



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UN
PURIFICADOR DE AGUA MEDIANTE RADIACIÓN UV Y
CÁMARA DE ELECTRODIÁLISIS ALIMENTADO POR
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA USUARIO
RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE YOPAL (CASANARE)**

**SEBASTIAN FELIPE CORTES LOPEZ
JANDERSON FARYD RODRIGUEZ RINCON**

Cod :11481726039

Cod: 10451725761

Universidad Antonio Nariño

Programa de ingeniería mecatrónica e ingeniería mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

2022

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UN
PURIFICADOR DE AGUA MEDIANTE RADIACIÓN UV Y
CÁMARA DE ELECTRODIÁLISIS ALIMENTADO POR
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA USUARIO
RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE YOPAL (CASANARE)**

**SEBASTIAN FELIPE CORTES LOPEZ
JANDERSON FARYD RODRIGUEZ RINCON**

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

Ingeniero Mecatrónico

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Mtro. JUAN CARLOS MONROY CASTRO

Universidad Antonio Nariño

Programa de ingeniería mecatrónica e ingeniería mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UN
PURIFICADOR DE AGUA MEDIANTE RADIACIÓN
UV Y CÁMARA DE ELECTRODIÁLISIS
ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA USUARIO
RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE YOPAL
(CASANARE), Cumple con los requisitos para optar
Al título de Ingeniería mecatrónica e ingeniería mecánica.

Firma del Tutor 1

Firma del Tutor 2

Firma Jurado

Firma Jurado

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Descripción del problema	16
1.2 Justificación.....	17
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo General.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	19
2.1 Agua potable	19
2.1.1 Descripción de los metales pesados a eliminar	20
2.2 Potabilización del agua	22
2.3 Electrodialisis	25
2.3.1 Principios de la electrodialisis	26
2.3.2 Membranas de intercambio iónico	27
2.3.3 Clasificación de las Membranas de Intercambio Iónico.....	27
2.3.4 Electrodo.....	28
2.3.5 Configuración de las celdas de electrodialisis	29
2.3.6 Modelación matemática	30
2.3.6.1 Flujo	30
2.4 Radiación UV	36
2.5 Energía solar	39
2.6 Sistemas fotovoltaicos.....	40
2.6.1 Hora solar pico	42
2.6.2 Cantidad de paneles solares.....	43
2.6.3 Determinación de la batería	44
3. DESARROLLO	44
3.1 Consumo de agua	44
3.2 Conteo de microorganismos y metales pesados	46
3.3 Sistema de purificación UV	49
3.4 Cámara de Electrodialisis.....	49
3.4.1 Descripción de las membranas de intercambio aniónico y catiónico	49
3.4.2 Especificaciones del electrodializador.....	50
3.5 Sistema fotovoltaico	51
3.5.1 Demanda de energía	51
3.5.2 Diseño del sistema Fotovoltaico	52
3.5.3 Inclinación del panel	53
3.6 Animaciones del sistema.....	53
3.7 Ensamble del sistema	59
3.8 Manual de operación y mantenimiento	63
3.8.1 Esquema eléctrico	68
3.9 Resultados de los análisis de metales pesados y microbiológicos	69
4. Conclusiones.....	70
5. Bibliografía	72

6. Anexos

	75
6.1 Anexo 1 Conteo de Microorganismos y metales pesados	75
6.2 Anexo 2 Planos Constructivos	79
6.3 Anexo 3 Resultados de los análisis de agua postratamiento.....	84
6.4 Anexo 4 Ficha técnica del tubo germicida.....	86

Índice de tablas

Tabla 1 Características físicas	19
Tabla 2 Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana	20
Tabla 3 Puntaje de riesgo	23
Tabla 4 IRCA	24
Tabla 5 Datos de sustancias	35
Tabla 6 Resultados obtenidos	36
Tabla 7 Relación microorganismos- Radiación	37
Tabla 8 Calculo del volumen	45
Tabla 9 Consumo de agua	46
Tabla 10 Resultados del análisis del laboratorio	46
Tabla 11 Datos de las membranas	49
Tabla 12 Descripción y datos del equipo	50
Tabla 13 Demanda de energía	51
Tabla 14 Componentes sistema fotovoltaico	64
Tabla 15 Componentes electrodiálisis	65
Tabla 16 Componentes Tanque UV	67
Tabla 17 Componentes esquema electico	68
Tabla 18 Resultados de los análisis post-tratamiento	69

Índice de figuras

Figura 1 Electrodiálisis	26
Figura 2 Efectos de la radiación UV en el ADN	37
Figura 3 Energía solar.....	40
Figura 4 Sistema fotovoltaico conectado a la red	41
Figura 5 Sistema fotovoltaico aislado a la red	42
Figura 6 Promedio de radiación global en Yopal	43
Figura 7 Galón de muestreo	45
Figura 8 Purificador de agua-partes	54
Figura 9 Purificador de agua -Proceso	55
Figura 10 Purificador de agua -Proceso	56

Figura 11 Purificador de agua -Proceso..... 57
 Figura 12 Purificador de agua -Proceso..... 58
 Figura 13 Purificador de agua -Proceso..... 59
 Figura 14 Ensamble del purificador 61
 Figura 15 Panel solar 62
 Figura 16 Sistema fotovoltaico 64
 Figura 17 Componentes electrodiálisis 65
 Figura 18 Componentes..... 67
 Figura 19 Esquema eléctrico 68
 Figura 20 Radicado 75
 Figura 21 Resultados análisis de agua de la Giarda y el Cryptosporidium 76
 Figura 22 Resultados de análisis de metales pesados en el agua 77
 Figura 23 Resultados de análisis de metales pesados en el agua 78
 Figura 24 Plano 1 79
 Figura 25 Plano 2 80
 Figura 26 Plano 3 81
 Figura 27 Plano 4 82
 Figura 28 Plano 5 83
 Figura 29 Resultados análisis de metales pesados 84
 Figura 30 Resultados análisis microbiológicos 85
 Figura 31 Ficha técnica tubo germicida 86
 Figura 32 Ficha técnica tubo germicida 87

Lista de simbolos

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Area	<i>Área tratada</i>	m ²	Ecuación(15)
<i>c</i>	La consentracion de particulas	$\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$	Ecuación(8)
<i>D</i>	Coficiente de disfucion	$\frac{\text{cm}}{\text{s}}$	Ecuación(8)
<i>d</i>	Densidad del liquido	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Ecuacion (22)
<i>E</i> _{requerida}	Energia requerida del sistema	Wh	Ecuación (23)
<i>F</i>	La constante de Faraday	$\frac{\text{coulomb}}{\text{mol}}$	Ecuación(8)

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
HSP	Hora solar pico	$\frac{Wh}{m^2}$	Ecuación (23)
I	Corriente eléctrica	A	Ecuación(15)
I_0	Intensidad lumínica	$(\frac{mW}{cm^2})$.	Ecuacion (22)
J	Flujo iónico	$\frac{mol}{cm^2*s'}$	Ecuación(14)
j	Densidad de corriente	$\frac{A}{m^2}$	Ecuación(14)
$J_{Electrica}$	El flujo ionico	$\frac{mol}{m^2 \cdot s}$	Ecuación(8)
$M_{molecular}$	Masa molecular del liquido	g	Ecuación(17)
M_{total}	Masa total del liquido	g	Ecuación(17)
P	Potencia	W	Ecuación(16)
P_m	La permeabilidad de la membrana	$\frac{m}{s}$	Ecuación(7)
Pot	Potencia diaria	Wh	Ecuacion (25)
R	La constante de los gases	$\frac{J}{mol \cdot k}$	Ecuación(8)
T	Temperatura	°C	Ecuación(8)
V	Voltaje	V	Ecuación(16)
Vol	Volumen del liquido	m^3	Ecuación(18)
$V_{Bateria}$	Voltaje de la bateria	V	Ecuacion (25)
W_p	Potencia del panel	W	Ecuación(24)
z	Electrones de valencia	-	Ecuación(8)
#Moles	Cantidad de moles	mol	Ecuación(17)
#Paneles solares	Cantidad de paneles solares requeridos	-	Ecuación(24)

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
β_{opt}	Ángulo de inclinación optimo	°	(Ecuacion 26)
φ	Latitud del lugar de instalación del panel	°	(Ecuacion 26)
μ	Movilidad	$\frac{cm}{s \cdot dina}$	Ecuación(3)
v	Velocidad	$\frac{cm}{s}$	Ecuación(3)

Agradecimiento

Durante el desarrollo de este proyecto se contó con la ayuda de diferentes personas directa e indirectamente, a todas aquellas les agradecemos infinitamente el apoyo prestado a la realización y conclusión de este proyecto, un especial agradecimiento a nuestros padres y madres, Roney Cortes y Miryam Lopez, padres de Sebastian Cortes, y Gabriel Rodriguez y Blanca Rincon, padres de Janderson Rodriguez, que siempre estuvieron apoyándonos en cada momento de dificultad durante el desarrollo de este proyecto y en toda la carrera, al igual el director de proyecto Juan Monroy por guiarnos y orientarnos en el desarrollo del mismo y en general a todos los docentes que nos brindaron sus conocimientos y paciencia durante el desarrollo de la carrera universitaria. A todas las demás personas que estuvieron en el proceso ayudándonos de una u otra forma les agradecemos de todo corazón, gracias a ellos y a los demás mencionados se logró alcanzar esta meta que se persiguió durante 5 largos años.

Resumen

El presente proyecto está dirigido hacia el carácter social debido a que, en la capital del departamento de Casanare, Yopal se encuentra una problemática social la cual lleva ya varios años afectando a las personas de esta ciudad, esta dificultad es la falta de abastecimiento de agua potable entre la población por la falta de un acueducto con capacidad para abastecer este líquido primordial para la salud humana, con la realización de este proyecto se busca mejorar la calidad de vida y prevenir enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua, en el documento desarrolla un purificador de agua a pequeña escala (prototipo) con capacidad para abastecer de este líquido potabilizado a un usuario residencial de 5 personas, en el desarrollo del proyecto se diseña y construye un prototipo que tiene como finalidad reducir los microorganismos (Giarda y Cryptosporidium) mediante la radiación UV de forma artificial y la reducción de metales pesados (Níquel y Cadmio) mediante la implementación de una cámara de electrodiálisis en el agua, el agua utilizada por este sistema llega con muy baja turbiedad y sin residuos sólidos, esto hace que el prototipo sea más efectivo.

Estas primeras 2 etapas serán abastecidas de energía eléctrica mediante una fuente fotovoltaica, optando por la energía renovable.

Es realizado en varias etapas las cuales consistirán en determinar el consumo de agua promedio de un usuario residencial, determinar la cantidad de Giarda, Cryptosporidium, Níquel y Cadmio que están presentes en el agua a tratar, determinar las características optimas que debe tener la lámpara de radiación UV y diseñar la cámara de electrodiálisis y el sistema fotovoltaico, este último se basa en el consumo de energía eléctrica determinada de la lámpara UV y de la cámara de electrodiálisis, con esto se procede al ensamblaje de todo lo anterior.

Con el prototipo ensamblado se realizan pruebas de funcionamiento y el agua de muestra se envía a un laboratorio de aguas para los respectivos análisis microbiológicos y de metales pesados con resultados positivos sobre la presencia de la Giarda, Cryptosporidium, Níquel y Cadmio, importantes para el desarrollo del proyecto, estos resultados permiten sacar las conclusiones sobre el diseño, ensamblaje y resultados.

PALABRAS CLAVE: iones, UV-C, microorganismos, microbiano, déficit, radiación, vulnerabilidad, energía solar, agua potable.

Abstract

The present project is directed towards the social character because, in the capital of the department of Casanare, Yopal there is a social problem which has been affecting the people of this city for several years, this difficulty is the lack of water supply drinking water among the population due to the lack of an aqueduct with the capacity to supply this essential liquid for human health, with the realization of this project it is sought to improve the quality of life and prevent diseases related to poor water quality, in the document it develops a small-scale water purifier (prototype) with the capacity to supply this drinkable liquid to a residential user of 5 people, in the development of the project a prototype is designed and built with the purpose of reducing microorganisms (Giarda and Cryptosporidium) through UV radiation artificially and the reduction of heavy metals (Nickel and Cadmium) by implementing from an electro dialysis chamber in the water, the water used by this system arrives with very low turbidity and no solid residues, this makes the prototype more effective.

These first 2 stages will be supplied with electricity through a photovoltaic source, opting for renewable energy.

It is carried out in several stages which will consist of determining the average water consumption of a residential user, determining the amount of Giarda, Cryptosporidium, Nickel and Cadmium that are present in the water to be treated, determining the optimal characteristics that the lamp must have UV radiation and design the electro dialysis chamber and the photovoltaic system, the latter is based on the consumption of electrical energy determined by the UV lamp and the electro dialysis chamber, with this we proceed to the assembly of all of the above.

With the assembled prototype, functional tests are carried out and the sample water is sent to a water laboratory for the respective microbiological and heavy metal analysis with positive results on the presence of Giarda, Cryptosporidium, Nickel and Cadmium, important for development. of the project, these results allow drawing conclusions about the design, assembly and results.

KEY WORDS: ions, UV-C, microorganisms, microbial, deficit, radiation, vulnerability, solar energy, drinking water

1. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Yopal, capital del departamento de Casanare, cuenta con un acueducto para la potabilización de agua pero esta no es apta para el consumo humano directo en consecuencia de un derrumbe de tierra debido al movimiento de una falla geológica en el año 2011, en los últimos años se han tomado diferentes medidas de contingencia entre las cuales hay un acueducto de agua provisional el cual no cuenta con tratamiento de potabilización del agua y por distintas razones en 10 años después de los sucesos la capital de Casanare aún no tiene agua potable. Teniendo en cuenta lo fundamental que es el agua para la vida e irónicamente lo peligrosa que puede llegar a ser para el ser humano si no es tratada, una alternativa es el tratamiento por rayos UV-C y una cámara de electrodiálisis.

Esta alternativa a la utilización de químicos logra reducir los microorganismos peligrosos para la salud humana como lo es la Entamoeba histolytica causante de la Amebiasis o disentería Amebiana y metales pesados como el mercurio el cual puede ser tóxico para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones riñones y ojos, además de satisfacer su propia demanda de energía mediante paneles fotovoltaicos.

La tecnología de rayos UV está siendo utilizada en el país, un ejemplo de ello es en 3 colegios del municipio de Ataco en el departamento de Tolima, el municipio ya mencionado no cuenta con acueducto para la potabilización de agua, lo cual esta tecnología ha contribuido a la calidad de vida de los alumnos de estos centros educativos.

En el ámbito internacional en el Ecuador, en diferentes regiones de este país se han optado por este sistema de purificación de agua de manera limpia, utilizando tanto la radiación UV natural proveniente del sol como de forma artificial provenientes de lámparas. Uno de estos equipos es un purificador de agua automático que mediante la reflexión solar y la luz UV proveniente de una lámpara potabiliza agua, además de utilizar un panel fotovoltaico para

obtener energía eléctrica tanto para la lámpara como para los sistemas de control que están incluidos en la automatización.

Obteniendo excelentes resultados en los análisis de laboratorio del agua posterior al proceso.

Otro ejemplo de un purificador de agua con esta tecnología es en México, a diferencia del dispositivo de Ecuador, este utiliza la evaporación y la condensación del agua para reducir los metales pesados para posteriormente pasar a la zona donde se encuentra la lámpara de radiación UV para la esterilización del líquido y poder ser consumido.

En este proyecto se utilizará la radiación UV artificial proveída de una lámpara y un sistema de alimentación por medio de un panel fotovoltaico implementando como la diferencia una cámara de electrodiálisis con el propósito de reducir los metales pesados presentes en el agua a tratar, además de reducir el tamaño en comparación a los dispositivos de Ecuador y México.

1.1 Descripción del problema

El agua es un líquido fundamental y de gran importancia para todo ser vivo, pero debido a la contaminación ambiental que se ha venido dando en el transcurso de los años, este líquido se ha visto afectado y ya no se puede consumir de forma tranquila sin haberle dado un previo tratamiento.

Existen muchas poblaciones que no cuentan con una planta de tratamiento adecuada para brindar un buen servicio de agua potable, podemos evidenciar esta problemática en la ciudad de Yopal, capital del departamento de Casanare, donde por una falla geológica ocurrida en el año 2011, esta ciudad quedó sin planta de tratamiento adecuada, y están supliendo esta necesidad con un acueducto provisional, el cual no cuenta con los estándares de calidad en el tratamiento de agua, pese a que ya son 10 años que han pasado desde el momento en que ocurrió la falla geológica, no se ha realizado nada para mejorar esta problemática. Además de eso, también se están utilizando carrotanques para transportar agua potable y así poder brindar agua tratada para algunos días. La falta de tratamiento de potabilización del agua puede presentar microorganismos en el líquido tales como Coliformes y *Escherichia coli*, entre otros, estos pueden afectar la salud humana, al igual que metales pesados presentes en el agua, que también son dañinos para los seres humanos a corto y largo plazo, según el decreto 1575 de 2007 (El ministro de la Protección Social, 2007). Razón por la cual es necesario implementar en zonas residenciales un purificador de agua, que cumpla con la resolución 2115 de 2007 (LOS MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE, 2007) para el tratamiento de agua.

Se espera dar solución a esta problemática con el diseño e implementación de un purificador de agua para un usuario residente en Yopal, este purificador está constituido por radiación UV, este tipo de radiación se encarga de reducir los microorganismos presentes en el agua, junto a un cámara de electrodiálisis con la capacidad de reducir la presencia de metales pesados por debajo del valor máximo aceptable (mg/L) establecido por la resolución 2115 de 2007 (LOS MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE, 2007).

Estos dos sistemas ya mencionados están alimentados por una fuente de energía solar ya que es un suministro de energía limpia y menos costosa.

1.2 Justificación

Actualmente la ciudad de Yopal, capital del departamento de Casanare, tiene un suministro de agua potable precario, obtenido por un acueducto provisional que no garantiza la potabilidad del agua captada por distintas fuentes hídricas cercanas al municipio, a pesar de distintas soluciones a corto plazo que ha optado la administración municipal y departamental como lo es la repartición de agua potable mediante carrotanques, esto es insuficiente para satisfacer la demanda de agua apta para el consumo humano.

Al momento de tratar el agua obtenida de los afluentes existen diferentes métodos de purificación, algunos de ellos son más eficientes que otros; pero todos están diseñados con la misma finalidad, la cual es obtener el agua potable que sea apta para el consumo humano. Según la estructura de cada método de purificación, sus costos pueden llegar a ser elevados.

La potabilización de agua mediante rayos UV tipo C es una tecnología ya usada anteriormente en otros países y en el departamento de Tolima, ofrece una solución accesible económicamente además de ser altamente efectiva en la eliminación de microorganismos perjudiciales para la salud humana presentes en el agua, adicional la utilización de energía solar como fuente de alimentación es rentable por ser menos costosa además de ser amigable.

Inicialmente plantear dar soluciones a una vivienda unifamiliar diseñando y ensamblando un prototipo de un purificador de agua con radiación UV capaz de suministrar la cantidad de agua potable necesaria para suplir la necesidad diaria de este líquido fundamental.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un purificador de agua mediante la utilización de radiación ultravioleta y una cámara de electrodiálisis alimentada con una fuente fotovoltaica para la potabilización del agua de un usuario residencial en la ciudad de Yopal-Casanare

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el consumo promedio de un usuario residencial en la ciudad de Yopal con el propósito de dimensionar el purificador de agua.

- Determinar la cantidad de Cadmio y Níquel (metales pesados) mediante el análisis por absorción atómica y la cantidad de Giardia y Cryptosporidium (microorganismos) mediante un análisis microbiológico por el método de filtración por membrana.
- Determinar las características necesarias de la lámpara de radiación UV empleada en el purificador.
- Diseñar la cámara de electrodiálisis del sistema basados en los niveles del consumo mediante el método eléctrico.
- Diseñar el sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de acuerdo a los elementos empleados en el purificador de agua y su elemento de carga para satisfacer el funcionamiento del prototipo en la noche.
- Elaborar animaciones que describa el funcionamiento de las distintas etapas el purificador de agua.
- Construir y ensamblar los elementos que componen el purificador de agua para usuario residencial.
- Determinar mediante análisis microbiológicos por el método de filtración por membrana y análisis de metales pesados por medio de absorción atómica la presencia de Cadmio y Níquel (metales pesados) mediante el análisis por absorción atómica y la cantidad de Giardia y Cryptosporidium (microorganismos) en el agua potabilizada por el prototipo.
- Elaborar manual de operación, mantenimiento y planos constructivos y esquema eléctrico del purificador.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Alrededor del mundo cientos de millones de personas se abastecen con agua contaminada dando como resultado más de 500 mil muertes al año por enfermedades derivadas según la OMS (OMS, 2019), tan solo en Colombia murieron más de 17 mil personas por enfermedades relacionada con la pésima calidad del agua en 2019 (Salud, 17) .

Debido a esto se plantea una solución el diseño de un purificador de agua que utilice luz UV y una cámara de electrodiálisis que permita la potabilización mediante los rayos UV de los microorganismos hasta reducirlos debajo del nivel permitido según el decreto 1575 de 2007, verificando los resultados obtenidos mediante pruebas físico-químicas del agua que ha pasado por el prototipo.

2.1 Agua potable

Agua tratada con el fin que sea apta para el consumo humano, esta agua debe seguir parámetros aceptables dentro de sus características físicas, químicas y biológicas.

Las características físicas son susceptibles por los sentidos y van ligadas a las condiciones de aceptabilidad del agua. Entre algunas características está el color, olor, sabor, temperatura y turbidez según la Resolución 2115 del 2007.

Tabla 1 Características físicas

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente M. d. p. social, «REOSLUCION 2115,» 2017

Las características químicas están asociadas a los compuestos químicos ya sean de origen natural o artificial que están disueltos en el agua, dependiendo de su composición química son perjudiciales o beneficiosos para la salud humana. Algunos son aluminio, hierro, cobre, cadmio, mercurio, plomo, sulfatos, nitratos entre otros.

Tabla 2 Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsenio	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente M. d. p. social, «REOSLUCION 2115,» 2017

En la constitución del agua se encuentran diferentes microorganismos que normalmente son de origen natural, la cantidad de microorganismos va acompañada de características físicas y químicas como la temperatura del agua. Entre los microorganismos están las algas y se encuentran mayormente en lagunas, lagos, etc, las bacterias, son de las numerosas y las patógenas para el ser humano son coliformes y los estreptococos, y por ultimo los hongos.

2.1.1 Descripción de los metales pesados a eliminar

- Níquel

El níquel es abundante, que constituye aproximadamente el 0,008 % de la superficie terrestre y el 0,01 % de las rocas ígneas. En meteoritos de encuentra en grandes cantidades. El sulfuro de níquel y el sulfuro de hierro son 2 de los minerales más

importantes. Está presente en pequeñas cantidades en el agua de mar, el petróleo y la mayoría del carbón.

El níquel metálico es fuerte y duro (3,8 en la escala de Mohs) y negro cuando está finamente dividido. El níquel es 8,90 veces más denso que el agua a 20°C (68°F); funde a 1455 °C (2651 °F) y hierve a 2840 °C (5144 °F); es sólo moderadamente reactivo. Es resistente a la corrosión alcalina y no se enciende en piezas grandes, pero los alambres muy delgados sí lo hacen. El ion níquel en una solución acuosa del compuesto simple es en sí mismo un complejo $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. El níquel es un elemento que solo está presente en cantidades muy pequeñas en el medio ambiente. La gente usa el níquel para varios propósitos. Muy a menudo, el níquel se usa como componente del acero y otros productos metálicos. Se puede encontrar en productos metálicos comunes, como joyas. Los alimentos contienen naturalmente pequeñas cantidades de níquel. Se sabe que el chocolate y la grasa son altos. El níquel se absorbe y aumenta cuando las personas comen grandes cantidades de vegetales de suelo contaminado. Se sabe que las plantas acumulan níquel, por lo que la absorción de níquel de los vegetales sería significativa. Los fumadores están muy expuestos al níquel a través de los pulmones. Finalmente, el níquel se puede encontrar en los detergentes. Las personas pueden estar expuestas al níquel al respirar aire, beber agua, comer o fumar. El contacto de la piel con tierra o agua contaminada con níquel también puede conducir a la exposición al níquel. El níquel es esencial en pequeñas cantidades, pero si se ingiere en cantidades muy grandes, puede ser perjudicial para la salud humana.

El níquel puede tener diferentes consecuencias en tomas altas, como:

- Altas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.
- Enfermedades y mareos después de la exposición al gas de níquel.
- Embolia de pulmón.
- Fallos respiratorios.
- Defectos de nacimiento.
- Asma y bronquitis crónica.
- Reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas, mayormente de las joyas.
- Desórdenes del corazón.

- **Cadmio**

El cadmio no se presenta en estado libre en la naturaleza, y el único mineral de cadmio, la grenockita (sulfuro de cadmio), no es una fuente comercial del metal. Casi todo el mineral de cadmio producido se obtiene como un subproducto de la fundición y refinación del mineral de cadmio y típicamente contiene 0.2-0.4%. Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y la República de Corea son fuentes importantes, pero no todos los países son productores.

La segunda aplicación son las baterías de níquel-cadmio, y la tercera son los reactivos y pigmentos químicos. Los compuestos de cadmio se utilizan como estabilizadores en

plásticos y en la producción de fósforo de cadmio. Debido a su capacidad para absorber neutrones, especialmente el isótopo 113, se usa en barras de control y revestimientos de reactores nucleares. El cadmio se encuentra principalmente en la corteza terrestre. El cadmio también se encuentra en la industria como un subproducto inevitable de los extractos de zinc, plomo y cobre. Después de la aplicación, ingresa al medio ambiente principalmente a través del suelo, como ocurre con los fertilizantes y pesticidas. El cuerpo humano absorbe el cadmio principalmente a través de los alimentos. Los alimentos ricos en cadmio pueden aumentar significativamente la concentración de cadmio en el cuerpo. Ejemplos: boloñesa, setas, crustáceos, almejas, cacao y algas secas.

Cuando las personas fuman, están expuestas a niveles significativamente más altos. El humo del tabaco lleva cadmio a los pulmones. La sangre transportará el cadmio a otras partes del cuerpo, donde puede contribuir a los efectos potenciadores del cadmio ya presentes en los alimentos ricos en cadmio. Otras exposiciones altas pueden ocurrir a las personas que viven cerca de vertederos de desechos peligrosos o fábricas que liberan cadmio al aire, y aquellos que trabajan en la industria de refinación de metales. Cuando las personas inhalan cadmio, pueden causar daños pulmonares graves. Incluso puede conducir a la muerte. El cadmio se transporta primero por la sangre al hígado. Allí se une a las proteínas y forma complejos, que luego se transportan a los riñones. El cadmio se acumula en los riñones, causando daño a los mecanismos de filtración. Esto hace que el cuerpo secrete las proteínas y los azúcares necesarios, lo que puede causar daño renal. El cadmio que se acumula en los riñones se elimina durante un largo período de tiempo.

Algunos efectos sobre la salud que son causados por el Cadmio son:

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- Fractura de huesos
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- Daño al sistema nervioso central
- Daño al sistema inmune
- Desordenes psicológicos
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

2.2 Potabilización del agua

Son los procesos físicos y químicos de tratamiento del agua para que sea apta para el consumo humano, estos procesos son esenciales para eliminar material mineral, orgánico y contaminantes biológicos. Existen sistemas convencionales y alternativas de sistemas de potabilización.

Los sistemas convencionales son sistemas diseñados bajo criterios de ingeniería y estándares nacionales e internacionales, tienen como objetivo abastecer a la población de agua potable, estos sistemas son capaces de remover y/o disminuir sedimentos, turbiedad, olor, color, microorganismos u otro tipo de característica esencial para su tratamiento, estos sistemas son diseñados dependiendo de las características de los lugares factibles. Estos sistemas suelen utilizar sustancias químicas como el cloro.

Los sistemas alternativos son sistemas no convencionales que permiten realizar el proceso de potabilización, estos sistemas tratan el agua con tal manera que obtenga los parámetros para que pueda considerarse potable. Estos sistemas son factibles en zonas rurales o en zonas donde no sea factible los métodos convencionales y no suelen utilizar químicos, algunos de los métodos alternativos son la radiación UV y la biofiltración.

Dependiendo de los sistemas que se utilicen, el agua potabilizada debe seguir parámetros y un índice de riesgo como el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA), asignándole puntaje a las características físicas, químicas y microbiológica. (social, 2017)

Tabla 3 Puntaje de riesgo

Características	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Color Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1,5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Alumino	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15

Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntaje asignado	100

Fuente: M. d. p. social, «REOSLUCION 2115,» 2017

Se calcula el índice de riesgo por muestra y mensual de la siguiente manera:

Puntaje por muestra

$$IRCA(\%) = \frac{S \text{ puntaje de riesgo asignado a las características no aceptables}}{S \text{ puntaje de riesgo asignando a todas las características analizadas}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Puntaje mes

$$IRCA(\%) = \frac{S \text{ de los IRCA'S obtenidos en cada muestra durante el mes}}{\text{Numero total de muestras en el mes}} \quad \text{Ecuación(2)}$$

Dependiendo de los resultados de los 2 cálculos anteriores se clasifican los niveles de riesgo.

Tabla 4 IRCA

Clasificación IRCA (%)	Nivel de riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantara la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1-100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General	Agua no apta para el consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia a la persona prestadora, alcaldes, Gobernadores y entidades de orden nacional

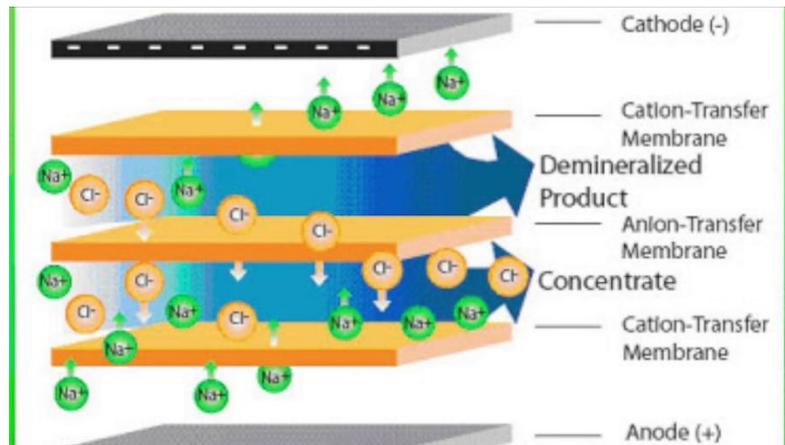
35.1-80	ALTO	Informar a la persona prestadora COVE, alcalde, Gobernador y a la SSPD	Agua no apta para el consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia a la persona prestadora, alcaldes, Gobernadores respectivas
14.1-35	MEDIA	Informar a la persona prestadora COVE, alcalde y gobernador	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora
5.1-14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento
0-5	SIN RIESGO	Continuar al control y vigilancia	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia

Fuente: M. d. p. social, «REOSLUCION 2115,» 2017

2.3 Electrodiálisis

La electrodiálisis es un sistema de membrana que por medio de un suministro de energía eléctrica constante permite disminuir la cantidad de metales pesados en el agua (Ni, Cd, para este caso), mediante un intercambio iónico. Este sistema tiene una celda en la cual se encuentran un cátodo y un ánodo separados por membranas de intercambio iónico (aniónicas, catiónicas). Las membranas tienen una densidad elevada de grupos iónicos fijados en ella, los cuales están permitiendo un intercambio selectivo de iones a través de la membrana dependiendo su carga. Permitiendo el paso de contraiones (de carga opuesta) mientras que se impide el paso de los co-iones (misma carga) debido a la repulsión de Donnan.

Figura 1 Electrodialisis



Fuente <https://www.youtube.com/watch?v=S9pMgiU-gcU>

2.3.1 Principios de la electrodiálisis

Al establecer un campo eléctrico en un electro dializador, los iones de la solución migran hacia el ánodo o el cátodo, dependiendo el signo de su carga. Para que ocurra el proceso ya mencionado, el módulo de electrodiálisis debe estar conformado por dos electrodos metálicos que establecen el campo eléctrico, ánodo y cátodo, entre ellos se encuentran las membranas.

Las membranas deben ser de dos tipos, una selectiva a los cationes como calcio, sodio, potasio, etc. Comúnmente llamadas catiónicas; el otro tipo de membrana debe ser selectiva a los aniones como el cloruro, hidróxido, nitrato, etc. y son conocidas como aniónicas.

Se le denomina celda a la unidad básica formada por dos compartimientos los cuales tienen una membrana catiónica, una membrana aniónica y dos espaciadores. Este conjunto de celdas es comúnmente llamado módulo de electrodiálisis. Esta configuración ya mencionada, es de dos compartimientos y puede llegar a tener 500 celdas. También se pueden encontrar configuraciones con tres o cuatro compartimientos. Estas membranas por lo general deben tener una distancia comprendida entre ellas, la cual puede ser de 0.4 a 2mm.

2.3.2 Membranas de intercambio iónico

En la industria existen muchos tipos de membranas con propiedades y funciones muy particulares, pero para el caso de la electrodiálisis las membranas que se usan deben estar cargadas eléctricamente, las cuales son más conocidas como membranas de intercambio iónico. Sus características principales son: alta selectividad de especies iónicas, resistencia eléctrica entre 0.3 y $2 \text{ m}\Omega/\text{m}^2$, una buena resistencia mecánica y, por último, una gran estabilidad química y biológica.

Estas membranas de intercambio iónico están divididas en membranas aniónicas y membranas catiónicas las cuales están cargadas en grupos fijos positivos y negativos, respectivamente. Las membranas catiónicas son laminas que contienen una matriz porosa de resina los cuales contienen grupos fijos electronegativos, las membranas catiónicas más usadas son Sulfonato ($-\text{SO}_3^-$) y carboxilato (COO^-), dichos grupos son balanceados por los contraiones de carga positiva. La lamina es capaz de permitir el paso de una corriente en forma de un flujo de cationes.

Por otra parte, las membranas aniónicas permiten el paso de un flujo de aniones ya que estos grupos fijos son de carga positiva, los grupos de membranas aniónicas más utilizados son: Amonio Cuaternario ($-\text{NR}_3^+$) y Amina Terciaria ($-\text{NR}_2$) que a su vez son balanceados por grupos móviles negativos.

2.3.3 Clasificación de las Membranas de Intercambio Iónico

Según su estructura física.

- **Membranas Homogéneas:** Sus propiedades son uniformes en todos los puntos, su obtención es por medio de una reacción de condensación de los polifenoles o poliaminas, tejido sintético se impregna con el resultado de dicha reacción para así formar una película delgada del intercambiador.
- **Membranas Heterogéneas:** Este tipo de membranas están constituidas por dos polímeros diferentes, produciendo grandes desventajas, siendo las más principales: produce canales de flujo excesivamente grandes, su resistencia eléctrica es demasiado grande en disoluciones salinas, entre otras.

Según su capacidad de intercambio.

Como ya se mencionó, las membranas de intercambio iónico se clasifican en:

- Catiónicas: son solo permeables a los cationes.
- Aniónicas: son solo permeables a los aniones

Estas dos calificaciones ya mencionadas, a su vez se pueden clasificar cada una de ellas en:

- Débiles
- Fuertes

Según su estructura química

Estas se pueden clasificar en:

- **Perfluoradas:** a principios de los años setenta fueron desarrolladas las primeras membranas, desde entonces han sido bastante utilizadas gracias a su gran resistencia química y mecánica, pero su principal uso es en la electrodiálisis ya que cuenta con una excelente estabilidad térmica y química.
- **No perfluoradas:** también cuentan con excelentes condiciones de estabilidad térmica y química, se consiguen muy fácilmente tanto en forma catiónica como aniónica y en la electrodiálisis son las más utilizadas ya que son bastante económicas.

2.3.4 Electrodos

Son conductores de electricidad realizando la transferencia electrónica con la disolución con la que se encuentran las sustancias que se desean transformar. Su función en la electrodiálisis se limita proporcionando el campo eléctrico necesario para que se lleve a cabo el proceso.

En un sistema donde se da energía eléctrica a la celda del electrodo negativo (-) se llama cátodo (reducción) y el electrodo positivo (+) se llama ánodo (oxidación). Los electrodos se pueden clasificar según su geometría, la reacción que realizan, su conexión eléctrica,

entre otros. Para este casi se está usando un ánodo de (nombre del ánodo) y para el cátodo se va a utilizar (nombre del cátodo).

- **Promotores de turbulencia**

Están formados por redes de materiales poliméricos o bolas de vidrio, localizándose entre las membranas, de tal forma que el electrolito fluya a través de ellos, es el encargado de incrementar o disminuir la turbulencia, mejorando la transferencia de masa.

- **Espaciador**

Como su nombre lo indica, su función es separar las membranas una de la otra y proporcionar un flujo uniforme dentro del compartimiento. Estos espaciadores deben ser lo más delgados posible para que la resistencia eléctrica entre las membranas sea lo más pequeña posible.

- **Electrolito**

Son todos aquellos líquidos que son capaces de conducir carga iónica, siendo disoluciones de especies conductoras en disolvente que generalmente es agua.

2.3.5 Configuración de las celdas de electrodiálisis

Están formadas por un conjunto de celdas unitarias entre dos electrodos (ánodo y cátodo), los cuales están separados por medio de las membranas y los separadores de turbulencia. En la parte comercial, los electrodos electro dializadores tienen una geometría que varía desde $0,1 m^2$ hasta $1 m^2$, y el número de pares de celdas puede ir desde diez hasta varios cientos.

Teniendo en cuenta el número de fluidos diferentes que alimentan y salen del reactor, se pueden presentar tres tipos de configuraciones de celdas, las cuales pueden ser de dos, tres o cuatro compartimientos.

- **Celdas de dos compartimientos:** esta configuración está formada por una membrana aniónica y una membrana catiónica separadas entre sí por un espaciador, este tipo de configuración es uno de los más usados y su aplicación fundamental se basa en la desalación, concentración, separación de iones con diferente carga o de especies iónicas de especies neutras,
- **Celdas de tres compartimientos:** este tipo de celda tiene lugar para tres circuitos de alimentación, puede estar conformado por dos membranas catiónicas y una aniónica o viceversa, separadas con sus respectivos espaciadores. Su aplicación es cuando se tiene una reacción de doble descomposición, ya sea para acidificar una disolución (2 MC (membrana catiónica) y 1 MA (membrana aniónica)) o neutralizar un ácido orgánico (2 MA y 1 MC).
- **Celdas de cuatro compartimientos:** este tipo de configuración cuenta con dos membranas catiónicas y dos membranas aniónicas, separadas por sus espaciadores. Se utiliza para reacciones de doble descomposición, para purificar

productos ya que por medio de procesos convencionales son muy difíciles de sintetizar.

2.3.6 Modelación matemática

2.3.6.1 Flujo

El flujo de una sustancia desde una región a otra en el espacio, esta expresada como la cantidad de sustancia que cruza una unidad de área por unidad de tiempo. Este flujo está determinado por las fuerzas que actúan sobre las partículas, el número de partículas presentes y la velocidad adquirida por la partícula bajo la fuerza que la impulsa. Este parámetro mencionado es conocido como la “movilidad (μ)” y se define como:

$$\mu = \frac{v}{F} \left(\frac{cm}{s \cdot dina} \right) \quad \text{Ecuación(3)}$$

$\mu = \text{movilidad}$

$v = \text{velocidad}$

$F = \text{fuerza de impulso}$

La ecuación para el flujo será entonces:

$$J = c \cdot \mu \cdot f \quad \text{Ecuación(4)}$$

donde c es la concentración de partículas (en mol/cm³), μ es la movilidad descrita arriba y f es la fuerza en dinas. Las unidades de flujo (J) son mol/ cm². s; esto es, cantidad de sustancia por unidad de área por unidad de tiempo.

2.3.6.2 Ecuación de Nernst-Planck

Cómo se desea obtener el flujo de partículas bajo la influencia de fuerzas químicas y/o electrostáticas, supondremos que estas son las únicas fuerzas actuantes y obtendremos expresiones para el flujo debido a cada una de ellas.

- **Fuerza química**

Para la fuerza química se obtiene la siguiente expresión:

$$J_{Quimica} = -D \cdot \frac{dc}{dx} \quad \text{Ecuación(5)}$$

Ahora, para el caso de una partícula a dos concentraciones constantes, pero diferentes a cada lado de una membrana, podemos escribir:

$$J_{Quimica} = -D \cdot \frac{c_1 - c_2}{x} \quad \text{Ecuación(6)}$$

El cociente D/x se define como la 'permeabilidad' (P_m) de la membrana y tiene unidades de cm / s . Usando este parámetro, la ecuación para el flujo en función de la permeabilidad de la membrana es la llamada "primera ley de difusión" de Fick, y es la siguiente:

$$J_{Quimica} = P_m \Delta c (\text{ley de Fick}) \quad \text{Ecuación(7)}$$

En resumen, si la única fuerza actuando sobre las partículas es el gradiente químico, su flujo está dado por la ley de Fick

- **Fuerza eléctrica**

Para la fuerza eléctrica se obtiene la siguiente expresión:

$$J_{Electrica} = -c \cdot D \cdot \frac{zF}{RT} \cdot \frac{dV}{dx} \quad \text{Ecuación(8)}$$

$$J_{Electrica} = \text{El flujo ionico} \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$c = \text{La concentración de partículas} \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$R = \text{La constante de los gases}$

$z = \text{Electrones de valencia}$

$T = \text{temperatura } ^\circ\text{C}$

$F = \text{La constante de Faraday en} \frac{\text{coulomb}}{\text{mol}}$

$D = \text{Coeficiente de difusión}$

Si ahora suponemos que a ambos lados de la membrana existen potenciales diferentes, pero constantes, obtenemos:

$$J_{Electrica} = -\frac{c \cdot D \cdot z \cdot F}{R \cdot T} \cdot \frac{V_1 - V_2}{dx} \quad \text{Ecuación(9)}$$

$$J_{Electrica} = \text{El flujo ionico} \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$c = \text{La concentracion de particulas} \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$R = \text{La constante de los gases}$

$z = \text{Electrones de valencia}$

$T = \text{temperatura } ^\circ\text{C}$

$$F = \text{La constante de Faraday en} \frac{\text{coulomb}}{\text{mol}}$$

$D = \text{Coeficiente de difucion}$

Por lo tanto, se obtiene la expresión general:

$$J_{Electrica} = -Pm \cdot c \cdot \frac{zF}{RT} \cdot V \quad \text{Ecuación(10)}$$

$$J_{Electrica} = \text{El flujo ionico} \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$c = \text{La concentracion de particulas} \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$R = \text{La constante de los gases}$

$z = \text{Electrones de valencia}$

$T = \text{temperatura } ^\circ\text{C}$

$V = \text{Voltaje en } V$

$$Pm = \text{La permeabilidad de la membrana en} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$F = \text{La constante de Faraday en} \frac{\text{coulomb}}{\text{mol}}$$

- **Fuerzas químicas y eléctricas**

Cuando ambas fuerzas, eléctrica y química, actúan sobre los iones, el flujo total estará dado por la suma de los flujos debidos a cada una de las fuerzas, se obtiene la ecuación para el fujo total:

$$J_{total} = J_{quimica} + J_{electrica} \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$J_{total} = -D \left(\frac{dc}{dx} + \frac{c \cdot z \cdot F}{R \cdot T} \cdot \frac{dV}{dx} \right) \quad \text{Ecuación(12)}$$

$$J_{total} = -P \left((c_1 - c_2) + c \cdot \frac{z \cdot F}{R \cdot T} V \right) \quad \text{Ecuación(13)}$$

y tiene términos que corresponden a la contribución de los potenciales eléctricos y químicos. Es conocida como la ecuación de flujo de Nernst-Planck.

- **Densidad de Corriente**

La densidad de corriente eléctrica (j) se halla por medio del producto del flujo iónico por la carga que transporta dicho flujo. Según la ecuación de Nernst-Planck para la densidad de corriente se expresa como:

$$j = J \cdot z \cdot F \quad \text{Ecuación(14)}$$

Donde j, está dada en $\frac{A}{cm^2}$, flujo iónico (J) en $\frac{mol}{cm^2 \cdot s}$, constante de Faraday (F) en $\frac{C}{mol}$ y electrones de valencia (z) es adimensional.

- **Corriente**

La corriente eléctrica se halla mediante la multiplicación de la densidad de corriente eléctrica por el área:

$$I = j * Area \quad \text{Ecuación(15)}$$

- **Potencia**

En este caso, para el cálculo de la potencia se utilizará la ley de ohm la cual viene dada por la expresión:

$$P = V \cdot I \quad \text{Ecuación(16)}$$

Donde P es la potencia en (W), I es la corriente en A ,V es el voltaje en (v)

- **Moles**

En el funcionamiento del prototipo operara una cantidad de agua a 3,5 litros, basándonos en esto se calcula la cantidad de moles presentes en la cantidad de agua mencionada anteriormente, para esto tenemos la siguiente ecuación:

$$\#Moles = \frac{M_{total}}{M_{molecular}} \quad \text{Ecuación(17)}$$

#Moles = La cantidad de moles presentes en el agua

$M_{total} = \text{Masa total del liquido}$

$M_{molecular} = \text{Masa molecular del liquido}$

Para hallar la masa total del líquido primero se halla la masa del líquido:

$$M_{total} = d \cdot Vol \quad \text{Ecuación(18)}$$

$d = \text{Densidad del liquido}$

$Vol = \text{Volumen del liquido}$

Utilizamos la densidad del agua que es aproximadamente 1000 kg/m³ y 3,5 litros equivalen 0,035 m³, con una temperatura de 28 °C.

$$M_{total} = \left(\frac{1000kg}{m^3} \right) \cdot (0.035m^3) = 35kg$$

Para calcular los moles utilizamos la masa molecular del agua 18 gr/mol aproximadamente y convertimos 35 kg a gr, lo cual es equivalente a 35000 gr.

$$\#Moles = \frac{35000gr}{\frac{18gr}{mol}} = 1944,44 \text{ moles}$$

- **Tiempo**

El tiempo de exposición eléctrica que debe tener el flujo se evalúa por medio de una regla de 3, con respecto al flujo iónico, ya que dicho flujo arroja un valor que esta expresado en $\frac{mol}{cm^2 \cdot s}$, para lograr aplicar la regla de 3, se debe tener en cuenta la cantidad de moles por unidad de área que tendrá en total la cámara de electrodiálisis, para este caso se están trabajando **1944,4 moles** equivalentes a **3,5L** de agua y un área de **320 cm²**

La cantidad de moles por unidad de área viene dada por la cantidad de moles presentes en el agua dividido por el área, la cual se presenta de la siguiente manera:

$$\frac{\#Moles(mol)}{Area(cm^2)} \quad \text{Ecuacion(19)}$$

Obtenemos:

$$\frac{\text{mol}}{\text{cm}^2} = \frac{1944,44 \text{ mol}}{320 \text{ cm}^2} = 6,08 \frac{\text{mol}}{\text{cm}^2}$$

Reemplazamos en la ecuación del tiempo:

$$t(s) = \frac{\#Moles \cdot 1s}{J} \quad \text{Ecuación(20)}$$

Obtenemos:

$$t(s) = \frac{\left(6,0763889 \frac{\text{mol}}{\text{cm}^2}\right) * 1s}{J}$$

Datos relacionados a las sustancias:

Tabla 5 Datos de sustancias

	Concentración iónica (c) $\frac{\text{mol}}{\text{m}^2}$	Permeabilidad membrana (Pm) $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Electrón de valencia (z)	Constante de Faraday (F) $\frac{\text{Coulomb}}{\text{mol}}$	Constante de los gases (R) $\frac{\text{J}}{\text{mol}^\circ\text{C}}$	Temperatura ($^\circ\text{C}$)
Cadmio	2,669x10-9	0,025	2,3	96485,3	2278,1	25
Níquel	1,779x10-8	0,025	2	96485,3	2278,1	25
Agua	0,01	-----	8	96485,3	-----	25

Fuente: Propia

Donde c está en $\frac{\text{mol}}{\text{cm}^3}$, Pm en $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, F en $\frac{\text{C}}{\text{mol}}$ y R en $\frac{\text{J}}{\text{mol}^\circ\text{C}}$, se realizó la conversión de los valores de los gases ideales de $\frac{\text{J}}{\text{mol K}}$ a $\frac{\text{J}}{\text{mol}^\circ\text{C}}$ para cada uno de los metales.

Resultados obtenidos

Se realizó una comparación con diferentes voltajes para evidenciar lo que sucede si se aumenta dicho voltaje.

Tabla 6 Resultados obtenidos

Voltaje (V)	Flujo (J) $\frac{mol}{m^2*s}$	Corriente (I) A	Potencia (P) W	Tiempo (s)	Tiempo (min)
1	0,000974156	6,92	6,92	6237,59	103,96
2	0,001948312	432,36	864,72	3118,79	51,98
3	0,002922468	648,54	1945,63	2079,19	34,65
4	0,003896624	864,72	3458,89	1559,39	25,99
5	0,00487078	1080,90	5404,52	1247,51	20,79

Fuente: Propia

Donde J está en $\frac{mol}{m^2*s}$, I en $\frac{A}{cm^2}$ y P en W.

Se puede observar que hay una relación inversamente proporcional entre el flujo y el tiempo, y directamente proporcional entre el flujo y la potencia.

2.4 Radiación UV

Es una energía electromagnética invisible no ionizante emitida por el sol y artificialmente que esta entre el rango de su longitud de onda de 100 a 400 nanómetros, está clasificada en 3 categorías A, B o C de acuerdo a su longitud (Ambiental, 2021).

La radiación UV-A es el tipo de radiación ultravioleta que más llega a la superficie terrestre y es la categoría que menos presenta energía y comprende el intervalo de longitud de onda de 315-400 nm, en la salud humana presenta un gran riesgo para la salud humana, estos rayos impactan en el tejido provocando lesiones e inmunosupresiones (Ideam, s.f.).

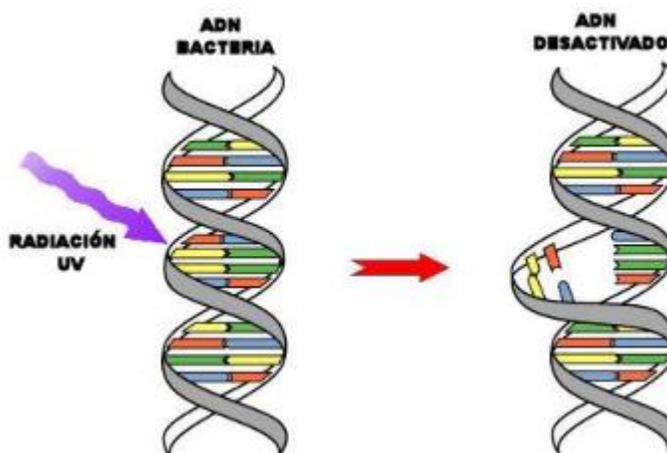
A diferencia de la radiación UV-A, la radiación UV-B tiene una longitud de onda de 280-314 nm además de ser muy energética y es mayormente absorbida por la atmosfera y un poca cantidad llega a la superficie terrestre, la exposición prolongada a esta radiación es muy dañina, en el caso de la plantas reduce su crecimiento, en el caso de los seres

humanos y los animales pueden causar quemaduras, cataratas, reducción del sistema inmunológico, rugosidades en la piel, romper los enlaces del ADN entre otras[4].

La radiación UV-C es la radiación más energética y por lo tanto la más dañina, esta se sitúa en el intervalo de longitud de onda de 100-279 nm pero es totalmente absorbida por la atmosfera, bajo control esta categoría de radiación puede ser beneficiosa, en el campo de la medicina se puede utilizar para tratar afecciones en la piel como soriasis y vitíligo, también se utiliza como germicida y esterilización de bacterias, virus, esporas, etc, es utilizado diariamente en hospitales, aviones, industrias, entre otros. (Iluminet, 2021)

La consecuencia de la incidencia de los microorganismos a la luz UV-C es la destrucción de su ADN atravesando su pared celular e imposibilitando su aumento y reproducción por mitosis. (Gallego, 2015)

Figura 2 Efectos de la radiación UV en el ADN



En la siguiente tabla se puede observar la radiación UV ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) respecto a reducción de microorganismos en un 99.999%:

Tabla 7 Relación microorganismos- Radiación

<u>BACTERIAS</u>	ENERGIA $\mu\text{w}/\text{cm}^2$	<u>OTROS MICROORGANISMOS</u>	ENERGIA $\mu\text{w}/\text{cm}^2$
Bacillus anthracis	8.700		
S.enteritidis	7.600		
B.Megatherium sp(veg)	2.500	<u>LEVADURA</u>	
B.Megatherium sp(sporas)	5.200		

B.peratypus	6.100	Saccharomyces ellipsoideus	13.200
B.subtilis	11.000	Saccharomyces sp.	1.600
B.subtilis spores	22.000	Saccharomyces cerevisiae	13.200
Clostridium tetani	22.000	Levadura para cerveza	660
Corynebacterium diphtheriae	6.500	Levadura para panadería	800
Eberthella typosa	4.100	Levadura para repostería	13.200
Escherichia coli	6.600		
Micrococcus candidus	12.300	<u>ESPORAS</u>	
Mycobacterium tuberculosis	10.000		
Neisseria catarrhalis	8.500	Penicillium roqueforti	26.400
Phytomonas tumefaciens	500	Penicillium expansum	22.000
Proteus vulgaris	6.600	Mucor racemosus A	35.200
Pseudomonas aeryginosa	10.500	Mucor racemosus B	5.200
Pseudomonas fluorescens	6.600	Oospora lactis	1.100
S.typhimurium	15.200		
Salmonella	10.000	<u>VIRUS</u>	
Sarcina lutea	26.400		
Serratia marcescens	6.160	Bacteriophage(E.coli)	6.600
Dysentery bacilli	4.200	Virus de la influenza	6.600
Shigella paradysenteriae	3.400	Virus de la hepatitis	8.000
Spirillum rubrum	6.160	Poliovirus(Poliomyelitis)	1.000
Staphylococcus alous	5.720	Eotavirus	24.000
Staphylococcus aureus	6.600		
Streptococcus hemolyticus	5.500	<u>ALGAS</u>	
Streptococcus lactis	8.800		
Streptococcus viridans	3.800	Chlorella vulgaris	2.000
Vibrio cholerae	6.500		

Fuente: G. R. C. LANDY, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO EN LINEA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE LUZ ULTRAVIOLETA,» CUENCA, 2014.

En el mercado existen gran cantidad de equipos UV de distintas referencias, como las lámparas de UV-C, no obstante, se requiere una lampara que cumpla con la dosis correcta (mJ/cm^2)¹, es decir la cantidad de energía UV por unidad de área que cae sobre una superficie (weUVcare, s.f.).

$$\text{Dosis} = \text{Intensidad} \times \text{tiempo (s)} \quad (21)$$

Para determinar la intensidad de la dosis con los parámetros de las lámparas comerciales tenemos la siguiente ecuación:

$$I_0 = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot l} \quad \text{Ecuacion (22)}$$

Donde P es la potencia de salida de la lámpara (W), d y l son el diámetro y el largo respectivamente (cm) y I_0 es la intensidad lumínica UV de la lámpara ($\frac{mW}{cm^2}$).

Para el caso específico que plantea el presente documento la dosis de radiación UV correspondiente para la reducción en un 99,999% para la Giardia y Cryptosporidium es 420 mJ/cm². (Soler P, 2019)

2.5 Energía solar

Son fuentes de energía que utilizan los recursos naturales y su capacidad de generación continua e inagotable sin intervención humana, a diferencia de las fuentes de energías tradicionales como los combustibles fósiles estas fuentes tienen muy poco impacto sobre el medio ambiente y por esto son consideradas energías limpias.

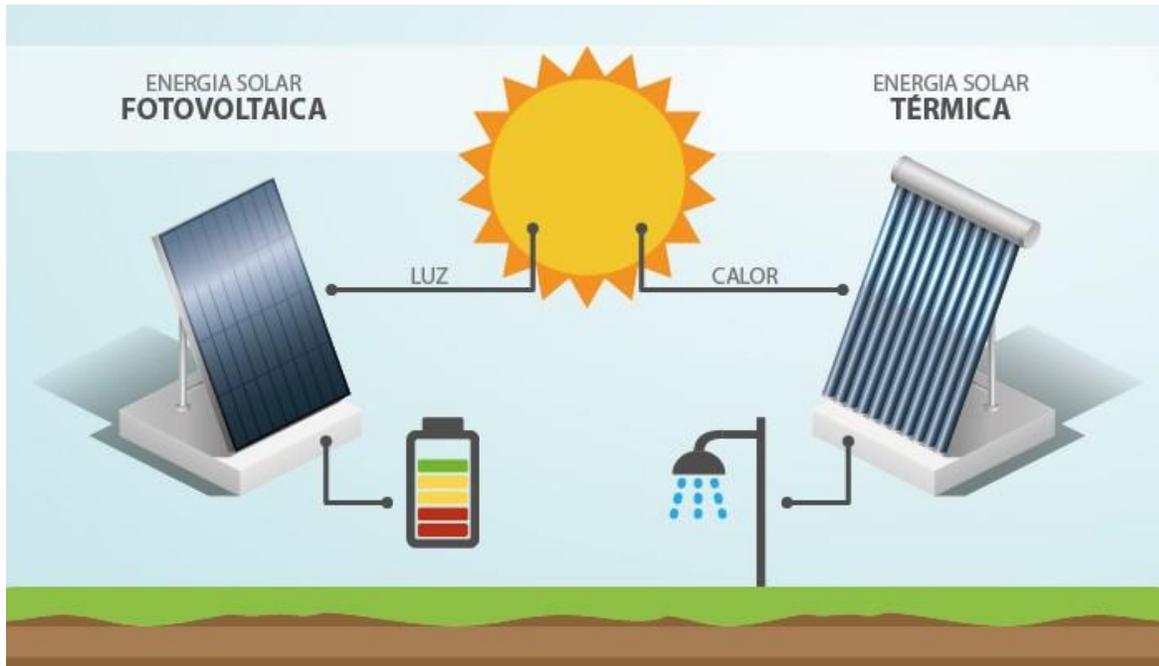
Se puede obtener energías renovables de diferentes maneras y eso dan forma a su clasificación en 6 grupos principales, entre estas están la solar, eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz y biomasa.

La energía solar se obtiene proveniente de la estrella madre del sistema solar, el sol, y es la radiación electromagnética natural e inagotable y fácil de producir. Se puede obtener por medio de paneles fotovoltaicos que contienen células fotoeléctricas, por colectores solares que la transforman en energía solar térmica y también por técnicas arquitectónicas bioclimáticas la cual es energía solar pasiva.

Aprovecha la energía del sol para generar calor que es utilizada tanto en pequeña como a gran escala, en esta última se considera una planta termo solar, puede abarcar un gran terreno y opera con temperaturas superiores a 500°C, esta temperatura se transforma en mecánica y posteriormente en eléctrica. (factorenergia, 2018)

La energía solar fotovoltaica obtiene la energía directamente de la radiación del sol, esto es por las células de silicio de los paneles fotovoltaicos que transforman la luz y el calor en electricidad, los paneles fotovoltaicos no producen calor por lo tanto no se puede almacenar la energía, en lugar de eso se puede inyectar a la red de consumo. (factorenergia, 2020)

Figura 3 Energía solar



Fuente: APREAN Todo Sobre Energías Renovables. Obtenido de: <https://www.aprean.com/energia-solar/>

Se obtiene mediante el diseño de edificios que consiguen captar la energía del sol para evitar el calor excesivo o mantener el edificio cálido durante toda la noche mediante materiales y orientaciones. (factorenergia, 2020)

2.6 Sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico convierte la energía solar en corriente alterna limpia, segura y sostenible mediante un conjunto de dispositivos electrónicos y están clasificados en sistemas fotovoltaicos conectados a la red y sistemas fotovoltaicos aislados de la red. (TeslaEnergy, 2019)

Este sistema genera energía eléctrica a través de los paneles fotovoltaicos y convive con la red eléctrica local para suministrar energía a la edificación, en caso de falta de energía por parte de los paneles solares la red eléctrica inyecta energía al circuito, en caso de excedentes de energía producida por los paneles fotovoltaicos se inyecta a la red eléctrica local. Los elementos básicos de estos sistemas son:

- **Panel solar**

Son dispositivos cuya función es convertir la energía solar en energía eléctrica y esto lo hacen mediante celdas de silicio cristalino (policristalinos o monocristalinos).

- **Regulador de carga**

Dispositivo que tiene como el objetivo administrar la corriente en la batería para evitar fallos en el circuito como falta de electricidad o sobrecarga. (Solarama, 2021)

- **Inversor**

Dispositivo en el cual la corriente continua del regulador y la convierte en corriente alterna. (Solarama, 2021)

- **Medidor bidireccional**

Determina la cantidad de corriente producida por los paneles solares y la cantidad de corriente producida por la red. (Solarama, 2021)

Figura 4 Sistema fotovoltaico conectado a la red



Fuente: TeslaEnergy. (2019). *TeslaEnergy*. Obtenido de https://teslaenergy.cl/sistemas-fotovoltaicos/#Sistema_Fotovoltaico_On_Grid_Conectados_a_la_Red

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red son completamente independientes a la red eléctrica local por esto producen y consumen la energía generada por los paneles, estos almacenan la energía en bancos de baterías y garantizan el suministro de corriente.

Figura 5 Sistema fotovoltaico aislado a la red



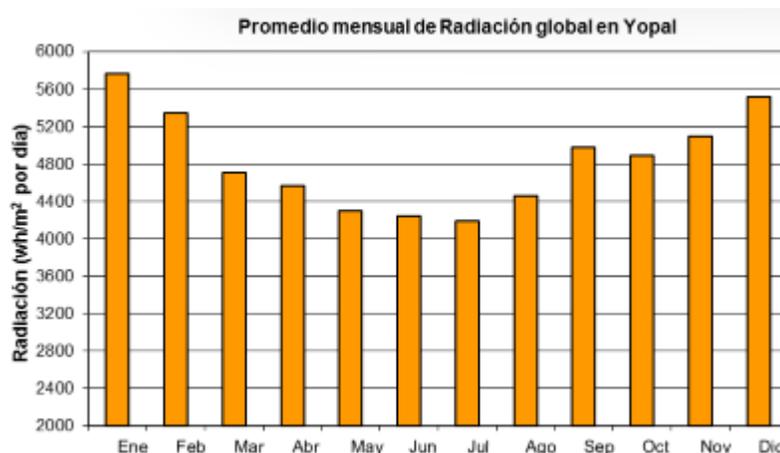
Fuente (Solarama, 2021)

2.6.1 Hora solar pico

La hora solar pico (HSP) es la cantidad de radiación solar recibida por metro cuadrado, esta se mide en horas por metro cuadrado, esta depende tanto de la locación donde se encuentre como de la temporada climática.

En Yopal la HSP va desde 4200 Wh/m² hasta 5800 Wh/m² como lo muestra la siguiente gráfica:

Figura 6 Promedio de radiación global en Yopal



Fuente: (ATLAS, n.d.)

Equivalente a un máximo 5,8 HSP en enero y un mínimo de 4,2 HSP en julio.

2.6.2 Cantidad de paneles solares

Para determinar la cantidad de paneles solares es necesario conocer la cantidad de energía que consume el sistema que se va a alimentar, el potencial del panel a utilizar y la cantidad de horas picos en el lugar de incidencia.

Para calcular el consumo de energía requerida para el sistema tenemos la siguiente ecuación:

$$E_{requerida} = P * horas \quad \text{Ecuación (23)}$$

$E_{requerida}$ = Energía requerida del sistema

P = Potencia del consumo sistema (Watts)

$horas$ = Horas utilizadas del sistema

Teniendo en cuenta lo anterior, tenemos la siguiente ecuación para calcular el número de paneles solares necesarios:

$$\#Paneles\ solares = \frac{E_{requerida}}{\frac{Wp}{HSP}} \quad \text{Ecuación(24)}$$

$\#Paneles\ solares$ = Cantidad de paneles solares requeridos

$E_{requerida}$ = Energía requerida del sistema

$Wp = \text{Potencia del panel}$

$HSP = \text{Hora solar pico}$

2.6.3 Determinación de la batería

Para determinar la batería a utilizar se tiene en cuenta el rendimiento de la batería (%) y la potencia diaria (Wh).

Para determinar las baterías se utiliza la siguiente:

$$Bateria = \frac{\text{Rendimiento bateria} \cdot Pot}{V_{Bateria}} \quad \text{Ecuacion (25)}$$

$Pot = \text{Potencia diaria (Wh)}$

$V_{Bateria} = \text{Voltaje de la bateria (V)}$

Con respecto a la ecuación 25, se logra calcular el número de baterías que va a tener el banco de baterías, ya que esto permite identificar el espacio correspondiente según el tamaño de las baterías; también permite evidenciar correctamente si las baterías cumplen con los requerimientos que tiene el sistema del purificador.

3. DESARROLLO

3.1 Consumo de agua

Para determinar el consumo de agua diario aproximado de un usuario residencial (promedio 5 personas) de la ciudad de Yopal se tomó una muestra de 7 días, el método de muestreo que se utilizó es sistemático, se tomó las muestras mediante la altura de un galón de agua, en el cual la diferencia de altura en días demuestra el agua consumida en litros durante el día.

Figura 7 Galón de muestreo



Fuente: Propia

El galón tiene un diámetro inferior de 27 cm y la altura máxima del agua es de 47 cm, con esto se calcula el volumen aproximado, para esto dividimos el botellón del agua 7 secciones y tomamos la fórmula para sacar el volumen de un cilindro:

$$Vol = \pi \cdot \text{horas} \cdot r^2 \quad \text{Ecuación (26)}$$

Tabla 8 Calculo del volumen

Sección del botellón	Altura (Cm)	Radio (Cm)	Volumen (Litros)
1	7	13,5	4007,89
2	3	14	1847,26
3	7	13,5	4007,89
4	3	14	1847,26
5	7	13,5	4007,89
6	3	14	1847,26
7	7	13,5	4007,89
Total	37		21573,32

Fuente: Propia

Teniendo las lecturas tomadas de la diferencia de altura podemos sacar los litros diarios consumidos por la vivienda en una semana y sacar un promedio, obtenemos:

Tabla 9 Consumo de agua

Registro consumo de agua				
Dia	Altura mañana (cm)	Altura noche (cm)	Volumen (cm ³)	Volumen (Litros)
1	40	30	5725,55	5,73
2	30	22	4580,44	4,58
3	22	0	12596,22	12,60
4	40	23	9733,44	9,73
5	23	9	8015,77	8,02
6	9	32	4608,72	4,61
7	32	20	6870,66	6,87
Promedio			7447,26	7,45

Fuente: Propia

Se ha obtenido un consumo mínimo de 4,58 litros y un consumo máximo de 12,60 litros, estos pueden ser relacionados con actividades fuera de la vida cotidiana, también se obtuvo un promedio de 7,5 litros aproximadamente, lo cual permite concluir el volumen a utilizar en el prototipo y así determinar las dimensiones del mismo.

3.2 Conteo de microorganismos y metales pesados

Los análisis previos al tratamiento en el purificador, son muy importantes para conocer el estado del agua antes de hacer el tratamiento y dichos resultados de los análisis previos se evidencian en el anexo 1.

La siguiente tabla contiene los datos de las figuras 22 y 23, incluidos en el informe para el mayor entendimiento. Dichas figuras se evidencian en el anexo 1.

Tabla 10 Resultados del análisis del laboratorio

Análisis de laboratorio				
Parámetro	Resultados	Unidades	Método	Técnica
ALCANILIDAD	12,3	mg CaCO ₃ /l.	SM 2320 B	TITULOMETRICO
ALUMINIO	0,016	mg Al/L	SM 3500 Al B	ESPECTROFOTOMETRICO
ARSENICO	0,00033	mg As/L	SM3030E-SM3113B	ABSORCION ATOMICA ELECTROTERMICA

ABTIMONIO	<0,00016	mg Sb/L	SM3030E-SM3113B	ABSORCION ATOMICA ELECTROTERMICA
BARIO	<0,096	mg Ba/L	SM3030E- SM3111D	ABSORCION ATOMICA
BERILIO	<0011	mg Be/L	SM3030E- SM3111D	ABSORCION ATOMICA
BORO	<0,137	mg B/L	SM 4500-B B	COLORMETRICO- CURCUMINA
CADMIO	<0,01	mg Cd/L	SM3030E-SM3113B	ABSORCION ATOMICA
CIANUROS	<0,006	mg CN/L	SM 4500-CN E	COLORMETRICO
CALCIO	8,0	mg Ca/L	SM 3500 - Ca	TITLOMETRICO-CALCULO
CLORO RESIDUAL	1,25	mg Cl ₂ /L	SM 4500 Cl-G	ESPECTROFOTOMETRICO
CROMO HEXAVALENTE	<0,01	mg Cr ⁶ /L	SM 3500 Cr B	COLORIMETRICO
CLORUROS	<0,6	mg Cl/L	SM 4500 Cl-B	TITULOMETRICO
COBALTO	<0,048	mg Co/L	SM3030E-SM3111B	ABSORCION ATOMICA
COBRE	<0,055	mg Cu/L	SM3030E-SM3111B	ABSORCION ATOMICA
COLOR APARENTE	6,0	UPtCO	SM 2129C	ESPECTROFOTOMETRICO
CARBONO ORGANICO TOTAL	<3	mg/L	SM 5310 C	OXIDACION DE PERSULFATO
DBO	<3,92	mg O ₂ /L	SM 5210 B-EPA 360,3	PRUEBA DBO 5 DIAS- ELECTRODO DE LUMINISCENCIA
DQO	17,2	mg O ₂	SM 5220D	ESPECTROFOTOMETRICO
DUREZA TOTAL	27,0	mg CaCO ₃ /L	SM2340 C	TITULOMETRICO
FENOLES	<0,070	mg/L	SM 5530 D	ESPECTROFOTOMETRICO
FLUORUROS	0,04	mg F'/L	SM 4500-F D	ESPECTROFOTOMETRICO
FOSFATOS	0,273	mg PO ₄ ⁻³	SM 4500 PE	ESPECTROFOTOMETRICO
GRASAS Y ACEITES	<8,0	/L mg/L	SM5520 B	EXTRACCION LIQUIDO, LIQUIDO GRAVIMETRICO
HIERRO TOTAL	0,0058	mg Fe/L	SM 3500 Fe B	ESPECTROFOTOMETRICO
LITIO	<0,025	mg Li/L	SM3030E-SM3500 LiB	ABSORCION ATOMICA
MAGNESIO	1,7	mg Mg/L	SM 3500 Mg B	TITLOMETRICO-CALCULO
MANGANESO	<0,080	mg Mn/L	SM3500 Mn B	ESPECTROFOTOMETRICO
MERCURIO	<0,0019	mg Hg/L	SM3112-Hg B	ABSORCION ATOMICA
MOLIBDENO	<0,01	mg Mo/L	SM3030E- SM3111D	ABSORCION ATOMICA
NIQUEL	<0,085	mg Ni/L	SM3030E-SM3111B	ABSORCION ATOMICA

NITRATOS	2,6	$mg NO_3$ /L	SM 4500 $NO_3 - E$	ESPECTROFOTOMETRICO
NITRITOS	<0,085	$mg NO_2$	ZABELLI	ESPECTROFOTOMETRICO
PESTICIDAS ORGANOCORADOS	<0,0004	/L mg/L	EPA8081AYB- SM6630 BYC	CROMATOGRAFIA DE GASES-ECD
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS	<0,00002	mg/L	EPA8141A-SM6630 BYC	CROMATOGRAFIA DE GASES-NPD
PH	6,84	UNIDADES DE pH	SM 4500-H' B	ELECTROMETRICO
PLOMO	<0,085	mg Pb/L	SM3030E-SM3111B	ABSORCION ATOMICA
SELENIO	0,00021	mg Se/L	SM3030E-SM3111B	ABSORCION ATOMICA
SULFATOS	<10,0	$mg SO_4^{-2}$	SM 4500 $SO_4 E$	TURBIMETRICO
TEMPERATURA	28,1	/L. °C	SM 2550 B	DIRECTO
TENSOACTIVOS	<0,080	mg/L	SM 5540-C	ESPECTROFOTOMETRICO
TURBIEDAD	1,6	N.T.U	SM 2130 B	NEFELOMETRICO
TRHALOMETANOS	<0,0002	mg/L	EPA 501	CROMATOGRAFIA DE GASES-ECD
VANADIO	<0,095	mg Va/L	SM3030E- SM3111D	ABSORCION ATOMICA
ZINC	0,02	mg Zn/L	SM 3500 Zn B	ESPECTROFOTOMETRICO
MATERIAL FLOTANTE	AUSENCIA	-	NMX.AA.006.SCFI- 2000	CRIBADO/CUALITATIVO
COLIFORMES TOTALES	0	UFC/100 ml	SM 9222 B	FILTRACION POR MEMBRANA
COLIFORMES FECALES	0	UFC/100 ml	SM 9222 C	FILTRACION POR MEMBRANA

Fuente Propia

Según la tabla 2, los niveles de níquel y cadmio aceptables por la resolución 2115 del 2007 ,0.02 y 0.003, respectivamente, resalta muy por encima de los datos mostrados por el análisis de agua en la tabla 10.

3.3 Sistema de purificación UV

Según la dosis de radiación dada para reducir en un 99.999% para la Giarda y Cryptosporidium, utilizamos un tubo germicida de radiación UV-C con una potencia de 8 Watts con una longitud de 28 cm y un diámetro de 16 mm mostrados en el anexo 4, según la ecuación 22 para obtener la Intensidad, y obtenemos:

$$I_0 = \frac{8W}{\pi \cdot 1,6cm \cdot 21cm} = \frac{0.075W}{cm^2}$$

Se utiliza 21 cm de longitud porque es la longitud ocupada en el proceso de esterilización por UV.

Y utilizamos la ecuación 21 para calcular la dosis y tomamos un t (s) de 7:

$$DOSIS = I_0 \cdot t(s) = \frac{0.057W}{cm^2} \cdot 7 s = \frac{0,525J}{cm^2}$$

Pasamos a $\frac{mJ}{cm^2}$ las dosis:

$$DOSIS = \frac{525mJ}{cm^2}$$

La lampara seleccionada que cumple con estas características es Tubo Germicida 8w Ultravioleta Esterilización UV-C. (IMPORTACIONES, s.f.)

3.4 Cámara de Electrodiálisis

La cámara de electrodiálisis debe tener la capacidad de mínimo 3,7 litros para que el proceso pueda hacerse 2 veces al día y alcanzar el volumen calculado anteriormente de 7,45L.

3.4.1 Descripción de las membranas de intercambio aniónico y catiónico

Las membranas de intercambio iónico

Tabla 11 Datos de las membranas

Membrana	Nombre	Material	Grupo	Resistencia (Q.cm2)	Corriente máxima s(A/m2)
				0.5 mol/L	

				NaCl	
Aniónica	AMI-7001 strong basic anion exchange membrane	Gel polystyrene cross-linked with divinylbenzene	Quaternar y ammoniu m	<40	<500
Catiónica	CM -7000	Gel polystyrene cross-linked with divinylbenzene	Sulfonic acid group	<30	<500

Fuente: Propia

3.4.2 Especificaciones del electrodiализador

El diseño del electrodiализador fue realizado en SolidWorks y sus especificaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12 Descripción y datos del equipo

Descripción del equipo	Datos de la unidad de ED
Medidas de la estructura externa de la celda	250x160x115mm
Medidas de la estructura interna de la celda	245x155x110mm
Área activa de las membranas y	320 cm^2

electrodos	
Número de productos	1
Materiales de los electrodos	
Ánodo	Titanio platinado
Cátodo	Cobre

Fuente: Propia

3.5 Sistema fotovoltaico

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico empleado en este proyecto depende de la inclinación del panel y de la demanda requerida por el sistema.

3.5.1 Demanda de energía

El cálculo de la demanda de energía se basa en los equipos conectados al sistema, el tubo germicida y la cámara de electrodiálisis, así como el tiempo que estos estén en funcionamiento.

La lámpara germicida G8T5 cuya potencia es de 8 Watts y un voltaje de 12V

La cámara de electrodiálisis de 6,917 Watts y de 1V, según la tabla 6.

El proyecto requiere una corriente continua para el tubo y una corriente alterna para la cámara de electrodiálisis por lo que es necesario un inversor.

La demanda de energía según del equipo de muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13 Demanda de energía

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Horas en el día	Wh
Lámpara germicida	1	8	5	40
Cámara de electrodiálisis	1	6,917	4	28
Módulos para UV	2	2,5	5	13
Módulos para electrodiálisis	2	2,5	4	10

Electroválvula	1	4,8	0,034	0,1632
Total				91,16

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la demanda de energía (Wh) total es de 91,16 Wh, repartido en 2 funcionamientos al día, esto es equivalente a la Energía requerida para el funcionamiento del sistema.

3.5.2 Diseño del sistema Fotovoltaico

Teniendo en cuenta la demanda de energía calculada en el anterior inciso se determina la potencia que debe tener el sistema, por lo tanto, el sistema estará compuesto por:

- Panel solar de 100watts 12v 5.43A
- Una batería 12V 20 Ah
- Un Controlador Solar PWM 12/24V 10A

El panel solar es conectado a la batería, necesaria por el tipo de sistema utilizado (OFF GRID).

Para determinar el número de paneles solares utilizamos la ecuación 23, en el que tomamos la HSP de 4.2, un Wp de 100 watts, la potencia del panel solar y la energía requerida calculada anteriormente.

(

$$\#Paneles\ solares = \frac{E_{requerida}}{Wp} = \frac{45,33}{100watts} = 0,11 \quad Ecuación(24)$$

Por lo tanto, según los resultados obtenidos es suficiente un panel de 100w para cubrir la demanda de 45,33 Wh y de corriente 7A según la tabla 6. En el caso de la batería es de 12 V, tiene un rendimiento del 50% y una potencia diaria consumida por el sistema de 45,33 Wh, esta potencia será consumida 2 veces en el día para lograr el promedio de litros de agua consumida determinado anteriormente.

$$Bateria = \frac{0.5 \cdot Pot}{12} = \frac{0.5 * 91,33\ Watts}{12v} = 3,8\ A \quad Ecuacion\ (25)$$

- Teniendo en cuenta la cantidad la batería seleccionada se evidencia que las especificaciones 12v 20Ah cumplen con los requerimientos del sistema.

3.5.3 Inclinación del panel

Para el mejor aprovechamiento de la radiación solar es necesaria mantener la mejor inclinación posible, para el caso de Colombia, la inclinación de un panel solar debe ser de 10° o menos y su orientación debe ser hacia el sur debido a que Colombia está en el hemisferio norte muy cercano a la línea del ecuador. Para calcular la inclinación óptima de panel, se debe emplear la siguiente ecuación, la cual está basada en superficies con inclinaciones diferentes con las latitudes correspondientes al lugar en donde se va a realizar la instalación del panel solar.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\varphi| \quad (\text{ecuacion 26})$$

Donde β_{opt} es el ángulo de inclinación óptimo en (°) y φ es la latitud del lugar de instalación del panel en (°)

Para el cálculo del ángulo de inclinación, se tiene en cuenta la latitud del lugar de instalación de panel y para este caso el lugar es la ciudad de Yopal-Casanare con una latitud de $\varphi = 5,3378^\circ$, entonces:

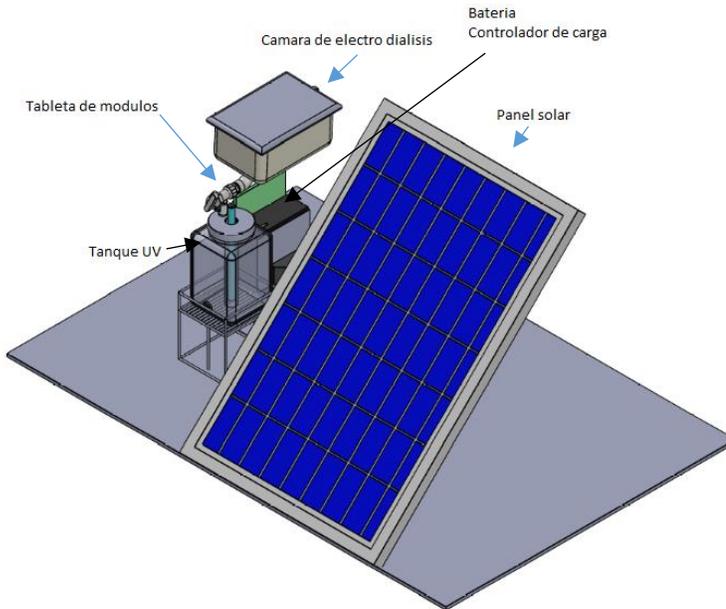
$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |5,3378^\circ| = 7,38^\circ \approx 7^\circ \quad (\text{ecuacion 27})$$

La inclinación que debe tener el panel de este proyecto debe ser de $\beta_{opt} = 7^\circ$ en dirección a sur para obtener la mayor radiación solar.

3.6 Animaciones del sistema

En las animaciones del sistema, se evidencian todas las partes del prototipo, el cual está compuesto por un panel solar, una batería, un controlador de carga, tablero de módulos, cámara de electrodiálisis y el tanque de luz UV. Estas animaciones se elaboraron en un software de diseño 3D como lo es SolidWorks, en dicho software se diseñaron todas las partes que componen el prototipo y luego se ensamblaron para obtener el diseño que se muestra desde la figura 8 hasta la figura 13.

Figura 8 Purificador de agua-partes

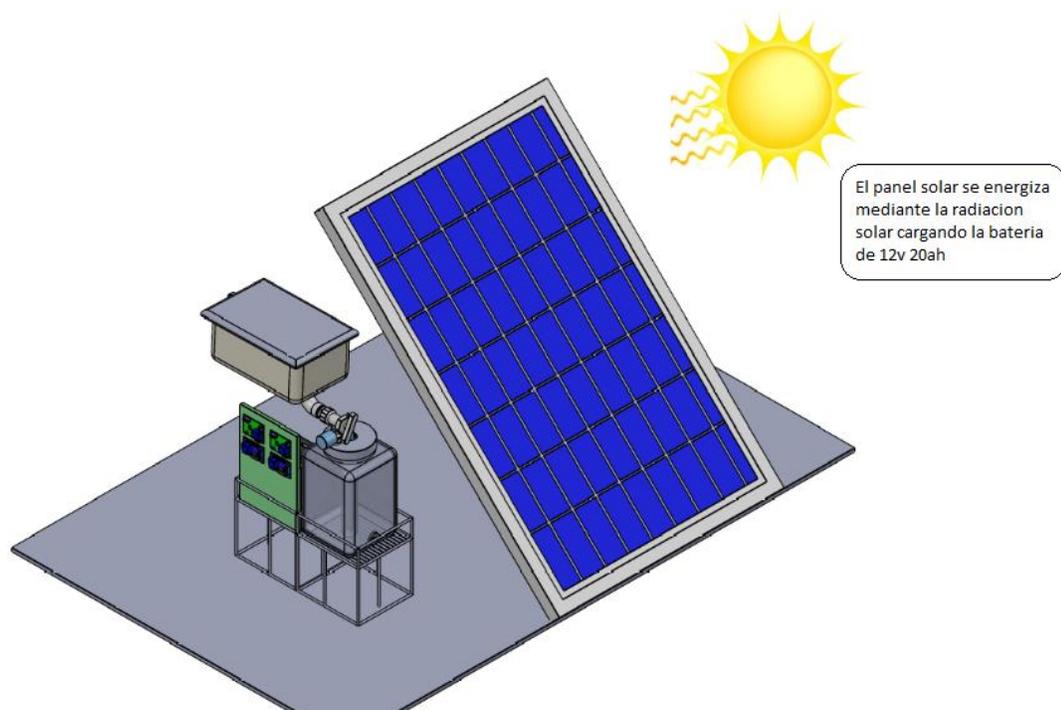


Fuente Propia

En la figura 8, se muestran las partes que componen el diseño del purificador, en las siguientes figuras se muestra y se explica el paso a paso del proceso que se lleva a cabo hasta obtener el agua purificada.

En la figura 9, se evidencia el inicio del proceso, el cual consiste en la ubicación del panel en un lugar donde perciba los rayos solares, para que dicho panel transforme la energía solar en energía eléctrica para que se lleve a cabo el funcionamiento correcto de todo el prototipo.

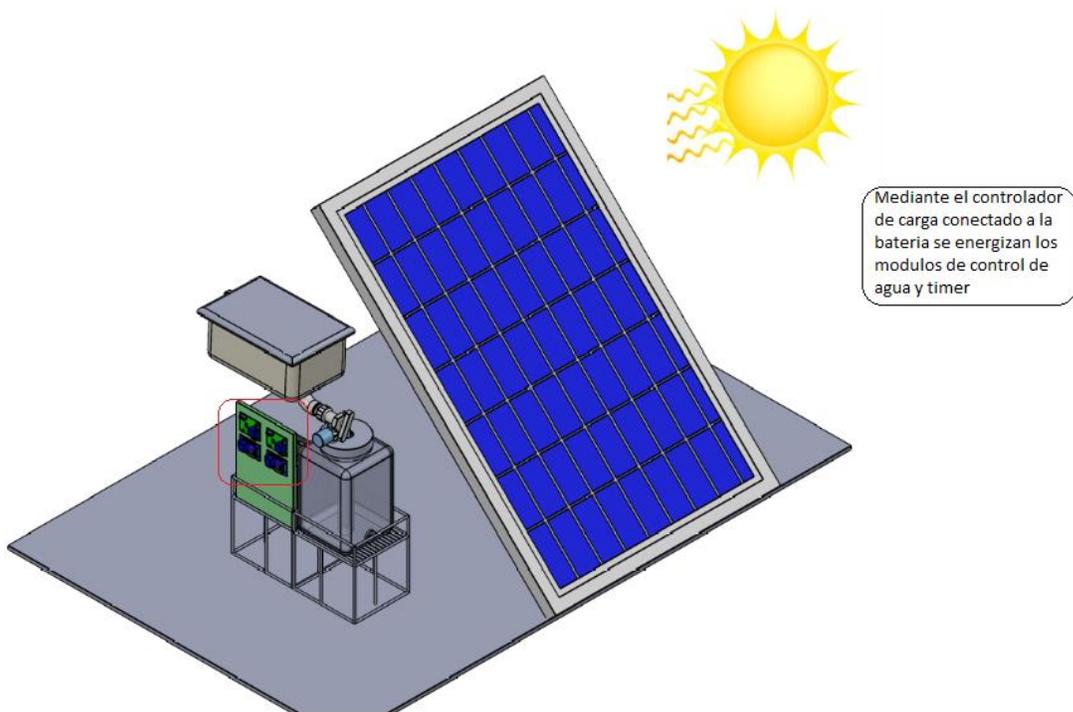
Figura 9 Purificador de agua -Proceso



Fuente Propia

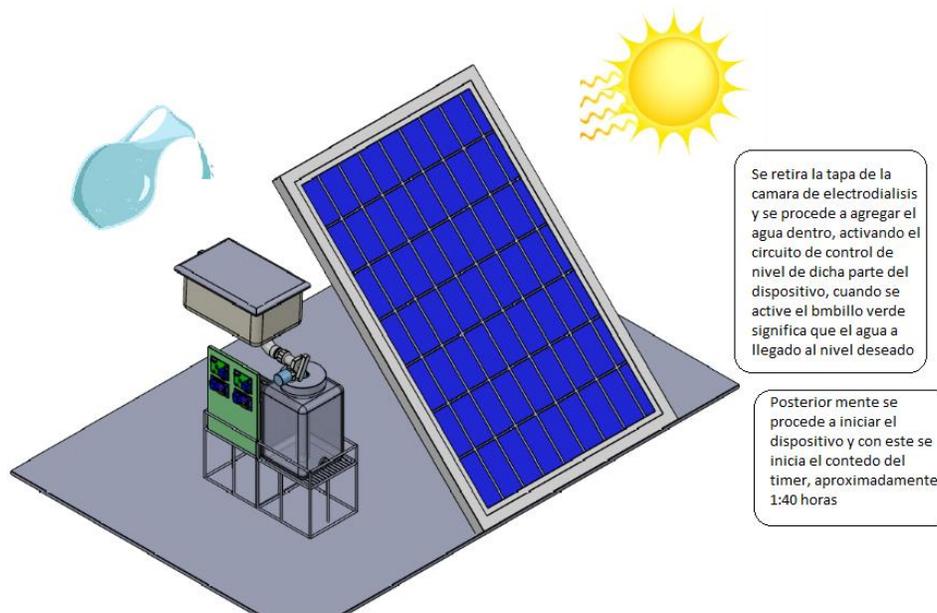
Para el caso de la figura 10, se emplea un controlador de carga, el cual es el encargado de regular la energía eléctrica que suministra el panel, entregándole a la batería el voltaje de carga necesario sin causarle una sobre carga, también, dicho controlador se encarga de suministrar la energía necesaria que requieren los módulos de control de agua y timer, teniendo en cuenta que para las dos partes del prototipo se utiliza un controlador de agua y un timer para cada parte.

Figura 10 Purificador de agua -Proceso



Fuente Propia

Figura 11 Purificador de agua -Proceso

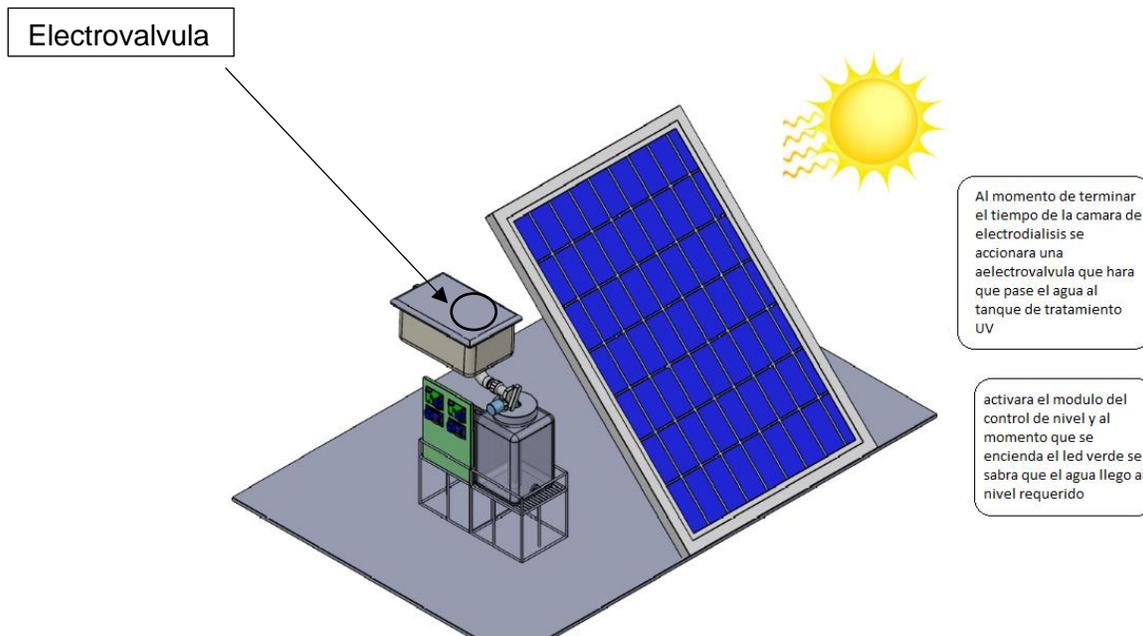


Fuente Propia

Ya mencionadas las partes que energizan y controlan el prototipo, en la figura 11, se procede a agregar el agua para su potabilización, se debe retirar la tapa de la cámara de electrodiálisis, una vez iniciado el llenado de dicha cámara, se enciende el controlador de nivel de dicho sistema, el cual emite una señal por medio de un led al completar su nivel máximo de llenado de la cámara, el cual es aproximadamente de 3.7 Litros de agua. Una vez alcanzado el nivel máximo, el controlador envía otra señal, que va dirigida al timer para que inicie el conteo del proceso que se lleva en la cámara, el conteo dura aproximadamente 01:40 minutos (una hora y cuarenta minutos).

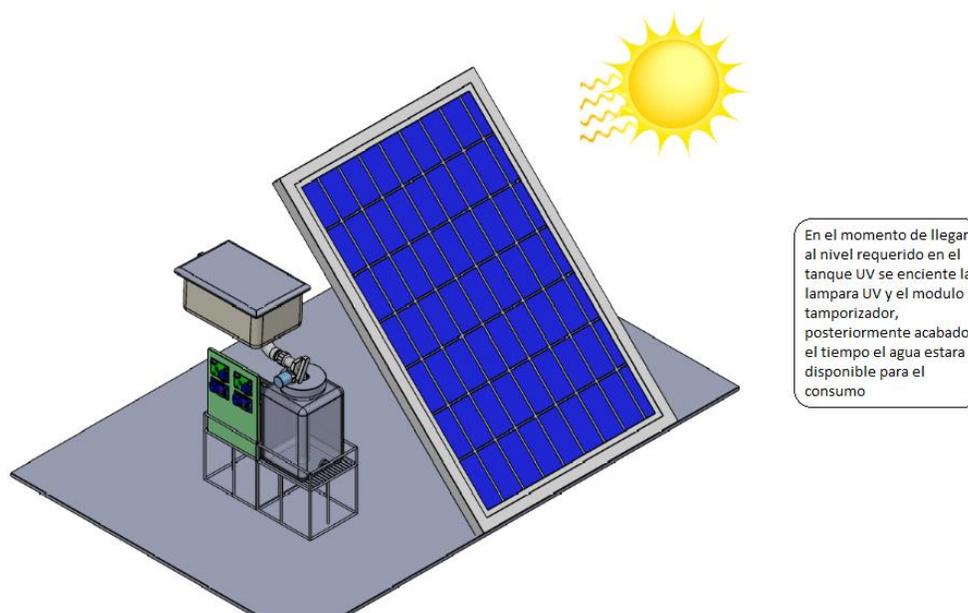
Una vez transcurrido este tiempo, el timer activa una electroválvula normalmente cerrada para que permita el flujo del agua de la cámara de electrodiálisis hacia el tanque de la luz UV (ver figura 12), al comenzar el llenado del tanque, se activa el controlador de nivel correspondiente a esta sección del prototipo.

Figura 12 Purificador de agua -Proceso



Fuente Propia

Figura 13 Purificador de agua -Proceso



Fuente Propia

Una vez alcanzado el nivel requerido en el tanque, este controlador envía la señal al timer para iniciar el conteo y al mismo tiempo enciende la lámpara UV, al finalizar el conteo del timer, la lámpara UV se apaga y se da por terminado el proceso de todo el sistema y el agua ya queda disponible para ser consumida. Este proceso ya mencionado, hace referencia a la figura 13.

3.7 Ensamble del sistema

Al concluir diseños de cada parte del purificador, se procede a realizar el ensamble del sistema, este ensamble se lleva a cabo teniendo en cuenta los materiales mencionados en el manual de operación. Este proceso se inicia conectando los módulos de control de

nivel y de tiempo al controlador de carga, luego se conectan los respectivos módulos a la cámara de electrodiálisis, uno de ellos es el control de nivel que va directamente al tanque y el otro es el módulo que va a los electrodos de la cámara y a la electroválvula, el mismo proceso se hace con los módulos del tanque de tratamiento UV, el control de nivel va en el tanque y el temporizador va directamente a la lampara UV. Por último, se procede a colocar las fuentes de tensión como lo son el panel solar y la batería, estas dos fuentes van conectadas directamente al controlador de carga

Figura 14 Ensamble del purificador



Fuente Propia

Figura 15 Panel solar



Fuente Propia

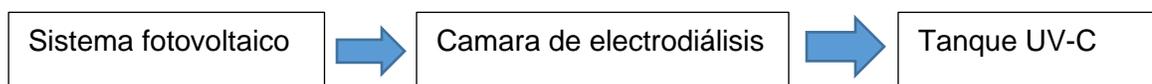
3.8 Manual de operación y mantenimiento

Manual de operación

Querido usuario:

Gracias por seleccionar este producto, por favor leer el manual antes de usar el dispositivo.

Este sistema esta dividido en 3 partes, el sistema fotovoltaico, la cámara de electrodiálisis y un tanque UV-C.



Sistema fotovoltaico

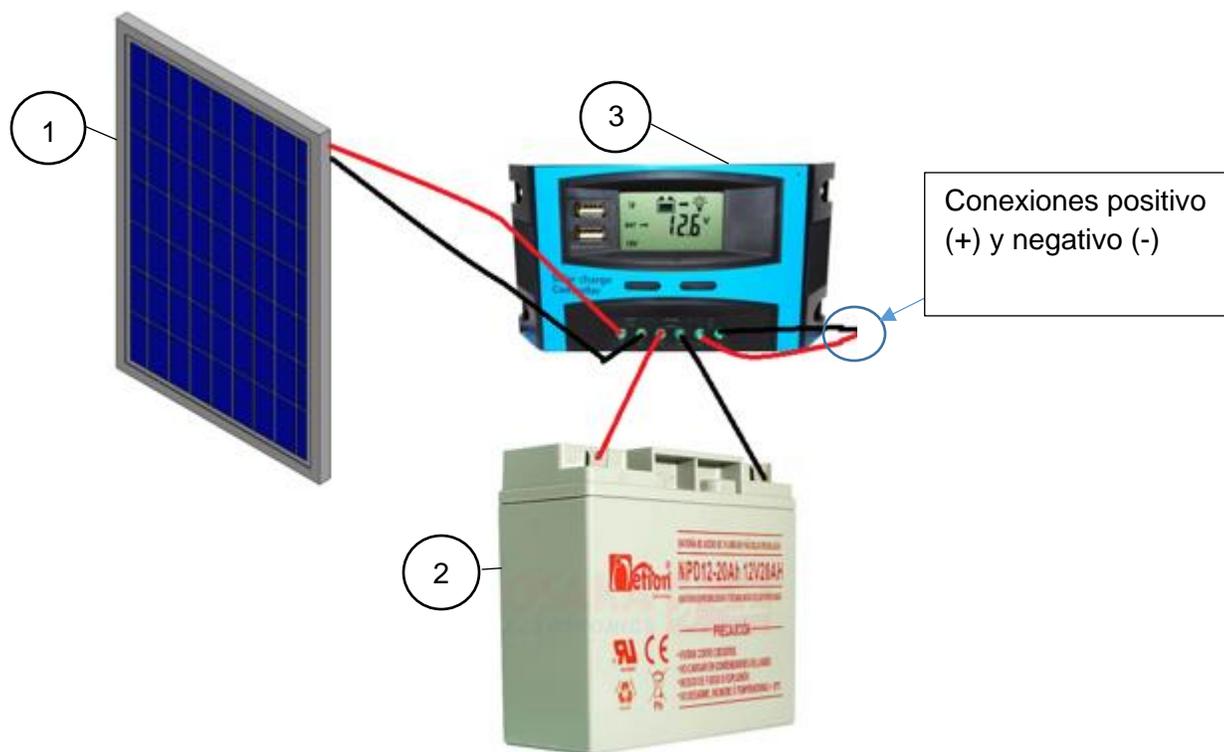
Para el sistema fotovoltaico se utiliza lo siguiente:

- Panel solar 100 watts 12v
- Batería 20ah 12 v
- Controlador de carga 12/24V 10A

Se recomienda instalar el panel solar en un lugar con constante luz solar en el día.

El panel solar se conecta al controlador de carga y este se conecta a la batería, proporcionando la energía requerida para los sistemas siguientes.

Figura 16 Sistema fotovoltaico



Fuente Propia

Tabla 14 Componentes sistema fotovoltaico

Numero	Nombre
1	<ul style="list-style-type: none"> Panel solar 100 watts 12v
2	<ul style="list-style-type: none"> Batería 20ah 12 v
3	<ul style="list-style-type: none"> Controlador de carga 12/24V 10A

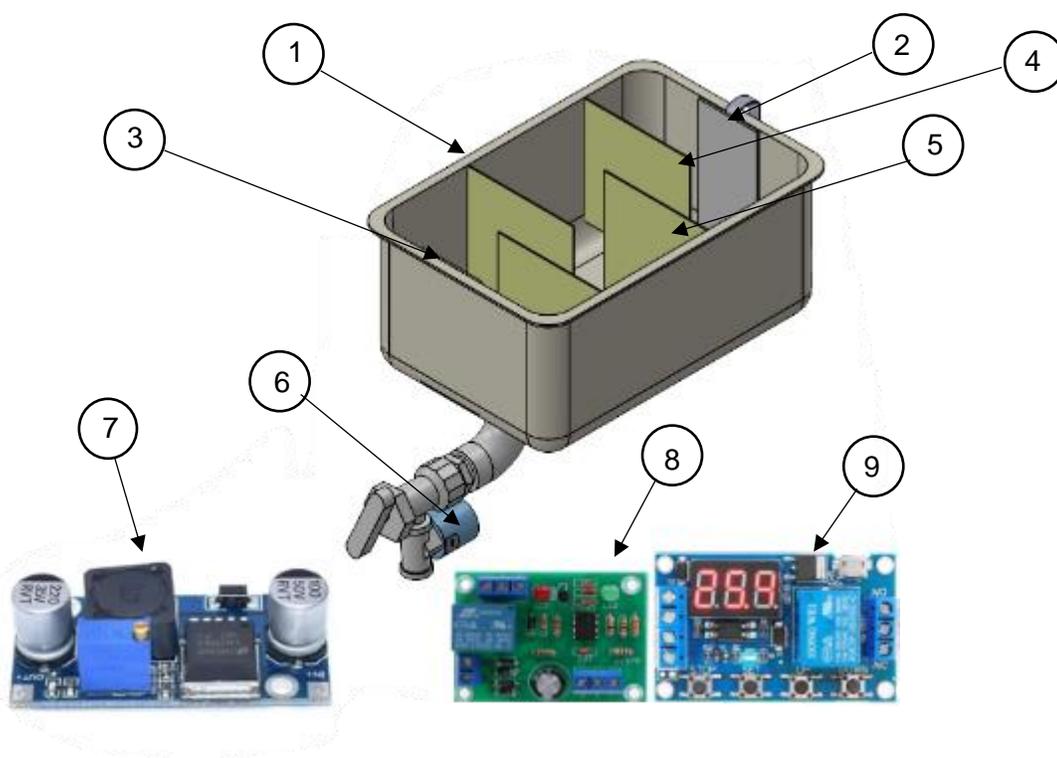
Fuente Propia

Cámara de electrodiálisis

La cámara de electrodiálisis consiste en:

- 1 electrodo de titanio
- 1 electrodo de cobre
- 1 membrana catiónica

- 1 membrana aniónica
- 1 módulo temporizador
- 1 módulo de control de nivel
- 1 electroválvula
- 1 amplificador de voltaje
- 1 tanque de plástico de 5 L



Fuente Propia

Tabla 15 Componentes electrodiálisis

Numero	Nombre
1	• Tanque de plástico de 5 L
2	• Electrodo de titanio
3	• Electrodo de cobre
4	• Membrana catiónica
5	• Membrana aniónica
6	• Electroválvula
7	• Amplificador de voltaje

8	<ul style="list-style-type: none">• Módulo de control de nivel
9	<ul style="list-style-type: none">• Módulo temporizador

Fuente Propia

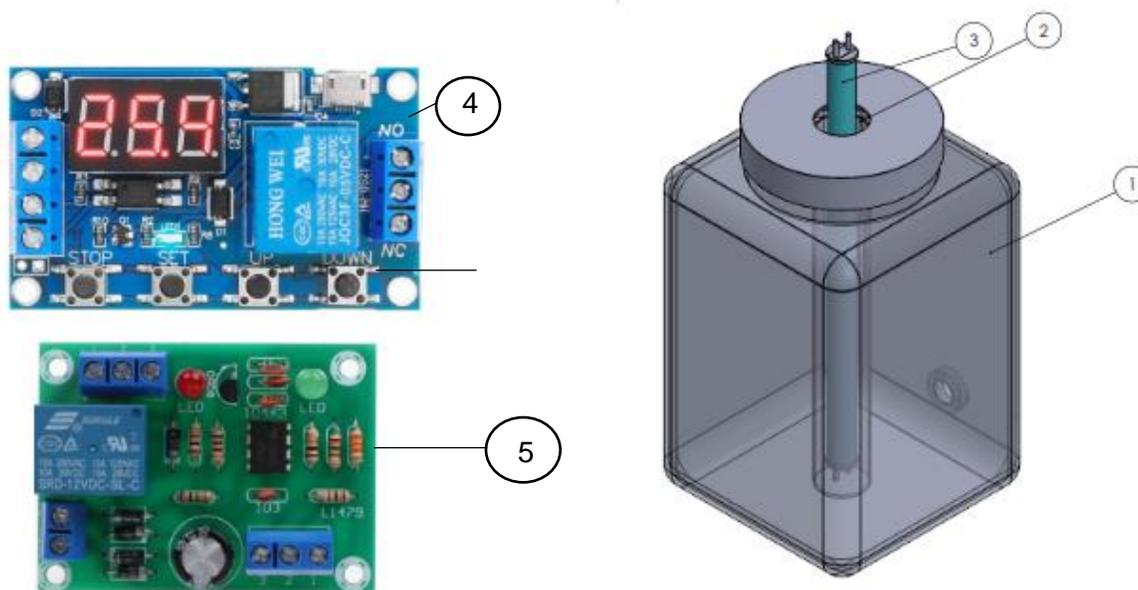
Se enciende la cámara de electrodiálisis mediante el botón energizando el módulo de control de nivel, posteriormente, se quita la tapa superior del tanque para introducir el agua, en cuanto esta llegue al nivel requerido se enciende el temporizador programado previamente con el tiempo requerido de exposición, luego de terminado el tiempo se abre una electroválvula en la parte inferior del tanque permitiendo el paso del agua a la siguiente etapa del purificador.

Tanque UV-C

El tanque UV-C es constituido por:

- 1 tanque de vidrio de 4 L
- 1 probeta de vidrio de 100 mil
- 1 lampara de UV
- 1 módulo de control de nivel
- 1 módulo temporizador

Figura 18 Componentes



Fuente Propia

Tabla 16 Componentes Tanque UV

Numero	Nombre
1	• Tanque vidrio 4L
2	• Probeta vidrio 100ml
3	• Lámpara UV
4	• Módulo temporizador
5	• Módulo control de nivel

Fuente Propia

En cuanto abre la válvula en el proceso anterior se empieza a llenar el tanque activando el módulo de control de nivel, cuando se alcanza el nivel deseado se activa el módulo temporizador, en cuanto este llegue a 0 el agua será potable para consumir.

Precauciones

- No intente utilizar la unidad si el cable de suministro eléctrico está dañado ya que puede causar una descarga eléctrica o algún incendio.
- Mantenga alejado del alcance de los niños.
- No agregar agua con sedimentos.

- Colocar el dispositivo en una zona seca y firme
- Revisar constante los cables del sistema

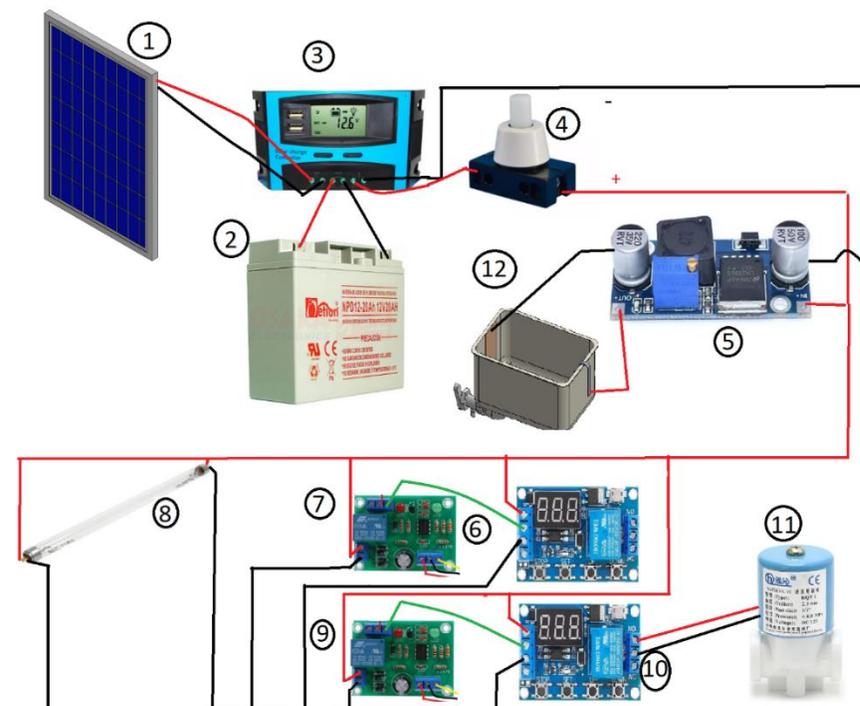
Mantenimiento

Antes de iniciar la limpieza y/o mantenimiento es necesario desconectar la fuente de energía.

Se recomienda limpiar el tanque UV y el tanque de electrodiálisis mínimo una vez a la semana con agua y jabón para evitar la acumulación de bacterias.

3.8.1 Esquema eléctrico

Figura 19 Esquema eléctrico



Fuente Propia

Tabla 17 Componentes esquema electico

Numero	Nombre
1	• Panel solar 100 watts 12v
2	• Bateria 12v 20ah

3	• Controlador de carga
4	• Botón
5	• Regulador de voltaje
6	• Modulo temporizador
7	• Modulo control de nivel
8	• Lampara UV-C
9	• Modulo control de nivel
10	• Modulo temporizador
11	• Electroválvula ¼ in
12	• Cámara de electrodiálisis

Fuente Propia

3.9 Resultados de los análisis de metales pesados y microbiológicos

Los análisis fueron realizados en base a prueba realizada con el purificador para determinar si el agua es apta para el consumo humano de acuerdo a los parámetros tratados a lo largo del documento, Cadmio, Niquel, Giarda y Cryptosporidium.

Se realizaron las tomas de muestras correspondientes para los análisis de metales pesados y microbiológicos, se procedió a llevar al laboratorio ACQUA LABORATORIO, donde se hicieron los respectivos análisis a las muestras y suministraron los resultados de la siguiente tabla obtenidas de las figuras 29 y 30. Dichas figuras se encuentran en el anexo 3.

Tabla 18 Resultados de los análisis post-tratamiento

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	ESPECIFICACIONES	METODO	DECLARACION DE CONFORMIDAD
Cadmio	En proceso	mg Cd/L	0,003	Pendiente	En proceso
Niquel	0,018	mg Ni/L	0,02	Absorción atómica	Conforme
Giarda	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³	Filtración por membrana	Conforme
Cryptosporidium	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³	Filtración por membrana	Conforme

Fuente Laboratorio ACQUA

4. Conclusiones

- De acuerdo con los análisis de agua de Yopal obtenidos, se puede evidenciar la necesidad de construir el purificador, por lo que los parámetros de los metales pesados 0,01 y 0,085, Cadmio y níquel respectivamente, y de la Giarda y Cryptosporidium de los cuales tienen valores entre 0 y 2.9, por encima de los dados por la resolución 2115 del 2007 sobre el cadmio, 0.003, y níquel, 0.02, del mismo modo establece que los valores de la Giarda y Cryptosporidium son 0.
- Se logró evidenciar la importancia de la energía solar como fuente de energía eléctrica, porque durante el funcionamiento del dispositivo no estuvo conectado a una fuente eléctrica tradicional, ahorrando y disminuyendo el consumo de electricidad en aproximadamente 45,33 Wh.
- Se diseñó y construyó un prototipo alimentado con agua tratada previamente y con capacidad para purificar basados en los parámetros del Níquel, Cadmio, Giarda y Crystosporidium, ampliando los conocimientos sobre energía solar, electricidad, fluidos entre otros, adquiridos durante el tránsito de la carrera.
- El uso de sistemas de purificación alternativa como la radiación UV y las electrodiálisis apoyadas con energía solar como fuente de electricidad puede ser utilizado en zonas apartadas del territorio por su autonomía debido a su capacidad de 3.5L, al uso de paneles que pueden ser instalados fácilmente y su pequeño tamaño puede ser ubicado con facilidad.
- Según los resultados obtenidos para sistema fotovoltaico se concluye que este sistema suple la demanda energética que necesita el prototipo del purificador para su buen funcionamiento, además al encontrarse ubicado en una zona en donde hay muy buena radiación solar, dicho panel mantendrá en buen funcionamiento manteniendo la batería con una carga óptima para que ella de la energía necesaria que requiere el prototipo. Incluso, este sistema fotovoltaico puede sujeto a modificaciones en dado caso que los residentes quieran utilizar la energía del sistema ´para alguna necesidad del hogar.

- El prototipo da una muy buena solución a la problemática que se presenta en la capital del Casanare, con base a este prototipo se pueden hacer las investigaciones correspondientes para crear un purificador que solucione la problemática de los 352 municipios a lo largo del territorio colombiano que no cuentan con un óptimo servicio de agua.
- Los componentes seleccionados para el sistema fotovoltaico proporcionaron la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del dispositivo, entre los cuales son los 45Wh suministrados por el panel solar de 100W y los 7A suministrados por el batería configurado por el controlador de carga.
- Los dispositivos que se emplearon en el purificador son de fácil acceso y de gran ayuda a la hora de diseñar el sistema ya que sus conexiones tanto las eléctricas como las de tuberías, son fáciles de entender, eso hace que no se presenten inconvenientes a la hora de ensamblar el purificador.
- El prototipo desarrollado durante el proyecto logro purificar el agua obteniendo valores de la cantidad de Níquel, Giarda y Cryptosporidium, 0.018 ,0 y 0, respectivamente, soportados por el laboratorio ACQUA, cumpliendo con la resolución 2115 del 2007, que dicta como valores mínimos 0.02,0 y 0, respectivamente.

5. Bibliografía

- Ambiental, C. N. (18 de 06 de 2021). *Centro del control y prevencion de enfermedades*.
Obtenido de <https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/radiacionuv/index.html>
- Ángela María Betancur Flórez, S. A. (s.f.). *Comparación de técnicas alternativas de potabilización de agua,*.
- Aqualim. (2014). *Informe de resultado*. Yopal.
- Area Metropolitana Valle de aburrá. (s.f.). Obtenido de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/Paginas/consumo-sostenible/Energias-Renovables.aspx>
- Asi, I. M. (2005). Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixed. En *Science Direct* (págs. 326-328). Department of Civil Engineering, Hashemite University.
- ATLAS. (s.f.). *Ideam*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Baran, E. (2011). Temperature Influence on Skid Resistance Measurement. En *Queensland Department of Transport and Roads, Australia*.
- Condorchem. (s.f.). <https://condorchem.com/es/electrodesionizacion/>. Recuperado el 04 de 2022
- DS New Energy. (19 de 07 de 2019). (DS New Energy) Obtenido de <https://www.dsisolar.com/info/how-to-figure-the-correct-angle-for-solar-pane-37641121.html>
- EFIMARKET. (s.f.). *EFIMARKET*. Obtenido de <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/>

- factorenergia*. (30 de 08 de 2018). Obtenido de <https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/>
- factorenergia*. (2020). Obtenido de <https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/energia-solar/>
- Gallego, S. d. (2015). *Diseño de un planta potabilizadora portable a base de luz*. Vigo.
- Giles, C. G., Sabey, B., & Cardew, K. H. (1965). Development and Performance of the Portable Skid Resistance Tester. *Rubber Chemistry and Technology*, 38(4)(<https://doi.org/10.5254/070490613>), 1065-1070.
- Ideam. (s.f.). *Ideam*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta>
- Iluminet. (2021). *Iluminet*. Obtenido de <https://www.iluminet.com/los-peligrosos-rayos-uv/>
- IMPORTACIONES, S. (s.f.). *Mercado Libre*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-586972997-tubo-germicida-30w-uv-ultravioleta-esterilizacion-uv-_JM?matt_tool=50518818&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14633851659&matt_ad_group_id=122277562730&matt_match_type=&matt_network=g&matt_d
- inteligentes, E. (s.f.). *Energias inteligentes*. Obtenido de <http://www.energiasinteligentes.com/noticias/8/como-calcular-el-banco-de-baterias-de-un-sistema-solar>
- INVIAS. (s.f.). *Documentos Técnicos Invías*. Obtenido de Recuperado de: <https://www.invias.gov.co>
- LANDY, G. R. (2014). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO EN LINEA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE LUZ ULTRAVIOLETA*. CUENCA.
- López, V., & Garnica, A. P. (2002). *Consideraciones para la Aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte.
- OMS. (14 de 06 de 2019). *ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD*. Recuperado el 01 de 03 de 2022, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Philips. (s.f.). *Philips*. Obtenido de <https://www.lighting.philips.com.co/consumer/uv-c-lighting>

- Pradillo, B. (12 de 09 de 2016). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>
- Salud, I. N. (2019 de 01 de 17). *Instituto Nacional de Salud*. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/Comunicaciones/Comunicados%20de%20prensa/Carga%20Ambiental%20en%20Colombia%20Prensa%20INS-%2021%20de%20enero%20de%202019.pdf>
- Sánchez Sabogal, F. (s.f.). *Escuela Colombiana de Ingeniería Curso Diseño de Pavimentos*. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/modulos.html
- Slavin, S. E., & Beswick, G. (10-08-1993). instrumented izod impact testing. *Journal of Applied Polymer Science*, 49(06)(<https://doi.org/10.1002/app.1993.070490613>), 1065-1070.
- social, M. d. (2017). *REOSLUCION 2115*.
- Solar, N. (s.f.). *Youtube* . Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=brf4OZwb-n0>
- Solarama. (2021). *Solarama*. Obtenido de <https://solarama.mx/blog/que-son-los-sistemas-fotovoltaicos/#quesonlossistemasfotovoltaicos>
- Soler P, Q. S. (31 de 07 de 2019). *higieneambiental.com*. Obtenido de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/el-tratamiento-uv-del-agua-es-efectivo-frente-a-cryptosporidium-y-giardia>
- TeslaEnergy. (2019). *TeslaEnergy*. Obtenido de https://teslaenergy.cl/sistemas-fotovoltaicos/#Sistema_Fotovoltaico_On_Grid_Conectados_a_la_Red
- Uruguay, A. (12 de 2016). *SciELO*. Obtenido de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000200002
- weUVcare*. (s.f.). Obtenido de <https://www.weuvcare.com/es/uv-education/>

6. Anexos

6.1 Anexo 1 Conteo de Microorganismos y metales pesados

Figura 20 Radicado



Fuente Laboratorio de salud pública de Casanare

Figura 21 Resultados análisis de agua de la Giarda y el Cryptosporidium

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD		SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE - SIVICAP																		
Año	Departamento PP	Municipio PP	Persona Prestadora	Nit	Registra en SSPD	Tipo de suministro	Sistema de distribución	Total Población Atendida	Ubicación PM	Dirección PM	Código punto de muestreo	Tipo de punto	Tipo de dispositivo	Tipo de agua	Código muestra SIVICAP	Resultado de Cryptosporidium	Resultado de Giardia	Resultado de Cryptosporidium	Nivel de Riesgo	
2020	CASANARE	YOPAL	EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE YOPAL ECE ESP	844000755	Si	Red de distribución con planta	SISTEMA ALTERNO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	177525	Urbano	CARRERA 14 N° 22 ESQUINA	0018	Punto Fijo	Grifo	Tratada	4648	1,2	No aceptable	0,5	No aceptable	RIESGO BAJO
2020	CASANARE	YOPAL	CIUDADELA LA BENDICION S.A.S	900694003	No	Red de distribución con planta	PLANTA DE TRATAMIENTO CIUDADELA LA BENDICIÓN	13168	Rural	CIUDADELA LA BENDICION MANZANA 98 LOTE N° 17	0004	Punto Fijo	Bayoneta	Tratada	4998	0	Aceptable	0	Aceptable	SIN RIESGO
2020	CASANARE	YOPAL	CIUDADELA LA BENDICION S.A.S	900694003	No	Red de distribución con planta	PLANTA DE TRATAMIENTO CIUDADELA LA BENDICIÓN	13168	Rural	CIUDADELA LA BENDICION MANZANA 115 LOTE N° 44	0005	Punto Fijo	Grifo	Tratada	4999	2,1	No aceptable	2,4	No aceptable	RIESGO BAJO
2020	CASANARE	YOPAL	CIUDADELA LA BENDICION S.A.S	900694003	No	Red de distribución con planta	PLANTA DE TRATAMIENTO CIUDADELA LA BENDICIÓN	13168	Rural	CIUDADELA LA BENDICION MANZANA 37 CASA 25	0008	Punto provisiona l por contingencia	Grifo	Tratada	5000	0,3	No aceptable	2,3	No aceptable	RIESGO BAJO
2020	CASANARE	YOPAL	CIUDADELA LA BENDICION S.A.S	900694003	No	Red de distribución con planta	PLANTA DE TRATAMIENTO CIUDADELA LA BENDICIÓN	13168	Rural	CIUDADELA LA BENDICION MANZANA 37 CASA 29	0006	Punto provisiona l por contingencia	Grifo	Tratada	5001	1,7	No aceptable	1,0	No aceptable	RIESGO BAJO
2020	CASANARE	YOPAL	EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE YOPAL ECE ESP	844000755	Si	Red de distribución con planta	SISTEMA ALTERNO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	177525	Urbano	TRANSVERSA 6 N° 36 ESQUINA	0005	Punto Fijo	Grifo	Tratada	11008	1,0	No aceptable	2,7	No aceptable	RIESGO BAJO
2020	CASANARE	YOPAL	CIUDADELA LA BENDICION S.A.S	900694003	No	Red de distribución con planta	PLANTA DE TRATAMIENTO CIUDADELA LA BENDICIÓN	13168	Rural	CIUDADELA LA BENDICION MANZANA 128 LOTE N° 1	0002	Punto Fijo	Grifo	Cruda	11021	2,3	No aceptable	2,6	No aceptable	RIESGO BAJO
2021	CASANARE	YOPAL	CIUDADELA LA BENDICION S.A.S	900694003	No	Red de distribución con planta	PLANTA DE TRATAMIENTO CIUDADELA LA BENDICIÓN	13168	Rural	CIUDADELA LA BENDICION MANZANA 38 CASA 15	0019	Punto provisiona l por contingencia	Grifo	Tratada	14960	1,4	No aceptable	2,5	No aceptable	RIESGO BAJO
2021	CASANARE	YOPAL	EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE YOPAL ECE ESP	844000755	Si	Red de distribución con planta	SISTEMA ALTERNO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	177525	Urbano	CARRERA 14 N° 22 ESQUINA	0018	Punto Fijo	Grifo	Tratada	15445	1,0	No aceptable	1,9	No aceptable	RIESGO BAJO
2021	CASANARE	YOPAL	EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE YOPAL ECE ESP	844000755	Si	Red de distribución con planta	SISTEMA ALTERNO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	177525	Urbano	CARRERA 29 # 22 ESQUINA	0022	Punto Fijo	Bayoneta	Tratada	15447	0	Aceptable	0	Aceptable	SIN RIESGO
2021	CASANARE	YOPAL	EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE YOPAL ECE ESP	844000755	Si	Red de distribución con planta	SISTEMA ALTERNO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	177525	Urbano	CARRERA 28 #50 - 86 BARRIO EL RAUDAL	0032	Punto Fijo	Grifo	Tratada	15449	0	Aceptable	0	Aceptable	SIN RIESGO
2021	CASANARE	YOPAL	EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE YOPAL ECE ESP	844000755	Si	Red de distribución con planta	SISTEMA ALTERNO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	177525	Urbano	CALLE 18 N° 29 ESQUINA BARRIO JUAN PABLO	0006	Punto Fijo	Grifo	Tratada	15516	0	Aceptable	0	Aceptable	SIN RIESGO
2021	CASANARE	YOPAL	CIUDADELA LA BENDICION S.A.S	900694003	No	Red de distribución con planta	PLANTA DE TRATAMIENTO CIUDADELA LA BENDICIÓN	13168	Rural	CIUDADELA LA BENDICION MANZANA 59 LOTE 26	0043	Punto provisiona l por contingencia	Grifo	Tratada	15576	2,1	No aceptable	1,3	No aceptable	RIESGO BAJO
2021	CASANARE	YOPAL	CIUDADELA LA BENDICION S.A.S	900694003	No	Red de distribución con planta	PLANTA DE TRATAMIENTO CIUDADELA LA BENDICIÓN	13168	Rural	CIUDADELA LA BENDICION MANZANA 79 CASA 9	0061	Punto provisiona l por contingencia	Grifo	Tratada	15658	2,9	No aceptable	1,2	No aceptable	RIESGO BAJO

Fuente Laboratorio de salud pública de Casanare

Figura 22 Resultados de análisis de metales pesados en el agua

 				
AQUALIM <small>LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUA, ALIMENTOS Y SUELOS ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE SOR S.A.S. NIT. 914.002.017-1</small>				
INFORME DE RESULTADOS				
1086-14				
DATOS DEL SOLICITANTE				
EMPRESA	EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALGANTARILLADO DE YOPAL			
NIT/C.C.	84402755-0			
DIRECCION	CRA 19 No 71-34			
MUNICIPIO	YOPAL			
TELÉFONO	(098) 6327778			
DATOS DE LA MUESTRA				
MUNICIPIO DE RECOLECCION	YOPAL-CASANARE			
DIRECCION DE TOMA	SABRIO SAN MARTIN, CARRERA 23 N° 6-88			
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	CAJA EXTRADOMICILIARA SAN MARTIN, PLVTO N° 004			
TIPO DE MUESTRA	SAMPLE			
MATRIZ	AGUA TRATADA			
FUENTE	LA TABLONA			
RECIBIDA POR	AQUALIM, WILLIAM PEÑA			
PLAN Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	142-14, P01-MST-ME1			
FECHA DE RECOLECCION	2014-04-07			
HORA DE RECOLECCION	13:35			
FECHA Y HORA DE RECEPCION	2014-04-07; 13:43			
FECHA DE ANALISIS	2014-04-07 A 2014-04-29			
ANALISIS DE LABORATORIO				
PARAMETRO	RESULTADO	UNIDADES	METODO	TECNICA
ALCALINIDAD*	12.3	mg CaO/L	SM 2519	TITULOMETRICO
ALUMINO	0.010	mg AL	SM 3004-B	ESPECTROFOTOMETRICO
ARSENICO**	0.00035	mg As/L	SM 3034-04-10	ABSORCION ATOMICA
ANTIMONIO**	<0.0018	mg Sb/L	SM 3034-04-10	ABSORCION ATOMICA
BARIO**	<0.046	mg Ba/L	SM 3034-04-10	ABSORCION ATOMICA
BERILIO**	<0.017	mg Be/L	SM 3034-04-10	ABSORCION ATOMICA
BORO**	<0.137	mg B/L	SM 3034-B	ESPECTROFOTOMETRICO
CADMIUM**	<0.01	mg Cd/L	SM 3034-04-10	ABSORCION ATOMICA
CROMIO**	<0.005	mg Cr/L	SM 3034-CR-8	ESPECTROFOTOMETRICO
CALCIO*	0.0	mg Ca/L	SM 3034-Ca	TITULOMETRICO - FOTOMETRICO
CLORO RESIDUAL	3.28	mg Cl ₂ /L	SM 4500-ClO	ESPECTROFOTOMETRICO
CROMO HEXAVALENTE**	<0.010	mg Cr ^{VI} /L	SM 3034-CR-8	ESPECTROFOTOMETRICO
CLORURO*	46.2	mg Cl ⁻ /L	SM 4500-Cl-8	ESPECTROFOTOMETRICO
COPALTO**	<0.048	mg Cu/L	SM 3034-CU-10	ABSORCION ATOMICA
COBRE**	<0.056	mg Cu/L	SM 3034-CU-10	ABSORCION ATOMICA
COLOR APARENTE	0.0	PCU	SM 2100-1	ESPECTROFOTOMETRICO
CARBONO ORGANICO TOTAL**	<0	mg/L	SM 5210-1	ESPECTROFOTOMETRICO
DIO*	<0.02	mg O ₃ /L	SM 5210-1-10-10	ESPECTROFOTOMETRICO
DQO*	17.2	mg O ₂ /L	SM 5210-1	ESPECTROFOTOMETRICO
DUREZA TOTAL*	27.6	mg CaCO ₃ /L	SM 2100-1	TITULOMETRICO
FENOL**	<0.070	mg/L	SM 5210-1	ESPECTROFOTOMETRICO
FLOCUROS*	0.04	mg F/L	SM 4500-F-2	ESPECTROFOTOMETRICO

Carretera 13 No 19 - 13 Yopal - Casanare - Tel: (098) 632 4492 - Fax: (098) 635 9060 - Cell: 310 340 0629 - 320 301 7075
 gnerecta@aqualim.com - cotizaciones@aqualim.com - www.aqualim.com

Fuente: (Aqualim, 2014)

Figura 23 Resultados de análisis de metales pesados en el agua

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	UNIDAD	METODO
POSFATOS*	0.179	mg PO ₄ /L	EN 455 06	ESPECTROFOTOMETRICO
GRASAS Y ACEITES*	<0.3	mg/L	EN 455 0 8	RETRACCION DE DISCO / SECOS
HIERRO TOTAL*	0.056	mg Fe/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
LITIO**	<0.026	mg Li/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
MANGANESO*	1.7	mg Mn/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
MANGANESO	<0.060	mg Mn/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
MERCURIO**	<0.0016	mg Hg/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
MOLIBDENO**	<0.01	mg Mo/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
NIQUEL**	<0.003	mg Ni/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
NITRATOS	3.6	mg NO ₃ /L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
NITRITOS*	<0.005	mg NO ₂ /L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS	<0.0054	mg/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS	<0.0002	mg/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
PH*	6.84	UNIDADES DE PH	EN 455 0 8	ELECTROMETRICO
PLOMO**	<0.003	mg Pb/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
SELENIO**	0.00021	mg Se/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
SULFATOS*	<10.0	mg SO ₄ /L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
TEMPERATURA*	25.1	°C	EN 455 0 8	TERMOMETRICO
TEMPOACTIVOS*	<0.003	mg/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
TURBEDAD*	1.6	NTU	EN 455 0 8	NEFELOMETRICO
TRICLOMETANOS	<0.0002	mg/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
VANADIO	<0.005	mg V/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
ZINC	0.02	mg Zn/L	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
MATERIAL FLOTANTE	AUSENCIA	-	EN 455 0 8	ESPECTROFOTOMETRICO
COLIFORMES TOTALES*	0	UFC/100 mL	EN 455 0 8	MEMBRANA FILTRACION
COLIFORMES FECALES*	0	UFC/100 mL	EN 455 0 8	MEMBRANA FILTRACION

LABORATORIO AMBIENTAL ESPECIALIZADO EN AGUA, ALIMENTOS Y SUELOS. ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE MOB S.A.S. NIT. 844.003.007-1

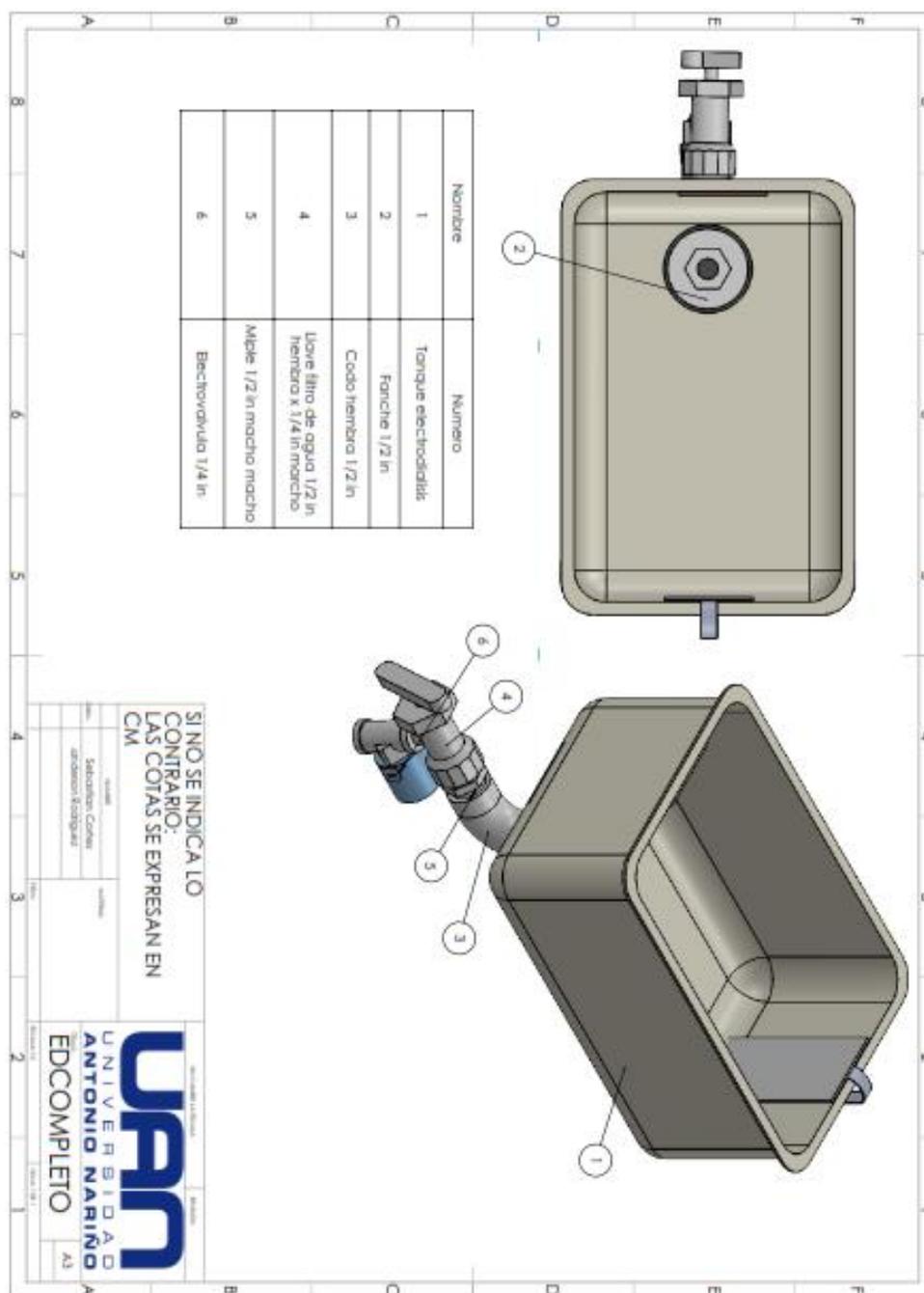
IDEAM INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS

RONALDO ELIJA RAMONTO MARTINEZ
RES. SUBDIRECTOR DE LABORATORIO
YOPAL - CASANARE

Fuente: (Aqualim, 2014)

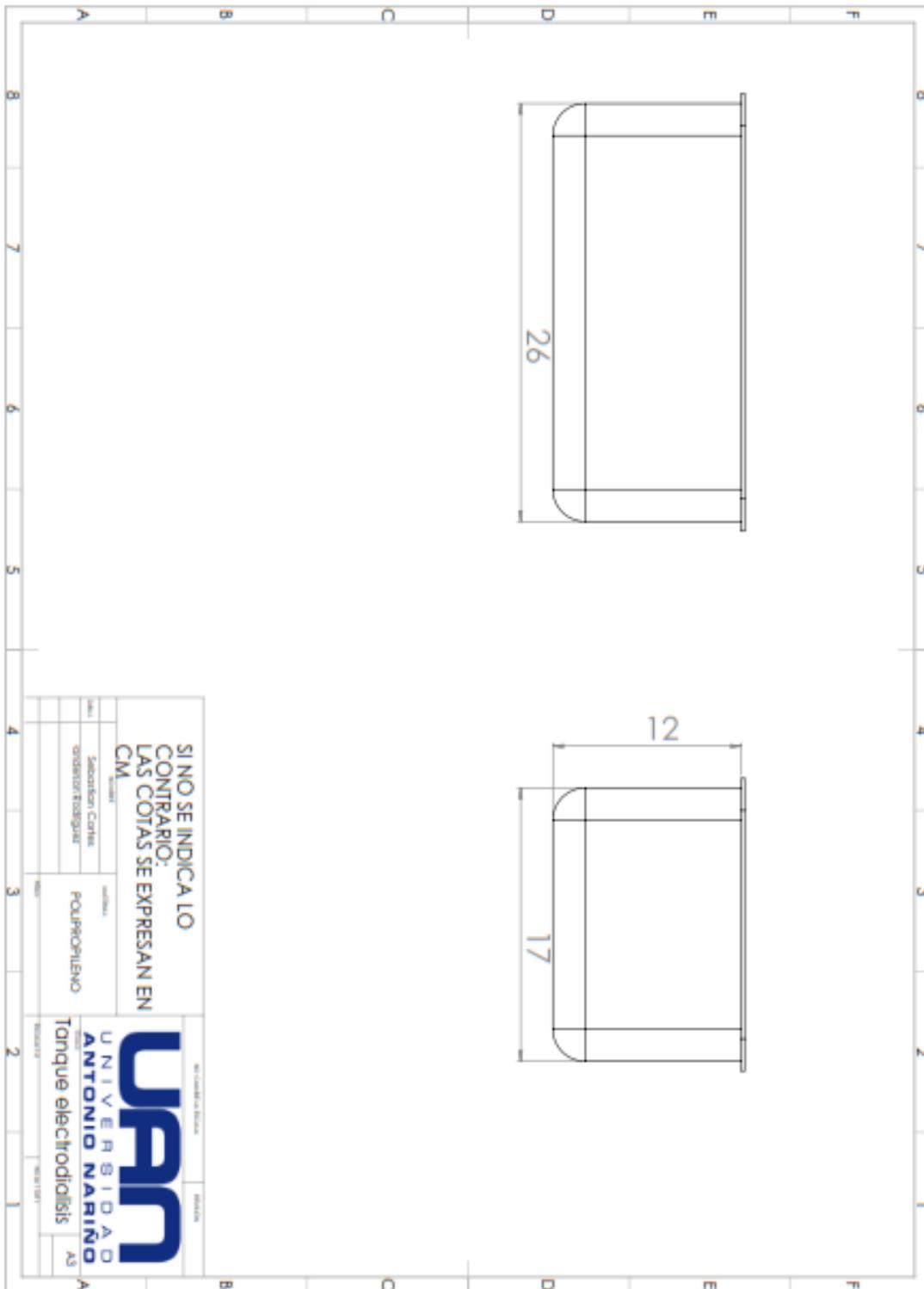
6.2 Anexo 2 Planos Constructivos

Figura 24 Plano 1



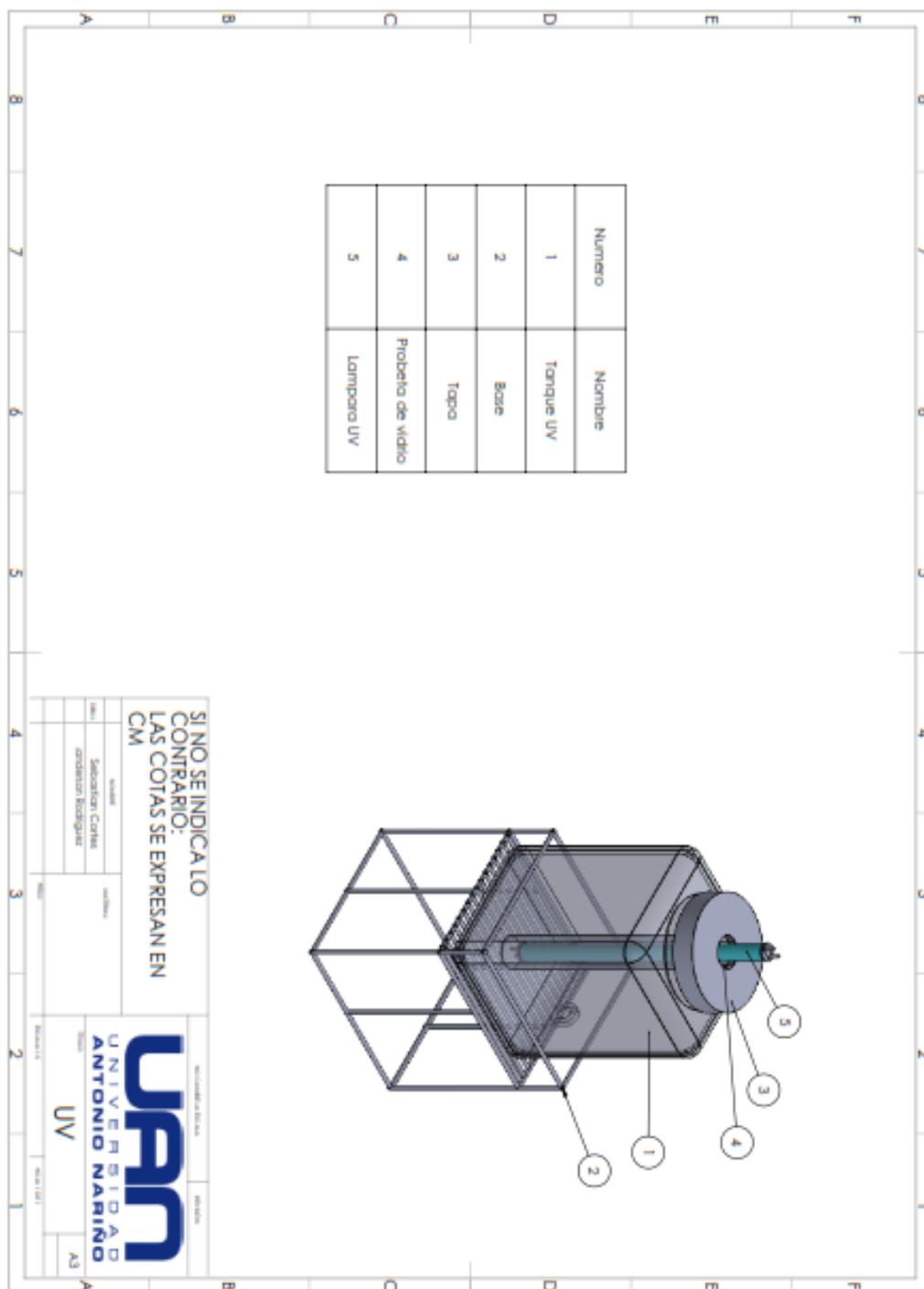
Fuente Propia

Figura 25 Plano 2



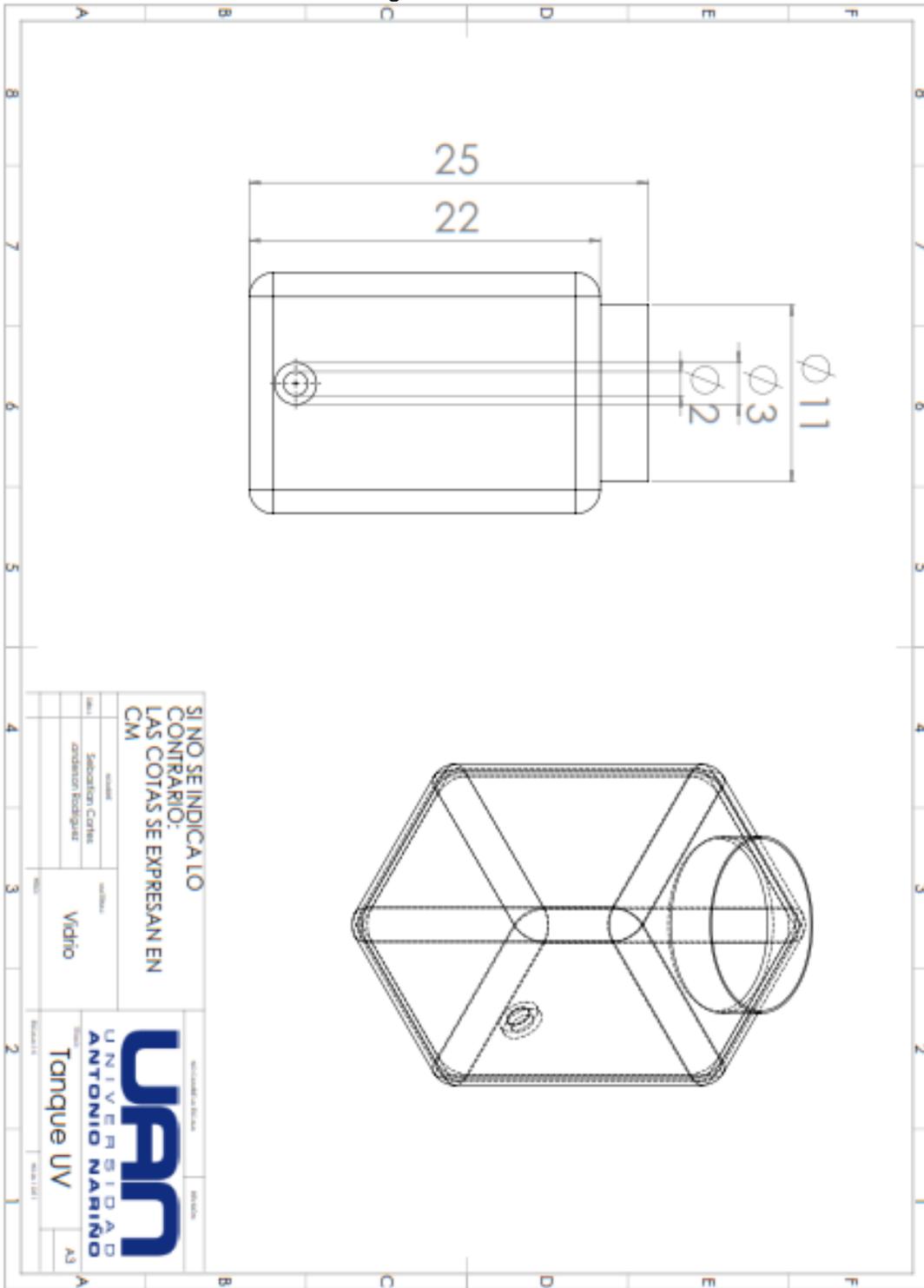
Fuente Propia

Figura 26 Plano 3



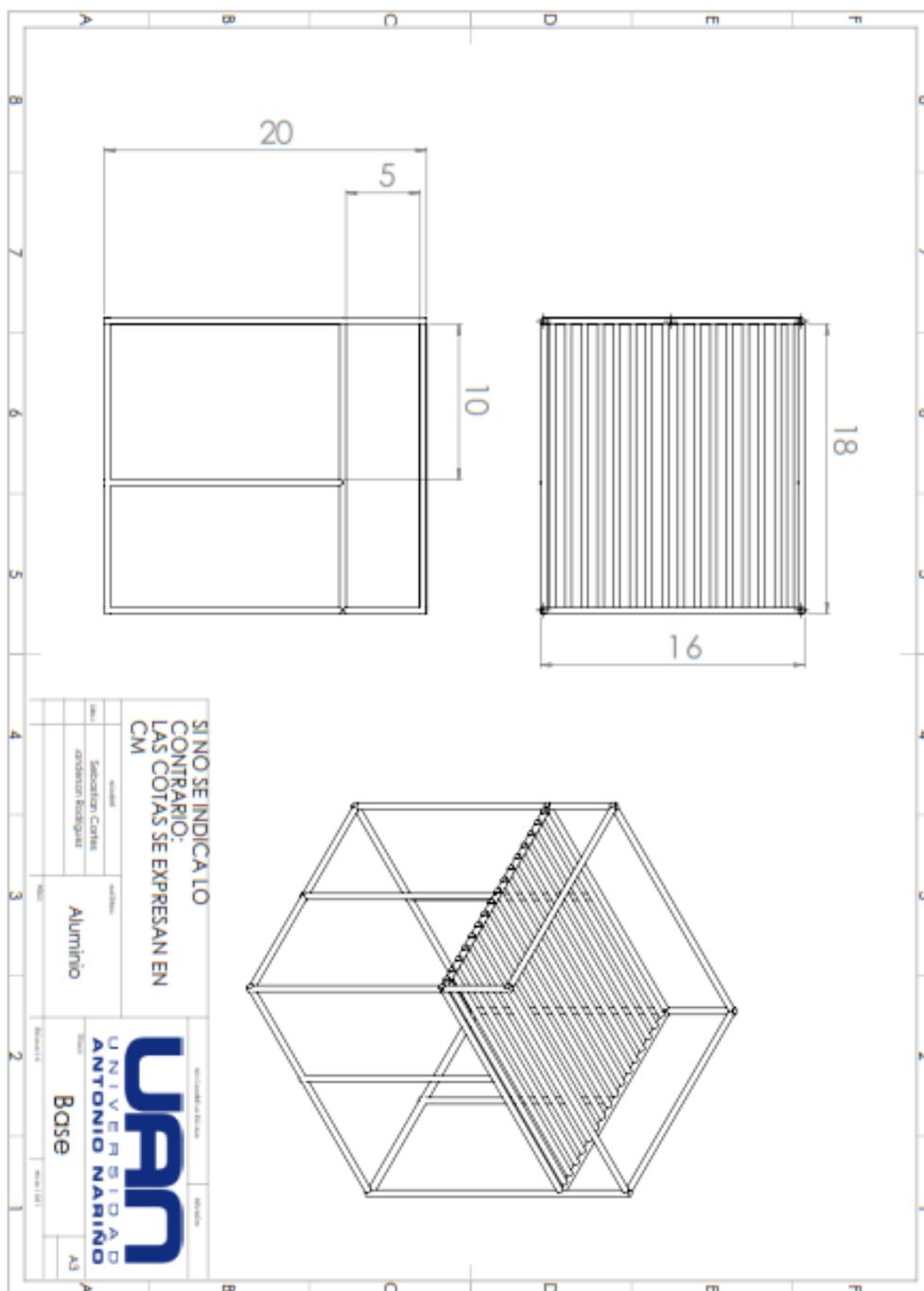
Fuente Propia

Figura 27 Plano 4



Fuente Propia

Figura 28 Plano 5



Fuente Propia

Figura 30 Resultados análisis microbiológicos

8.22.4
Versión 6
Actualización: 2023.04.01

ACQUA
Laboratorio

ENSAYO MICROBIOLÓGICO No. A22-1034

EMPRESA:	FARYD RODRIGUEZ	CONTACTO:	JANDESON FARYD RODRIGUEZ RINCON
DIRECCION:	CALLE 14 B No. 219 A No. 15 APTO.302	TELEFONO:	31-44239133
CIUDAD:	BOGOTÁ	e-mail:	janrodriguez@acqua.com
MUESTRA:	AGUA POTABLE PURIFICADA		
LUGAR:	YOPAL CASANARE		
AREA DE TOMA:	CASA / COCINA		
PUNTO DE CAPTACIÓN:	PROCESO PURIFICADOR		
PRESENTACION:	FRASCO DE VIDRIO		
CANTIDAD:	1.75 litros	TEMPERATURA DE TOMA:	19,3 °C
MUESTRA TOMADA POR:	FARYD RODRIGUEZ	MUESTRA ENTREGADA POR:	FARYD RODRIGUEZ
OBSERVACIONES:	NO REPORTADAS		
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA:	2023-10-25		
FECHA DE ANALISIS DE MUESTRA:	2023-10-25		
FECHA EMISION DE RESULTADOS:	2023-11-04		

INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO
MUESTRA No. A22-1034

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	ESPECIFICACIONES	METODO	DECLARACION DE CONFORMIDAD
Cryptosporidium	Ausencia en 100 cm3	Ausencia en 100 cm3	Ausencia en 100 cm3	Filtración por membrana	Conforme
Giardia	Ausencia en 100 cm3	Ausencia en 100 cm3	Ausencia en 100 cm3	Filtración por membrana	Conforme

Resolución 2113 de 2007 del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial para Agua para Consumo Humano

PARA QUE LA MUESTRA OBJETO DE ESTE INFORME SEA CONFORME RESPECTO A LA NORMA DE CONFORMACION DE AGUAS, TODOS LOS PARAMETROS ANALIZADOS DEBEN SER CONFORMES
RESPECTO A LOS INDICADORES QUE LA NORMA ANALIZA PARA SER CONSUMIDAS EN EL COMPLEJO DE VIVIENDAS

LA INFORMACION DE ESTE DOCUMENTO CORRESPONDE SOLO A LA MUESTRA ANALIZADA EN EL LABORATORIO ACQUA LABORATORIOS S.A.S.

ACQUA LABORATORIOS S.A.S. NO SE RESPONSABILIZA POR LA INFORMACION SUBSISTENTE POR EL CARGO QUE PUEDE ANTES DE LOS RESULTADOS RECORRIDOS
ACQUA LABORATORIOS S.A.S. NO SE RESPONSABILIZA POR LA INFORMACION SUBSISTENTE POR EL CARGO QUE PUEDE ANTES DE LOS RESULTADOS RECORRIDOS

LA INFORMACION ANALIZADA POR EL COMITÉ DE ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CONFORMACION CON LOS RESULTADOS

PARA CONFORMAR LA AUTENTICIDAD DE ESTE DOCUMENTO, SE HA GENERADO UN CÓDIGO QR QUE PERMITE VERIFICAR LA AUTENTICIDAD DEL DOCUMENTO EN EL LABORATORIO ACQUA LABORATORIOS S.A.S. EN EL SIGUIENTE ENLACE: <https://www.acqua.com.co>

ACQUA
Laboratorio

Gloria Luz Jiménez V.
Gloria Luz Jiménez
Directora Técnica
Especialista Análisis Químico Instrumental PUJ
Matrícula Profesional: LFG-0048

Elaborado por: Luis Fernando Ramirez
Revisado por: G. Jiménez



1 de 1

Fuente Laboratorio ACQUA

6.4 Anexo 4 Ficha técnica del tubo germicida

Figura 31 Ficha técnica tubo germicida



TUV TL Mini
TUV 8W FAM

Lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión con una ampolla tubular de cristal

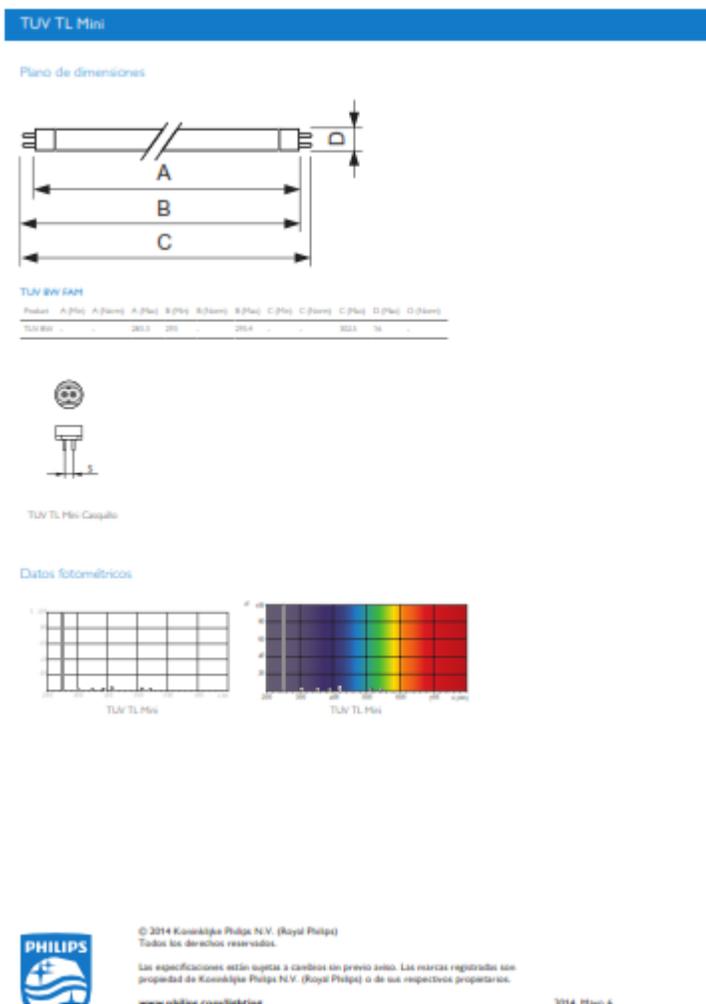
Datos del producto

- Características Generales**
 - Descripción del Sistema: -
 - Base/Casquillo: G5
 - Información Base: -
 - Casquillo: -
 - Series de la Lámpara: T18
 - Aplicación Principal: Desinfección
 - Vida útil: 11800 hr
- Características de la Fuente de Luz**
 - Código de Color: -
 - Designación de Color: -
- Características Eléctricas**
 - Vol. de la Lámpara: 8 W
 - Eficiencia: -
 - Potencia Técnica de la Lámpara: 8 W
 - Voltaje de la Lámpara: 0 V
 - Corriente de la Lámpara: 0.11 A
- Características Medioambientales**
 - Contenido de mercurio (Hg): 4.4 mg
- Características relativas a UV**
 - Radiación UVC: 14 W
- Características de Dimensiones**
 - Longitud de la Referencia A: 283.2 (mm) mm
 - Longitud B de instalación: 292 (mm), 294.4 (mm) mm
 - Longitud Total C: 302.6 (mm) mm
 - Diámetro D: 14 (mm) mm
- Datos Producto**
 - Código de pedido: 823463 27
 - Código de producto: 87110042268217
 - Nombre de Producto: TUV 8W FAM
 - Nombre de pedido del producto: TUV 8W FAM18K28BOX
 - Piezas por caja: 1
 - Configuración de embalaje: 10K28CC
 - Caja por caja exterior: 100
 - Código de barras del producto: 8711004226821
 - Código de barras - EAN2: 8711004226821
 - Código de barras de la caja exterior: 8711004226821
 - Código logístico - 12NC: 92800114012
 - Peso neto por pieza: 35.200 gr

PHILIPS

Fuente (Philips, n.d.)

Figura 32 Ficha técnica tubo germicida



Fuente (Philips, n.d.)