales*. Editorial Limusa.

INEI. (2018). *Formas De Acceso Al Agua y Saneamiento Básico*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_y_saneamiento.pdf

Kuprat, M. (2 de Abril de 2013). *Desinfección del agua – Parte II*.

<https://www.marionkuprat.com/desinfeccion-del-agua-parte-ii/>

López, D. y Vásconez, J. (2013). *Diseño e implementación de un prototipo generador de ozono para purificación de agua para el consumo humano*. [Tesis de pregrado]. Escuela Politécnica Nacional de Quito.

Lozano , W. y Soto , J. F. (2010). *Diseño y construcción de un prototipo generador de ozono para la potabilización de agua*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional De Loja.

Manzano, J. (2008). *Análisis del inyector Venturi y mejora de su instalación en los sistemas de riego localizado*. [Universidad Politecnica de Valencia]

OZONETECH. (2019). *OZONETECH*. <https://www.ozonetech.com/es/tratamiento-de-agua/desinfecci%C3%B3n-de-agua-con-ozono>

Rodriguez , T., Botelho, D.y Cleto, E. (2008). *Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta*.

Rodríguez, F. (2003). *Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización*.

Samayoa, L. (2013). *Diseño y construcción de equipo para purificación de agua a bajo costo*. [Tesis de pregrado]. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sánchez, G. (2014). *Diseño y Construcción de un Sistema de Ozonificación para Purificación de Agua Alimento con Energía Solar*. [Tesis de maestría]. Instituto Politecnico Nacional de Mexico .

Solsona, F. y Méndez, J. (2002). *Desinfección del agua*.

TOP OZONO. (2014). *TOP OZONO*. Obtenido de TOP OZONO:

<https://topozono.com/es/indice.html>

UNE. (1999). *UNE NORMATIVA ESPAÑOLA*. Obtenido de UNE Normativa Española:

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0046342>

Vázquez, F. (2000). *Diseño de un generador de ozono para potabilizar agua*. Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey.

Wright, H. y Cairns, W. (1998). *Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta*.

Zecua, P. (2016). *Diseño de un mezclador estático que permitirá producir una mezcla de combustibles en el AICM*. Universidad Nacional Autónoma de México.



AGRADECIMIENTO

A mis padres Celso y María América por el apoyo incondicional en el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Paulo Jaime Martínez Castillo por su valiosa orientación y por impulsarme a buscar nuevos retos.

A la DISA Jaén por el apoyo en las tomas de muestras de agua.

Finalmente agradezco a todos los que de alguna manera apoyaron para que este trabajo se haga realidad.



DEDICATORIA

Con mucho cariño y amor dedico este trabajo a mis padres por su esfuerzo, sacrificio y por inculcarme valores que me ayudan cada día a ser un profesional de bien.

A mi hermana Rosa Edith por estar siempre pendiente de mi bienestar.

Eduard Denis



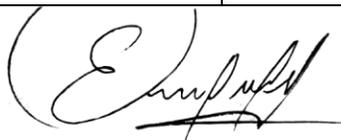
105



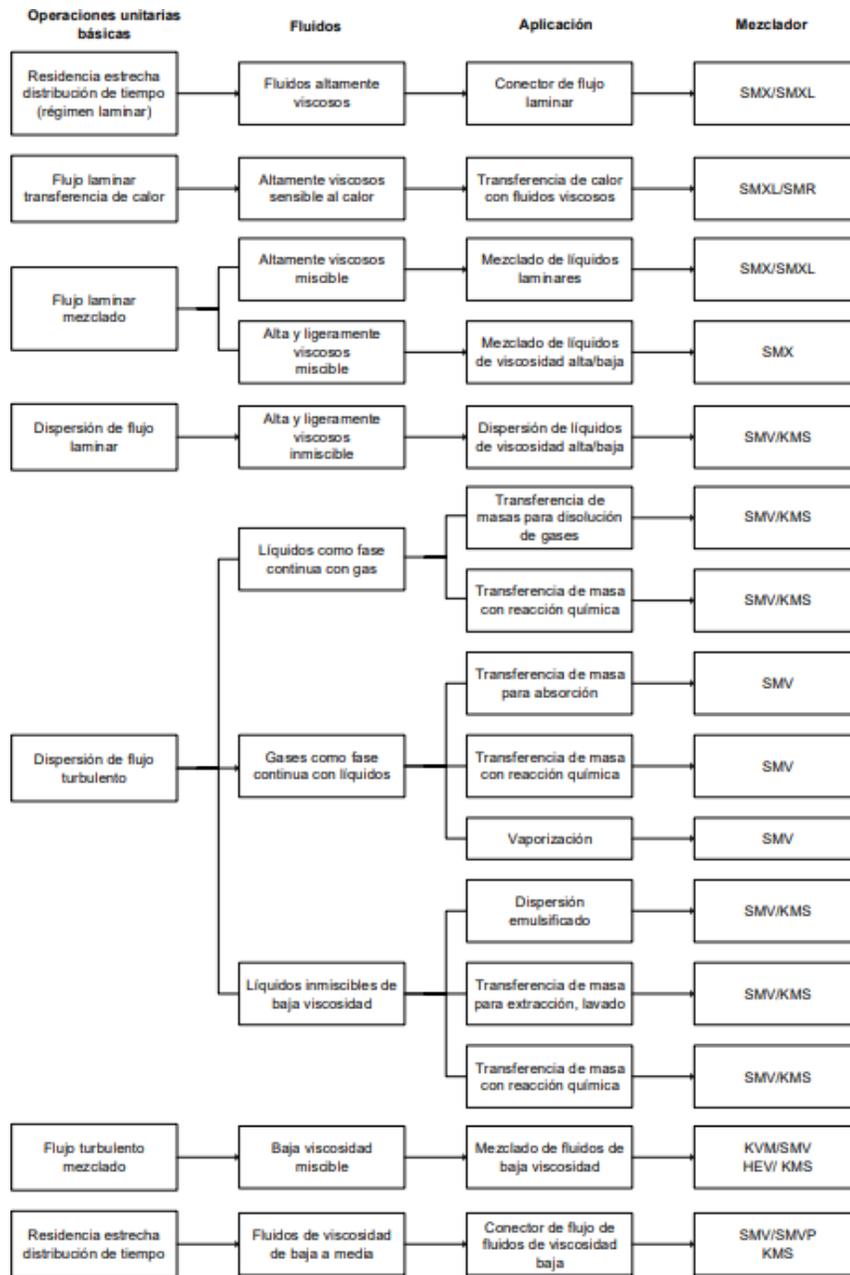
ANEXOS

Anexo 1: Dosificación de radiación UV, capaz de eliminar patógenos del agua.

BACTERIAS	ENERGIA $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$	OTROS ORGANISMOS	ENERGIA $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
<i>Bacillus anthracis</i>	8 700		
<i>Salmonella enteritidis</i>	7 600		
<i>Bacillus megatherium sp.(veg)</i>	2 500	LEVADURA	
<i>Bacillus megatherium</i>	5 200		
<i>Bacillus peratyphosus</i>	6 100	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	13 200
<i>Bacillus subtilis</i>	11 000	<i>Saccharomyces sp.</i>	1 600
<i>Bacillus subtilis spores</i>	22 000	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13 200
<i>Clostridium tetani</i>	22 000	Levadura para cerveza	660
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6 500	Levadura para panadería	800
<i>Eberthella typosa</i>	4 100	Levadura para repostería	13 200
<i>Escherichia coli</i>	6 600		
<i>Micrococcus candidus</i>	12 300	ESPORAS	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10 000		
<i>Neisseria catarrhalis</i>	8 500	<i>Penicillium roqueforti</i>	26 400
<i>Phytomonas tumefaciens</i>	500	<i>Penicillium expansum</i>	22 000
<i>Proteus vulgaris</i>	6 600	<i>Mucor racemosus A</i>	35 200
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10 500	<i>Mucor racemosus B</i>	5 200
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	6 600	<i>Oospora lactis</i>	1 100
<i>Salmonella sp</i>	10 000	VIRUS	
<i>Sarcina lútea</i>	26 400		
<i>Serrada marcescens</i>	6 160	Bacteriophage (<i>E. coli</i>)	6 600
<i>Dysentry bacilli</i>	4 200	Virus de la influenza	6 600
<i>Shigella paradysenteriae</i>	3 400	Virus de la hepatitis	8 000
<i>Spirillum rubrum</i>	6 160	Poliovirus(Poliomyelitis)	1 000
<i>Staphylococcus alous</i>	5 720	Rotavirus	24 000
<i>Staphylococcus aureus</i>	6 600		
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	5 500	ALGAS	
<i>Streptococcus lactis</i>	8 800		
<i>Streptococcus viridans</i>	3 800	<i>Chlorella vulgaris</i>	2 000
<i>Vibrio cholerae</i>	6 500		




Anexo 2: Selección del tipo de mezclador estático.

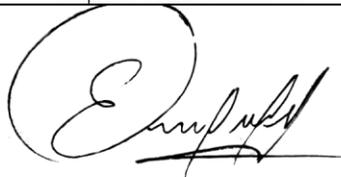


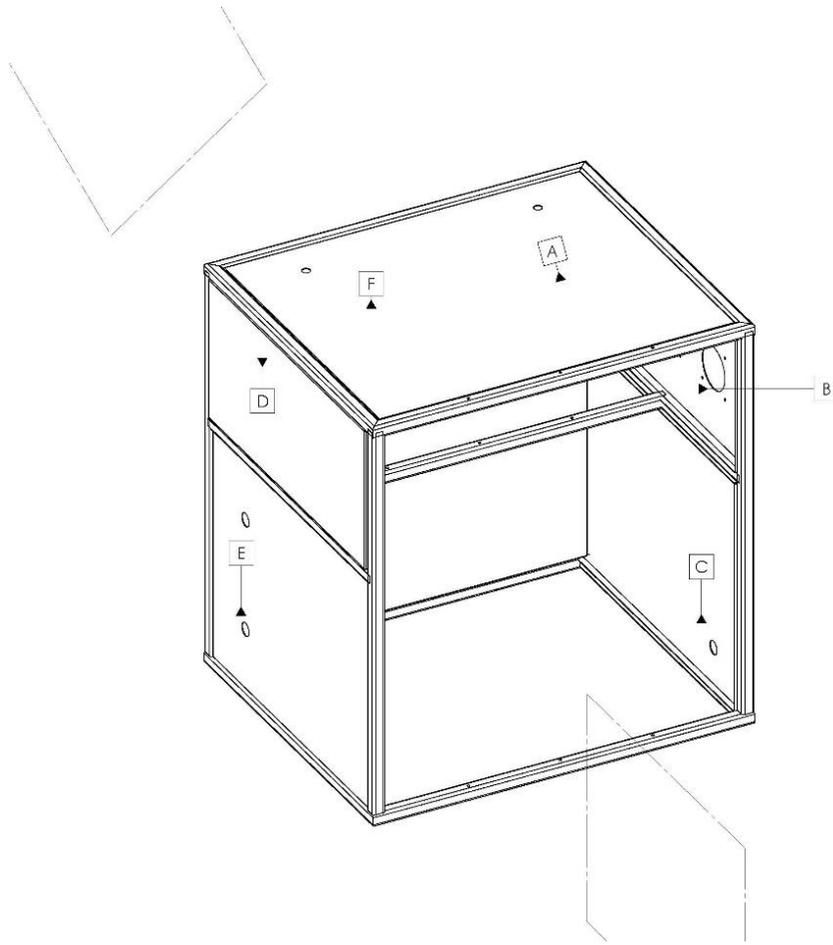
Fuente: PAUL, Edward. *Handbook of Industrial Mixing*. p.430.




Anexo 3: Selección del generador de ozono.

Product picture	Type	Parameters	Cooling method	Air source	Oxygen source(98%)	Weight
 <p>CE FCC 500mg/h Ozon generator kit Style 1 For air or water</p>	500mg/h Quartz tube kit Style 1	Model: BO-05QNAOS (For air or w ater)	Air cooling	Air flow : 5L/min	Oxygen flow : 1L/min	Total w eight: 0.34kg Tube: 0.14kg Pow er Supply: 0.2kg
		Input voltage: AC200V-AC240V / AC100V-AC130V Pow er: 10W (Adjustable)		Ozone concentration: 1.8mg/L	Ozone concentration: 22mg/L	
		Ozone generating tube: 78*44*44mm Pow er supply: 138*57*41mm		Ozone output: 0.54g/h	Ozone output: 1.32g/h	
 <p>CE FCC 3g/h Ozon generator kit Style 1 For air or water</p>	3g/h Quartz tube kit Style 1	Model: BO-3QNAOS (For air or w ater)	Air cooling	Air flow : 15L/min	Oxygen flow : 2L/min	Total w eight: 0.48kg Tube: 0.26kg Pow er Supply: 0.2kg
		Input voltage: AC200V-AC240V / AC100V-AC130V Pow er: 40W (Adjustable)		Ozone concentration: 2.4mg/L	Ozone concentration: 32mg/L	
		Ozone generating tube: 145*44*44mm Pow er supply: 122*48*56mm		Ozone output: 2.1g/h	Ozone output: 3.8g/h	
 <p>CE FCC 5g/h Ozon generator kit Style 1 For air or water</p>	5g/h Quartz tube kit Style 1	Model: BO-5QNAOS (For air or w ater)	Air cooling	Air flow : 20L/min	Oxygen flow : 3L/min	Total w eight: 0.5kg Tube: 0.3kg Pow er Supply: 0.2kg
		Input voltage: AC200V-AC240V / AC100V-AC130V Pow er: 45W (Adjustable)		Ozone concentration: 2.9mg/L	Ozone concentration: 36mg/L	
		Ozone generating tube: 135*56*53mm Pow er supply: 122*48*56mm		Ozone output: 3.4g/h	Ozone output: 6.4g/h	
 <p>CE FCC 1g/h Ozon generator kit Style 1 For air or water</p>	1g/h Quartz tube kit Style 1	Model: BO-1QNAOS (For air or w ater)	Air cooling	Air flow : 5L/min	Oxygen flow : 1L/min	Total w eight: 0.36kg Tube: 0.16kg Pow er Supply: 0.2kg
		Input voltage: AC200V-AC240V / AC100V-AC130V Pow er: 15W (Adjustable)		Ozone concentration: 3.4mg/L	Ozone concentration: 28mg/L	
		Ozone generating tube: 96*44*44mm Pow er supply: 138*57*41mm		Ozone output: 1g/h	Ozone output: 1.6g/h	
 <p>CE FCC 5g/h Ozon generator kit Style 1 For air or water</p>	5g/h Quartz tube kit Style 1	Model: BO-5QNAOS (For air or w ater)	Air cooling	Air flow : 20L/min	Oxygen flow : 3L/min	Total w eight: 0.5kg Tube: 0.3kg Pow er Supply: 0.2kg
		Input voltage: AC200V-AC240V / AC100V-AC130V Pow er: 45W (Adjustable)		Ozone concentration: 2.9mg/L	Ozone concentration: 36mg/L	
		Ozone generating tube: 135*56*53mm Pow er supply: 122*48*56mm		Ozone output: 3.4g/h	Ozone output: 6.4g/h	
 <p>CE FCC 7g/h Ozon generator kit Style 1 For air or water</p>	7g/h Quartz tube kit Style 1	Model: BO-7QNAON (For air or w ater)	Air cooling	Air flow : 30L/min	Oxygen flow : 3L/min	Total w eight: 0.9kg Tube: 0.5kg Pow er Supply: 0.4kg
		Input voltage: AC200V-AC240V / AC100V-AC130V Pow er: 70W		Ozone concentration: 2.8mg/L	Ozone concentration: 45mg/L	
		Ozone generating tube: 220*56*53mm Pow er supply: 163*71*75mm		Ozone output: 5.0g/h	Ozone output: 8.1g/h	
 <p>CE FCC 10g/h Ozon generator kit Style 1 For air or water</p>	10g/h Quartz tube kit Style 1	Model: BO-10QNAON (For air or w ater)	Air cooling	Air flow : 35L/min	Oxygen flow : 3L/min	Total w eight: 1.25kg Tube: 0.9kg Pow er Supply: 0.35kg
		Input voltage: AC200V-AC240V / AC100V-AC130V Pow er: 80W		Ozone concentration: 3.4mg/L	Ozone concentration: 60mg/L	
		Ozone generating tube: 225*72*77mm Pow er supply: 163*71*75mm		Ozone output: 7.1g/h	Ozone output: 10.8g/h	
 <p>CE FCC 10g/h Ozon generator kit Style 2 For air or water</p>	10g/h Quartz tube kit Style 2	Model: BO-10QNAO (For air or w ater)	Air cooling	Air flow : 35L/min	Oxygen flow : 3L/min	Total w eight: 1.4kg Tube: 0.9kg Pow er Supply: 0.5kg
		Input voltage: AC200V-AC240V / AC100V-AC130V Pow er: 80W (Adjustable)		Ozone concentration: 3.4mg/L	Ozone concentration: 60mg/L	
		Ozone generating tube: 225*72*77mm Pow er supply: 158*73*70mm		Ozone output: 7.1g/h	Ozone output: 10.8g/h	

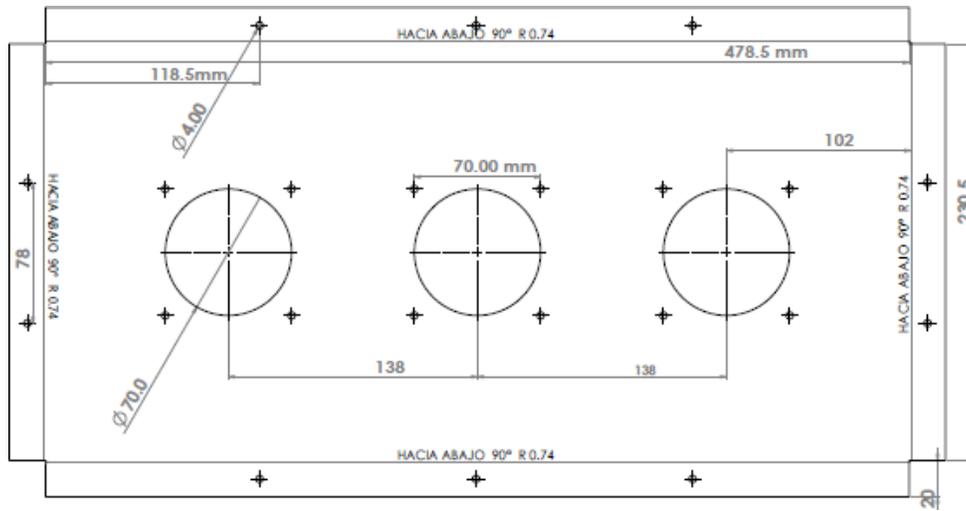
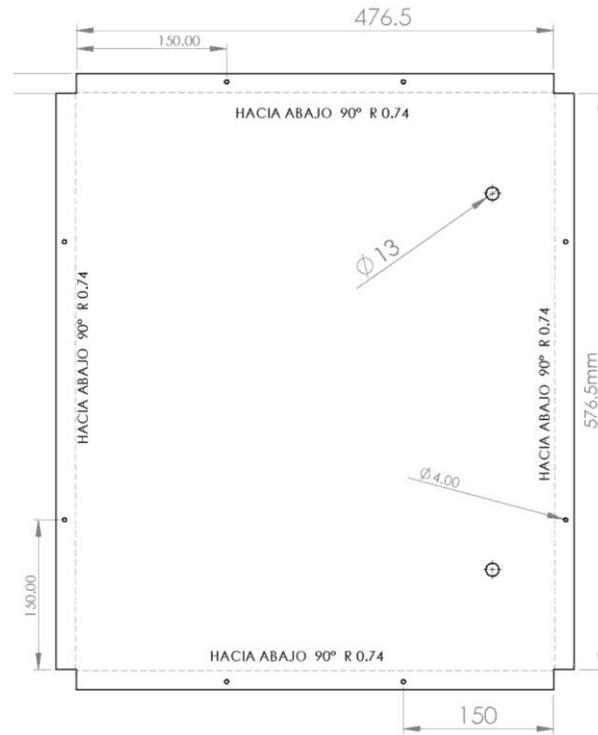


Ernst

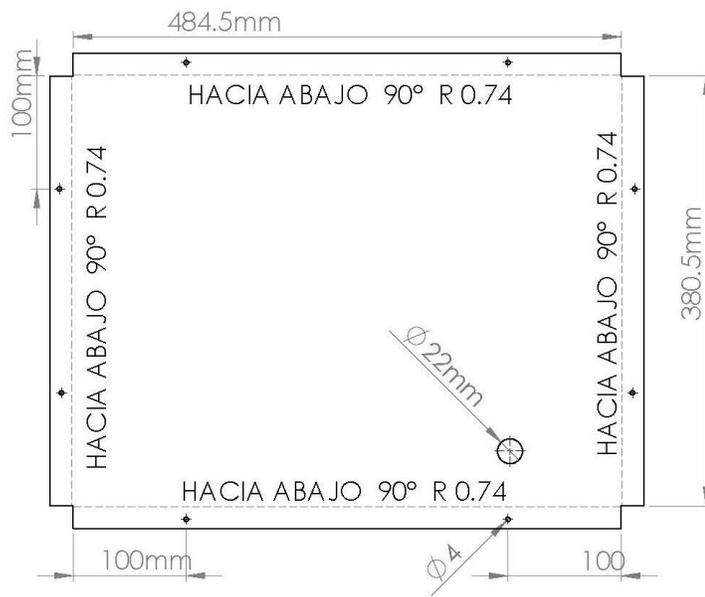
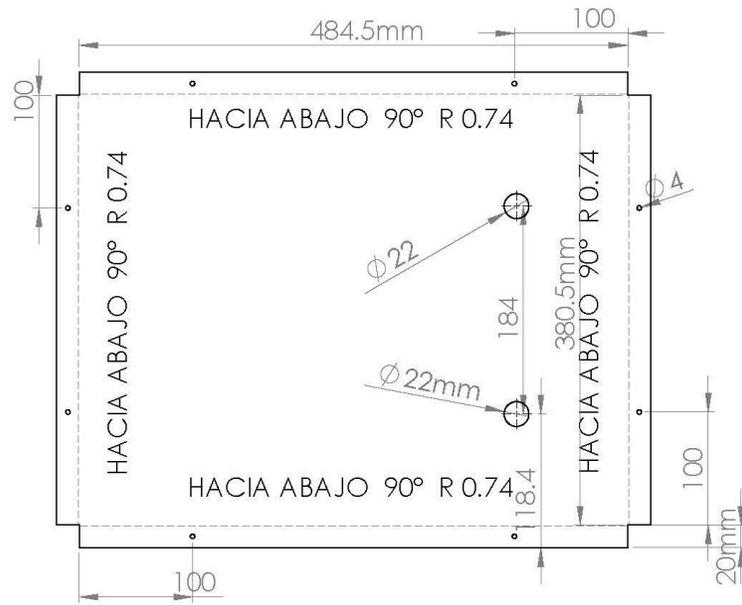
110

Handwritten signature



[Handwritten signature]

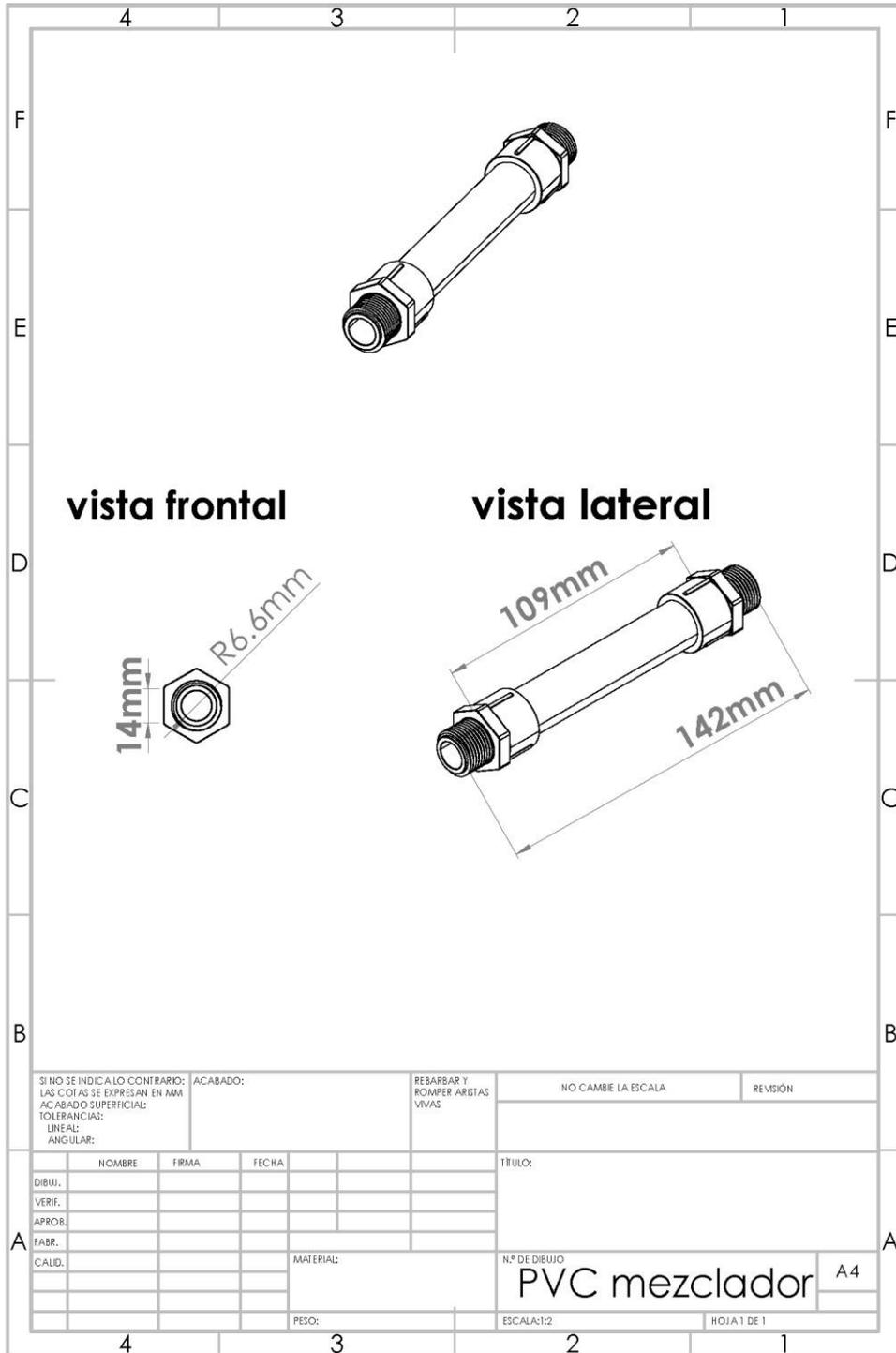
[Handwritten signature]

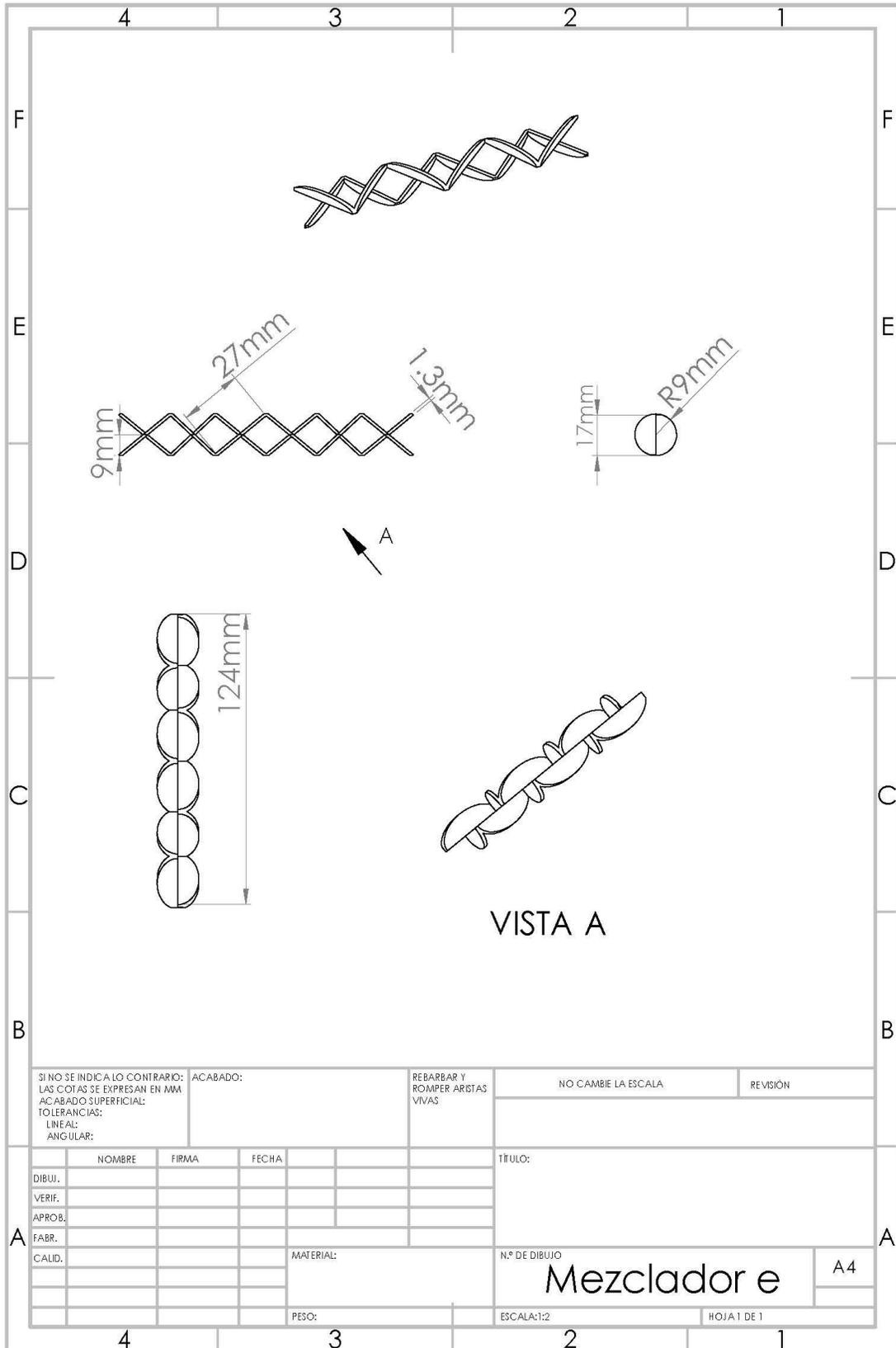


[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

Anexo 5: Planos del mezclador estático.



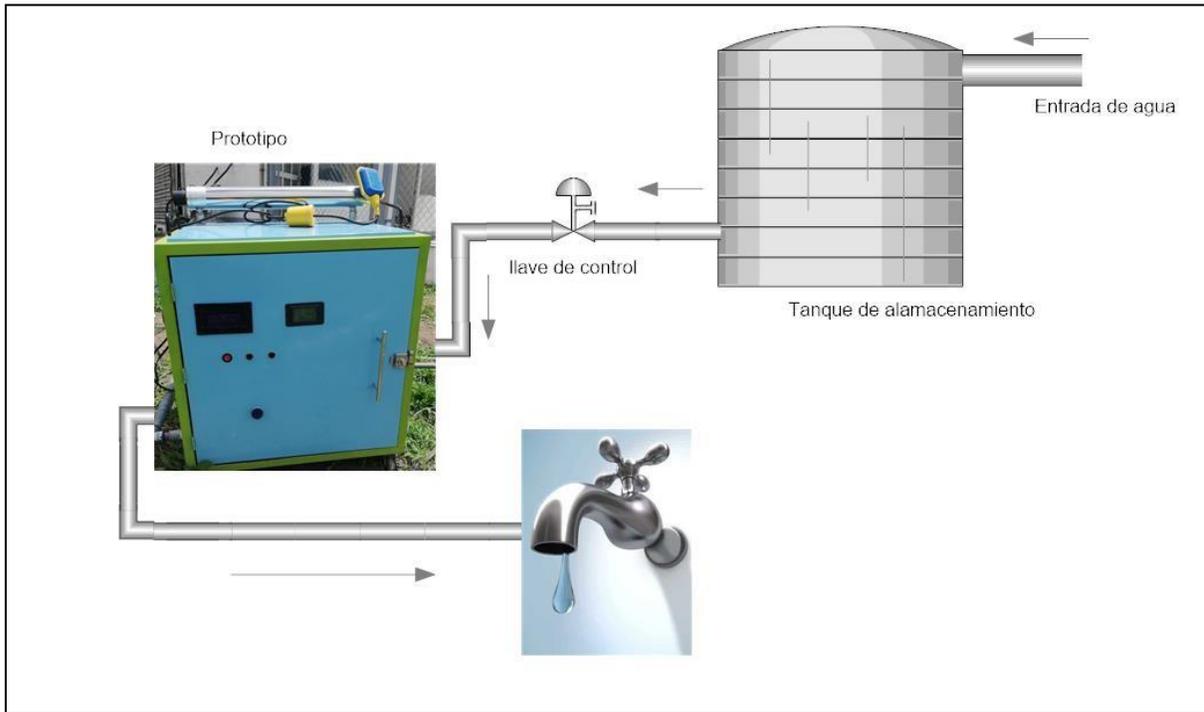


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISION
DIBUJ.		NOMBRE	FIRMA	FECHA	TITULO:
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
		MATERIAL:		Nº DE DIBUJO	A4
		PESO:		ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

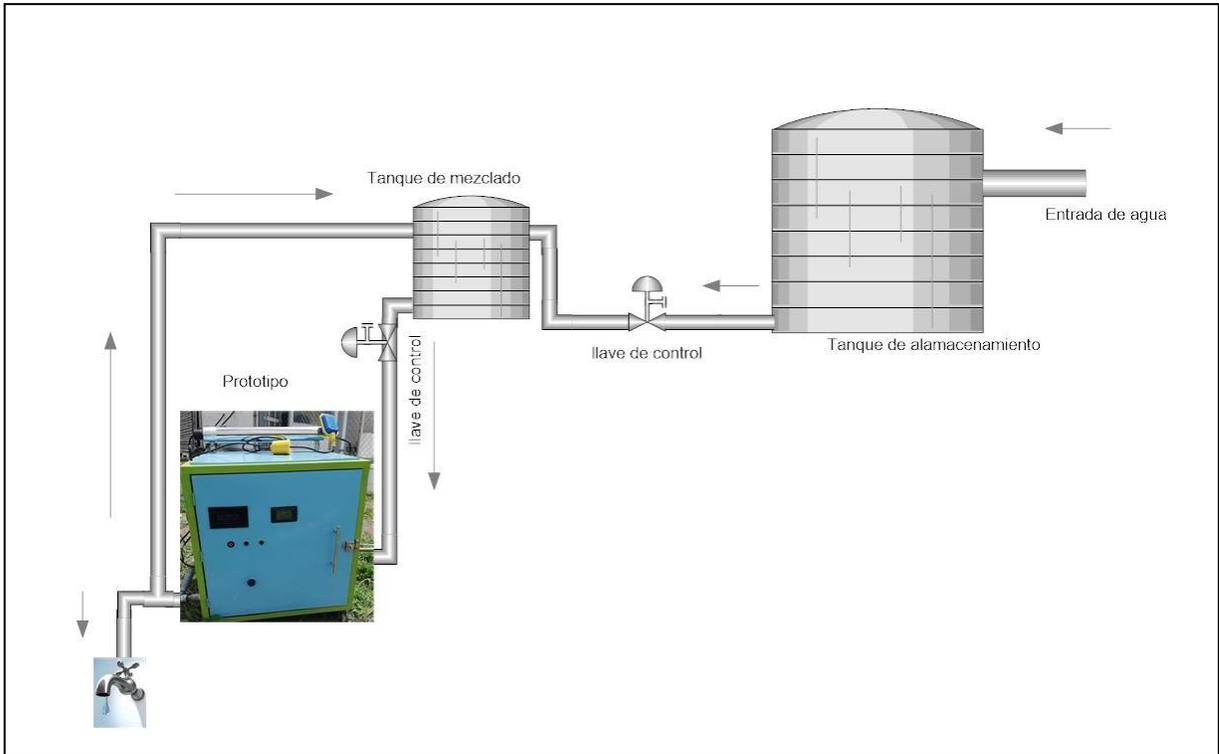
[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

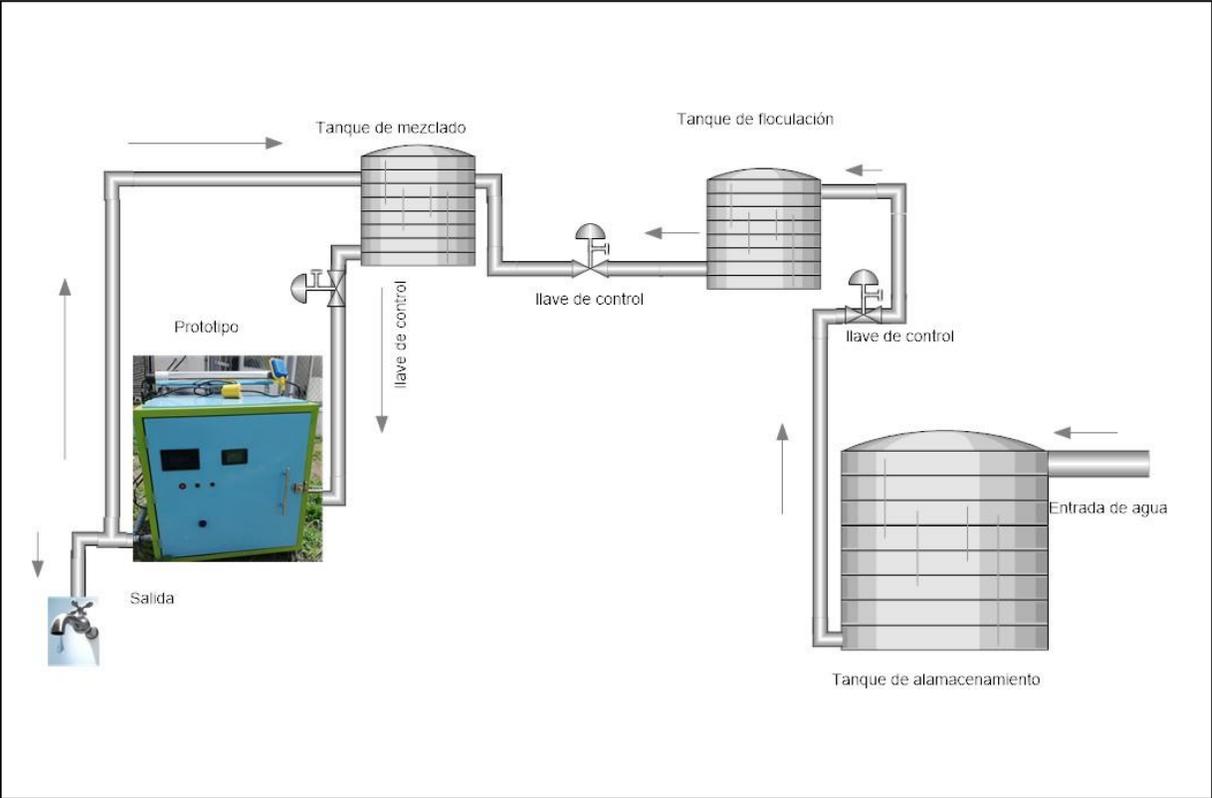
Anexo 6: Instalación del prototipo.



Anexo 7: Instalación del prototipo con tanque de mezclado.



Anexo 8: Instalación del prototipo con tanque de mezclado y tanque de floculación.



Anexo 9: Resultados físico químico muestra 1



PERÚ

Ministerio de Salud

SUB REGION DE SALUD JAEN

DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL



SOLICITANTE	EDUARD DENNIS ESPINOZA CAMPOS		
REPRESENTANTE	LCAP-021		
INFORME DE ENSAYO	COORDENADAS UTM E: 746550 N: 9381010		
PUNTO DE MUESTREO	RESERVORIO		
ORIGEN DE LA FUENTE	AEROPUERTO CRUCE SHUMBA		
NOMBRE DE LA FUENTE	SAN AGUSTIN		
PROYECTO	DISTRITO	BELLAVISTA	
LOCALIDAD	PROVINCIA	DEPARTAMENTO	CAJAMARCA
PROVINCIA	JAEN		
HORA DE MUESTREO	11:52:00	HORA DE ANALISIS	13:30:00
FECHA DE MUESTREO	16/11/2020	FECHA DE ANALISIS	16/11/2020
MUESTREADO POR	BLGO. HENRY ZAMORA SANCHEZ	ALTURA	763 m.s.n.m

ANALISIS FISICO - QUIMICO

RESULTADOS

MUESTRA:	SALIDA DE RESERVORIO		SALIDA DE PURIFICADOR	
Olor y Sabor	.....		.....
Temperatura	29.8	°C	30.1	°C
pH	8.1		8	
Turbidez	15	UNT	14	UNT
Conductividad	174.9	us a 20°C	172.3	us a 20°C
Dureza Total	45	mg/L	43	mg/L
Dureza Calcica	43	mg/L	40	mg/L
Dureza Magnesio	2	mg/L	3	mg/L
Sólidos totales disueltos	116.5	ppm	115	ppm
Salinidad	0	%	0	%


 MINISTERIO DE SALUD
 DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
 SUB REGION DE SALUD JAEN
 Mblgo. Henry Zamora Sánchez
 LABORATORIO DESA
 C.B.P. N° 10152





Anexo 10: Resultados bacteriológico muestra 1.



PERÚ Ministerio de Salud SUB REGION DE SALUD JAEN



DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL

SOLICITANTE O PROGRAMA :	EDUARD DENNIS ESPINOZA CAMPOS	LOCALIDAD :	SAN AGUSTIN
DIRECCION :	-	DISTRITO :	BELLAVISTA
INFORME DE ENSAYO :	LCAP-21	PROVINCIA :	JAEN
ORIGEN DE LA FUENTE :	RESERVORIO	DEPARTAMENTO :	CAJAMARCA
NOMBRE DE LA FUENTE :	AEROPUERTO CRUCE SHUMBA	COORDENADAS:	E: 748550
PROYECTO :	-		N: 9381010
PUNTO DE MUESTREO :	RESERVORIO	ALTURA :	763 m.s.n.m
MUESTREADO POR :	BLGO. HENRY ZAMORA SANCHEZ		

ANALISIS BACTERIOLOGICO

Nº	NOMBRE DE LA FUENTE O PUNTO DE MUESTREO	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y hora de Analisis	ANALISIS BACTERIOLOGICO				-	-
				Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (UFC/100 ml)	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)		
1	SALIDA DEL RESERVORIO	16/11/2020	16/11/2020	>200	114			-	-
		11:52:00 a.m.	1:30:00 p.m.					-	-
2	SALIDA DEL PURIFICADOR	16/11/2020	16/11/2020	192	<1			-	-
		11:56:00 a.m.	1:30:00 p.m.					-	-

*La muestra ha sido traída al laboratorio por los interesados.

[Handwritten Signature]
 INSTITUTO NACIONAL DE SALUD
 DIRECCION REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA
 Mbo. Henry Zamora Sánchez
 LABORATORIO DESA
 C.R.P. N° 20162

[Handwritten Signature]

[Handwritten Signature]

Anexo 11: Resultados físico químico muestra 2.



PERÚ

Ministerio de Salud

SUB REGION DE SALUD JAEN

DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL



SOLICITANTE	EDUARD DENNIS ESPINOZA CAMPOS		
REPRESENTANTE			
INFORME DE ENSAYO	LCAP-022		
PUNTO DE MUESTREO		COORDENADAS UTM	E: 746550 N: 9381010
ORIGEN DE LA FUENTE	RESERVORIO		
NOMBRE DE LA FUENTE	AEROPUERTO CRUCE SHUMBA		
PROYECTO		DISTRITO	BELLAVISTA
LOCALIDAD	SAN AGUSTIN	DEPARTAMENTO	CAJAMARCA
PROVINCIA	JAEN		
HORA DE MUESTREO	12:10:00	HORA DE ANALISIS	13:10:00
FECHA DE MUESTREO	17/11/2020	FECHA DE ANALISIS	17/11/2020
MUESTREADO POR	BLGO. HENRY ZAMORA SANCHEZ	ALTURA	763 m.s.n.m

ANALISIS FISICO - QUIMICO RESULTADOS

MUESTRA:	SALIDA DE RESERVORIO		SALIDA DE PURIFICADOR	
Olor y Sabor	.....		.....
Temperatura	28.6	°C	30	°C
pH	7.52		7.64	
Turbidez	46.9	UNT	41.7	UNT
Conductividad	186.8	us a 20°C	170.9	us a 20°C
Dureza Total	48	mg/L	47	mg/L
Dureza Calcica	46	mg/L	44	mg/L
Dureza Magnesio	2	mg/L	3	mg/L
Solidos totales disueltos	115.6	ppm	113.7	ppm
Salinidad	0	%	0	%

MINISTERIO DE SALUD
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
SUB REGION DE SALUD JAEN
Blgo. Henry Zamora Sanchez
LABORATORIO DE SA
C. 25 P. N° 202152

Anexo 12: Resultados bacteriológico muestra 2.



PERÚ
Ministerio de Salud

SUB REGION DE SALUD JAEN



DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL

SOLICITANTE O PROGRAMA :	EDUARD DENNIS ESPINOZA CAMPOS	LOCALIDAD :	SAN AGUSTIN
DIRECCION :	-	DISTRITO :	BELLAVISTA
INFORME DE ENSAYO :	LCAP-22	PROVINCIA :	JAEN
ORIGEN DE LA FUENTE :	RESERVORIO	DEPARTAMENTO :	CAJAMARCA
NOMBRE DE LA FUENTE :	AEROPUERTO CRUCE SHUMBA	COORDENADAS :	E: 746560 N: 9381010
PROYECTO :		ALTURA :	763 m.s.n.m
PUNTO DE MUESTREO :	RESERVORIO		
MUESTREADO POR :	BLGO. HENRY ZAMORA SANCHEZ		

ANALISIS BACTERIOLOGICO

Nº	NOMBRE DE LA FUENTE O PUNTO DE MUESTREO	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y hora de Analisis	ANALISIS BACTERIOLOGICO				-	-
				Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (UFC/100 ml)	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)		
1	SALIDA DEL RESERVORIO	17/11/2020	17/11/2020	>200	20			-	-
		12:10:00 p.m.	1:10:00 p.m.						
2	SALIDA DEL PURIFICADOR	17/11/2020	17/11/2020	88	<1			-	-
		12:15:00 p.m.	1:10:00 p.m.						

**La muestra ha sido traída al laboratorio por los interesados.


 SUB REGION DE SALUD GRC
 DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
 BLGO. Henry Zamora Sanchez
 LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL
 17/11/2020





Anexo 13: Resultados físico químico muestra 3.



PERÚ Ministerio de Salud SUB REGION DE SALUD JAEN
DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL



SOLICITANTE	EDUARD DENNIS ESPINOZA CAMPOS		
REPRESENTANTE	LCAP-024		
INFORME DE ENSAYO		COORDENADAS UTM	E: 746550 N: 9381010
PUNTO DE MUESTREO			
ORIGEN DE LA FUENTE	RESERVORIO		
NOMBRE DE LA FUENTE	AEROPUERTO CRUCE SHUMBA		
PROYECTO		DISTRITO	BELLAVISTA
LOCALIDAD	SAN AGUSTIN	DEPARTAMENTO	CAJAMARCA
PROVINCIA	JAEN		
HORA DE MUESTREO	12:48:00	HORA DE ANALISIS	13:45:00
FECHA DE MUESTREO	30/11/2020	FECHA DE ANALISIS	30/11/2020
MUESTREADO POR	BLGO. HENRY ZAMORA SANCHEZ	ALTURA	763 m.s.n.m

ANALISIS FISICO - QUIMICO
R E S U L T A D O S

MUESTRA:	SALIDA DE RESERVORIO		SALIDA DE PURIFICADOR	
Olor y Sabor	.....		.....
Temperatura	29.7	°C	30.4	°C
pH	7.8		8.2	
Turbidez	38.2	UNT	19.6	UNT
Conductividad	230	us a 20°C	218	us a 20°C
Dureza Total	175	mg/L	168	mg/L
Dureza Calcica	90	mg/L	89	mg/L
Dureza Magnesio	85	mg/L	79	mg/L
Solidos totales disueltos	152	ppm	113.7	ppm
Salinidad	0.01	%	0.01	%

MINISTERIO DE SALUD
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
SUB REGION DE SALUD JAEN CLINICA
Blgo. Henry Zamora Sánchez
LABORATORIO DE SA
C.B.P. N° 10187

Anexo 14: Resultados bacteriológico muestra 3



PERÚ Ministerio de Salud SUB REGION DE SALUD JAEN DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL



SOLICITANTE O PROGRAMA :	EDUARDO DENNIS ESPINOZA CAMPOS	LOCALIDAD :	SAN AGUSTIN
DIRECCION :	-	DISTRITO :	BELLAVISTA
INFORME DE ENSAYO :	LCAP-24	PROVINCIA :	JAEN
ORIGEN DE LA FUENTE :	RESERVORIO	DEPARTAMENTO :	CAJAMARCA
NOMBRE DE LA FUENTE :	AEROPUERTO CRUCE SHUMBA	COORDENADAS:	E: 746650 N: 9391010
PROYECTO :		ALTURA :	763 m.s.n.m
PUNTO DE MUESTREO :	RESERVORIO		
MUESTREADO POR :	BLGO. HENRY ZAMORA SANCHEZ		

ANALISIS BACTERIOLOGICO

N°	NOMBRE DE LA FUENTE O PUNTO DE MUESTREO	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y hora de Analisis	ANALISIS BACTERIOLOGICO				-	-
				Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (UFC/100 ml)	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)		
1	SALIDA DEL RESERVORIO	30/11/2020	30/11/2020	180	14			-	-
		12:48:00 p.m.	1:45:00 p.m.						
2	SALIDA DEL PURIFICADOR	30/11/2020	30/11/2020	10	<1			-	-
		12:56:00 p.m.	1:45:00 p.m.						

**La muestra ha sido traída al laboratorio por los interesados.

MINISTERIO DE SALUD GRC
 SUB REGION DE SALUD CAJAMARCA
 DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
 Laboratorio de Salud Ambiental
 Dr. Henry Zamora Sánchez
 LABORATORIO DESA
 C.B.P. N° 20152

Anexo 15: Resultados físico químico muestra 4.



PERÚ Ministerio de Salud SUB REGION DE SALUD JAEN DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL



SOLICITANTE	EDUARD DENNIS ESPINOZA CAMPOS		
REPRESENTANTE			
INFORME DE ENSAYO	LCAP-024		
PUNTO DE MUESTREO		COORDENADAS UTM	E: 746550 N: 9381010
ORIGEN DE LA FUENTE	RESERVORIO		
NOMBRE DE LA FUENTE	AEROPUERTO CRUCE SHUMBA		
PROYECTO			
LOCALIDAD	SAN AGUSTIN	DISTRITO	BELLAVISTA
PROVINCIA	JAEN	DEPARTAMENTO	CAJAMARCA
HORA DE MUESTREO	12:48:00	HORA DE ANALISIS	13:45:00
FECHA DE MUESTREO	17/12/2020	FECHA DE ANALISIS	17/12/2020
MUESTREADO POR	BLGO. HENRY ZAMORA SANCHEZ	ALTURA	763 m.s.n.m

ANALISIS FISICO - QUIMICO

R E S U L T A D O S						
MUESTRA:	SALIDA DE RESERVORIO		SALIDA DE FLOCULADOR		SALIDA DE PURIFICADOR	
Olor y Sabor	.....		.....		.....
Temperatura	29.7	°C	29.9	°C	30.4	°C
pH	7.8		7.4		7.4	
Turbidez	38.2	UNT	15.2	UNT	10	UNT
Conductividad	297	us a 20°C	549	us a 20°C	584	us a 20°C
Dureza Total	175	mg/L	171	mg/L	168	mg/L
Dureza Calcica	90	mg/L	89	mg/L	89	mg/L
Dureza Magnesio	85	mg/L	82	mg/L	79	mg/L
Solidos totales disueltos	197	ppm	366	ppm	390	ppm
Salinidad	0.01	%	0.01	%	0.01	%

**La muestra ha sido traída al Laboratorio de Control Ambiental por los interesados.

REGIONAL DE SALUD
REGIONAL DE SALUD JAEN
Dgo. Carlos Roberto RISCO
D.P. 4396
DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL

Anexo 16: Resultados bacteriológico muestra 4



PERÚ

Ministerio de Salud

SUB REGION DE SALUD JAEN

DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL



SO LICITANTE O PROGRAMA :	EDJARD DENNIS ESPINOZA CAMPOS	LOCALIDAD :	SAN AGUSTIN
DIRECCION :	-	DISTRITO :	BELLAVISTA
INFORME DE ENSAYO :	LCAP-24	PROVINCIA :	JAEN
ORIGEN DE LA FUENTE :	RESERVORIO	DEPARTAMENTO :	CAJAMARCA
NOMBRE DE LA FUENTE :	AEROPUERTO CRUCE SHUMBA	COORDENADAS:	E: 746550
PROYECTO :			N: 9381010
PUNTO DE MUESTREO :	RESERVORIO	ALTURA :	763 m.s.n.m
MUESTREADO POR :	BLGO. HENRY ZAMORA SANCHEZ		

ANALISIS BACTERIOLOGICO

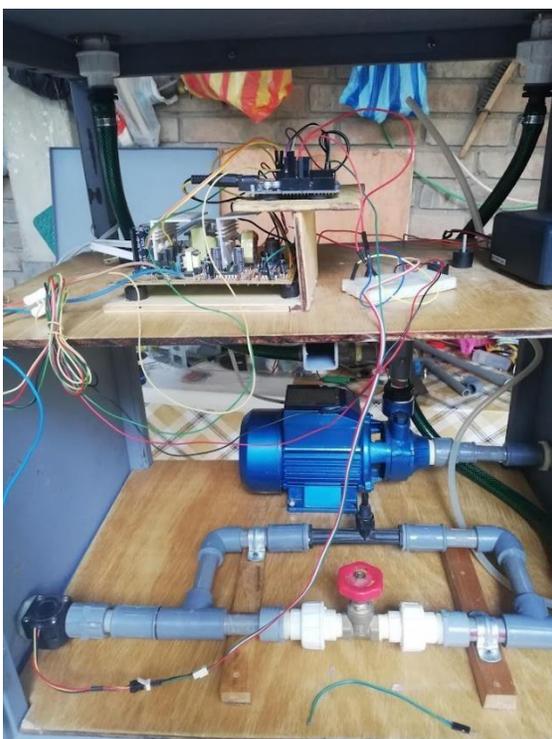
N°	NOMBRE DE LA FUENTE O PUNTO DE MUESTREO	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y hora de Analisis	ANALISIS BACTERIOLOGICO				-	-
				Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (UFC/100 ml)	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)		
1	SALIDA DEL RESERVORIO	17/12/2020	17/12/2020	>200	>200			-	-
		12:48:00 p.m.	1:45:00 p.m.						
2	SALIDA DEL FLULADOR	17/12/2020	17/2020	198	190			-	-
		12:00:00 a.m.	1:45:00 p.m.						
3	SALIDA DEL PURIFICADOR	17/12/2020	17/12/2020	<1	<1			-	-
		12:56:00 p.m.	1:45:00 p.m.						

**La muestra ha sido traída al laboratorio por los interesados.

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
 DIRECCION REGIONAL DE SALUD
 DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL
 HENRY ZAMORA SANCHEZ
 C.B.P. 43706
 DIRECTOR EJECUTIVO DE SALUD AMBIENTAL

Anexo 17: Panel fotográfico

Construcción del prototipo



Handwritten signature in black ink.

Handwritten signature in black ink.

Prueba de funcionamiento del prototipo por personal de la DISA Jaén

