

Propuesta tecnológica para la potabilización de agua en la vereda Arena Blanca del municipio de Pupiales, Departamento de Nariño



Universidad del Cauca

Edgar Andrés Palacios Gómez
Danny Yamid Hernández Benavides

Director: Francisco Franco Obando Diaz, Msc.
Codirector: Judy Cristina Realpe Chamorro, Msc.

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Popayán
2022

Propuesta tecnológica para la potabilización de agua en la vereda Arena Blanca del municipio de Pupiales, Departamento de Nariño

Edgar Andrés Palacios Gómez
Danny Yamid Hernández Benavides

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ingeniería Electrónica y
Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca para la obtención del título
de:

Ingenieros en
Automática Industrial

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Popayán
2022

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por permitirme culminar esta enriquecedora etapa universitaria, este logro es enteramente de mi familia, de mi madre que es el pilar de mis sueños. Doy gracias a mi mejor amiga la Mg. Elsy Lorena Rosero Ceballos por sus valiosos consejos y aportes a lo largo de este proceso. A mi compañero de tesis Andrés por el esfuerzo, constancia y dedicación. Finalmente al ingeniero Francisco Franco Obando por brindarme su conocimiento, sus aportes y compromiso a lo largo de mi formación como profesional y en el desarrollo de esta investigación.

Danny Yamid Hernández Benavides.

Doy gracias a la vida por permitirme culminar mi carrera profesional, por el conocimiento y la experiencia que he adquirido en este largo camino, agradezco a mi familia, a mis padres quienes han sido mis pilares fundamentales, los cuales me apoyaron incondicionalmente en el transcurso de mi carrera, gracias a ellos por creer en mí, agradezco a mi compañero de tesis Danny, por el esfuerzo, dedicación y tiempo empleado en la realización de este proyecto, agradezco a la Universidad del Cauca, a todos mis profesores por el conocimiento que me compartieron, a mis compañeros de carrera y finalmente agradezco a mi tutor de tesis, el ingeniero Francisco Franco Obando, por su tiempo dedicado, conocimiento brindado, por sus aportes y su compromiso para el desarrollo de esta investigación.

Edgar Andrés Palacios Gomez.

TABLA DE CONTENIDO

1. Acceso al Recurso Hídrico	5
1.1. Acceso al recurso de agua potable mundial, nacional y regional	5
1.1.1. Suministro de agua potable a nivel mundial	5
1.1.2. Situación de acceso de agua potable en Colombia	6
1.1.3. Situación de acceso de agua potable en el departamento de Nariño .	6
1.2. Técnicas y nuevas tecnologías de potabilización	8
1.2.1. Técnicas generales de potabilización	8
1.2.1.1. Cloración	8
1.2.1.2. Coagulación-floculación	9
1.2.1.3. Sedimentación	9
1.2.1.4. Filtración	10
1.2.1.5. Desinfección	10
1.2.2. Nuevas tecnologías de potabilización	11
1.2.2.1. Tecnologías de desinfección	11
1.2.2.2. Tecnologías de filtración	13
1.3. Resolución 2115 de 2007	15
2. Determinación de fases de potabilización	19
2.1. Definición de los requerimientos de la fuente de agua.	19
2.1.1. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos	19
2.2. Selección de las fases de potabilización	22
2.2.1. Comparativa de estructuras de potabilización	22
2.2.2. Determinación de las tecnologías asociadas a las fases de potabilización	26
3. Dimensionamiento	30
3.1. Determinación de la demanda de agua potable y equipos asociados al proceso de potabilización	30
3.1.1. Demanda de agua potable en la región	30
3.1.2. Dimensionamiento de los equipos asociados a cada etapa	33
3.2. Índice de Calidad de Agua (ICA)	40
3.2.1. Determinación de los parámetros ICA	41
3.3. Instrumentación	44

4. Diagnóstico ICA	47
4.1. Instrumentación asociada al parámetro ICA	47
4.2. Cálculo del parámetro ICA mediante la instrumentación asociada.	51
4.3. Diagnóstico sugerido a partir del ICA para el proceso de potabilización . .	52
4.4. Puesta en Marcha	55
5. Conclusiones	56

ÍNDICE DE TABLAS

1.	Características físicas	16
2.	Características químicas con efecto adverso en la salud	17
3.	Características microbiológicas con implicaciones sobre la salud Humana	17
4.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	21
5.	Sugerencia de reajuste en la ponderación para el cálculo del IRCA	21
6.	Comparativa de proyectos de potabilización Comerciales y de Investigación.	24
7.	Número de familias y habitantes en la vereda Arena Blanca.	31
8.	Clasificación del agua según los valores que tome el ICA	41
9.	Pesos asignados a los parámetros ICA	43
10.	Instrumentos seleccionados para el PTAP	44
11.	Características sensor de potencial de hidrógeno	48
12.	Características sensor de temperatura	48
13.	Características sensor de TDS	49
14.	Características sensor de turbidez	49
15.	Características del PLC Siemens LOGO	50
16.	Valores que toma el ICA en el PTAP	50
17.	Estimación de costos instrumentación tecnológica asociada	55

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Estructura del acueducto de la vereda Arena Blanca.	3
2.	Cobertura y calidad de consumo de agua potable	6
3.	Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipio. Departamento Nariño	7
4.	Fuentes de abastecimiento de agua potable	8
5.	Metodología de trabajo de Coagulación-Floculación.	9
6.	Imagen ilustrativa de la sedimentación.	10
7.	Forma general de filtración.	10
8.	Desinfección del agua.	11
9.	Proceso principal de ozonización	12
10.	Curva de eficacia espectral relativa	13
11.	Comportamiento de Micro, Nano y Ultrafiltración ante contaminantes. . .	14
12.	Proceso de ósmosis inversa	14
13.	Diagrama descendente por tecnologías de mejor eficiencia	18
14.	Parámetros que no cumplen los valores ideales.	22
15.	Implementación de fases de potabilización.	25
16.	Selección de fases de potabilización.	26
17.	Resultados obtenidos para turbiedad	27
18.	Resultados obtenidos para color aparente	28
19.	Inactivación por UVC de E. Coli y MS2.	29
20.	Diagrama de flujo de fases de potabilización de agua	29
21.	Consumo de agua potable según el clima y estrato	31
22.	Subsección de almacenamiento y distribución	33
23.	Especificación de la zonas de la vereda Arena Blanca	35
24.	Subsección de etapas de purificación	36
25.	Régimen de flujo	37
26.	Esquema de torre de aireación	38
27.	Curvas de operación de una moto bomba centrífuga.	39
28.	Subsección de captación	39
29.	Diagrama de Flujo de Proceso (PFD)	45
30.	Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID)	46

31.	Sensor de potencial de hidrógeno (pH) HACH	47
32.	Sensor de Temperatura Endress + Hauser	48
33.	Sensor de TDS (HACH)	48
34.	Sensor de Turbidez Endress + Hauser	49
35.	Controlador Lógico Programable (PLC)	49
36.	Baliza de colores	50
37.	Gráficos de operación	51
38.	Diagrama de tuberías, instrumentación y medición de parámetros ICA (P&ID)	52
39.	Diseño CAD	54
40.	Visualización interna panel de control	54
A.	Resultados Físico Químicos	63
B.	Resultados Físico Químicos	64
C.	Resultados Físico Químicos	65
D.	Resultados Físico Químicos	66
E.	Resultados Físico Químicos	67
F.	Características Válvulas Manuales	79
G.	Características Instrumento de desinfección UV	80
H.	Características Filtro Ascendente - Descendente	81
I.	Características Electro-Válvula	82
J.	Características Tanques de almacenamiento	82
K.	Características tuberías de instalación	83
L.	Manual de Instalación Moto Bomba	84
M.	Manual de Instalación Moto Bomba	85
N.	Puesta en Marcha Moto-Bomba	86
O.	Mantenimiento Moto-Bomba	87
P.	Curvas de operación y especificaciones Moto-Bomba	88
Q.	Características Sensor de Nivel	89
R.	Características Sensor de Nivel	90
S.	Características Modulo de Expansión	91
T.	Características Modulo de Expansión	92
U.	Características Modulo de Expansión	93
V.	Características Modulo de Expansión	94
W.	Características Controlador lógico programable	95
X.	Características Controlador lógico programable	96
Y.	Características Sensor potencial de hidrógeno	97
Z.	Características Sensor potencial de hidrógeno	98
AA.	Características Sensor de temperatura	99
AB.	Características Sensor de temperatura	100
AC.	Características Sensor de temperatura	101
AD.	Características Sensor de temperatura	102
AE.	Características Sensor de turbidez	103
AF.	Características Sensor de turbidez	104
AG.	Características Sensor de turbidez	105
AH.	Diagrama de mando Sensores	106
AI.	Diagrama de potencia Moto-bomba	106

AJ. Diagrama de mando moto-bomba	107
AK. Tabla instrumentos PID	107

Resumen

El presente documento describe una propuesta tecnológica para la potabilización de agua de la vereda Arena Blanca ubicada en el Municipio de Pupiales Nariño. Esta región, actualmente se encuentra en un nivel crítico de saneamiento de agua, contando con un sistema de recepción del líquido, que no cuenta con las condiciones mínimas de salubridad que debe poseer un proceso de tratamiento de agua potable (PTAP). La investigación inicia con la descripción del problema que generó la idea del proyecto y con los objetivos que se plantean al inicio del mismo. El desarrollo del documento comienza exponiendo las cifras de suministro de agua potable tanto a nivel regional como a nivel nacional e internacional. Luego se establecen las técnicas y tecnologías para la determinación del proceso de potabilización, posteriormente por medio de un análisis fisicoquímico y microbiológico de la fuente de agua del lugar objeto de estudio, se define la estructura de la tecnología apropiada a aplicar en dicha zona bajo el criterio de la norma 2115 del 2007. Finalmente, la investigación se enfoca en el índice de calidad de agua (ICA), donde por medio de su cálculo en conjunto con las variables fisicoquímicas y microbiológicas asociadas permite sugerir un proceso para el diagnóstico del sistema de potabilización.

Planteamiento del Problema

Colombia, Brasil y Perú son los tres países con mayor cantidad de agua dulce en el mundo [1]. Sin embargo, en las áreas rurales del territorio colombiano la situación de suministro de agua potable es crítica en cuanto a saneamiento y selección de una tecnología adecuada para su tratamiento [2]. Dichos procesos consisten en métodos dinámicos de tratamiento, cuya finalidad es remover contaminantes presentes en el agua hasta ciertas concentraciones y así hacerla apta para el consumo humano bajo la resolución 2115 del 2007 [3]. Según el Informe Técnico Especial 10 del Instituto Nacional de Salud (INS) presentado en el año 2018 [4], la mala calidad de agua en conjunto con otros factores ambientales ocasiona el 71.6 % de las muertes por enfermedades relacionadas con este problema, de manera consciente el consumo de agua no potable se presenta como un factor de riesgo para diarrea aguda (EDA) y como protector para varios tipos de sibilancias.

Uno de los lugares donde se presenta este tipo de problema es en el departamento de Nariño, en particular, en la zona rural del municipio de Pupiales. Según los resultados del Instituto Departamental de Salud de Nariño (IDSN) existen 1,419 acueductos de los cuales el 5.4 % suministran agua sin riesgo, mientras que el 94.6 % de los acueductos suministran agua no apta para consumo humano, ya que no cuentan con una tecnología adecuada para un correcto tratamiento del líquido [5]. Concretamente los procesos ideales de tratamiento son muy estrictos y deben cumplir varios parámetros ya establecidos como lo menciona la Organización Mundial de la Salud (OMS)[6] . En la actualidad existen diferentes tipos de conjuntos de técnicas adaptables y de gran calidad [7] que despliegan características tecnológicas de control, filtración de virus, asbesto, humos negros, partículas de lodos, plásticos, entre otros, siendo ideales para las zonas rurales donde se realizan prácticas pecuarias y agrícolas. Este tipo de prácticas, en conjunto con otros factores de contaminación, aportan a la mala calidad del recurso provocando casos de EDA, el cual es un evento que está relacionado de manera directa con el consumo de agua de mala calidad en la población nariñense [5].

Específicamente en el municipio de Pupiales y sus 29 veredas, el porcentaje de hogares sin acceso al agua potable, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) supera en 12.5 % al indicador departamental, siendo un factor desfavorable para la calidad de vida de sus habitantes [8]. Lo anterior se complementa con las deficiencias en la implementación de tecnologías aptas para el proceso de potabilización, tales como la limitada inversión, uso de métodos no renovados que no responden a los riesgos sanitarios, problemas de diseño y comparación de equipos que van acorde a la capacidad socio-económica de la zona en estudio: vereda Arena Blanca [9]. Asumiendo también que la selección, el uso y mantenimiento de algún tipo de tecnología en específico involucra considerar no solo el sistema físico en sí, sino también elementos de disposición para su manejo, personal requerido y facilidades de operación.

Considerando lo anterior, se encuentra que el Estado se ha reservado la tarea de vigilar, controlar y garantizar que el agua para consumo humano sea potable, cualquiera sea su procedencia, tal como lo prevé el artículo 370 de la Carta Política, sin embargo, se observa que este artículo y/o este deber no se cumple en su totalidad [3, 10]. Específicamente el acueducto de la vereda Arena Blanca, zona rural del municipio de Pupiales, se halla en deterioro y contaminación debido a la mala gestión tecnológica para la implementación de un sistema de potabilización acorde a las características de consumo. Este acueducto abastece a 48 viviendas, en las cuales habitan 165 personas, de estas, 25 son niños quienes se exponen a diferentes patologías que van desde infecciones cutáneas hasta enfermedades gastrointestinales [8].

En este sentido, se evidencia el abandono estatal en las que se encuentran las instalaciones del acueducto de la vereda, el cual se basa en un mecanismo artesanal construido a través de elementos básicos, mediante un tanque de almacenamiento y una dosis de cloro aplicada por gravedad. Identificando la desactualización de sus procesos y equipos de tratamiento como se evidencia en la Figura 1.



Figura 1: Estructura del acueducto de la vereda Arena Blanca.
Fuente: Propia

Según este contexto se plantearon los siguientes objetivos para el proyecto de investigación:

Objetivos

▪ **Objetivo General**

Plantear una solución tecnológica para un proceso de potabilización de agua que supla las necesidades de 48 familias en la vereda Arena Blanca en el municipio de Pupiales Nariño considerando un proceso de diagnóstico del sistema de tratamiento.

▪ **Objetivos Específicos**

- Definir la tecnología apta para el tratamiento de agua que permita cumplir los requisitos mínimos de calidad según Resolución 2115 de 2007 para la fuente de agua en el caso de estudio.
- Establecer las variables de proceso e instrumentación para calcular el parámetro de índice de calidad de agua (ICA).
- Sugerir un procedimiento para el diagnóstico del sistema de tratamiento de agua, a partir del parámetro de calidad de agua (ICA).

CAPÍTULO 1

ACCESO AL RECURSO HÍDRICO

En este capítulo se muestra la situación de prestación del servicio de agua potable con relación a un panorama mundial, nacional y regional. De igual forma se da a conocer las fases y técnicas habituales con los nuevos avances en tecnologías aplicadas a las mismas y se describe puntualmente la Resolución 2115 del 2007, que servirá como base para seleccionar la tecnología ideal aplicable a la zona de estudio.

1.1. Acceso al recurso de agua potable mundial, nacional y regional

1.1.1. Suministro de agua potable a nivel mundial

El suministro de agua potable junto con otros factores de higiene son componentes fundamentales para mejorar la calidad de vida y la productividad en los asentamientos humanos. Los problemas de acceso al agua, así como su mala calidad afectan la salud y el bienestar de las comunidades, tras esta situación la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido los objetivos de desarrollo del milenio (ODM), que tenían como meta cumplirse en el año 2015. Sin embargo, en 2010 la proporción de población con acceso a tales fuentes se ubicó en el 89% (comparado con el 76% en 1990), evidenciándose que el objetivo de reducir a la mitad la población sin acceso a agua potable, se logró cinco años antes de la fecha programada independiente del crecimiento poblacional [9].

Pese a que el panorama general se veía positivo, las estadísticas ocultaban aun problemas sin resolver, por ejemplo, en América Latina para este mismo año se presentaban brechas en el suministro de agua de calidad entre el sector urbano y rural. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), doce países aún no han alcanzado su objetivo implícito de cobertura rural con acceso a agua potable, entre los cuales se destaca Colombia con diferencias de más del 8% con relación a los objetivos del ODM[11]. En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) promulgó nuevos objetivos de desarrollo sostenible de naturaleza global y universalmente aplicables. Estos se basan en los cimientos establecidos por los ODM, los cuales responden a los asuntos pendientes y a los nuevos

desafíos de desarrollo sostenible. El objetivo 6 de los ODS 2030 incluye “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” [12]. Este se presenta como un gran desafío, puesto que el funcionamiento sostenido de los sistemas de agua aún presenta limitaciones importantes, especialmente en procesos de tratamiento y redes de suministro de agua de calidad.

1.1.2. Situación de acceso de agua potable en Colombia

En Colombia el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (APSB) ha registrado avances importantes relacionados a la agenda de los ODS al 2030 [13]. Según la Dirección Nacional de Planeación (DNP), en el país las coberturas urbanas en servicios de suministro de agua han aumentado por encima del 90 %, sin embargo, la brecha entre el sector urbano y rural permanece en una participación superior al 30 %. Fuentes de información como el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) reportan que para el año 2018 las brechas entre estos sectores varían entre el 35.6 % y el 36.5 %.

Hasta al año 2017 solo el 42 % de la zona rural presenta agua apta para el consumo humano como se observa en la Figura 2. Aun así, en las cifras del DNP no se logra evidenciar si la cobertura registrada da cuenta del consumo de agua de buena calidad. Por su parte, el INS para el año 2013, estimó que el 79 % de los 11.608 sistemas de suministro de agua rural no proporcionan agua con calidad aceptable [14].

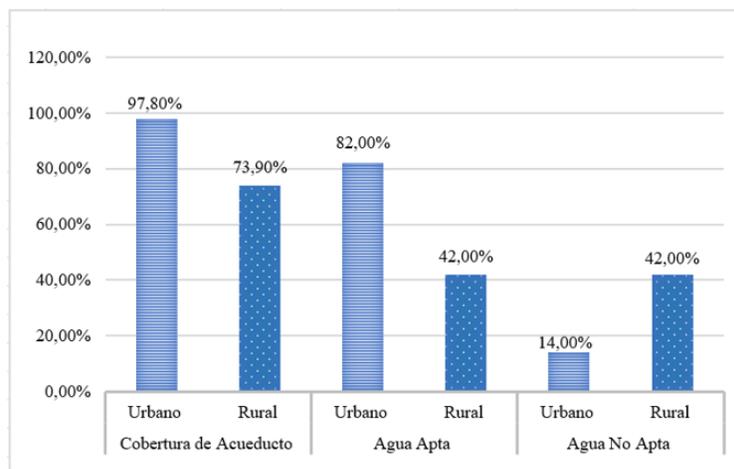


Figura 2: Cobertura y calidad de consumo de agua potable
Fuente: Propia

1.1.3. Situación de acceso de agua potable en el departamento de Nariño

Nariño es un departamento de contrastes. Mientras en los últimos años la cobertura de servicio de agua potable ha mejorado, no hay avances en cuanto a la calidad de agua que consumen sus habitantes. Esta contradictoria realidad la revela el Instituto Departamental

de Salud de Nariño (IDSN) en un informe donde registra que la cobertura total de acceso al servicio de acueducto fue del 78 %. En las zonas urbanas fue del 94.4 % mientras que en las áreas rurales fue del 61.4 % [5].

Para analizar el riesgo en la calidad de agua, se tiene en cuenta el índice de riesgo de calidad de agua para consumo humano (IRCA) el cual realiza una estimación de consumo de calidad de agua potable en las regiones tanto urbanas como rurales del país. En este se relaciona la calidad de agua y el nivel de riesgo al que se encuentra expuesta una determinada población por el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del líquido [14]. La estimación y reporte del IRCA se realiza de forma mensual y se calcula con base a lo establecido en el artículo 13 de la resolución 2115 de 2007[3]. El IRCA consolidado para el departamento de Nariño fue del 44 %, un puntaje que en esta escala se considera como riesgo alto como se observa en la Figura 3, cabe mencionar que al ser un IRCA consolidado se tiene en cuenta la vigilancia urbana y rural.

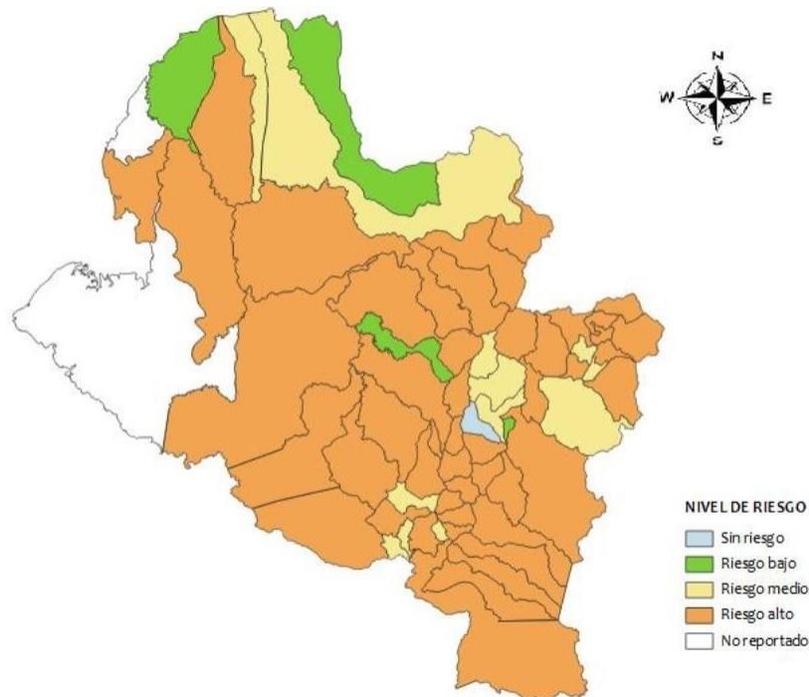


Figura 3: Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipio. Departamento Nariño
Fuente: [4]

Se destaca que Nariño es uno de los departamentos que realiza una mayor vigilancia de la calidad de agua en la zona rural, donde existen 1419 acueductos ¹ de los cuales 77 suministran agua sin riesgo, los 1342 restantes suministran agua no apta y en algunas regiones (veredas) este recurso se encuentra inviable sanitariamente [5]. Se considera que la principal causa de esta situación se debe a la falta de inversión en el sector de agua potable por parte de las autoridades municipales, ya que estos sistemas de acueducto no

¹Un acueducto es una estructura diseñada para el transporte del agua desde un yacimiento natural como un río o una quebrada hasta un lugar de consumo final.

cuentan con los recursos necesarios para ser sostenibles, así mismo con un aporte económico suficiente para una adecuada prestación del servicio público.

1.2. Técnicas y nuevas tecnologías de potabilización

En la anterior sección se describió la situación de suministro de agua potable a nivel mundial, nacional y regional, y se denota que en Colombia el desafío es grande puesto que el 81% de los sistemas de abastecimiento utilizan fuentes de agua superficial como arroyos y ríos como se observa en la Figura 4, las cuales están siendo afectadas por el proceso continuo de deforestación, erosión y por efectos de variabilidad climática. Por tanto, los *sistemas de tratamiento de agua* en ejecución y futuros tendrán la tarea de hacer frente a mayores cargas de sólidos suspendidos y contaminación bacteriológica, que requerirán *tecnología* de tratamiento o barreras adicionales para así proporcionar agua potable de buena calidad a sus usuarios [9].

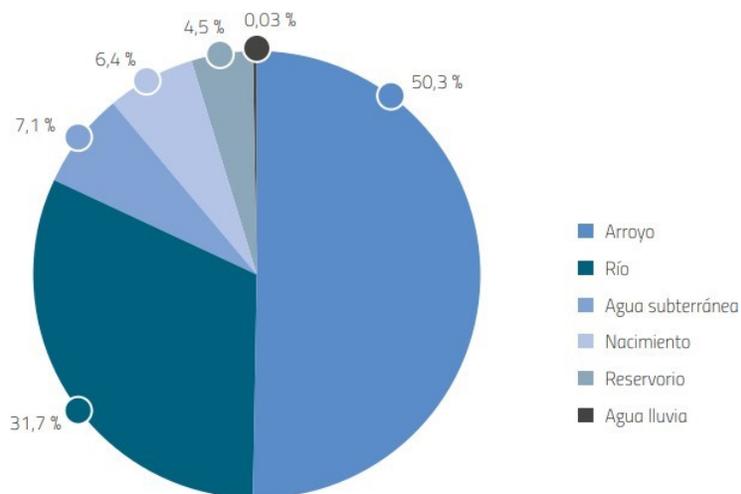


Figura 4: Fuentes de abastecimiento de agua potable
Fuente:[9]

1.2.1. Técnicas generales de potabilización

Existen técnicas para el tratamiento o potabilización del agua, las cuales cumplen funciones diferentes y complementarias que permiten purificar el líquido. Su implementación es aplicada según las características del agua que se debe tratar y están regidas por un orden explícito, pero no único de funcionamiento [15]. A continuación, se exponen las fases de potabilización y la función que efectúa en el agua.

1.2.1.1. Cloración

La cloración es una fase base del tratamiento de agua, la cual tiene como elemento principal el cloro. El cloro es un elemento químico con propiedades de desinfección. Se puede utilizar en forma de gas, líquido o de sal, más conocido como hipoclorito de sodio. Su bajo costo

y fácil aplicación permite que sea un insumo muy utilizado y su efecto residual protege al agua de contaminarse en las redes de distribución [16]. Además, esta fase se considera como un proceso efectivo para la remoción de patógenos y oxidación de compuestos como hierro y manganeso encontradas en el agua, por ello se aplica en los PTAP distribuyendo el cloro en forma de líquido a presión por los tanques donde se almacena el agua tratada.

1.2.1.2. Coagulación-floculación

Según el artículo “Automatización de plantas de tratamiento” [7], la coagulación es un proceso que se realiza con el fin de desaparecer la turbiedad orgánica o inorgánica en el agua, además de eliminar el color tanto aparente como real y las bacterias nocivas u otras sustancias que puedan generar olores o sabores en el agua. En la superficie suelen ser encontradas diferentes impurezas, las cuales son halladas específicamente en aguas superficiales, que son visibles como materia en suspensión y materia coloidal. Los coloides se conforman por arcilla, sílice, hierro, otros metales y sólidos orgánicos [17].

La coagulación es un proceso eficaz, el cual comienza desde el momento que se realiza la aplicación de coagulantes que deshabilitan las partículas coloidales para su remoción. Este proceso se da debido a una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la alcalinidad del agua, las partículas en la superficie y el agua. Un refuerzo de este proceso es la floculación, la cual, a diferencia de la coagulación es un fenómeno donde las partículas que se encuentran deshabilitadas chocan entre sí hasta lograr formarse una serie de coágulos mucho mayores, como se aprecia en la Figura 5. La floculación a diferencia de la coagulación es un proceso lento, debido a la parsimonia con que se estimula la mezcla de los floculos.



Figura 5: Metodología de trabajo de Coagulación-Floculación.

Fuente: Elaboración propia

1.2.1.3. Sedimentación

La sedimentación es un proceso físico en el cual las partículas en suspensión que están presentes en el agua son eliminadas, esta remoción es posible debido a la gravedad, como lo muestra la Figura 6. A diferencia de la coagulación y la floculación, este es un proceso de remoción de partículas mucho más pesadas que el agua, donde son eliminadas empleando un tiempo de retención adecuado en el cual los sedimentos caen al fondo del tanque. Lo anterior cumple la ley de Stokes [18], según la cual, las partículas más grandes o pesadas

que el agua tendrán una mayor capacidad de sedimentación, claramente esta etapa es considerada un proceso físico que ocurre por el efecto de la gravedad [15].

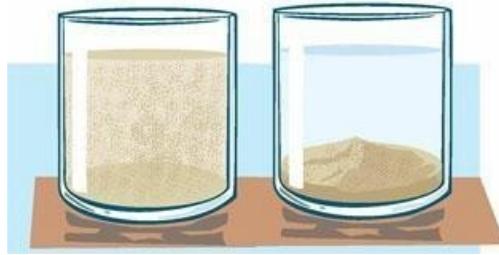


Figura 6: Imagen ilustrativa de la sedimentación.
Fuente: [19]

1.2.1.4. Filtración

La técnica de filtración consiste en la separación de partículas o bacterias filtradas, pasándolas a través de un medio poroso en tanques de gran tamaño, como se muestra en la Figura 7. Esta es la fase fundamental del tratamiento y la responsable de hacer cumplir los estándares de calidad en el agua potable [15]. La filtración aporta una purificación de más del 79 % de bacterias presentes en el agua, debido a que, remueve casi la totalidad de los sólidos sedimentables. Cuando de microorganismos se trata, la filtración es capaz de realizar un tamizado de partículas microbianas desde flóculos de $1 \mu\text{m}$ hasta coloides, bacterias y virus inferiores a $10^{-3} \mu\text{m}$. Para el tratamiento de partículas de menor tamaño se requieren procesos de filtración mas efectivos o etapas complementarias como membranas de nanofiltración o ultrafiltración determinadas según el índice de calidad de agua que permite analizar la tecnología factible a aplicar [15, 16].

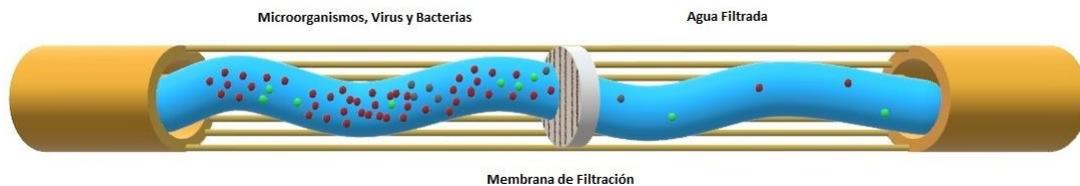


Figura 7: Forma general de filtración.
Fuente: Elaboración propia

1.2.1.5. Desinfección

Ríos, et al (2017) [20] realiza una clasificación de los microorganismos en tres grupos: bacterias, virus y parásitos. Estos son seres contaminantes imperceptibles por el ojo humano, por ende es necesario que la desinfección sea efectiva para extraer, desactivar y eliminar los microorganismos. Para esta fase existen tres tipos básicos de desinfección: los tratamientos físicos y/o químicos y la radiación UV, como se observa en la Figura 8

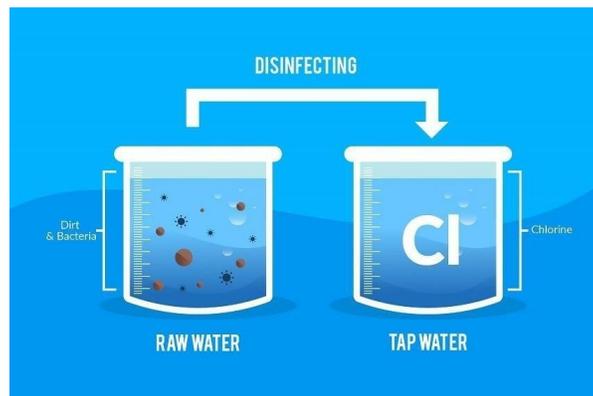


Figura 8: Desinfección del agua.
Fuente: [21]

1.2.2. Nuevas tecnologías de potabilización

Hoy en día los altos estándares de calidad de agua potable y la creciente contaminación del medio ambiente causada por el hombre, requieren ajustar aquellos métodos de base (cloración, coagulación, sedimentación, filtración, desinfección) e implementar nuevos avances tecnológicos que aumenten la eficiencia de purificación de agua y evitar las impurezas que deja la adición de reactivos químicos durante el tratamiento. A continuación, se definen dichas tecnologías novedosas que van a permitir concretar el tipo de tecnología aplicable a la zona de estudio.

1.2.2.1. Tecnologías de desinfección

Las tecnologías de acción simultánea tales como radiación ultravioleta y oxidantes son muy eficientes al momento de contribuir a la purificación de agua. Estos tipos de tratamientos se pueden realizar de manera eficaz utilizando plasma frío de descargas eléctricas, que son capaces de producir ozono y oxígeno atómico, que a su vez generan partículas con una actividad química muy alta logrando oxidar una amplia gama de impurezas, desde metales hasta compuestos orgánicos complejos.

■ Desinfección por ozonificación

El plasma frío según [22], consiste en una serie de micro descargas individuales de gas ozono distribuidas uniformemente en el espacio entre electrodos. En este mismo estudio implementan un dispositivo con alta eficiencia en la eliminación de fenol y tricloroetileno que son sustancias orgánicas presentes en el agua. El uso de gas ozono (O_3) debido a su fuente oxidante desarrolla una alta capacidad para descomponer sustancias orgánicas e impurezas en soluciones acuosas. A diferencia del método de cloración tradicional, el método de ozonificación presenta ventajas de instalación de ozonizadores directamente en el lugar de potabilización de agua. Además, es propicio ya que la cloración conduce a la formación de sustancias nocivas (mutágenos, carcinógenos) por lo que es preferible utilizar dicho método [23]. La tasa de transferencia y descomposición del ozono dependen de la eficiencia

del dispositivo de contacto, así como de la reacción del ozono con los componentes del tipo de agua. Es importante tener en cuenta que la velocidad de reacción del ozono depende de la temperatura y los tipos de componentes del agua [24].

Yongjie y Zhang (2017) [25] presentan que el proceso de ozonificación se compone de dos pasos principales durante el proceso de tratamiento de agua potable: el paso previo y el paso principal de ozonificación. Sin embargo, su explicación se centra en el paso principal, ellos lo consideran como la clave de desinfección y oxidación. El diagrama esquemático del proceso de ozonificación se muestra en la Figura 9, donde se utiliza un dispositivo de aireación de burbujas finas para inyectar el gas ozono en el agua. La eficiencia de la ozonificación y la formación mínima de bromato ² ha implementado una estructura de dosificación dividida en tres niveles de intensidad (alto: A, medio: B, bajo: C), donde se incorpora un dispositivo de destrucción de ozono de los gases de escape, con la tarea de convertir el ozono residual no disuelto en oxígeno, garantizando así que los gases de escape tratados estén por debajo de 0,1 partes por millón (ppm).

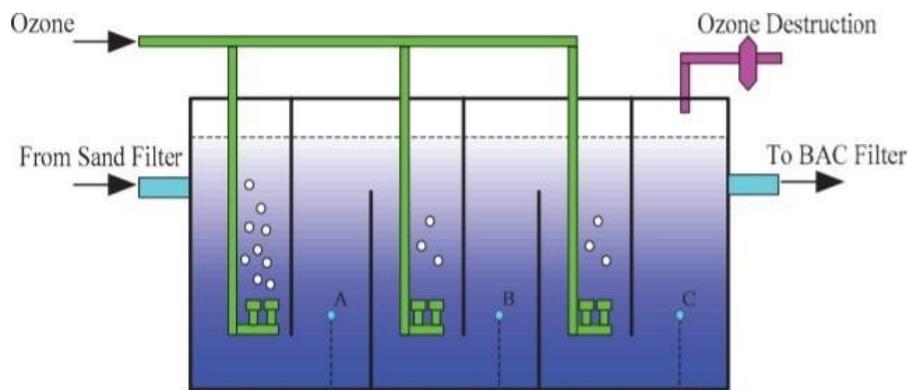


Figura 9: Proceso principal de ozonización
Fuente: [25]

■ Desinfección por radiación ultravioleta

Las fuentes de desinfección ultravioleta (UV) en la actualidad se utilizan para neutralizar organismos patógenos y eliminar contaminantes químicos presentes en el aire y el agua. Dichas fuentes están presentes en lámparas de vapor de arco de mercurio y fuentes de luz, como lámparas de excimer y diodos emisores de luz (LED, Light Emitting Diode) ultravioleta [26]. Su funcionamiento se basa en eliminar las bacterias y virus al dañar el ADN/ARN de las células de los microorganismos, esto sucede cuando la radiación ultravioleta penetra en la pared celular de un organismo y el material genético de la célula se altera, de tal manera que la célula ya no puede reproducirse [27]. Los rayos UV proporcionan un método ideal para inactivar patógenos dañinos que son resistentes al tratamiento con cloro, permitiendo así el uso de menos cantidad de este compuesto químico para que los subproductos cancerígenos clorados no estén presentes en el agua potable.

²El bromato es un subproducto de la desinfección generado por la ozonización durante la purificación del agua potable. Es indeseable, porque se sospecha que es un carcinógeno humano.

Lograr la inactivación de microorganismos con irradiación ultravioleta depende de la longitud de onda de la fuente de luz y de la cantidad de energía transmitida [23]. La inactivación de microorganismos se puede lograr a una longitud de onda UV que varía de 100 a 400 nm, aunque una longitud de onda de 254 nm es la más eficaz. Los residuos de ozono se destruyen en longitudes de onda que oscilan entre 250 y 260 nm, como se puede observar en la Figura 10. Las fuentes de luz UV más ampliamente aceptadas son las lámparas de presión de arco de mercurio de baja presión que emiten luz a 254 nm, así mismo las lámparas de media presión que emiten luz en muchas longitudes de onda sobre las regiones UV y visible del espectro.

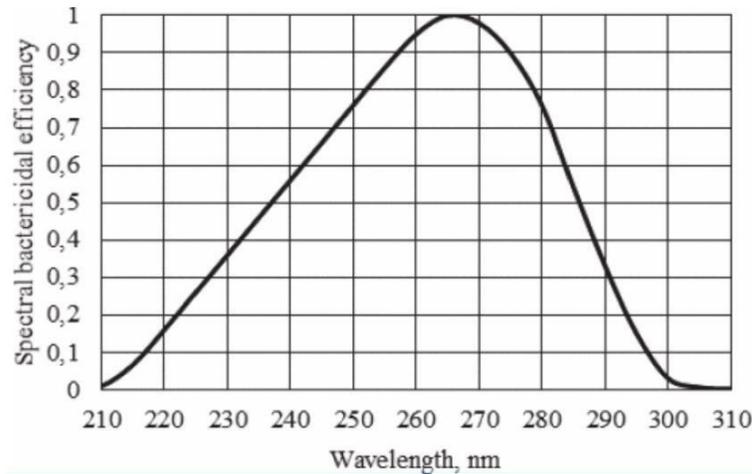


Figura 10: Curva de eficacia espectral relativa
Fuente: [22]

1.2.2.2. Tecnologías de filtración

El desarrollo de tecnologías de filtración juega un papel fundamental en el desarrollo de sistemas PTAP, en algunos casos los procesos de purificación de agua convencional (cloración, coagulación, sedimentación, filtración, desinfección) pueden eliminar la materia orgánica insoluble y coloidal de la fuente de agua de manera eficaz, pero su eficiencia disminuye al encontrarse con materias orgánicas disueltas. En este sentido a continuación se describen algunos tipos de filtración con mayor eficiencia en la disminución de materia orgánica.

- **Microfiltración - Ultrafiltración - Nanofiltración**

Estas escalas de filtración presentan una serie de parámetros similares que consisten en el uso de membranas semipermeables correspondientes a un diámetro de filtración y una presión de trabajo específica, estas medidas se encuentran establecidas para cada una de ellas, como se observa en la Figura 11. Algunas desventajas más frecuentes en estos tipos de tecnologías son el porcentaje de presión de trabajo usado para funcionar correctamente en el proceso de filtrado y el inconveniente de taponamiento de estas si no hay un debido proceso anterior a este.[28]

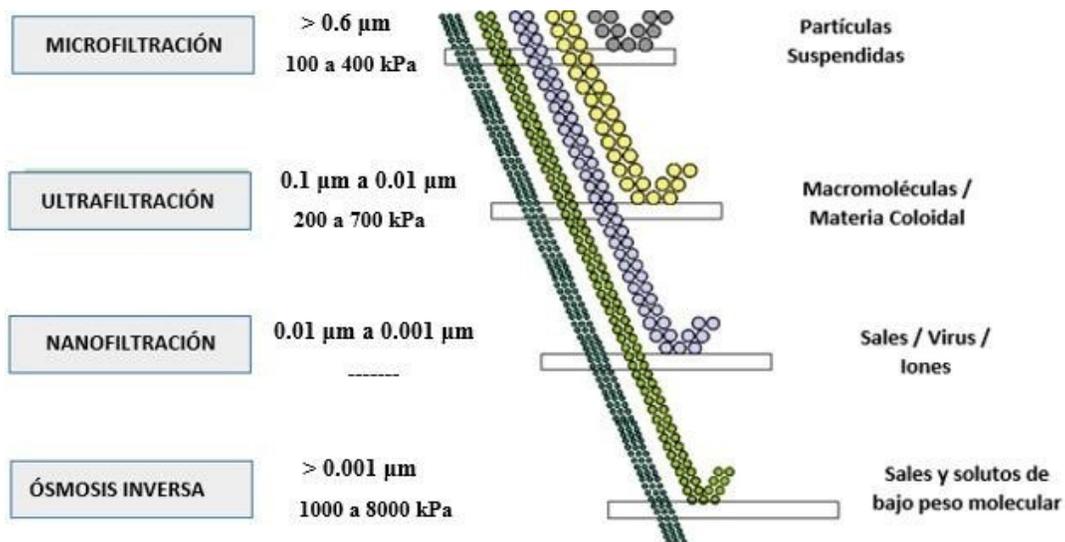


Figura 11: Comportamiento de Micro, Nano y Ultrafiltración ante contaminantes.
Fuente: Modificado de [29]

■ Filtración por ósmosis inversa

El fenómeno de ósmosis consiste en encontrar un punto de equilibrio entre dos sustancias. Cuando se ponen en contacto dos fluidos con diferentes concentraciones con sólidos disueltos se mezclan hasta que la concentración sea uniforme, de tal manera que el fluido que se moverá a través de la membrana será el de menor concentración [30]. Para la potabilización del agua, la filtración debe realizarse de manera contraria a la ósmosis convencional, es lo que se conoce como ósmosis inversa, que consiste en un proceso compuesto por membranas semipermeables. En la Figura 12, se observa el proceso de un tipo de agua a tratar (QF), el cual se divide a nivel de las membranas en dos partes con diferentes concentraciones; una parte logra atravesar la membrana denominada permeado (QP) y la otra parte se localiza en la membrana concentrado o salmuera (QB), que contiene los iones, las moléculas o las partículas retenidas.

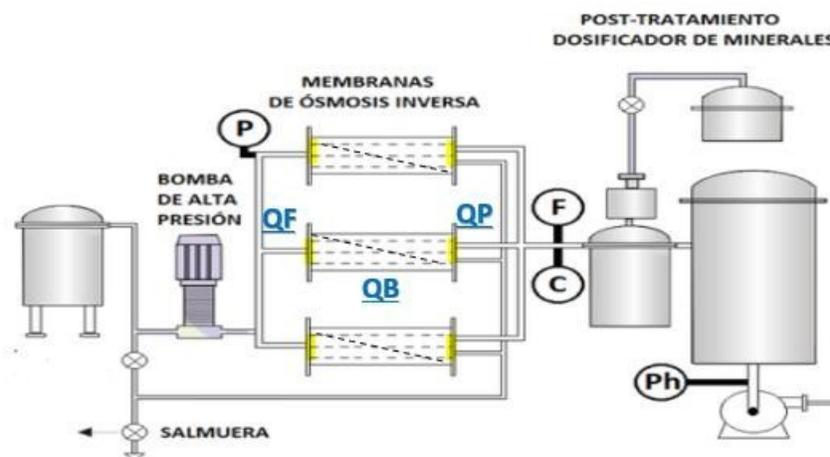


Figura 12: Proceso de ósmosis inversa
Fuente: Elaboración propia.

■ Tecnología de filtración directa doble

Este tipo de filtración es ideal para la aplicación en zonas donde las fuentes de agua presentan altos contenidos de materia orgánica y contaminación microbiológica, además de ubicarse dentro del grupo de tecnologías económicas para el tratamiento de agua [31]. El sistema se compone de dos fases principales: filtración directa ascendente y descendente.

Filtración directa ascendente: Está formada por pequeños espacios o vacíos que dejan las piedras que se usan como lecho, y en donde las partículas coaguladas son puestas en contacto una con otra. Esta interacción favorece a que las partículas se aglomeren, incrementen su tamaño y adquieran mayor densidad. De esta manera, la filtración consiste en una segunda zona del filtro ascendente de arena, en el cual el afluyente ingresa por la parte inferior y es recolectada en una canaleta circular ubicada en la parte superior del filtro.

Filtración directa descendente: Se asemeja a la filtración ascendente en los componentes de piedras que sirven como lecho. En esta fase el líquido ingresa por la parte superior del tanque de filtrado, el cual se compone de un mezclador metálico de aspas en forma trapezoidal para ayudar a completar la mezcla rápida del agua con un mineral como el alumbre. Finalmente, el agua filtrada desciende por gravedad a la parte inferior del tanque para ser recolectada en una canaleta circular y pasar al tanque de almacenamiento de agua potable.

Estas fases, técnicas y/o tecnologías asociadas al proceso de potabilización, requieren cumplir con las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, otorgada en la Resolución 2115 del 2007.

1.3. Resolución 2115 de 2007

El Ministerio de Protección Social y Desarrollo Territorial ha derogado la Resolución 2115 del 2007 [32], para establecer algunas pautas y requerimientos que debe contener el agua para consumo humano, se enfoca en los instrumentos básicos y sistemas de control de vigilancia, en este caso se exceptúa el agua envasada. Esta resolución es aplicada en territorio nacional a todas las empresas y/o personas naturales o jurídicas que brinden el servicio de agua. Por ende es regulada por los Ministerios de la Protección Social, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, además de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el Instituto Nacional de Salud, las Direcciones Departamentales Distritales y Municipales de Salud.

Estas instituciones crean una serie de diseños de modelos conceptuales, guías de criterio, evaluación de resultados, coordinación de laboratorios, inicio de investigaciones para imponer sanciones a prestadores de servicio que no cumplan las disposiciones del decreto, que son impartidas según el IRCA. Dichas sanciones consisten en lapsos de tiempo para su mejoramiento según el número de usuarios a los cuales se les presta el servicio, además de realizar supervisión de los sistemas de control, evaluación de índices de riesgo para su mejoramiento, lavado y desinfectado, también aplicados a drenaje, correspondiente a los

usuarios encargados de realizar la labor de lavado de tanques en azoteas y mantenimiento de redes internas domiciliarias.

Según el capítulo 2 de características físicas y químicas del agua para consumo humano, el artículo 32 trae consigo una serie de conceptos para evaluar las propiedades de apariencia y cuerpo del líquido, estas características están acotadas en color aparente, olor, sabor y turbiedad. En la Tabla 1 se muestra lo extraído de la resolución en donde los valores máximos aceptables y sus valores expresados están definidos para cada una de las variables mencionadas anteriormente.

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

Tabla 1: Características físicas
Fuente : [32]

Profundizando más en el capítulo, el artículo 5 de la resolución presenta los valores máximos aceptables en miligramos - litro que pueden tener cada uno de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos que están presentes en el agua; ya que algunos de estos tienen reconocido efecto adverso a la salud. En este sentido y como se expone en el párrafo del mismo artículo si los compuestos de trihalometanos totales o los de hidrocarburos policíclicos aromáticos sobrepasan los valores máximos estipulados se hace necesaria una revisión y evaluación de estos de acuerdo al mapa de riesgo³ con el fin de amortizarlos y suprimir el riesgo. La Tabla 2 extracto de este artículo, muestra la expresión química de la sustancia o elemento, y su cantidad ideal para no influir negativamente en la salud humana posteriormente a su consumo.

³El Mapa de Riesgo de Calidad de Agua es el instrumento que define las acciones de inspección, vigilancia y control de riesgo asociado a las condiciones de calidad de las cuencas abastecedoras de sistemas de suministro de agua para consumo humano, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de las fuentes superficiales o subterráneas de una determinada región, que pueden generar riesgos graves a la salud humana si no son tratadas independientemente de su origen.

Elementos y compuestos químicos	Expresadas como	Valor máximo Aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	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

Tabla 2: Características químicas con efecto adverso en la salud
Fuente : [32]

En este mismo sentido, en la Tabla 3 se exponen las características microbiológicas que debe poseer el agua para ser consumible sin el riesgo de presentar posibles problemas de salud en las poblaciones, encontrándose entre un rango de valores máximos aceptables teniendo en cuenta los límites de confianza del 95 % según la resolución.

Técnicas Utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/cm ³	0 UFC/cm ³
Enzima sustrato	< de 1 microorganismos en 100 cm ³	< de 1 microorganismos en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismos en 100 cm ³	0 microorganismos en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Tabla 3: Características microbiológicas con implicaciones sobre la salud Humana
Fuente : [32]

Con lo expuesto en el transcurso de la Sección 1.2 de tecnologías y/o técnicas de purificación se realiza un diagrama jerárquico descendente, que representa las tecnologías más usadas en una escala de eficiencia tomada de [28], el diagrama presentado en la Figura 13 cuenta con dos ramas de eficiencia, buena y óptima ya que en tecnologías de purificación no se podría considerar alguna como ineficiente.

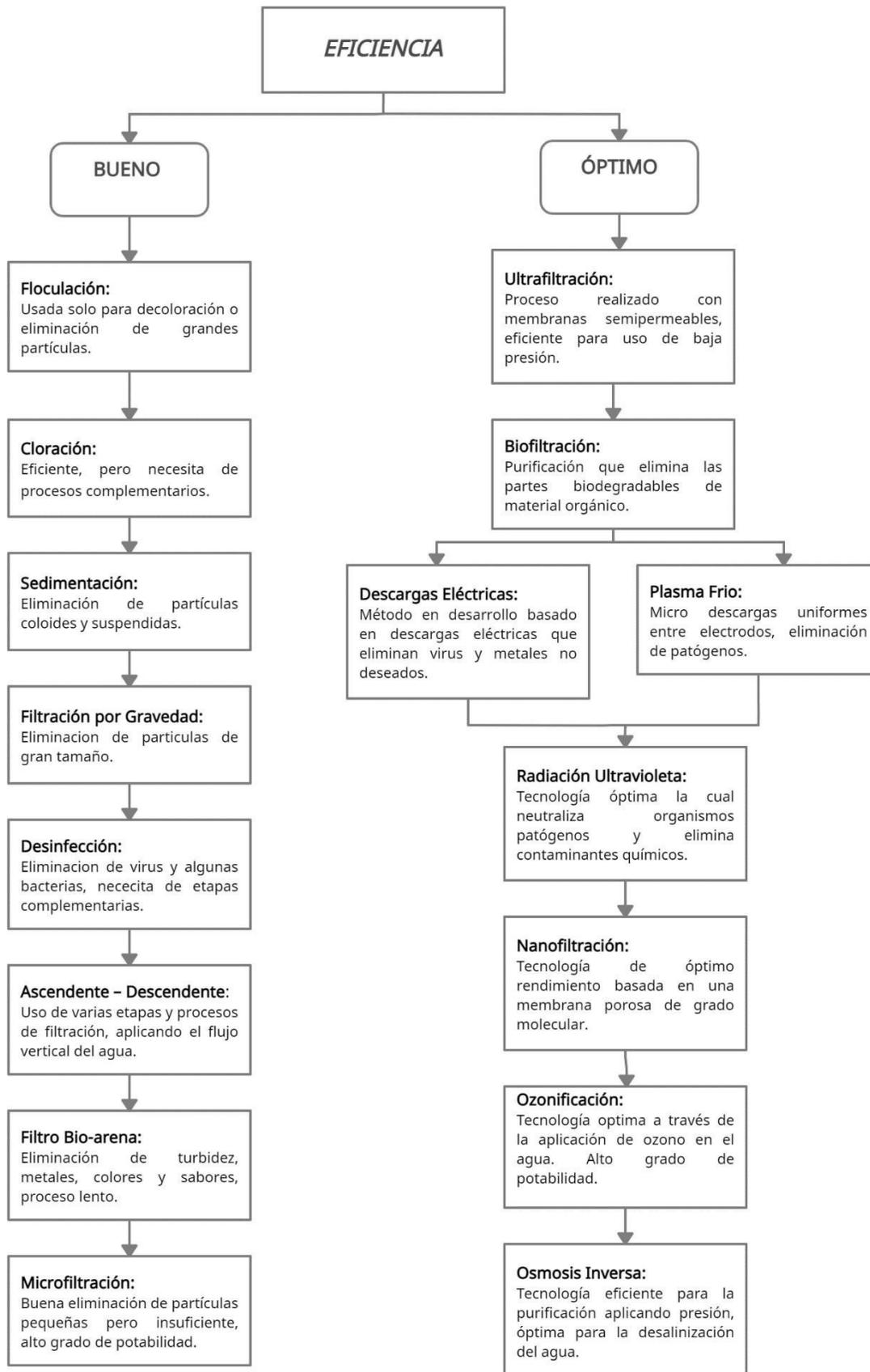


Figura 13: Diagrama descendente por tecnologías de mejor eficiencia

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN DE FASES DE POTABILIZACIÓN

En este capítulo se definen los requerimientos de la fuente hídrica teniendo como base los análisis fisicoquímicos y microbiológicos (*ver Anexo 1*) aplicados a la fuente de abastecimiento mostrando las condiciones actuales en las que se encuentra el agua. Finalmente se establece las fases y las tecnologías asociadas que se aplicarán en la zona objeto de estudio cumpliendo los requerimientos de la Resolución 2115 de 2007.

2.1. Definición de los requerimientos de la fuente de agua.

Se conoce que en los sistemas de abastecimiento de agua potable se llevan a cabo un conjunto de operaciones y procesos realizados sobre el agua cruda, donde se modifican sus características físicas, químicas y microbiológicas con el propósito de hacerla apta para consumo humano; a dicho proceso se le conoce como potabilización o tratamiento, el cual depende la calidad de agua en los sistemas de abastecimiento [33]. Dicha calidad es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua bajo la norma que regula la materia (Resolución 2115 de 2007), indicando así la confiabilidad de consumo, sin representar riesgos a la salud.

2.1.1. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos

En este apartado se explican los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la fuente de agua del caso de estudio, datos tomados bajo instrucción del laboratorio (Laboratorios del Valle) donde se realizaron los análisis de la muestra. Para realizar este proceso se ejecutaron los siguientes pasos:

- Adecuación de los tres recipientes (Esterilización) para la toma de muestras.
- Traslado de recipientes al lugar de muestreo en refrigeración constante (≤ 8 °C)

- Llenado de los recipientes en el lugar de tratamiento artesanal de la vereda.
- Traslado al laboratorio conservando temperatura indicada ≤ 8 °C.

Con el objetivo de establecer las condiciones de consumo de acuerdo con la Resolución (2115 de 2007) que se explicó en el capítulo anterior. En el Decreto 1575 de 2007 de la misma normativa [32] se define el IRCA como un indicador para calcular el riesgo de incidencia de enfermedades agrupadas al no cumplimiento de las normas sanitarias.

La función del IRCA es calificar de 0 (cumple los valores aceptables) – 100 (no cumple los valores aceptables) y su cálculo se realiza utilizando las siguiente formula:

IRCA por muestra:

$$IRCA = \frac{\text{puntaje de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\text{puntaje de riesgo asignadas a todas las características asignadas}} * 100 \quad (1)$$

Para el examen aplicado al lugar caso de estudio vereda Arena blanca se tiene:

$$IRCA = \frac{62,5}{72} * 100 = 86.8\% \quad (2)$$

De acuerdo con lo anterior y al revisar la metodología del cálculo del IRCA, los 12 parámetros evaluados en la Tabla 4 tienen una asociación causal entre las enfermedades de transmisión hídrica y la calidad del agua. En la ponderación de los parámetros evaluados actualmente en el IRCA (Tabla 4), 40 puntos se encuentran concentrados en parámetros de características microbiológicas por su alta incidencia y relación causal con las enfermedades de carácter hídrico. El grupo de color aparente y turbiedad suma 21 puntos y el resto de los parámetros (químicos) 25 puntos restantes.

Parámetro (unidades)	Resultado Muestra	Valor de Referencia	Puntaje de Riesgo
pH	7.61	6.5 - 9.0	1.5
Sulfatos (mg/L SO ₄)	2	≤ 250	1
Cloruros (mg/L Cl ⁻)	<2.5	≤ 250	1
Nitritos (mg/L NO ₂)	<0.1	≤ 0.1	3
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	22	≤ 2.0	1
Alcalinidad total (mg/L CaCO ₃)	26	≤ 200	1
Nitratos (mg/L NO ₃)	1.4	0.3 - 2.0	15
Turbiedad (NTU)	4.73	≤ 2.0	15
Hierro total (mg/L Fe)	0.7	≤ 0.3	1.5
Color aparente (UPC)	83	≤ 15	6
Coliformes totales (UFC/100 mL)	920	0	15
E. Coli (UFC/100 mL)	23	0	25
Índice de riesgo de calidad de agua			6.5 Riesgo Medio

Tabla 4: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos
Fuente: Laboratorios del Valle

Conforme a lo expuesto se observa un desequilibrio en la ponderación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua potable, en [34] se sugiere un ajuste, dado que existen algunos parámetros que no están evaluados ni contemplados en la resolución. De esta manera se propone una reasignación por grupo o características del agua potable, para así subsanar esta situación y representar de manera adecuada la calidad de agua y por ende la consecuencia de riesgo de consumo del líquido en la comunidad sea mínimo. La sugerencia se especifica en la Tabla 5.

Grupo de parámetros	Ponderación actual	Ponderación sugerida
Características microbiológicas	40	45
Características físicas	21	15
Características químicas	39	40

Tabla 5: Sugerencia de reajuste en la ponderación para el cálculo del IRCA
Fuente [34]

La reasignación de ponderación del IRCA, consideraría un mayor control de nivel de riesgo en la salud representando un ajuste en los procesos de tratamiento de agua potable. Para la vereda Arena Blanca según los resultados de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, se realiza la clasificación de riesgo de la calidad de agua donde corresponde a un nivel de riesgo alto, es decir, que el agua no es apta para consumo humano ya que los parámetros físico químicos de color, turbiedad, hierro y microbiológicos como coliformes totales y E. Coli, no se encuentran dentro de los rangos de aceptabilidad como se muestra en la Figura

14 según los valores de referencia estipulados en la misma norma.

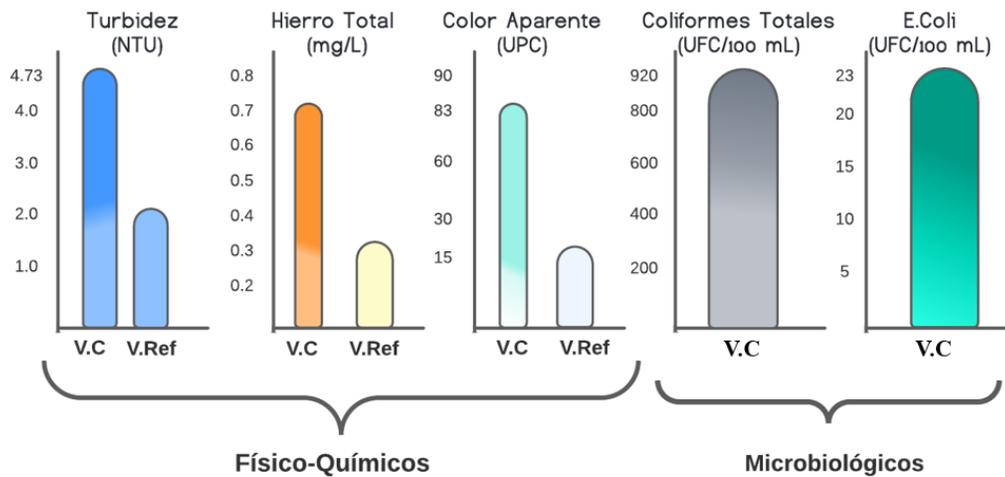


Figura 14: Parámetros que no cumplen los valores ideales.

Fuente: Elaboración propia. V.C: Valor calculado. V.Ref: Valor de referencia dado en la norma. Los parámetros microbiológicos se comparan con un valor de referencia igual a cero.

2.2. Selección de las fases de potabilización

Teniendo en cuenta los exámenes de laboratorio (físicos - químicos – microbiológicos) aplicados en la zona, la profesional en química de aguas Viviana Alban Hidalgo (PQ-2856) adscrita al personal encargado de Laboratorios del Valle de la ciudad de Pasto, realiza la siguiente sugerencia para mejorar la calidad de agua, donde propone 2 etapas base para el tratamiento de agua filtración y cloración. En este sentido, para corroborar aún más dicha sugerencia se exponen algunos proyectos comerciales como de investigación sobre estructuras de tratamiento de potabilización de agua, con base a las mismas se dará soporte para realizar una comparativa de acuerdo con la estructura que se propone y así determinar la tecnología asociada a cada fase.

2.2.1. Comparativa de estructuras de potabilización

Teniendo en cuenta las condiciones en que se encuentra el agua del lugar de estudio (Vereda Arena Blanca) y los parámetros que se requieren corregir, ubicando en un valor aceptable según los datos situados en la Tabla 4. Se realiza la comparación de fases entre los proyectos de potabilización de estructuras PTAP comerciales y de investigación como se puede observar en la Tabla 6. Según dichos proyectos, en [35] se proponen tres fases como decantación, pre-filtrado y filtrado encargadas de mejorar las características físicas de un tipo de agua proveniente de un pozo profundo; descartando las características químicas y microbiológicas de potabilización.

Tipo	Nombre	Descripción	Fases
1.Investigación	Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración	Proyecto mediante el cual se realiza un prototipo que consta de cuatro compartimentos en los cuales se adelantaron procesos de aireación y filtración usando materiales granulares como: Arena de distinta granulometría, piedra pómez, carbón activado y gravilla.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aireación ▪ Filtración
2.Investigación	Suministro de agua potable vereda Candelilla.	Proyecto que consiste en desarrollar un prototipo para la potabilización de agua en la región de Nariño, alimentada por un tipo de energía renovable.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pre-filtrado ▪ sedimentación ▪ Filtración
3.Investigación	Propuesta de abastecimiento de agua potable vereda Basconta - Tolima	Este proyecto tiene como propósito el saneamiento de agua de una fuente específica, además de la ampliación del sistema de tratamiento para suplir servicio a una mayor cantidad de usuarios.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pre-filtrado ▪ Coagulación ▪ Floculación ▪ Sedimentación ▪ Desinfección
4.Investigación	Modelamiento de los sistemas de potabilización de agua orientado al diseño de sistemas de control supervisorio.	En este proyecto de investigación se presenta el diseño y simulación de un sistema de control supervisorio para los subprocesos de tratamiento de agua potable.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coagulación ▪ Floculación ▪ Sedimentación ▪ Filtración ▪ Desinfección
5.Investigación	Sistema de instrumentación actuación y automatización de una planta de tratamiento de agua potable	El presente proyecto realiza un diseño de un sistema de instrumentación y actuación de una planta de tratamiento con unas fases ya establecidas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coagulación ▪ Floculación ▪ Sedimentación ▪ Filtración ▪ Desinfección

6.Comercial	SYNERTECH Aqua-Plus	Este tipo de proyecto se basa en plantas potabilizadoras compactas para el tratamiento de aguas directas de acuíferos superficiales como ríos, quebradas y lagunas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aireación ▪ Floculación ▪ Sedimentación ▪ Desinfección
7.Comercial	ACCIONA	Es un proyecto de la misma empresa (ACCIONA) donde se busca eliminar sustancias tóxicas específicamente, el cromo, plomo, zinc, bacterias y virus.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aireación ▪ Coagulación/ Floculación ▪ Sedimentación ▪ Filtración ▪ Desinfección ▪ Análisis
8.Comercial	DISIN	Proyectos comerciales en los cuales se desarrollan plantas compactas para la purificación de agua que posean caudales altos y medios.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aireación ▪ Floculación ▪ Sedimentación ▪ Filtración ▪ Desinfección
9.Comercial	EDUARDOÑO	Son proyectos de tecnologías de potabilización enfocados en la Resolución 2115 del 2007. Sus estructuras requieren espacios pequeños para su implementación lo cual las hace de simple operación y gran confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coagulación ▪ Filtración ▪ Desinfección

Tabla 6: Comparativa de proyectos de potabilización Comerciales y de Investigación.
Fuente: Elaboración Propia.

En [35, 36] se evidencian dos tipos de plantas compactas, sus etapas son similares (Aireación – Floculación – Sedimentación y Desinfección) diseñadas para caudales medios y altos donde se requieran corregir parámetros físico – químicos y microbiológicos, una de las fases importantes en estas estructuras es la aireación por contacto abierto, que tiene por objetivo modificar la concentración de sustancias volátiles, oxidar metales pesados como el hierro, el manganeso, oxidar la materia orgánica y los gases producto de esta. Con relación a lo anterior la empresa ACCIONA [37] desarrolla mega-proyectos que suplen del recurso hídrico, construyendo más de 25 plantas de tratamiento de agua potable alrededor del mundo con una capacidad total de 8.5 millones de m^3 /día, proyectando infraestructuras de potabilización de agua con las que ya proporciona un marco de acceso seguro a más de 41 millones de personas en todo el planeta. En sus sistemas de tratamiento incluyen fases adicionales a las establecidas (Pretratamiento - Aireación – Floculación – Coagulación - Sedimentación – Aireación – Filtración – Desinfección y Análisis) dado que al finalizar el proceso PTAP es imprescindible realizar diversos análisis del agua y validar parámetros de esta para asegurar que el proceso ha sido exitoso.

En [38, 39, 40] los cuales son proyectos de investigación, enfocados en dar solución a un problema en específico de los PTAP se parte de las fases que son base para los procesos de potabilización (Aireación – Floculación – Coagulación - Sedimentación – Aireación – Filtración y Desinfección) los cuales están regidos por un marco normativo como el Decreto 1575 del 2007 de calidad de agua para consumo y la Resolución 2115 del 2007. Para vigilar dichas normativas es necesario incluir instrumentación de medida a cada una de las fases mencionadas anteriormente para corroborar de forma eficaz su funcionamiento.

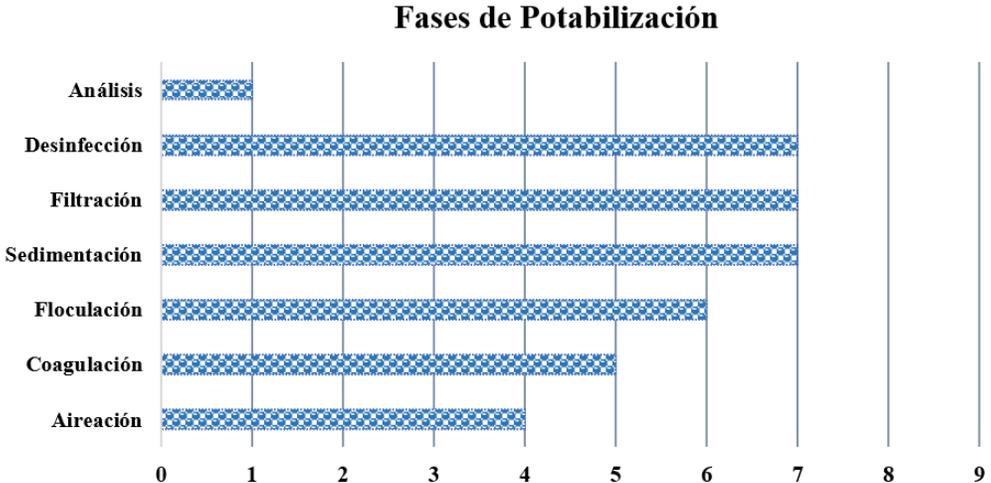


Figura 15: Implementación de fases de potabilización.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la literatura lo más frecuente es tener un proceso de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección como se observa en la Figura 15. Para este proyecto en

específico se propone cumplir estas fases haciendo uso de los siguientes procesos resaltados en la Figura 16.

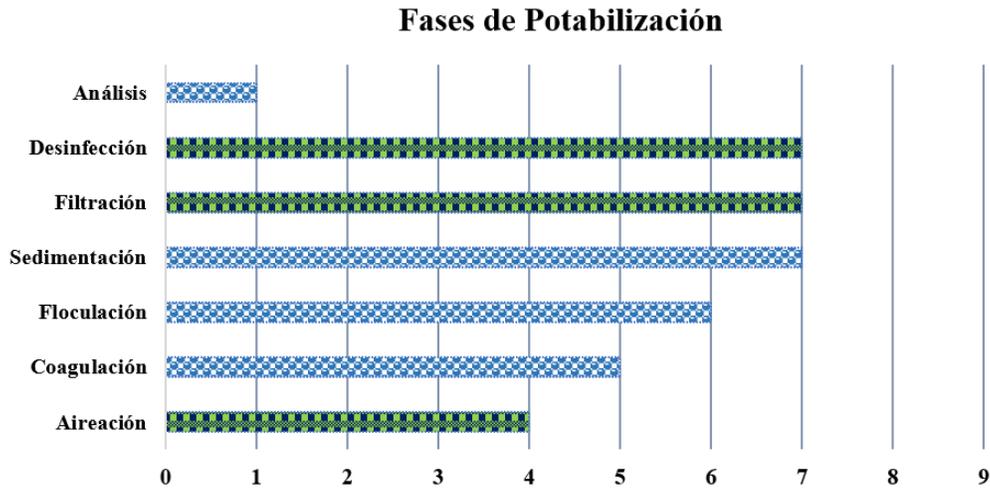


Figura 16: Selección de fases de potabilización.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Determinación de las tecnologías asociadas a las fases de potabilización

Para conocer la tecnología que se asocia a cada fase de tratamiento de agua, primero es necesario conocer la definición e incidencia de cada fase sobre los parámetros que se desean corregir. A continuación se describe cada fase teniendo en cuenta los valores ideales de cada parámetro para luego por medio de un diagrama de flujo se presente la fase y tecnología asociada.

- Aireación:

Teniendo en cuenta que es una de las etapas que están presentes en los procesos expuestos en la Tabla 6 y de acuerdo con los parámetros a corregir según los análisis físico – químicos, el hierro no se encuentra en los valores aceptables de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 estando en un valor de 0.7 mg/L y superando en 0.4 mg/L su valor ideal como se visualiza en la Tabla 4. Tal como se indica en el artículo “Remoción de hierro y manganeso por oxidación – Filtración para agua potable” [41], los principales problemas del hierro y del manganeso se deben a incrustaciones en las tuberías, incremento del color y la turbiedad del agua, contribuyendo a la formación de biopelículas en las redes de distribución incrementando los riesgos microbiológicos.

Ya que algunos tipos de agua superficiales como profundas contienen muy poco o nada de oxígeno disuelto, la aireación facilita el arrastre o barrido de sustancias volátiles (Fe) gracias a la mezcla turbulenta del agua con el aire y por tanto la oxidación de los metales y los gases. Petrusevski et al. (2009) [42] en sus estudios “*Groundwater Resources Treatment*”

expone que existen muchas formas de proveer la aireación, los métodos más simples son las cascadas, los sistemas de fuente, los conos aireadores y las bandejas de aireación.

- **Filtración:**

La filtración es una fase fundamental que está presente en todos los procesos de potabilización como se representa en la Figura 17, esto se corrobora aún más mediante el estudio presentado por Torres Parra et al. (2016) [31] donde por medio de un sistema de filtración compuesto por diferentes partículas granulares como piedra pómez, carbón activo y grava, inmersos en un filtro de flujo ascendente y descendente, lograron corregir parámetros físico - químicos como:

Turbiedad: durante la fase de monitoreo el agua de salida mejoro en un 98% pasando de un promedio de 55 NTU en el agua problema a un resultado de 1.3 NTU en el agua tratada como se observa en la Figura 17.

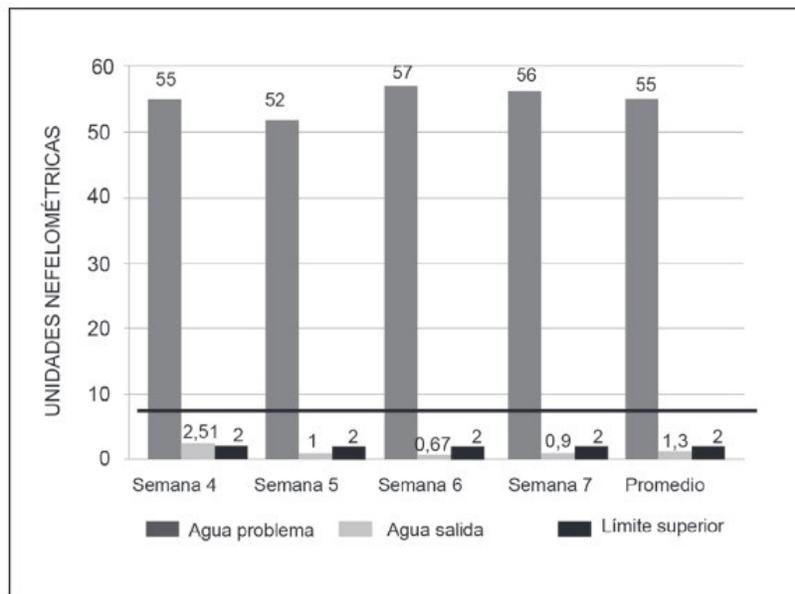


Figura 17: Resultados obtenidos para turbiedad
Fuente: [31]

Color aparente: en los resultados del mismo estudio el agua filtrada obtuvo un índice de remoción del 83% con respecto al color, mejorando el resultado respecto al agua problema de 22.5 UPC a un promedio de resultado de 3.7 UPC como se observa en la Figura 18 .

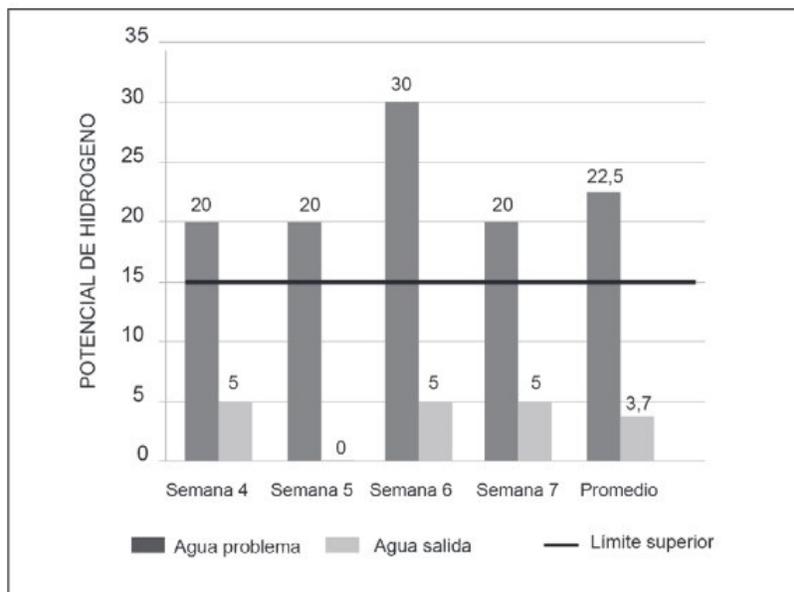


Figura 18: Resultados obtenidos para color aparente
Fuente: [31]

En el Capítulo 1 se describen las fases de coagulación, floculación y sedimentación las cuales poseen una función similar de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación, dado a esto y describiendo la filtración se concluye que esta fase es una etapa que suple con las necesidades básicas que estas realizan.

- Desinfección:

La desinfección es la etapa final en los procesos de potabilización, asociando su uso en las tecnologías comerciales y de investigación. La desinfección se vuelve efectiva al momento de disminuir los indicadores microbiológicos de contaminación en el agua. Según el estudio *“Pathogens and microbiological indicators of the quality of water for human consumption”* [20], generalmente han sido bacterias de flora saprófita intestinal, entre las que se encuentran bacteroides fragilis, bacterias mesófilas, coliformes totales y fecales, Escherichia Coli y estreptococos fecales, en su mayoría son bacterias entéricas provenientes del tracto gastrointestinal de animales y humanos, cuya capacidad de sobrevivir y reproducirse es restringida.

Teniendo en cuenta que el Escherichia Coli es el indicador establecido por la OMS para la verificación de la calidad microbiológica del agua destinada al consumo humano haciendo parte de los parámetros a corregir en nuestro caso de estudio, la desinfección de tipo Ultravioleta C (UVC) evita la propagación de MS2⁴. Según [43] dependiendo del aumento de dosis del UVC da como resultado una mayor desactivación del virus cayendo al 73.3% en promedio (0.3 mg/L) como se observa en la Figura 19.

⁴El bacteriófago comúnmente llamado MS2, es un virus de ARN mono catenario que infecta la bacteria Escherichia coli y otros miembros de esta familia de microorganismos

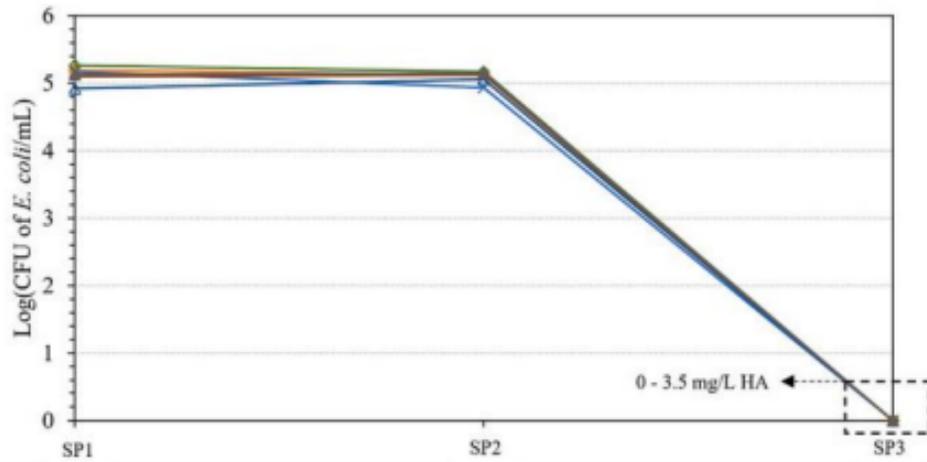


Figura 19: Inactivación por UVC de E. Coli y MS2.

Fuente: [43]

En este sentido, se propone el diagrama de flujo expuesto en la Figura 20, donde se realiza un proceso previo de captación en un tanque, el cual consta de una rejilla para impedir el paso de sólidos gruesos (palos, ramas, troncos, piedras, hojas etc.). Una vez realizada la captación del líquido se procede a aplicar las fases seleccionadas y explicadas anteriormente (Aireación, Filtración y Desinfección), que corregirán los parámetros físico – químicos y microbiológicos que no cumplen la Resolución 2115 del 2007. Ejecutadas las anteriores etapas se obtendrá el agua potable que pasará a una fase de almacenamiento para la distribución del líquido; según lo establecido en la misma resolución donde se dicta dosificar en la red de distribución cloro residual libre en una medida entre 0.3 y 2.0 mg/L, con el fin de conservar la inocuidad del agua tratada hacia los hogares de consumo.

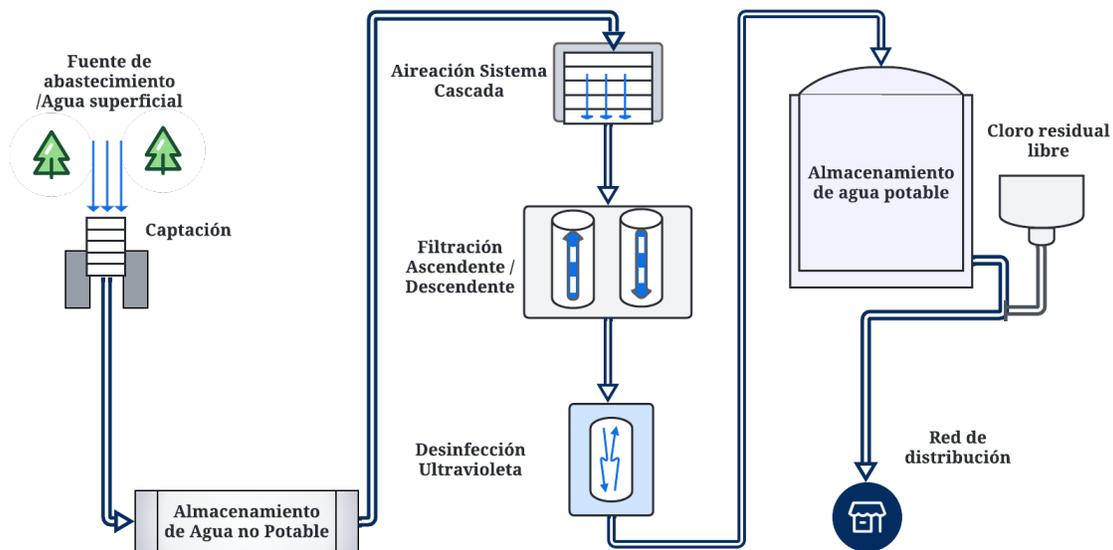


Figura 20: Diagrama de flujo de fases de potabilización de agua

Fuente: Elaboración propia.

En este capítulo se establece a partir del cálculo de la demanda de agua en la región y las características de la zona objeto de estudio los rangos de trabajo del proceso de potabilización, igualmente las medidas que ayudan a elegir los instrumentos a utilizar en cada etapa.

3.1. Determinación de la demanda de agua potable y equipos asociados al proceso de potabilización

3.1.1. Demanda de agua potable en la región

En Colombia el término “consumo básico de agua”, está definido en la compilatoria de normas de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) del 2010. El consumo básico se establece con el fin de satisfacer las necesidades esenciales de consumo de agua de las familias, por tanto, la Dirección Nacional de Planeación (DNP) ha realizado estudios desde el año 1991 para determinar el consumo básico en nuestro país, utilizando datos de consumo y determinación de los usos básicos por vivienda como: lavado de ropas, sanitario, duchas, lavado de platos, aseo de vivienda y consumo propio. Según Resolución 04 de 1994, la CRA estableció como nivel de consumo básico el equivalente a veinte metros cúbicos (20 m^3), mensuales por suscriptor [3]. Chacón et al. (2011)[44], presentan tres alternativas para la determinación del consumo básico en una población:

1. Utilizando encuestas sobre hábitos de consumo y número de personas por familia
2. Consumo histórico promedio
3. Elasticidad precio demanda

En el mismo artículo se presenta una clasificación de consumo de agua potable en m^3 considerando la alternativa dos que consiste en observar el comportamiento de consumo de acuerdo con la ubicación climatológica (cálidos, templados y fríos) y el estrato de algunos municipios. Como se puede observar en la Figura 21, para el total de la muestra (m^3) en

los municipios cálidos y templados el consumo disminuye en la medida en que el estrato es mas bajo. En las ciudades frías el comportamiento es diferente donde se presenta que el estrato 4 tiene casi el mismo nivel de consumo del estrato 1, lo anterior puede deberse a que los estratos superiores (4, 5 y 6) racionalizan su consumo por no ser beneficiados con algún tipo de subsidio. En conclusión, los consumos básicos condicionados según el estrato estarían entre 19 y 20 m^3 en los municipios cálidos, 17 y 18 m^3 en municipios templados y 12 a 13 m^3 en los municipios fríos.

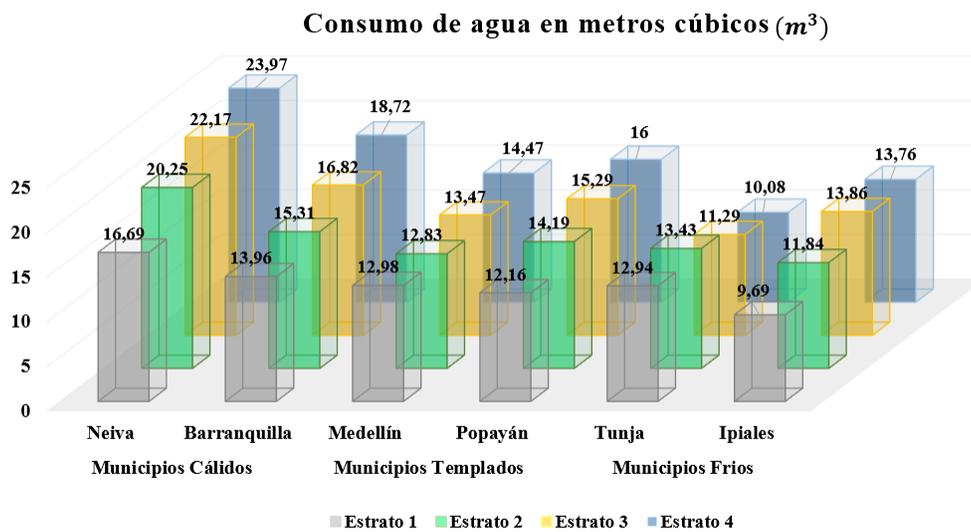


Figura 21: Consumo de agua potable según el clima y estrato

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, en la presente propuesta de tratamiento de agua potable para la zona objeto de estudio se realiza teniendo en cuenta la demanda que corresponde a la población. Según el “Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural” [45], el municipio de Pupiales cuenta con una población rural de 11.299, de los cuales 165 habitantes distribuidos en 48 familias conforman la vereda Arena Blanca como se observa en la Tabla 7. Dicha población según el “Censo Nacional de Población y Vivienda 2018”, el 80,57 % son estrato 1 y el 19,43 % son estrato 2.

Población Vereda Arena Blanca	
Número de Familias	Número de Habitantes
2 familias	1 habitante
8 familias	2 habitantes
16 familias	3 habitantes
14 familias	4 habitantes
5 familias	5 habitantes
3 familias	6 habitantes
Total: 48 Familias	Total: 165 Habitantes

Tabla 7: Número de familias y habitantes en la vereda Arena Blanca.

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los datos mencionados en la Tabla 7 se establece que la vereda Arena Blanca se encuentra en condiciones de estrato 1 y de acuerdo con la Figura 22, la demanda bruta por familia mensualmente se encuentra alrededor de los 9 m^3 de agua; la demanda corresponde a 48 suscriptores (165 habitantes). La Ecuación (3) permite calcular la demanda de agua donde Q_{md} corresponde a el caudal medio diario y la demanda bruta esta dada en m^3 al mes, teniendo en cuenta las ecuaciones establecidas por el “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico” (RAS)[46].

$$Q_{md} = \frac{\text{Número de familias} * \text{Demanda bruta}}{30 \text{ días}} \quad (3)$$

Q_{md} = Caudal medio diario.

Demanda bruta = Dotación bruta, dada en metros cúbicos/suscriptor mes.

El resultado obtenido es igual a $14.4 \text{ m}^3/\text{día}$, lo que representa el caudal medio diario promedio en la población, haciendo uso de la misma ecuación se puede calcular el caudal medio por hora como se observa en la Ecuación (4) con un resultado de $18.72 \text{ m}^3/\text{hora}$ y por minuto realizado por medio de la ecuación 5 con un resultado de $7.2 \text{ m}^3/\text{minuto}$. (Ver Anexo 2 Sección 1.)

$$Q_{md} = \frac{\text{Número de familias} * \text{Demanda bruta}}{24 \text{ horas}} \quad (4)$$

$$Q_{md} = \frac{\text{Número de familias} * \text{Demanda bruta}}{60 \text{ minutos}} \quad (5)$$

Obtenido el Q_{md} se calcula el caudal máximo diario (Q_{MD}) utilizando la Ecuación (6), que corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas establecido en un periodo de un año.

$$Q_{MD} = Q_{md} * k_1 \quad (6)$$

Donde:

QMD = Caudal máximo diario.

k₁ = Coeficiente de consumo máximo diario.

El valor de k_1 , se define como 1.30, el cual garantiza que el sistema tenga un 30 % más de consumo de agua. En relación con los cálculos realizados anteriormente, se estableció un Qmd que garantice a las 48 familias de la vereda Arena Blanca con un valor correspondiente a $14.4 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua potable, así mismo, el QMD obtenido es de $18,72 \text{ m}^3/\text{día}$ que corresponde a la demanda máxima de agua que se debe abastecer (*ver Anexo 2 - Sección 1*).

3.1.2. Dimensionamiento de los equipos asociados a cada etapa

Ya establecida la demanda de agua para la zona, se subdivide el diseño presentado en la Figura 20 en tres subsecciones con el fin de determinar el dimensionamiento de los equipos. Para la subsección almacenamiento y distribución presentado en la Figura 22, en la Ecuación (7) (*ver Anexo 2 - Sección 2*) por medio de un balance de masa se calcula el flujo de entrada al tanque de almacenamiento de agua potable establecido en una capacidad de 5000 litros considerando así el flujo de salida a garantizar de 0.3 L/s obtenido a partir del QMD. El flujo de entrada según los cálculos realizados corresponde a 1 L/s, donde la descarga del tanque en su máximo nivel de agua potable representa un tiempo estimado de abastecimiento a la población de 4.62 horas.

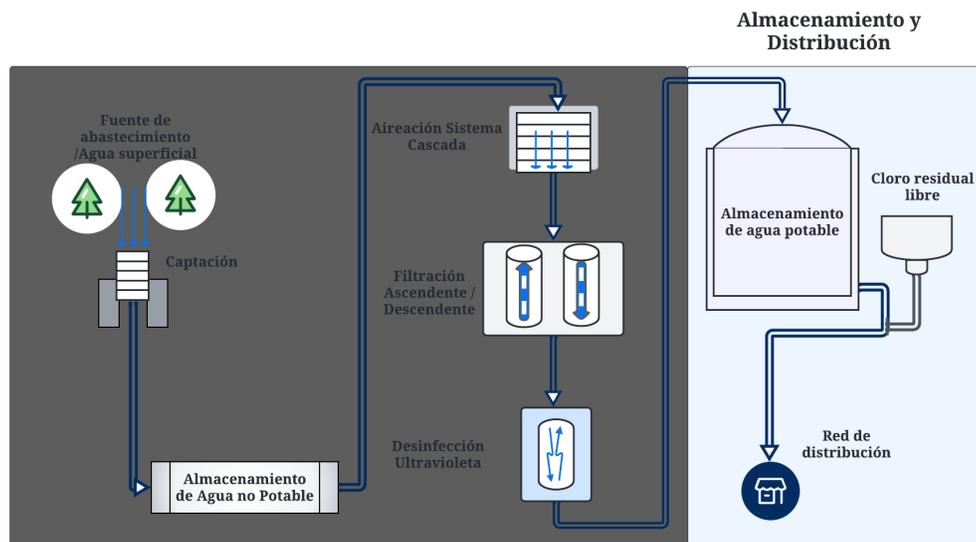


Figura 22: Subsección de almacenamiento y distribución
Fuente: Elaboración propia.

$$Entrada - Salida = Acumulación \quad (7)$$

Donde :

Entrada = Flujo de entrada de agua potable en el tanque. (**Qi**)

Salida = Flujo de salida de agua potable del tanque. (**Qs**)

Acumulación = Flujo de agua dentro del tanque. (**Qa**)

Teniendo en cuenta el flujo de salida en el tanque de agua potable se calcula el porcentaje de dosificación de cloro residual requerido según la Resolución 2115 del 2007, donde se establece una medida entre 0.3 y 2 mg/L dependiendo del caudal de salida en la red de distribución. En este caso se utiliza 1.5 mg/L de cloro con una concentración de 4 %, disuelta en 250 L de agua potable proporcionando una salida estipulada en el rango permitido según la resolución, conservando así la inocuidad del agua tratada en la red de distribución hacia los hogares. Los cálculos anteriores son efectuados a través de un balance de masa aplicando la ecuación 8, (*ver Anexo 2 - Sección 3.*)

Cálculo dosificación de cloro:

$$L_{in} * X_{in} + L_c * Q_{out} = L_T * X_T \quad (8)$$

Donde:

L_{in} = Caudal de entrada proveniente del tanque de agua potable.

X_{in} = Concentración de cloro a la salida del tanque de agua potable.

L_c = Caudal de entrada desde el tanque de mezcla.

Q_{out} = Concentración de cloro en la salida del tanque de mezcla.

L_T = Caudal de salida total red de distribución.

X_T = Concentración de cloro en la red de distribución.

Para realizar el cálculo del diámetro de tubería asociado a la subsección de almacenamiento y distribución, se utiliza la ecuación de continuidad de la siguiente manera:

$$Q = A * V \quad (9)$$

A partir de la Ecuación (9) se obtienen la Ecuación (10) y (11) correspondiente al diámetro y a la velocidad. (*Ver Anexo 2 - Sección 4*).

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} \quad (10)$$

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (11)$$

Donde:

- Q** = Caudal (m^3/s)
- A** = Área de una tubería que trabaja a presión (in)
- V** = Velocidad del flujo (m/s)
- D** = Diámetro (m)

Una vez reemplazados los datos conocidos en la Ecuación (10) y (11) se obtiene un diámetro de tubería a la salida del tanque de almacenamiento equivalente a 0.79 in (pulgadas), valor que se aproxima a 1 in en un valor comercial según la tabla de referencia del mercado, teniendo en cuenta la velocidad de 0.954 m/s. Del mismo modo se calcula el diámetro de entrada al tanque igual a 1.5 in con una velocidad de 0.986 m/s aproximando a 1 m/s correspondiente a la velocidad ideal para determinar diámetros comerciales.

A partir de los cálculos anteriormente realizados se determina la presión de salida teniendo en cuenta la altura del sistema de potabilización con respecto a las viviendas. En la vereda Arena Blanca las viviendas están distribuidas en zonas bajas, medias y altas como se observa en la Figura 23, en relación a esto se determina una presión a la salida del sistema de 17 psi valor que solventa la presión de salida para una llave de uso doméstico que se encuentra en un rango entre 13 a 15 psi.

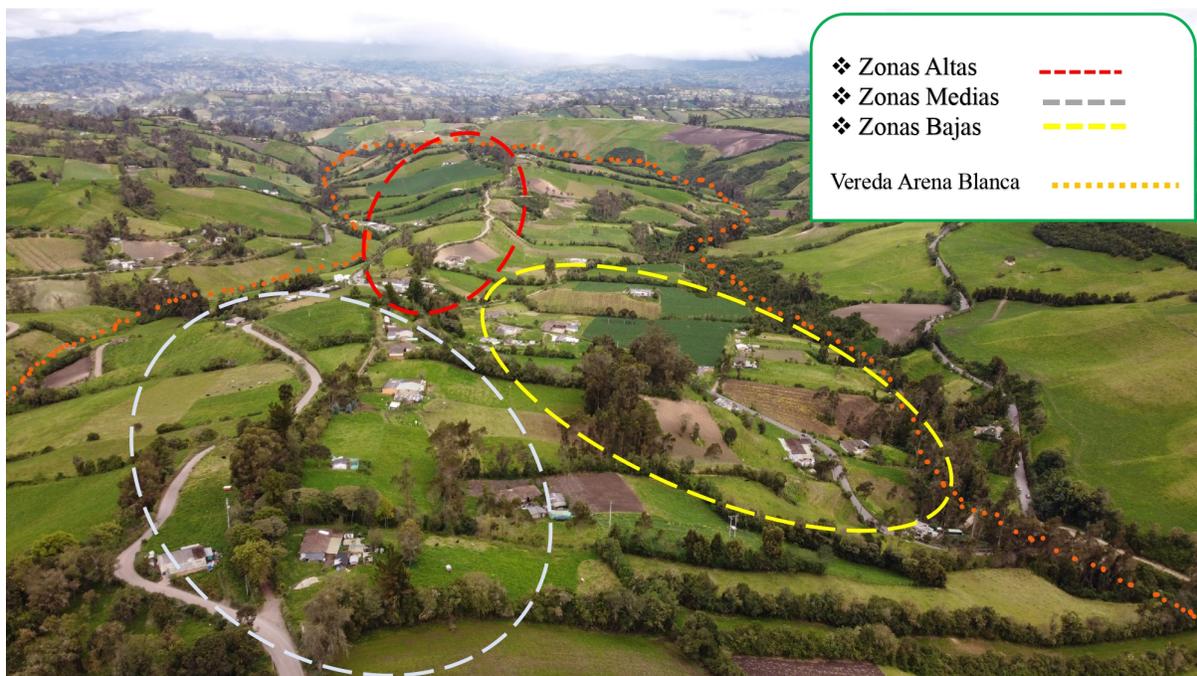


Figura 23: Especificación de la zonas de la vereda Arena Blanca
Fuente: Elaboración propia.

Para la subsección etapas de purificación expuesta en la Figura 24 se parte de los cálculos expuestos en la subsección de almacenamiento y distribución, teniendo en cuenta un valor similar del diámetro de tubería para los cálculos siguientes (1.0 - 1.5 in). Para el flujo de salida y entrada de la etapa de *desinfección* por radiación ultravioleta (UVC) se tiene en cuenta el flujo de entrada al tanque de almacenamiento de agua potable equivalente a 1 L/s, por tanto se determina un flujo de entrada similar para la etapa de desinfección. Para la inactivación de microorganismos se toma como referencia una longitud de onda entre 200 - 300 nm escala que se maneja a la hora de elegir un equipo comercial.

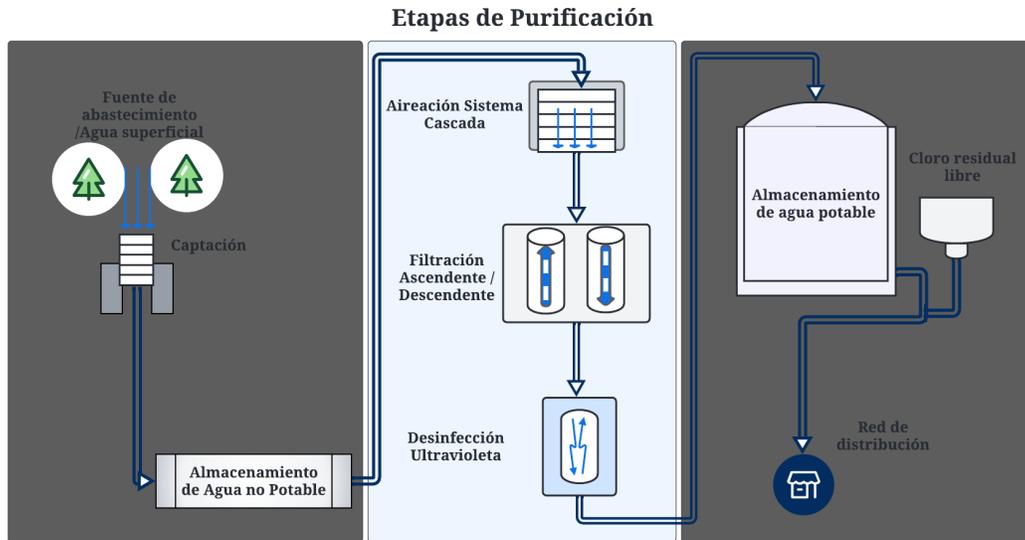


Figura 24: Subsección de etapas de purificación
Fuente: Elaboración propia.

La forma del equipo tipo pistón que se toma como referencia presentada en la Figura 25 tiene una medida de longitud de 92.5 cm y un diámetro de 10 cm, a partir de esto se determina por medio de la Ecuación (12) el área transversal de una cámara de desinfección UV tipo pistón y la velocidad aproximada con que pasa el flujo a través del pistón con resultados de 0.0078 m^2 y 0.128 m/s respectivamente (*Ver Anexo 2 - Sección 5*).

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (12)$$

Donde:

S = Área transversal

D = Diámetro del pistón

Con los datos anteriores y en relación al experimento que se presenta en “Análisis computacional hidráulico en un foto-reactor de flujo pistón” [47] donde se realizan pruebas de

condiciones de estabilidad y corroboración del régimen de flujo de agua en un pistón de desinfección. Se establece que al tener una orientación horizontal el agua fluye de forma laminar sin formar remolinos, observando que con una velocidad similar a la calculada en el área de alta tasa de fluencia (radiación UV) lleva a la posibilidad de una degradación mas alta y uniforme de los microorganismos concluyendo así que la medida de iluminación de la bombilla para dicha área y velocidad corresponde a 110 W.

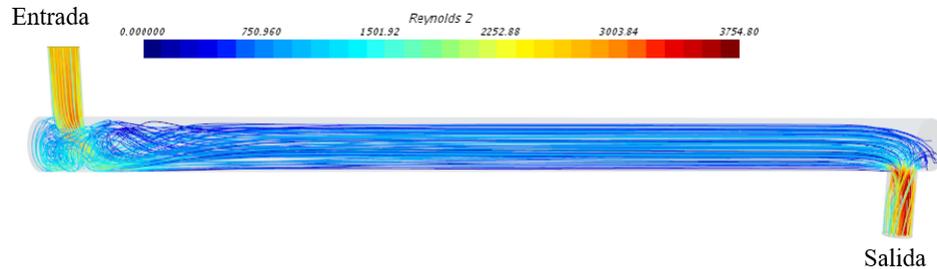


Figura 25: Régimen de flujo
Fuente: [47].

La determinación del flujo de entrada y salida en la etapa de **filtración** dependerá de las etapas siguientes (desinfección) y anteriores (aireación) a la misma, a raíz de esto se conoce que a la entrada de la fase de desinfección se debe garantizar un flujo de 1 L/s y a la entrada de la etapa de filtración se debe garantizar un flujo igual o mayor al mencionado. Conociendo lo anterior y teniendo en cuenta la perdida generada en la etapa de aireación, se realiza primero los cálculos que involucran esta fase.

Por consiguiente, en la etapa de **aireación** se diseña unas bandejas de choque múltiple que contienen ranuras en su fondo permitiendo el paso del agua por medio de caída libre, generando así un tiempo de exposición del líquido que entra en contacto con el aire reduciendo la concentración de sustancias volátiles (metales). Para el diseño de las bandejas se toma como referencia el QMD calculado anteriormente, así mismo siguiendo los parámetros establecidos en el RAS [48] que consisten en:

- Área de 0.5 a 2 m² por cada 100 m³ de capacidad
- De 3 a 5 bandejas
- El espaciamiento entre bandejas de 0.3 m a 0.75 m
- El lecho de choque debe tener entre 0.15 m a 0.30 m

Conociendo la carga superficial establecida en el RAS donde se dicta que debe ser menor a 100 m³/m²día, se determina el área total de las bandejas por medio de la Ecuación (13) que consiste en la relación entre el QMD y la carga hidráulica dando como resultado 0.25 m² valor que sirve para establecer el número de bandejas a utilizar. En este caso se utiliza tres bandejas de acuerdo con la escala establecida en la misma norma.

$$A_t = \frac{QMD}{C_h} \quad (13)$$

Donde:

A_t = Área total de las bandejas (m^2).
 QMD = Caudal máximo diario ($m^3/día$).
 C_h = Carga hidráulica ($m^3/m^2día$).

Por medio de la relación de A_t entre el número de bandejas establecido se conoce el área de cada una dando como resultado $0.083 m^2$, con una longitud interna de cada lado de 30 cm (Ver Anexo 2 - Sección 6). Para establecer la cantidad de orificios por bandeja, se tiene en cuenta que el diámetro debe estar comprendido entre 5 - 12 mm y la separación entre orificios debe ser de 2.5 cm, de acuerdo a esto se define como 6 mm así que la cantidad de orificios por fila serán 6 para un total de 36 orificios por bandeja con un borde libre de 2.2 cm por cada lado. A continuación en la Figura 26 se presenta el esquema del diseño del aireador con sus respectivas medidas.

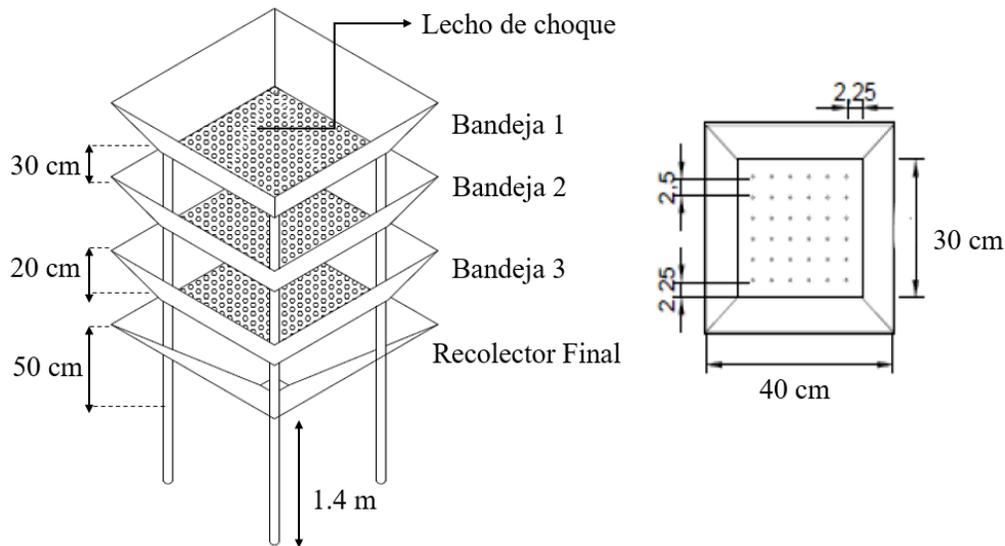


Figura 26: Esquema de torre de aireación
Fuente: Elaboración propia.

Una vez el agua pase por la etapa de aireación y sea depositada en el tanque de almacenamiento establecido con una capacidad de 2000 L, se establece los caballos de fuerza (hp) de la moto-bomba usando las curvas de operación presentadas en la Figura 27, dichas curvas se presentan para motores centrífugos - monofásicos con tensiones que van de 120 a 230 V y potencias que se encuentren por debajo de 10 kW . En este sentido, en el eje x se presenta los Litros/minuto y segundo mientras que en el eje y se presenta la altura de bombeo en metros; así que con base al 1 L/s requerido en la fase de filtración e interpolando con el eje y se establece que la potencia de la moto-bomba requerida es de 1.5 hp con un a capacidad de bombeo hasta una altura de 20 m.

CURVAS DE OPERACIÓN

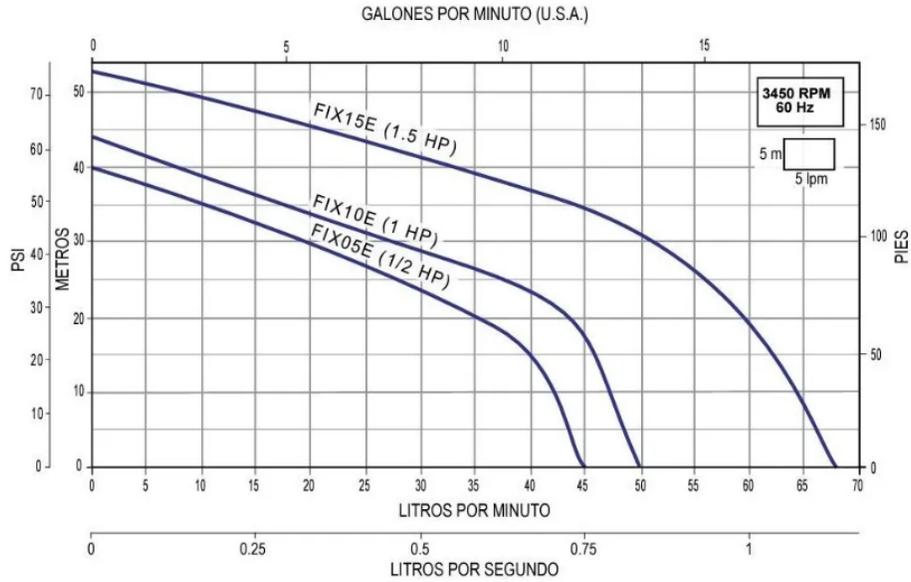


Figura 27: Curvas de operación de una moto bomba centrífuga.

Fuente: Proveedor

Los cálculos realizados en esta subsección de captación mostrados en la Figura 28 corresponden al tanque de captación y almacenamiento de agua no potable, donde se determina los litro por segundo provenientes desde la fuente de agua superficial. Estableciendo si dicha fuente y captación son suficientes para llevar a cabo el proceso de potabilización.

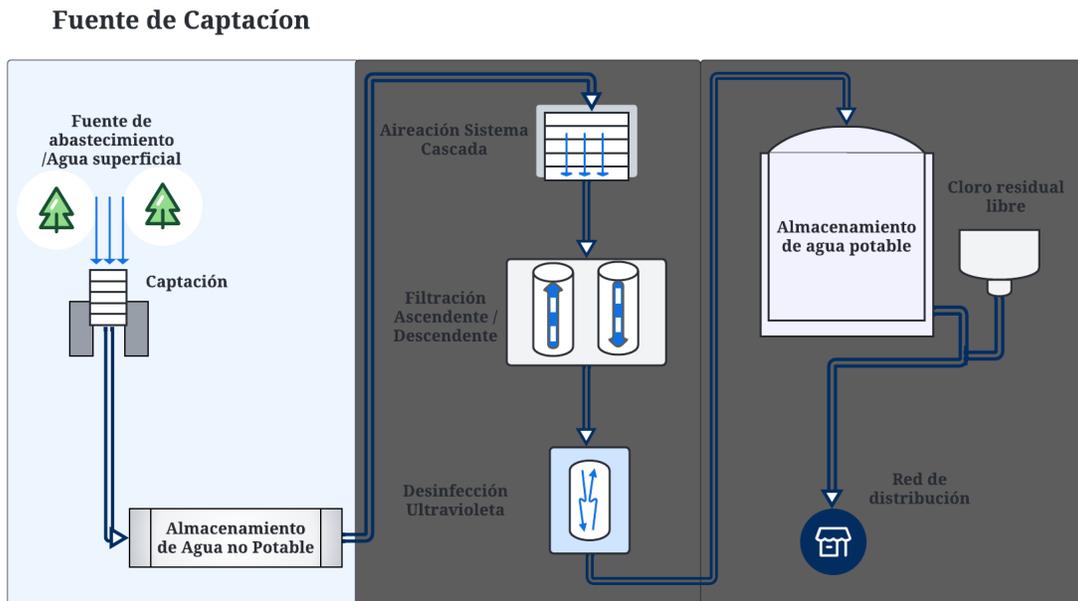


Figura 28: Subsección de captación

Fuente: Elaboración propia.

Datos recolectados:

- Capacidad del tanque: 22.5 m^3 que corresponde a 22500 L.
- Diámetro de tubería de entrada y salida: $1\frac{1}{2} \text{ in}$
- Entrada de flujo de agua desde la fuente de captación al tanque: 2 L/s.

Con base a estos datos se realiza el cálculo (*ver Anexo 2 - Sección 7*) para determinar el tiempo que tarda el tanque en llegar a nivel máximo equivalente a 22500 L usando la Ecuación (15).

- Caudal (Q) = $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$
- Volumen (V) = $22.5 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (15)$$

Donde el tiempo (t) por medio de la Ecuación 15 corresponde a:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (16)$$

Teniendo en cuenta el flujo de entrada al tanque de almacenamiento de agua no potable proveniente de la fuente de captación se establece que el tiempo en llegar a su máxima capacidad (22500 L) es de 3.125 horas. Así mismo el tiempo de descarga del tanque teniendo en cuenta el diámetro de tubería de salida equivale a 3.125 horas con un caudal aproximado de 2.2 L/s. A raíz de esto se establece que la fuente de abastecimiento es suficiente para llevar a cabo el proceso de tratamiento de agua potable y por ende satisfacer el QMD equivalente a 18.720 L/día que satisface la demanda de agua de las 48 familias de la vereda.

Una vez realizados los cálculos de dimensionamiento para el proceso de potabilización diseñado para la zona objeto de estudio se garantiza el suministro de agua potable a las 48 familias. Sin embargo, la calidad del líquido se condiciona a un parámetro de calidad, por tanto se incluye al proceso el índice de calidad de agua ICA.

3.2. Índice de Calidad de Agua (ICA)

La evaluación de calidad de agua potable siempre sera primordial antes de su distribución, ya que por mayoría así sea sometida a un tratamiento en específico no se garantiza su confiabilidad en el consumo. El índice de calidad de agua (ICA) o "*Water Quality*

Index” (WQI) conocido internacionalmente, resume los parámetros de calidad en un solo valor, con base en mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables según sea el caso registradas en un equipo de monitoreo. Dicho valor puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color; su ventaja radica en que la información puede ser mas fácilmente interpretada en comparación con una lista de valores numéricos.

Los valores optativos que el indicador puede llegar a tomar son clasificados en categorías, de acuerdo con cada valor se califica la calidad de agua a la que se le asigna un color como señal de alerta tal y como se registra en la Tabla 8. Los cuerpos de agua son diferentes de acuerdo con el tipo de contaminación y sus orígenes, por esta razón, el número y tipo de variables incluidas en el cálculo y la construcción de las ecuaciones o curvas funcionales, dependen del conocimiento técnico y la capacidad operativa e instrumental que este a disposición.

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 - 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 - 0,50	Mala	Naranja
0,51 - 0,70	Regular	Amarillo
0,71 - 0,90	Aceptable	Verde
0,91 - 1,00	Buena	Azul

Tabla 8: Clasificación del agua según los valores que tome el ICA
Fuente [49]

Existen varios estudios realizados abordando esta temática de aplicación de índices de calidad en diferentes partes del mundo, donde se aplican sistemas de supervisión utilizando en algunos casos la aplicación de la lógica difusa detectando la calidad de agua en tiempo real en un sistema de tratamiento y el monitoreo de calidad en las redes de distribución [49]. En Colombia, de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua realizado por el IDEAM en el 2000, la medición de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos es una actividad rutinaria, teniendo en cuenta que el monitoreo no solo implica realizar las mediciones, se reconoce cada vez mas que los datos deben estar disponibles donde la comunicación de los resultados implique una retroalimentación, y además permita que la información recopilada sea utilizada en las decisiones de gestión y corrección.

3.2.1. Determinación de los parámetros ICA

Para el cálculo de la calidad de agua, se usa el método propuesto por Brown en 1970 que es una versión modificada de WQI [50], conociendo que el ICA es una forma de agrupación simplificada de algunos parámetros indicadores en deterioro de la calidad de agua, para la determinación del mismo intervienen 9 parámetros que se mencionan a continuación:

- Coliformes Fecales - pH - Demanda de Oxígeno - Nitratos - Temperatura - Turbidez - TDS - Oxígenos disuelto - Fosfatos.

El agua que se destina para el consumo humano debe cumplir con los criterios admisibles reglamentados para cada parámetro, para el caso del índice de calidad este se puede construir a partir de dos o mas parámetros con base a los mencionados anteriormente. Para el PTAP implementado en el caso de estudio, se seleccionan cuatro parámetros sobre los cuales se realiza el calculo del ICA que son:

- El **potencial de hidrógeno** (pH) es una medida que indica la acidez del agua, donde la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua condicionan la acidez del liquido, su rango de medición es de 6.5 - 9 (norma 2115 del 2007). Mientras mas cantidad de iones de hidrógeno (≥ 9) es mayor la acidez, mientras si es menor la cantidad ($\leq 6,5$) indica un rango de acidez mas básico.
- La **turbidez** es uno de los parámetros mas importantes en la calidad de consumo humano que se define como una propiedad óptica de una suspensión, este parámetro se mide en unidades nefelométricas donde el valor ideal debe estar por debajo de los ≤ 2 NTU . Un agua turbia no solamente tiene un impacto estético negativo para el consumidor, sino que a la vez es un indicador de una mayor probabilidad de contaminación microbiológica y compuestos tóxicos que se adhieren a la materia dispersa en el agua.
- La **temperatura** ($^{\circ}\text{C}$) es uno de los parámetros físicos más importantes dado que influye en cambio de la aceleración o retardo de la actividad biológica, precipitación de compuestos y absorción de oxígeno. Dichos cambios se pueden notar por el cambio de la estabilidad microbiológica del agua distribuida o por su tendencia de rechazo a etapas de desinfección aplicados a los procesos de potabilización. Los valores recomendados de la temperatura deben ser inferiores a 15°C , dado que si se supera este valor favorece el desarrollo de microorganismos no deseables para el agua de consumo.
- Los **sólidos disueltos totales** (TDS) es el porcentaje de los componentes adicionales disueltos en el agua, como sales y minerales (calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y algunas pequeñas cantidades de materia orgánica. El valor del TDS se mide por unidad de volumen en el agua (mg/L) para determinar que este parámetro se encuentre en los niveles recomendados. La OMS establece las recomendaciones sobre dichos niveles, si el rango esta entre 0 - 300 es de excelente calidad, entre 300 - 600 nivel bueno, 600 - 900 nivel regular; pero si se sobrepasa de un valor de 1200 es inaceptable la calidad de agua.

El índice de calidad en el cual se han basado varias investigaciones esta planteado por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos [50], se basa principalmente en un método de agregación de suma aritmética ponderada descrito en la Ecuación (17).

$$ICA \sum_{i=1}^n = Sub_{(i)} * W_{(i)} \quad (17)$$

Donde:

$Sub_{(i)}$ = Subíndice del parámetro.

$W_{(i)}$ = Pesos relativos asignados a cada parámetro $Sub_{(i)}$ y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que la sumatoria sea igual a 1 .

Los pesos relativos establecidos para los parámetros seleccionados se muestran en la Tabla 9, en este sentido, según los artículos “Indicadores de la calidad del agua evolución y tendencias a nivel global” [49] y “Estimación de la degradación temporal en calidad de agua almacenada utilizando modelos de regresión” [51] establecen que dichos pesos dependen del orden de importancia que tenga cada parámetro sobre el ICA. En este caso el pH, turbidez y TDS se les asigna el mismo valor de importancia de 0.3 teniendo en cuenta la importancia en la apariencia y contaminación microbiológica del líquido. La temperatura se le asigna un valor de importancia de 0.1 dado que durante el proceso no representa cambios bruscos y su comportamiento es constante generando un impacto mínimo en la calidad del agua.

i	Parámetro	Peso de importancia(W_i)
1	pH	0.3
2	Turbidez	0.3
3	Temperatura	0.1
4	TDS	0.3

Tabla 9: Pesos asignados a los parámetros ICA
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez incluido el índice de calidad de agua al proceso se hace necesario seleccionar los equipos e instrumentación de medida, que permitirán llevar el proceso de potabilización y de monitoreo de calidad del líquido en la zona objeto de estudio.

3.3. Instrumentación

La instrumentación industrial es una etapa fundamental en el proceso de automatización ayudando a definir y modificar los diferentes tipos de estrategias posibles, ejecutando procesos de medición, regulación y observación de las variables aplicadas a los PTAP. Para este proyecto de investigación se hace la selección de los equipos que se describen en la Tabla 10, los cuales se ajustan al proceso de potabilización para la zona de estudio, teniendo en cuenta que dichos equipos cumplen con los rangos de trabajo definidos en la etapa de dimensionamiento. Con lo anterior se espera satisfacer del recurso hídrico de manera óptima a las 48 familias de la vereda Arena Blanca.

Nombre	Descripción	Imagen
Tanques	Tanques de almacenamiento con capacidades de 250, 2000 y 5000L, correspondientes a dispensador de cloro, post aireación, almacenamiento de agua potable.	
Moto-bomba	Moto-bomba capaz de impulsar 65 L/m, a una altura máxima de 10 metros.	
Filtro Ascendente Descendente	Filtro tubular conformado por arenillas con una capacidad de filtración de 60.5 L/m, soporta una presión máxima de 150 Psi.	
Filtro Ultravioleta	Filtro por radiación ultravioleta capaz de esterilizar las partículas sobrantes de la filtración con una capacidad de 91 L/m.	
Bomba Peristáltica	Bomba encargada de la dosificación de cloro desde el tanque de 250 L.	
Electro-Válvula	Electro-Válvula voltaje de servicio: AC 220V.	
Sensor Nivel	Sensor Nivel 4-20 mA	
Indicador de Presión	Indicador de Presión en Psi y kPa	
Tubo Venturi	Tubo de venturi en PVC, succión de cloro.	

Tabla 10: Instrumentos seleccionados para el PTAP
Fuente : Elaboración propia

En la Figura 29 se presenta el Diagrama de Flujo de Proceso (PFS, Process Flow Diagram) donde se muestran los principales componentes y relación de los mismos del sistema PTAP diseñado para el lugar objeto de estudio. El proceso comienza de la siguiente manera: el agua proveniente desde la fuente superficial abastece de manera constante el tanque de captación (22500 L). Para el paso del flujo a las bandejas de aireación se conecta una electroválvula con el fin de evitar el rebose del líquido en el tanque de aireación (2000 L). Para el paso del flujo al sistema de filtros ascendente y descendente se utiliza una bomba centrífuga con el fin de compensar la pérdida de presión e impulsar el líquido hasta la lámpara de desinfección UV para finalmente almacenar el líquido en los tanques de 5000 (almacenamiento) y 250 L (cloración).

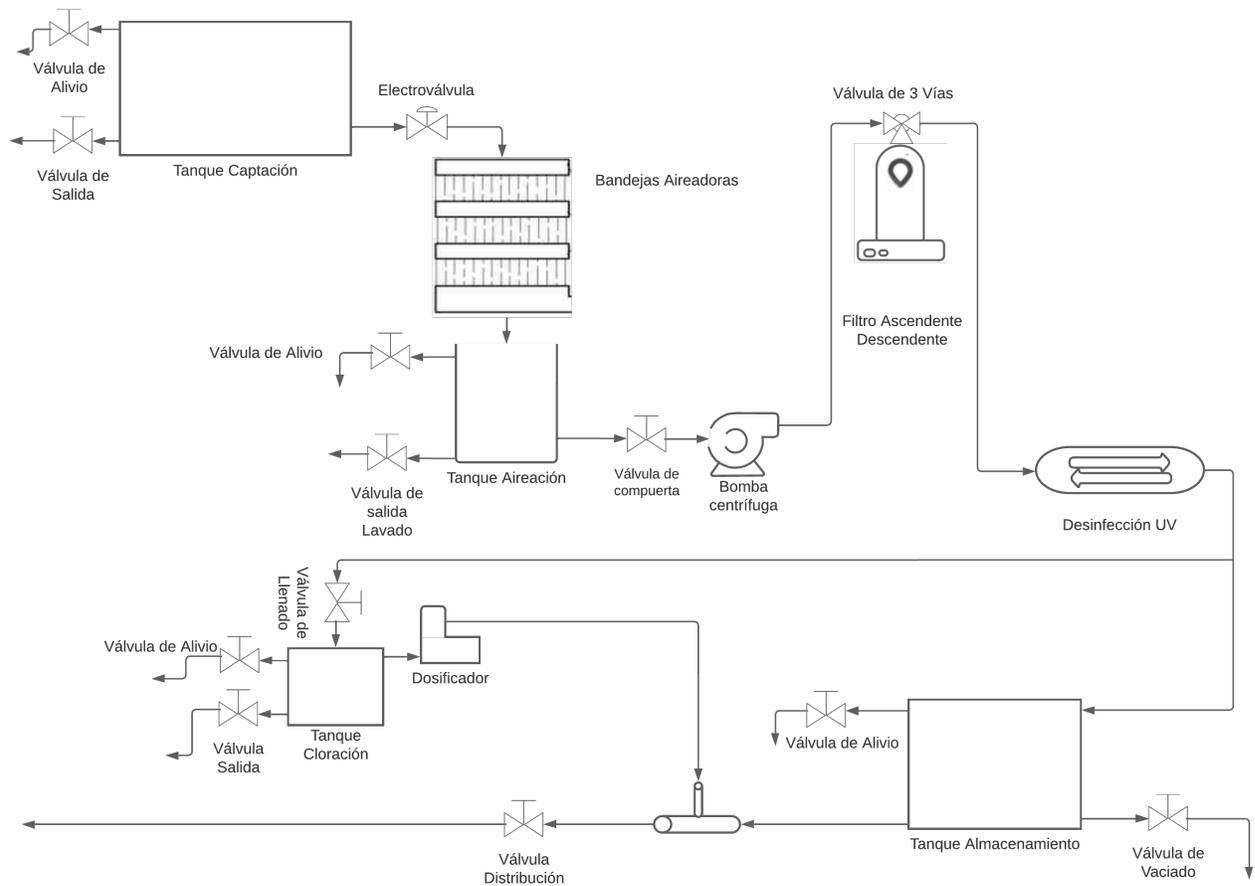


Figura 29: Diagrama de Flujo de Proceso (PFD)
Fuente: Elaboración propia.

El diagrama P&ID presentado en la Figura 30 corresponde a las líneas, instrumentos, actuadores y equipos del proyecto, correspondiente al proceso discreto de bombeo de agua midiendo las variables de nivel y restringiendo el flujo del líquido. Los sensores de nivel ubicados en los tanques de aireación (*TK2*) y almacenamiento (*TK4*) tienen la tarea de generar una señal de alerta para la apertura o cierre de la electroválvula y el encendido o apagado de la motobomba con el fin de abastecer del líquido a cada uno de los tanques.

El sensor ubicado en el tanque de cloración (*TK3*) proporciona una señal de alerta por medio de una luz indicadora con el fin de prevenir el vaciado del tanque para la posterior adición del cloro residual. El controlador (*CX*) no necesariamente corresponde a un PLC, puede ser un sistema de lógica cableada donde las variables son discretas y permiten la activación o desactivación de la válvula, motobomba y luz indicadora (El diagrama de lógica propuesto se muestra en el *Anexo 4*).

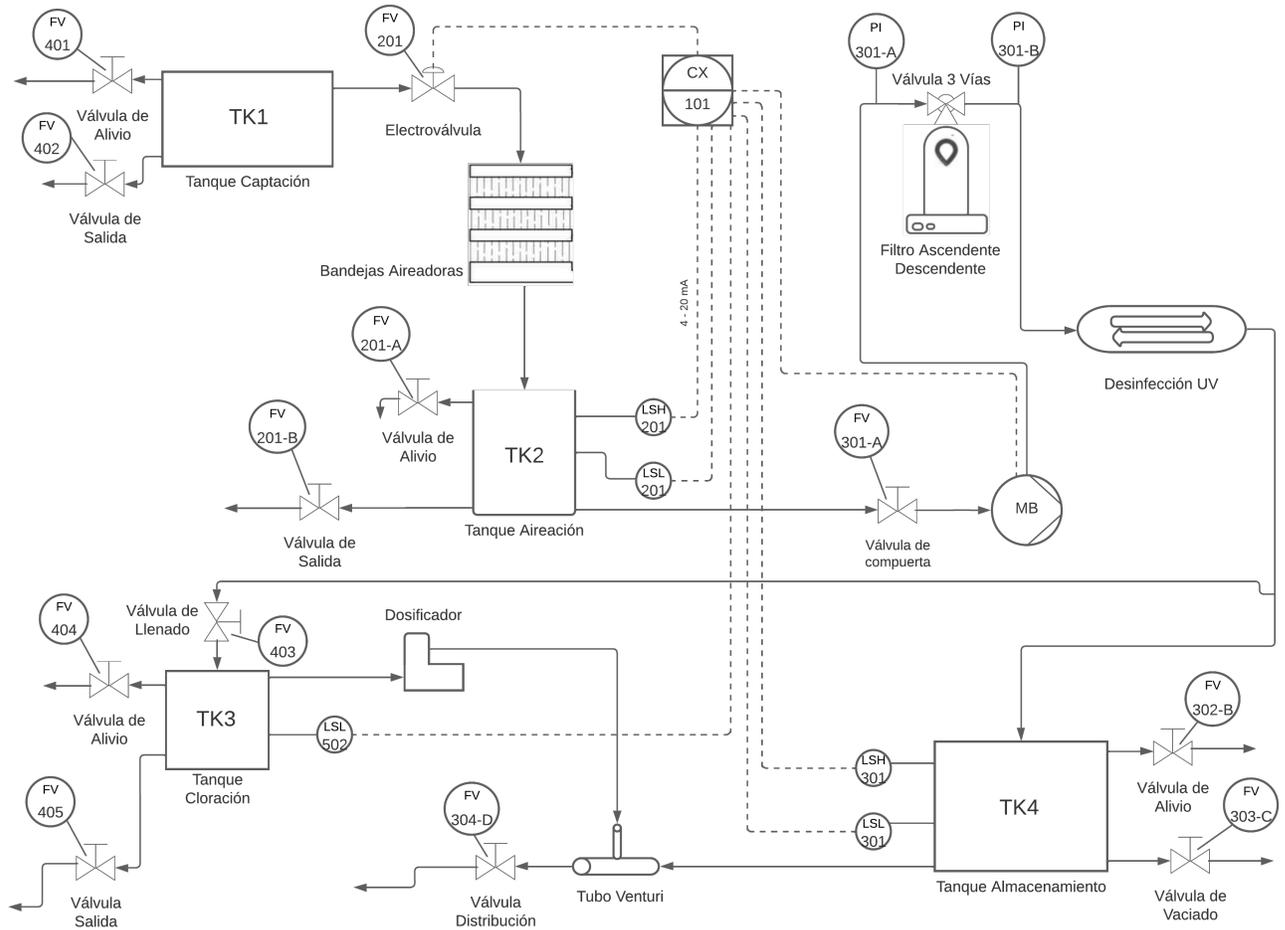


Figura 30: Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID)

Fuente: Elaboración propia.

En el apartado 3.2.1 del Capítulo 3 se eligieron los parámetros del índice de calidad de agua, a los que se les asigna unos determinados pesos sobre su incidencia en el ICA. Esto permite realizar la selección de algunos equipos extra para el cálculo del índice de calidad, posibilitando sugerir un diagnóstico de acuerdo al comportamiento del PTAP el cual es detallado en este capítulo.

4.1. Instrumentación asociada al parámetro ICA

En la instrumentación extra asociada al PTAP para el cálculo del ICA se incluyen los instrumentos de medida que efectúan la medición de los cuatro parámetros asociados al ICA entre ellos sensor de pH, temperatura, turbidez, TDS y un controlador lógico programable (PLC)(Las fichas técnicas suministradas por el proveedor se muestran en el *anexo 3*).

El sensor de pH mostrado en la Figura 31 con las características del sensor que se especifican en la Tabla 11, corresponde a un pH-metro que es un instrumento con alta exactitud de toma de muestra, ya que en el se incorporan 3 electrodos de medición, dispone de un transmisor de 2 hilos para aplicaciones que requieran una señal de 4 - 20 mA incluyendo los medios de ajuste para equilibrar a cero la desviación y el intervalo.



Figura 31: Sensor de potencial de hidrógeno (pH) HACH
Fuente: Proveedor

Sensor de pH				
Referencia	Sensibilidad	Rango Medición	Temperatura del Proceso	Distancia de transmisión
GLI - 6458P0	< 0,005 pH	pH 0 - 14	-5 a 95 °C	914 m (3000 pies)

Tabla 11: Características sensor de potencial de hidrógeno
Fuente: Elaboración propia.

El sensor de temperatura mostrado en la Figura 32 es un sensor de temperatura modular RTD robusto, las características generales se presentan en la Tabla 12, además de poseer un transmisor para cabezal con salida analógica de 4 a 20 mA opcional con todos los protocolos de comunicación habituales.



Figura 32: Sensor de Temperatura Endress + Hauser
Fuente: Proveedor

Sensor de Temperatura				
Referencia	Sensibilidad	Max. Presión	Temperatura del Proceso	Longitud de inmersión
TR13	< 0,005 pH	725 psi	-50 a 500 °C	10.000,00 mm

Tabla 12: Características sensor de temperatura
Fuente: Elaboración propia

La sonda TDS vista en la Figura 33 con sus especificaciones mostradas en la Tabla 13, puede medir los sólidos totales en suspensión de manera continua para entornos con alto contenido de sólidos. Compensando de manera automática la presencia de burbujas de aire y variaciones de temperatura para mantener la exactitud.



Figura 33: Sensor de TDS (HACH)
Fuente: Proveedor

Sensor TDS				
Referencia	Sensibilidad	Presión	Temperatura	Rango medición
LXV323.99.30002	< 0,005 pH	< 10 bar	0 - 60 °C	0.001 - 500 g/L

Tabla 13: Características sensor de TDS
Fuente: Elaboración propia

El sensor de turbidez mostrado en la Figura 34 con sus especificaciones mostradas en la Tabla 14, es un sensor inteligente que funciona sin supervisión en todos los puntos de medición de sus aplicaciones en procesos de saneamiento de agua. Su diseño higiénico autolimpiante permite sumergirlo en redes de distribución y en depósitos de agua.



Figura 34: Sensor de Turbidez Endress + Hauser
Fuente: Proveedor

Sensor de Turbidez				
Referencia	Versión	Presión (psi)	Temperatura del Proceso	Rango de Medición
Turbimax CUS52D	Acero Inoxidable	7,3 a 145 psi abs	-20 a 85 °C	0,000 a 4000 FNU

Tabla 14: Características sensor de turbidez
Fuente: Elaboración propia

Para el control del PTAP teniendo en cuenta que en la Sección 3.3 del capítulo 3 se expone que el proceso de potabilización aplicado corresponde a un proceso discreto de bombeo de agua; por lo tanto, con la agregación de los nuevos instrumentos para el cálculo del ICA se hace necesario la utilización de un controlador lógico programable (PLC, Programmable Logic Controller).



Figura 35: Controlador Lógico Programable (PLC)
Fuente: Proveedor

El PLC mostrado en la Figura 35 con sus especificaciones mostradas en la Tabla 15, cumple las funciones de accionamiento del proceso discreto de bombeo de agua, procesamiento de la información de los instrumentos asociados a cada parámetro, calculo del ICA y activación de una señal indicadora mostrada en una baliza de colores.

Controlador lógico programable (PLC)				
Referencia	Alimentación	Entradas	Salidas	Expansión
LOGO! 12/24	12 /24 VCC	8 digitales	4 relés	1 modulo (AM2)

Tabla 15: Características del PLC Siemens LOGO
Fuente: Elaboración propia

La baliza de colores mostrada en la Figura 36 tiene la tarea de servir como luz indicadora en el proceso de verificación de calidad de agua, mostrando de acuerdo al color si el proceso junto a las fases seleccionadas cumple o no con el ICA. En este sentido, se realiza un resumen de colores y valores (Tabla16) teniendo en cuenta la Tabla 8 del Capítulo 3. Garantizando así una mayor comprensión del funcionamiento del proceso por parte de la persona encargada del PTAP en la vereda.



Figura 36: Baliza de colores
Fuente: Proveedor

Categoría de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Salida de alerta
0,00 – 0,50	Mala	Rojo
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 1,00	Buena	Verde

Tabla 16: Valores que toma el ICA en el PTAP
Fuente: Elaboración propia

4.2. Cálculo del parámetro ICA mediante la instrumentación asociada.

En la Sección 3.2.1 (Determinación de los parámetros ICA) del Capítulo 3 teniendo en cuenta la Ecuación (17) referente al calculo del ICA se establece $W(i)$, que corresponde al peso asignado a cada parámetro. El subíndice del parámetro $Sub(i)$ de la misma ecuación, se establece teniendo en cuenta las curvas de calidad asociadas a los 4 parámetros establecidos (Figura 37). Dichas curvas se obtuvieron a partir de un promedio de una serie de pruebas realizadas a diferentes tipos de agua, en la que participaron 142 científicos especializados en calidad de agua y potabilización[50].

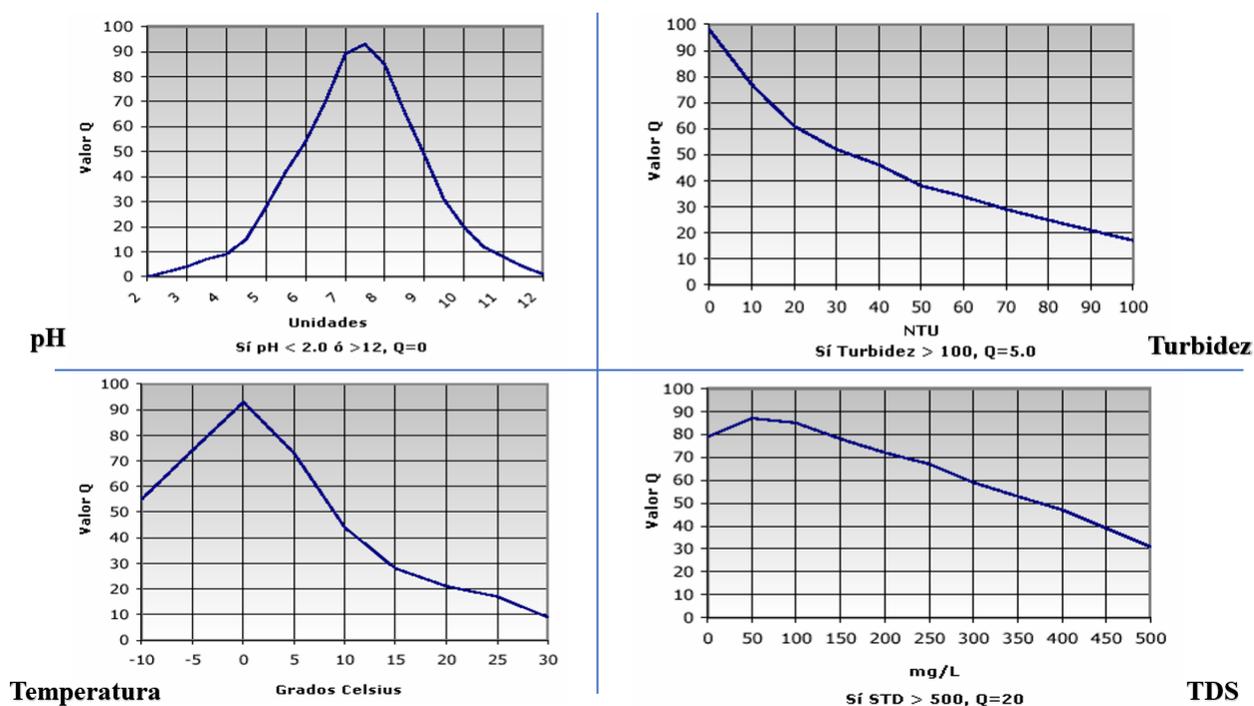


Figura 37: Gráficos de operación
Fuente: [50]

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, el controlador tendrá la tarea de realizar el cálculo del $Sub(i)$ de los respectivos parámetros (pH, turbidez, temperatura y solidos disueltos totales), que consiste en la interpolación del valor entregado por cada uno de los sensores (eje x), con respecto al valor de calidad Q (eje y). Dichas curvas de relación se deben guardar en el PLC para permitir calcular los parámetros en forma continua dado que las variables de interés se miden en tiempo real. El dispositivo programable se encarga de la operación autónoma del sistema de potabilización al tiempo que calcula el parámetro ICA para generar un señal de alerta dependiendo del valor y el color establecidos en la Tabla 8.

4.3. Diagnóstico sugerido a partir del ICA para el proceso de potabilización

El diagrama P&ID expuesto en la Figura 38, es el resultado general del proceso de diseño desarrollado en este documento de investigación. Corresponde a las líneas, instrumentos, actuadores y equipos del proyecto en su totalidad, con la implementación extra de medición y monitoreo por medio de los sensores de temperatura, turbidez, pH y *TDS* para la verificación de la calidad de agua a partir del parámetro ICA. (la tabla de instrumentos asociados al P&ID se muestran en el *Anexo 5*)

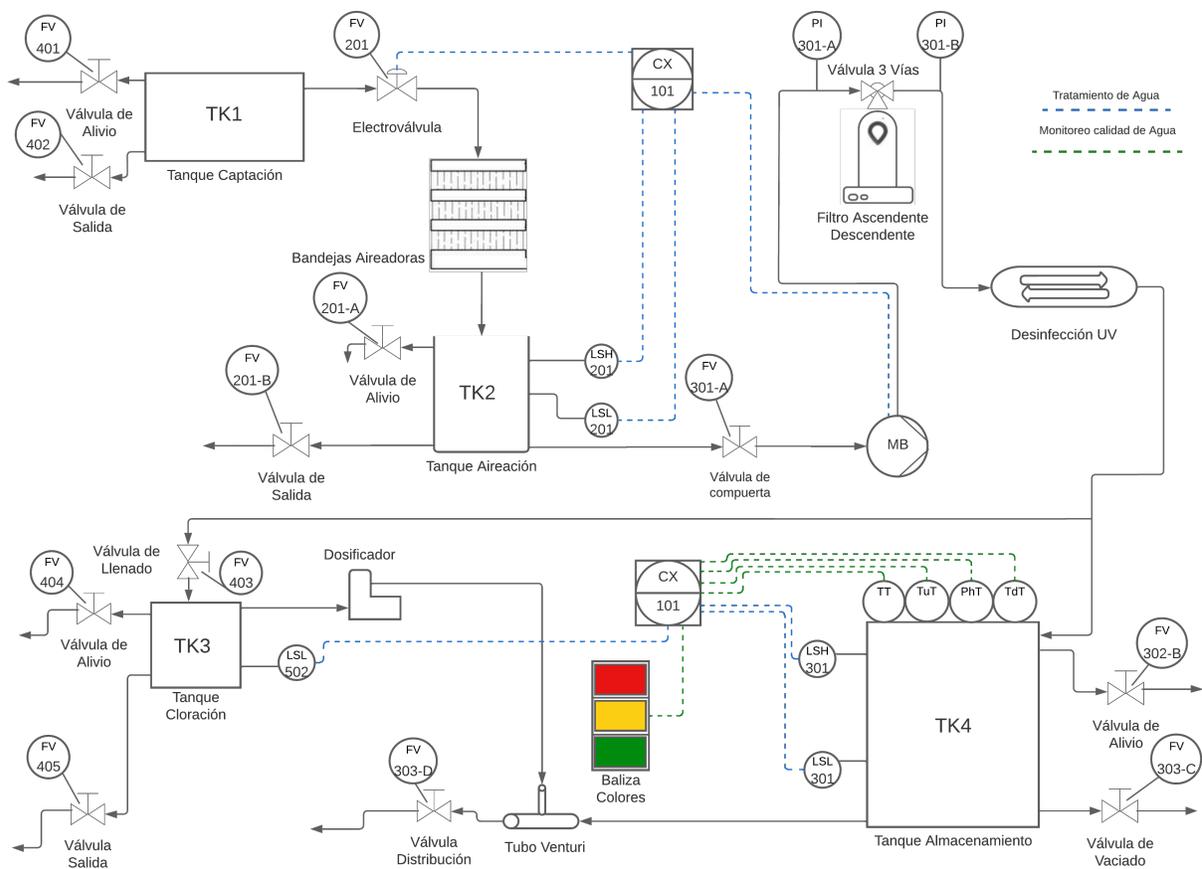
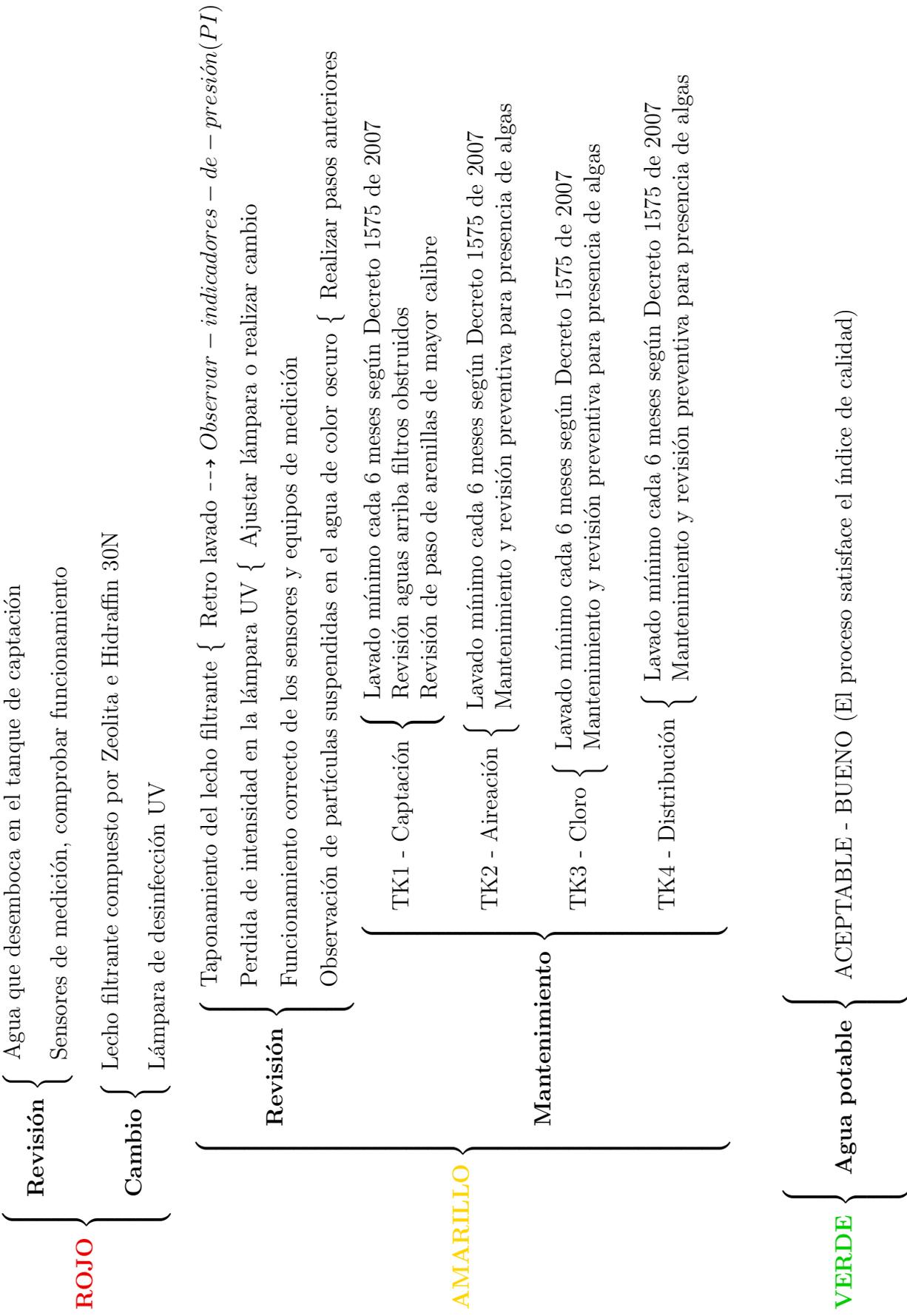


Figura 38: Diagrama de tuberías, instrumentación y medición de parámetros ICA (P&ID)
Fuente: Elaboración propia.

Según lo expuesto anteriormente y teniendo en cuenta la Tabla 15 donde se exponen los rangos específicos asignados a cada color, se realiza un diagnóstico asociado a cada uno de ellos con las posibles variantes y causas que pueden afectar el correcto funcionamiento del proceso. A continuación, se propone un diagnóstico asociado a cada problemática a partir de un diagrama de llaves, asignando de esta forma los problemas de mayor afectación para el color **“Rojo”**, problemas de mediana complejidad para el color **“Amarillo”** y el color **“Verde”** para el agua potable.



Finalmente en la Figura 39, se presenta el diseño CAD sugerido para la posible implementación del proceso de potabilización, teniendo en cuenta la ubicación topográfica de la zona y la secuencia determinada según el diagrama de flujo presentado en la Figura 20. La puesta en marcha del sistema propuesto en la Figura 39 hace referencia a la parte interna del panel de control expuesto en la Figura 40, el cual consiste en la activación del magnetotérmico encargado de energizar y desenergizar el proceso de potabilización. Además se indica en el diagrama de conexiones mostrado la puesta a tierra de las protecciones contra descargas atmosféricas, estas protecciones están ya establecidas por la normativa RETIE [52] (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) la cual se solicita a la empresa o entidad que licite y en su momento realice la instalación del sistema eléctrico, debido a que debe contar con certificación.

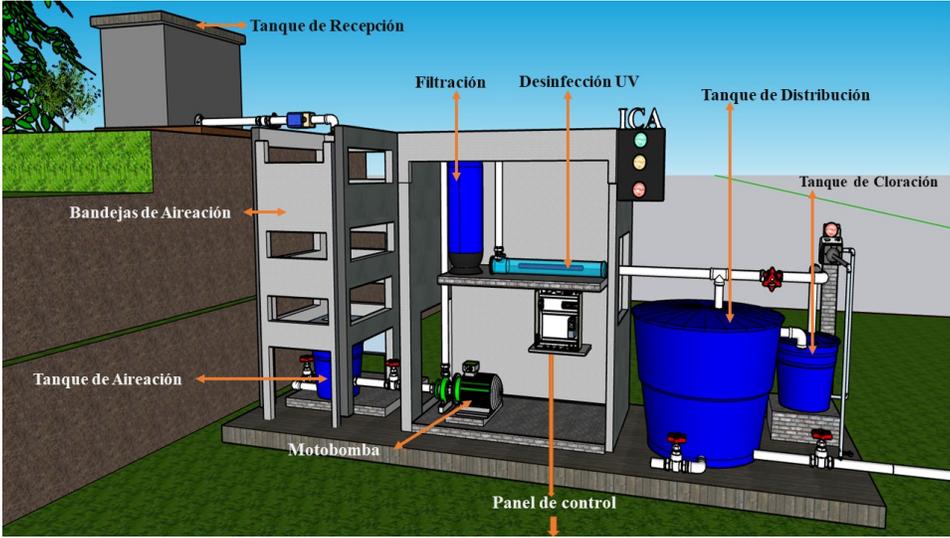


Figura 39: Diseño CAD
Fuente: Elaboración propia

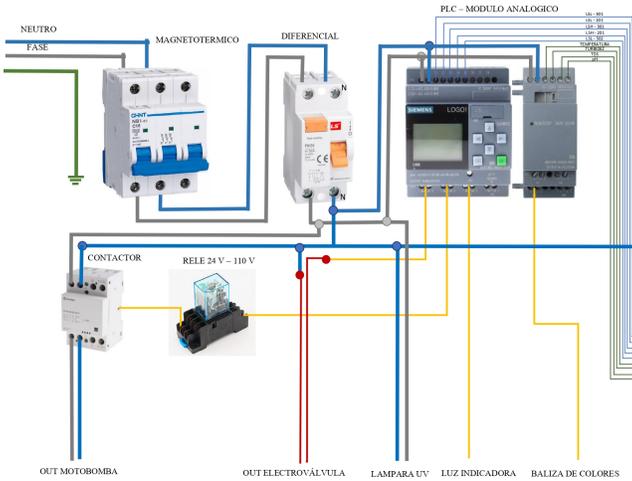


Figura 40: Visualización interna panel de control
Fuente: Elaboración propia

4.4. Puesta en Marcha

La investigación realizada plantea una solución de potabilización de agua supervisado por un índice de calidad del recurso, la cual se pretende presentar a una entidad financiadora, como por ejemplo: el Fondo Nacional de Regalías la cual tiene una serie de requerimientos para su aprobación y ejecución utilizando herramientas informáticas como la Metodología General Ajustada (MGA) la cual esta compuesta por una serie de módulos y capítulos organizados de manera secuencial para que el usuario registre progresivamente la información obtenida y trabajada en el proceso de formulación del proyecto de investigación. Considerando el momento en que se identifica una situación negativa experimentada por un determinado grupo de personas y alternativas de solución, hasta la evaluación de la viabilidad técnica, social, ambiental y económica de cada una de dichas alternativas; lo cual permite elegir la más conveniente y programar el cumplimiento del objetivo general propuesto en términos de indicadores y metas.

Por otro lado, el proyecto esta enfocado en brindar un bienestar común y al ser un servicio publico se hace necesario tener en cuenta esquemas de cobro, mantenimiento y operación del sistema que requieren ajustarse a las políticas de las entidades territoriales para que los proyectos sean sostenibles en el tiempo. De acuerdo con lo anterior se puede observar en la Tabla 17 los costos de los equipos asociados tecnológicamente al proceso de potabilización, sin incluir la instalación y puesta en marcha del sistema el cual requiere otros rubros como lo son transporte, pruebas, estudios de suelo y obras civiles.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	EMPRESA	TOTAL
1	Tanque 5000 Litros	1	\$ 4.372.200.00	Homecenter	\$ 4.372.200.00
2	Tanque 2000 Litros	1	\$ 1.109.900.00	Homecenter	\$ 1.109.900.00
3	Tanque 250 Litros	1	\$ 240.600.00	Homecenter	\$ 240.600.00
4	Moto-Bomba 1.5 Hp	1	\$ 897.900.00	Mercado Libre	\$ 897.900.00
5	Filtro Directa Doble	1	\$ 1.650.000.00	MercadeoValle	\$ 1.650.000.00
6	Filtro Ultravioleta	1	\$ 2.160.000.00	MercadeoValle	\$ 2.160.000.00
7	Bomba Peristáltica	1	\$ 3.777.000.00	Mercado Libre	\$ 3.777.000.00
8	Indicador de Presión	2	\$ 111.140.00	Mercado Libre	\$ 222.280.00
9	Tubo de Venturi	1	\$ 65.000.00	Mercado Libre	\$ 65.000.00
10	Sensor de Nivel	8	\$ 86.500.00	Mercado Libre	\$ 692.000.00
11	Bandejas de Aireación	3	\$ 1.500.000.00	Mercado Libre	\$ 4.500.000.00
12	PLC + Modulo	1	\$ 1.300.000.00	Mercado Libre	\$ 1.300.000.00
13	Electrovalvula	1	\$ 200.000.00	Mercado Libre	\$ 200.000.00
14	Valvula Manual	12	\$ 49.000.00	Mercado Libre	\$ 588.000.00
15	Baliza de Colores	1	\$ 569.587.00	Mercado Libre	\$ 569.587.00
16	Sensor Turbidez	1	\$ 3.500.000.00	Endress+Hauser	\$ 3.500.000.00
17	Sensor Ph	1	\$ 4.850.000.00	Endress+Hauser	\$ 4.850.000.00
18	Tubería por metros	25	\$ 26.900.00	AgroTubo	\$ 672.500.00
19	Sensor TDS	1	\$ 4.500.000.00	Endress+Hauser	\$ 4.500.000.00
20	Sensor Temperatura	1	\$ 4.450.000.00	Endress+Hauser	\$ 4.450.000.00
TOTAL					\$ 40.316.967,00

Tabla 17: Estimación de costos instrumentación tecnológica asociada

Fuente: Elaboración propia

- El abastecimiento y saneamiento del agua potable es un tema silencioso que está afectando la calidad de vida de las poblaciones a nivel mundial. Los sistemas de tratamiento de agua en ejecución y futuros tendrán la tarea de hacer frente a mayores cargas de sólidos suspendidos y contaminación bacteriológica, que requerirán tecnología de tratamiento o barreras adicionales para así proporcionar agua potable de buena calidad a sus usuarios. Sin embargo, dichos sistemas no garantizan que el agua sea completamente consumible, se hace necesario la implementación de un índice de calidad que ayude a garantizar el servicio. En este sentido, la instrumentación y los sistemas de control se presentan como herramientas para implementar sistemas de monitoreo que le permita al personal encargado de la supervisión de los procesos de tratamiento asumir un diagnóstico a partir del índice de calidad.
- La evolución en los sistemas de medida, así como en los procesadores de cálculo permiten generar soluciones de ingeniería que sean aplicables desde el punto de vista financiero a solucionar problemas de saneamiento básico y cobertura eficiente del servicio de agua potable a poblaciones en donde las políticas estatales no pretenden hacer grandes inversiones.
- Estructuras de potabilización como la expuesta en este documento brinda posibilidades de investigación en estimación de la proyección de la calidad de agua según su fuente y prever las fallas de los sistemas de tratamiento con algoritmos de inteligencia que le den autonomía a proceso operativos de saneamiento.
- Desde esta investigación se recomienda como trabajo futuro que además de la ejecución de un prototipo de potabilización aplicable a las zonas rurales, se considere la implementación de un sistema de control que por medio del parámetro de calidad pueda realizar un autodiagnóstico, donde el mismo sistema sea capaz de corregir los parámetros que estén fuera de los valores que establece la normativa que regula el consumo de agua potable. Además, teniendo en cuenta la baliza de colores propuesta, se considera como trabajo futuro que el diagnóstico se pueda realizar a partir de un control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) con enfoque social, con el fin

de hacer más visible y más sencilla la manera de interpretar el estado del proceso de potabilización tomando acciones correctivas para su correcto funcionamiento.

- Por último cabe resaltar, que esta investigación dio pie para la realización del artículo denominado “Sistema de Tratamiento de Agua Potable Supervisado por un Índice de Calidad de Agua” (ver *Anexo 6*), el cual está en proceso de publicación en las áreas de interés de Instrumentación y control del evento: Cuadragésima Convención de Centroamérica y Panamá. CONCAPAN XL. Integrando nuevas ideas y tecnologías. Panamá 2022

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. C. Casma, “Brasil, Colombia y Perú, entre los que más agua tienen en el mundo,” *Banco Mundial*, pp. 1–6, 2015. [Online]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/03/10/brasil-colombia-peru-paises-mas-agua-tienen-en-el-mundo>
- [2] S. Salas and M. Pineda, “Diagnostico del estado actual de abastecimiento de agua potable,” *Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniera y Sanitaria*, p. 150, 2019. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1110
- [3] Presidencia República de Colombia, “Decreto 475 De 1998,” *Régimen Legal de Bogotá D.C.*, vol. 1998, no. marzo 10, p. 43, 1998. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>
- [4] Observatorio Nacional de Salud, “Carga de enfermedad ambiental en Colombia. Décimo informe técnico especial,” *Informe Técnico Especial 10*, p. 177, 2018. [Online]. Available: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10CargadeenfermedadambientalenColombia.pdf>
- [5] J. Tellez, J. Montenegro, and M. Revelo, “Informe de Gestion Programa de Vigilancia de la Calidad del Agua año 2018,” *Instituto Departamental de Salud de Nariño*, pp. 6–82, 2018.
- [6] OMS, “Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda,” *Organización Mundial de la Salud*, vol. 4, p. 608, 2011. [Online]. Available: <https://bitly.co/7FYT>
- [7] J. Panneso, J. Ceballos, and J. Reyes, “Automatizacion de Plantas de Tratamiento de Agua.pdf,” pp. 49–55, 1995.
- [8] M. Benavides and R. Moran, “Plan de desarrollo territorial,” no. 2.
- [9] L. Dar and Q. Rubiano, “Sostenibilidad de las tecnologías de tratamiento de agua para la zona rural,” pp. 52–61.
- [10] Congreso de Colombia, “Artículo 370,” p. 371, 1991.

- [11] M. S. Faure, J. Ducci, M. Altamira, and A. Perroni, “Agua Potable, Saneamiento y los Objetivos de Desarrollo del Milenio en América,” 2013.
- [12] ONU. (2018) Clean Water and sanitation. [Online]. Available: <https://onu.org.gt/wp-content/uploads/2018/10/Desaf%C3%ADos-y-Estrategias-para-el-Desarrollo-sostenible-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-compressed.pdf>
- [13] Departamento Nacional de Colombia, “Bases Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022,” *Pacto Por Colombia, Pacto Por La Equidad*, pp. 258–284, 2018. [Online]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/PND-2018-2022.pdf>
- [14] Ministerio de Salud y Protección Social, “Estado de la vigilancia de la calidad de agua para consumo humano en Colombia 2014,” pp. 1 – 234, 2019.
- [15] N. C. Chulluncuy Camacho, “Tratamiento de agua para consumo humano. Coagulación,” *Tratamiento de agua para consumo humano*, pp. 153–224, 2004. [Online]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/MANUALI/TOMOI/seis.pdf%5Cnhttp://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/5/CDAM0000012-5.pdf>
- [16] M. T. Leal, “Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones.” *Instituto mexicano de tecnología del agua*, pp. 63–72, 2005. [Online]. Available: https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/04_Capitulo_04.pdf
- [17] M. Romero, “Tratamientos Utilizados En La Potabilización De Agua,” *Boletín electrónico Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar*, no. 08, pp. 1–12, 2008.
- [18] H. Velazquez, “Viscosidad: Ley de Stokes,” *12*, vol. 1, p. 2, 2018. [Online]. Available: <http://materias.df.uba.ar/f1byga2018v/files/2018/03/stokes.pdf>
- [19] FICR. (2018) Sistemas domésticos de tratamiento y almacenamiento seguro de agua. [Online]. Available: <https://ifrc.csod.com/content/ifrc/publications/880/08.html>
- [20] S. Ríos-Tobón, R. M. Agudelo-Cadavid, and L. A. Gutiérrez-Builes, “Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano,” *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, vol. 35, no. 2, pp. 236–247, 2017.
- [21] U. I. CESUMA. (2021) Breve historia del tratamiento de agua. [Online]. Available: <https://www.cesuma.mx/blog/breve-historia-del-tratamiento-de-agua.html>
- [22] J. Kornev, “Electric discharge treatment of water containing organic substances,” *Proceedings - KORUS 2003: 7th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology*, vol. 1, pp. 221–226, 2003.
- [23] D. Vaju, C. Festila, and G. Vlad, “Drinking water quality improvement by physical methods, using middle-frequency inverters,” *2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2008 - THETA 16th Edition - Proceedings*, vol. 3, pp. 454–459, 2008.

- [24] A. A. Abdykadyrov, N. V. Korovkin, E. T. Tashtai, I. Syrgabaev, M. M. Mamadiyarov, and M. Sunggat, "Research of the process of disinfection and purification of drinking water using ETRO-02 plant based on high-frequency corona discharge," *Proceedings of the 3rd 2021 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2021*, pp. 5–8, 2021.
- [25] W. Dongsheng, L. Yongjie, and L. Zhang, "A case study on the IMC for ozone dosing process of drinking water treatment," *Chinese Control Conference, CCC*, pp. 4430–4434, 2017.
- [26] G. Knight, "Water and Air Treatment Using Ultraviolet Light Sources," *CLEO Laser Science to Photonic Applications*, pp. 1–2, 2011.
- [27] V. Soldatkin, L. Yuldashova, A. Shardina, A. Shkarupo, and T. Mikhalchenko, "Device for water disinfection by ultraviolet radiation," *Proceedings - 2020 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects, EFRE 2020*, pp. 870–873, 2020.
- [28] D. D Mourato, Ph, "Microfiltracion y nanofiltracion en el area de agua potable," pp. 1–19, 1998.
- [29] Puritec, "Tratamiento de agua," *Puritec de Mexico*, 2021.
- [30] R. J. J. Solis, Velez CA, "Membrane technology: Ultrafiltration," *Entre ciencia e ingeniería*, pp. 26–36, 2017.
- [31] C. A. Torres-Parra, C. A. García-Ubaque, J. C. García-Ubaque, M. C. García-Vaca, and R. Pacheco-García, "Safe water for rural communities from an alternative filtration system," *Revista de Salud Publica*, vol. 19, no. 4, pp. 453–459, 2017.
- [32] M. De medio ambiente vivienda y desarrollos territorial, "Resolucion 2115 del 2007," 2007.
- [33] D. Lucero and K. Ortiz, "Prototipo para la verificacion de la calidad de agua en los sistemas de abastecimiento de agua potable segun irca de la resolucion 2115 del ministerio de la proteccion social, ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial." Ph.D. dissertation.
- [34] C. A. García-Ubaque, J. C. García-Ubaque, J. P. Rodríguez-Miranda, R. Pacheco-García, and M. C. García-Vaca, "Limitations of the water quality risk index as an estimator of quality for human consumption," *Revista de Salud Publica*, vol. 20, no. 2, pp. 204–207, 2018.
- [35] DISIN S.A, "Equipos Industriales para tratamiento de agua."
- [36] S. water technologies, "Plantas potabilizadoras de agua portátiles." [Online]. Available: <https://www.synertech.com.co/agua-potable/plantas-portatiles>
- [37] A. susiness as unusual, "Potabilización del agua." [Online]. Available: https://www.accion.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?_adin=11551547647

- [38] M. David, “Propuesta de un sistema de abastecimiento de agua potable para el sector c de la vereda basconta en el municipio de icononzo - tolima,” *Universidad distrital fransisco jose de caldas*, 2016. [Online]. Available: <https://1library.co/document/q7wp4xrz-propuesta-sistema-abastecimiento-potable-vereda-basconta-municipio-icononzo.html>
- [39] J. E. Rojas Coronel, “Modelamiento de los sistemas de potabilizacion de agua orientado a los sistemas de control supervisorio,” Ph.D. dissertation, 2015.
- [40] P. D. Pemula, “Sistema de instrumentacion,actuacion y automatizacion de una planta de tratamiento de agua potable para campamentos de pozos petroleros (PTAP),” Ph.D. dissertation, 2017.
- [41] L. Burbano and L. D. Torres Sanchez, “Remocion de Hierro y Manganeso por medio de sistemas de Aireación y Filtración.”
- [42] R. Buamah, B. Petrusevski, D. de Ridder, T. S. van de Wetering, and J. C. Shippers, “Manganese removal in groundwater treatment: Practice, problems and probable solutions,” *Water Science and Technology: Water Supply*, vol. 9, no. 1, pp. 89–98, 2009.
- [43] N. Pichel, H. Lubarsky, A. Afkhami, V. Baldasso, L. Botero, J. Salazar, M. Hincapie, J. A. Byrne, and P. Fernandez-Ibañez, “Safe drinking water for rural communities using a low-cost household system. Effects of water matrix and field testing,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 44, 2021.
- [44] G. C. M, I. Lizcano, and Y. A. Lara, “Consumo Básico de agua Potable en Colombia,” *Tecnogestión*, vol. 8, no. 1, pp. 14–23, 2011. [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/4379/6601>
- [45] Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, “Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural,” *Plan Nacional Sectorial*, p. 104, 2020.
- [46] v. y. desarrollo económico Ministerio de ambiente, “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS,” Tech. Rep., 2014. [Online]. Available: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO030714.pdf>
- [47] V. R. Borrás, “Análisis computacional hidráulico en un fotoreactor de flujo pistón,” *Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia*, 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/48875/u833507.pdf?sequence=1>
- [48] MinDesarrollo, “reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico.” *República de Colombia Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico*, 2020. [Online]. Available: <file:///D:/WIN10/Downloads/normativa%20proceso%20de%20aireacion.pdf>
- [49] M. Castro, J. Almeida, J. Ferrer, and D. Diaz, “Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global,” *Ingeniería Solidaria*, vol. 10, no. 17, pp. 111–124, 2014.

- [50] C. E. . E. Samboni Ruiz, “A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators,” *Revista Ingeniería e investigación*, vol. 27, pp. 1–10, 2007.
- [51] A. C. Aguilar, “Estimation of the temporal behavior of the stored water quality from regression models,” *Universidad del Cauca*, 2021.
- [52] M. de Minas y Energía, “Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (retie),” *Ministerio de Minas y Energía*, 2013.

Anexos

Anexo 1 : Resultados de Análisis fisicoquímicos y Microbiológicos



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL
AMBIENTES, ALIMENTOS Y AGUAS

¡ Su salud en buenas manos en un mundo de servicios !



INFORME DE ENSAYO
03031808



Página 1 de 5

Identificación 03031808 **Telefono** 3186858378
Cliente DANNY YAMID HERNANDEZ BENAVIDES **Dirección** VEREDA ARENA BLANCA PUPIALES
Doc./Nit. 1086105912 **Fecha Recepción** 2022-01-12-08:03:13
Convenio PARTICULARES **Fecha Impresión** 2022-01-27 11:43:00.
Tipo Muestra AGUA CRUDA **Fecha Toma Muestra** 18-01-2022 H 5:00AM
Tomada Por DANNY YAMID HERNANDEZ **Punto Toma Muestra** TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Condiciones Ambientales LDV : Temp 22°C - Humedad R. 57% **Observaciones :** T° 8°C

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES DE REF.
----------	-----------	----------	-----------------

MICROBIOLOGIA

COLIFORMES TOTALES.....: 920
Por: 100ml
Método: Sustrato definido
Técnica: Numero más probable
Valor de Referencia.....: 0
Normatividad: Resolución 2115/07

ESCHERICHIA COLI: 23
Por.: 100ml
Metodo: Sustrato definido
Técnica: Numero más probable
Valor de Referencia: 0
Normatividad: Resolución 2115/07
MUESTRA TOMADA POR: EL CLIENTE

LINA VALLEJOS

* El resultado es valido unicamente para las muestras analizadas. *
** Para verificar la conformidad del resultado, ver los límites admisibles según norma. **
Tels : 7364677 - 7364851 - Cels. 300 617 1722 - 310 6452411 - E-mail : atencionalusuarioldv@gmail.com - labovalle@hotmail.com - Calle 21 No.30 - 29 B/

Figura A: Resultados Físico Químicos
Fuente: Laboratorios del Valle



INFORME DE ENSAYO
 03031808

Identificación 03031808	Telefono 3186858378
Cliente DANNY YAMID HERNANDEZ BENAVIDES	Dirección VEREDA ARENA BLANCA PUIPALES
Doc./Nit. 1086105912	Fecha Recepción 2022-01-12-08:03:13
Convenio PARTICULARES	Fecha Impresión 2022-01-27 11:43:00.
Tipo Muestra AGUA CRUDA	Fecha Toma Muestra 18-01-2022 H 5:00AM
Tomada Por DANNY YAMID HERNANDEZ	Punto Toma Muestra TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Condiciones Ambientales LDV: Temp 22°C - Humedad R. 57% **Observaciones:** T° 8°C

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES DE REF.
ANALISIS FISICOQUIMICO			
pH.....:	7.61 (17.2°C)	Unidades de pH	
METODO: SM 4500+B Ed. 2012 POTENCIOMETRICO VALORES DE REFERENCIA: 6.5 - 9.0 Res. 2115/07 y Res. 12186/91			
SULFATOS.....:	2	mg/L SO4-2	
METODO: FOTOMETRICO SM 4500-SO4-E VALORES DE REFERENCIA <250 Res. 2115/07 y Res. 12186/91			
CLORUROS.....:	<2.5	mg/L Cl-	
METODO: SM 4500CL-C Ed. 2012 TITULOMETRICO VALORES DE REFERENCIA <250 Res. 2115/07 y Res. 12186/91			
NITRITOS.....:	<0.001	mg/L NO2-	
METODO: FOTOMETRICO SM 4500-NO2-B. VALORES DE REFERENCIA <0.1 Res. 2115 y Res. 12186/91			

* El resultado es valido unicamente para las muestras analizadas. *

** Para verificar la conformidad del resultado, ver los limites admisibles segun norma. **

Tels : 7364677 - 7364851 - Cels. 300 617 1722 - 310 6452411 - E-mail : atencionalusuarioldv@gmail.com - labovalle@hotmail.com - Calle 21 No.30 - 29 B/

Figura B: Resultados Físico Químicos

Fuente: Laboratorios del Valle



INFORME DE ENSAYO
03031808

Identificación 03031808	Telefono 3186858378
Cliente DANNY YAMID HERNANDEZ BENAVIDES	Dirección VEREDA ARENA BLANCA PUPIALES
Doc./Nit. 1086105912	Fecha Recepción 2022-01-12-08:03:13
Convenio PARTICULARES	Fecha Impresión 2022-01-27 11:43:00.
Tipo Muestra AGUA CRUDA	Fecha Toma Muestra 18-01-2022 H 5:00AM
Tomada Por DANNY YAMID HERNANDEZ	Punto Toma Muestra TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Condiciones Ambientales LDV : Temp 22°C - Humedad R. 57% **Observaciones :** T° 8°C

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES DE REF.
ANALISIS FISICOQUIMICO			
ALCALINIDAD.....:	26	mg/L CaCO3	
METODO: SM 2320B Ed. 2012			
TITULOMETRICO			
VALORES ADMISIBLES			
<200 Res. 2115/07			
CONDUCTIVIDAD.....:	32.5	uSiemens/cm	
METODO: SM 2510B Ed. 2012			
ELECTROMETRICO			
VALORES DE REFERENCIA			
<1000 Res. 2115/07			
HIERRO.....:	0.70	mg/L Fe	
METODO: FOTOMETRICO SM3500-FeB.			
VALORES DE REFERENCIA:			
<0.3 Res. 2115/07 y Res. 12186/91			
COLOR APARENTE.....:	83	UPC	
FOTOMETRICO SM 2120 C.			
GUSTO Y OLOR ACEPTABLE			
SUSTANCIAS FLOTANTES AUSENTES			
VALORES DE REFERENCIA			
<15 Res. 2115/07 y Res. 12186/91			

* El resultado es valido unicamente para las muestras analizadas. *

** Para verificar la conformidad del resultado, ver los limites admisibles segun norma. **

Tels : 7364677 - 7364851 - Cels. 300 617 1722 - 310 6452411 - E-mail : atencionalusuarioldv@gmail.com - labovalle@hotmail.com - Calle 21 No.30 - 29 B/

Figura C: Resultados Físico Químicos

Fuente: Laboratorios del Valle



INFORME DE ENSAYO
03031808

Identificación	03031808	Telefono	3186858378
Ciente	DANNY YAMID HERNANDEZ BENAVIDES	Dirección	VEREDA ARENA BLANCA PUIPALES
Doc./Nit.	1086105912	Fecha Recepción	2022-01-12-08:03:13
Convenio	PARTICULARES	Fecha Impresión	2022-01-27 11:43:00.
Tipo Muestra	AGUA CRUDA	Fecha Toma Muestra	18-01-2022 H 5:00AM
Tomada Por	DANNY YAMID HERNANDEZ	Punto Toma Muestra	TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Condiciones Ambientales LDV : Temp 22°C - Humedad R. 57% **Observaciones :** T° 8°C

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES DE REF.
----------	-----------	----------	-----------------

ANALISIS FISICOQUIMICO

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO.....: **1.04** mg/L O2
 METODO: SM 4500-OG Ed. 2012
 ELECTRODO DE MEMBRANA
 VALORES DE REFERENCIA
 NO SE REPORTAN EN Res. 2115/07

OXIGENO DISUELTO.....: **7.81** mg/L O2
 METODO: 4500-OG Ed. 2012
 ELECTRODO DE MEMBRANA
 VALORES DE REFERENCIA
 NO SE REPORTA EN Res. 2115/07

NITRATOS.....: **1.4** mg/L NO3-
 METODO: FOTOMETRICO 4500-NO3-C
 VALORES DE REFERENCIA
 <10 Res.2115/07

TURBIDEZ.....: **4.73** NTU
 METODO: SM 2130B, Ed. 2012
 NEFELOMETRICO
 VALORES DE REFERENCIA:
 <2.0 Res. 2115/07 y Res. 12186/91

VMANA ALBAN HIDALGO

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL
 AMBIENTES, ALIMENTOS Y AGUAS

VMANA ALBAN HIDALGO

* El resultado es valido unicamente para las muestras analizadas. *

** Para verificar la conformidad del resultado, ver los limites admisibles segun norma. **

Tels : 7364677 - 7364851 - Cels. 300 617 1722 - 310 6452411 - E-mail : atencionalusuarioldv@gmail.com - labovalle@hotmail.com - Calle 21 No.30 - 29 B/

Figura D: Resultados Físico Químicos

Fuente: Laboratorios del Valle



INFORME DE ENSAYO
 03031808

Identificación	03031808	Telefono	3186858378
Cliente	DANNY YAMID HERNANDEZ BENAVIDES	Dirección	VEREDA ARENA BLANCA PUIPIALES
Doc./Nit.	1086105912	Fecha Recepción	2022-01-12-08:03:13
Convenio	PARTICULARES	Fecha Impresión	2022-01-27 11:43:00.
Tipo Muestra	AGUA CRUDA	Fecha Toma Muestra	18-01-2022 H 5:00AM
Tomada Por	DANNY YAMID HERNANDEZ	Punto Toma Muestra	TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Condiciones Ambientales LDV: Temp 22°C - Humedad R. 57% **Observaciones:** T° 8°C

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALORES DE REF.
----------	-----------	----------	-----------------

DUREZA TOTAL.....:	22	mg/L CaCO3	
METODO: SM 2340C ED. 2012			
TITULOMETRICO			
VALORES DE REFERENCIA:			
<300 Res. 2115/07 y Res. 12186/91			

VERONICA ALBALAN HIDALGO
 ANALISTA QUIMICA

* El resultado es valido unicamente para las muestras analizadas. *
 ** Para verificar la conformidad del resultado, ver los limites admisibles segun norma. **
 Tels : 7364677 - 7364851 - Cels. 300 617 1722 - 310 6452411 - E-mail : atencionalusuarioldv@gmail.com - labovalle@hotmail.com - Calle 21 No.30 - 29 B/

Figura E: Resultados Físico Químicos
 Fuente: Laboratorios del Valle

Anexo 2 : Cálculos del Dimensionamiento

El dimensionamiento de equipos y sus respectivos cálculos serán divididos en secciones con el fin de tener un mejor orden y puedan ser comprendidos correctamente.

Sección 1

Cálculo de la demanda de agua dependiendo la población de la vereda

- ✓ Calculo del caudal medio diario por mes

$$Qmd = \frac{\text{Numero de familias} * \text{Demanda bruta}}{30 \text{ dias}}$$

Donde:

Qmd: caudal medio diario

Demanda bruta: Dotación bruta, dada en metros cúbicos (m^3) / suscriptor al mes

$$Qmd = \frac{48 * 9 m^3}{30 \text{ dias}}$$

$$Qmd = 14,4 m^3 / \text{ día}$$

- ✓ Calculo del caudal medio por hora

$$Qmd = \frac{\text{Numero de familias} * \text{Demanda bruta}}{24 \text{ horas}}$$

$$Qmd = \frac{48 * 9 m^3}{24 \text{ horas}}$$

$$Qmd = 18 m^3 / \text{ hora}$$

- ✓ Cálculo del caudal medio por minuto

$$Qmd = \frac{\text{Numero de familias} * \text{Demanda bruta}}{60 \text{ minutos}}$$

$$Qmd = \frac{48 * 9 \text{ m}^3}{60 \text{ minutos}}$$

$$Qmd = 7.2 \text{ m}^3 / \text{minuto}$$

- ✓ Cálculo del caudal máximo diario

$$QMD = Qmd * k1$$

Donde:

QMD: Caudal máximo diario

Qmd: Caudal medio diario

k_1 : coeficiente de consumo máximo diario

$$QMD = 14,4 \text{ m}^3 / \text{dia} * 1,30$$

$$QMD = 18.72 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Sección 2

Almacenamiento y distribución

Calculo de flujo de salida del tanque de almacenamiento de agua potable

- 86400 segundos en un día.

$$Q_s = \frac{QMD}{86400 \text{ s}}$$

$$Q_s = \frac{18720 \text{ L/s}}{86400 \text{ s}}$$

$$Q_s = 0.22 \text{ L/s} \approx 0.3 \text{ L/s}$$

$$Q_s = 0.3 \text{ L/s}$$

Calculo acumulación flujo de agua en el tanque en un lapso de dos horas.

- 7200 segundos en dos horas.

$$Q_a = \frac{5000 \text{ L}}{7200 \text{ s}}$$

$$Q_a = 0.6944 \text{ L/s}$$

- ✓ Balance de masa para determinar el flujo de entrada al tanque de almacenamiento

$$\text{Entrada} - \text{salida} = \text{Acumulación}$$

Donde:

Entrada: flujo de entrada de agua potable en el tanque (Q_i)

Salida: flujo de salida de agua potable del tanque (Q_s)

Acumulación: Flujo de agua dentro del tanque (Q_a)

$$Q_i - Q_s = Q_a$$

$$Q_i = Q_s + Q_a$$

$$Q_i = 0.3 \text{ L/s} + 0.6944 \text{ L/s}$$

$$Q_i = 0.99 \text{ L/s}$$

$$Q_i = 1 \text{ L/s}$$

Sección 3

- ✓ Cálculo de dimensión para dosificación de cloro residual

Por medio de un balance de masa se determinará la concentración de cloro de acuerdo con la capacidad del tanque donde se llevará a cabo la mezcla.

Donde:

$$L_{in} * X_{in} + L_C * X_{out} = L_T * X_T$$

L_{in} = caudal de entrada desde el tanque de agua potable

X_{in} = concentración de cloro a la salida del tanque de agua potable

L_C = caudal de entrada desde el tanque de mezcla

X_{out} = concentración de cloro a la salida del tanque de mezcla

L_T = caudal de salida total red de distribución

X_T = concentración de cloro en la red de distribución

- ✓ Cálculo del % de cloro a la salida del tanque de mezcla

$$250 \text{ L} * 0 + 3.8 * 4\% = 253.8 \text{ L} * X_{out}$$

$$3.8 * 4\% = 253.8 \text{ L} * X_{out}$$

$$X_{out} = \frac{3.8 L * 4\%}{253.8 L}$$

$$X_{out} = \frac{3.8 L * 4\%}{253.8 L}$$

$$X_{out} = 0.0598 \% \approx 598.8 \text{ ppm o mg/L}$$

✓ Caudal de salida del tanque de mezcla

$$L_{in} * X_{in} + L_C * X_{out} = L_T * X_T$$

$$L_C * X_{out} = L_T * X_T$$

$$L_C = \frac{L_T * X_T}{X_{out}}$$

$$L_C = \frac{0.3 L/s * 1.5 mg/l}{598.8 ppm}$$

$$L_C = 7.51 * 10^{-4} L/s \approx 2.7 L/h$$

Una gota de agua equivale a $5 * 10^{-5} L$ por lo tanto:

$$\frac{2.7 L}{5 * 10^{-5} L} = 54000 \text{ gotas / hora} \approx 15 \text{ gotas/segundo}$$

Esto se aplica para el consumo máximo diario que es $18.72 m^3$, por lo tanto, para un consumo normal promedio se debe aplicar una menor cantidad.

- ✓ Cálculo de concentración de cloro al interior del tanque

$$L_{in} * X_{in} + L_C * X_C = L_T * X_T$$

$$L_C * X_C = L_T * X_T$$

$$X_C = \frac{L_T * X_T}{L_C}$$

$$L_C = \frac{0.3 \text{ L/s} * 1.5 \text{ mg/l}}{7.51 * 10^{-4} \text{ L/s}}$$

$$L_C = 599.2 \text{ mg/L}$$

Sección 4

- ✓ Cálculo del diámetro de tubería de salida del tanque

Ecuación de continuidad que corresponde a:

Q: caudal (m^3/s)

A: área de una tubería que trabaja a presión (in)

V: velocidad de flujo (m/s)

D: Diámetro (m)

Donde:

$$Q = A * V$$

Si:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Reemplazando se obtiene:

$$Q = \frac{\pi * D^2}{4} V$$

En este caso se requiere conocer el diámetro (D) de tubería despejando [9] se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

Despejando la velocidad (v) de [9] se tiene:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Reemplazando valores en [10] y [11] se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.0003 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 1 \text{ m/s}}}$$

$$D = 0.02 \text{ m}$$

Se toma la velocidad como 1 m/s que corresponde a la velocidad ideal para determinar diámetros comerciales y corroborando con la fórmula de velocidad se obtiene un aproximado eficaz.

$$V = \frac{4 * 0.0003 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * (0.02 \text{ m})^2}$$

$$V = 0.954 \text{ m/s}$$

✓ Cálculo del diámetro de tubería de entra al tanque

Se utilizan las mismas formulas [10] y [11]:

Donde:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 1 \text{ m/s}}}$$

$$D = 0.043 \text{ m}$$

Así mismo la velocidad corresponde a:

$$V = \frac{4 \cdot 0.0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot (0.043 \text{ m})^2}$$

$$V = 0.986 \text{ m/s}$$

Sección 5

Cálculo de dimensión de la lampara ultravioleta

Los cálculos se realizan con relación a una lampara UV tipo pistón con las siguientes especificaciones:

- Longitud (L): 105 cm
- Diámetro (D): 10 cm
- Radio (r): 5 cm

✓ Cálculo del área transversal del pistón

Se tiene en cuenta que el caudal tanto de salida como de entrada al pistón se debe garantizar como 1 L/s (0.001 m³/s) flujo importante para garantizar el cumplimiento de la siguiente etapa de almacenamiento y distribución.

La velocidad en el pistón corresponde a:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Donde:

S: Área transversal

D: diámetro del pistón

$$S = \frac{\pi * (10cm)^2}{4}$$

$$S = 78cm^2 \cong 0.0078 m^2$$

Donde la velocidad corresponde a:

$$V = \frac{\text{Flujo vol}}{S}$$

Conociendo los anteriores valores tenemos que:

$$V = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0078 \text{ m}^2}$$

$$V = 0.128 \text{ m/s}$$

Sección 6

- ✓ Cálculo medida de bandejas de aireación

Se obtiene el área total de las bandejas a partir de la relación entre el caudal máximo diario y la carga hidráulica, que se recomienda $< 100 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ para obtener una remoción de hierro entre el 80 y 90 %.

$$A_b = \frac{Q_{MD}}{C_h}$$

Donde:

A_t = área total de las bandejas (m^2)

Q_{MD} = caudal máximo diario (m^3/dia)

C_h = carga hidráulica (m/dia)

$$A_t = \frac{18.72 \text{ m}^3/\text{dia}}{75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}}$$

$$A_t = 0.25 \text{ m}^2$$

Numero de bandejas: 3

Área de cada bandeja:

$$A_b = \frac{0.25 \text{ m}^2}{3}$$

$$A_b = 0.083 \text{ m}^2$$

Longitud interna de cada lado:

$$l_b = \sqrt{0.083 \text{ m}^2}$$

$$L_b = 0.29 \text{ m} \approx 30 \text{ cm}$$

Sección 7

Datos recolectados

- Capacidad del tanque: $22,5 \text{ m}^3$ que corresponde a 22.500 L
- Entrada de flujo de agua no potable al tanque: 2 L/s
- Diámetro de tubería de entra y salida $1\frac{1}{2} \text{ in}$

✓ Cálculo de tiempo de llenado de tanque de 22.500 L

Datos conocidos:

- Tiempo (t)=?
- Volumen (V)= 22.5 m^3
- Caudal (Q) = 2 L/s equivalente a: $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q = \frac{v}{t}$$

despejando:

$$t = \frac{v}{Q}$$

Entonces:

$$t = \frac{22.5 \text{ m}^3}{0.002 \text{ m}^3/\text{s}} = 11.250 \text{ segundos}$$

→ equivalente a: 3 horas

Anexo 3 : Fichas técnicas

Válvulas de bola compactas en CPVC

**NUEVO
DISEÑO**

Línea agua caliente y fría - Familia Válvulas



VÁLVULAS DE BOLA COMPACTAS EN CPVC

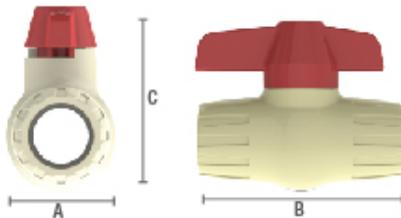
Simplifica las instalaciones de agua caliente



Diseñados para agua fría y caliente.
Resiste hasta 82°  *

*Según norma ASTM D2846 Aplican presiones y condiciones de uso de acuerdo con la temperatura del agua.
La relación presión - temperatura es inversamente proporcional

DIMENSIONES:



REF: Válvula de bola 1/2" CPVC

NORMATIVIDAD:

CTS (Copper tube size)
NTC 1062 (ASTMD 2846)

PRESIÓN MÁX DE TRABAJO:

150 PSI a 23°C.
100 PSI a 82°C.



Las válvulas de bola se deben usar totalmente abiertas o totalmente cerradas. No son aptas para regulación ni para uso con aire o gases comprimidos.

CARACTERÍSTICAS:

- Fácil Instalación y sin herramientas
- Apertura y cierre rápido
- Presentación soldar
- Alta resistencia a la corrosión y al desgaste
- Presión máxima de trabajo: 100 PSI a 82°C

RECOMENDACIONES:



PRESENTACIONES:

SOLDAR

Ref.	Pulgadas	Dimensiones AXBXZ
3748	1/2"	3x5, 4x5
3749	3/4"	4x8, 4x7
3747	1"	5x9, 4x8

A (Ancho) B (Largo) C (Alto)

13

Figura F: Características Válvulas Manuales
Fuente: Proveedor

ETAPA ULTRAVIOLETA 110W



UV: Sigla por Luz Ultravioleta, desinfecta el agua sin necesidad de compuestos químicos
Acción germicida: Radiación UV, destruye el material genético de microorganismos.

Alcance: Reducción del 99.99% en bacterias, virus, esporas y Algas. Bacteria E. Coli, Giardia lamblia, salmonella, Staphilococcus, Pseudomonas, cryptosporidium, etc.
Efecto residual en el agua: NO cambia el sabor y el olor. No produce ozono.

Espectro ultravioleta: UV-C onda corta UV. Longitud de onda: Entre 200 y 295 nm. Rango Óptimo de radiación - poder germicida: 254 - 265 nanómetros.
Rango mínimo universal para equipo UV germicida: 16 mw/cm².

La Etapa UV Incluye: Funda de cristal cuarzo, fuente o balastro electrónico, carcasa de acero inoxidable, tubo UV, conectores Quick Fitting y sello de silicona.

Siglas: GPM - Galones por Minuto. LPM - Litros por Minuto. LPH - Litros por Hora.

CARACTERÍSTICAS:

Potencia de radiación: 110w
Caudal máximo: 24 GPM. 90 LPM. 5.460LPH
Material de Carcasa: Acero inoxidable tipo 304, pulido espejo
Resistente. Garantiza una larga vida útil.
Tapa rosca: En acero inoxidable.
Longitud de carcasa acero: 97 cm
Diámetro de la carcasa acero: 13.7 cm o 5 pulgadas.
Peso carcasa acero inoxidable: 2.800 gramos
Peso etapa UV completa: 5.000 gramos
Conexión de entrada - salida: 1 pulgada NPT
Tipo de Conectores: Quick Fitting- acople rápido
Temperatura máxima: 45° C
Presión máxima de operación: 125 PSI.
Presión de funcionamiento: 20 a 125 PSI
Frecuencia de alimentación: 60 Hertz.
Unidad de alimentación eléctrica: 110-117 volts (2 Balastos)

Voltaje de la lámpara: 170 voltios
Consumo total de corriente: 1.54 amperios
Potencia UV-C 254 nanómetros: 36 Watios
Tipo de lámpara o Tubo UV-C: Presión de Mercurio.T8
Longitud del tubo UV: 91 cm con los pin.
Diámetro del Tubo UV: 2.5 cm
Vida útil del tubo UV: 8.000 – 9.000 horas.
Numero de tubo o lámpara UV: 2 y 2 cuarzos
Funcionamiento: 24 horas.
Dosis germicida nominal: >30 mw/cm²
Material lámpara germicida y funda cuarzo: 99% SiO₂
Cuarzo de Alta Transmisividad: Cuarzo de alta pureza, solo absorbe entre el 2% y el 4% de la radiación UV.
Longitud de la funda de cuarzo: 95.5 cm
Diámetro de la funda de cuarzo: 3.4 cm
Requerimiento agua de entrada: Filtrada. Libre de partículas en suspensión o disolución y una Dureza menor a 120 ppm.

Advertencia: Proteja su piel y ojos de la luz directa UV.

CERTIFICADO NSF



Figura G: Características Instrumento de desinfección UV
Fuente: Proveedor

Filtro Tanque 10 x 54 con válvula manual + Medio multimedio Hydrffin 30N y Zeosorb-zeolita



Los Tanques o Botellas de Polyglass son los recipientes a presión ideales para aplicaciones de suavizadores de agua, filtros residenciales, semi-industriales y comerciales ligeras.

Proporcionan años de servicio confiable para tratamiento de agua y aplicaciones de filtración. Estos tanques ofrecen una calidad sin igual y resistencia química necesaria. Puede ser empleados con confianza para filtración de agua potable o para uso en procesos de fabricación de alimentos.

TANQUE: 10 x 54 pulgadas
 Diámetro: 10 pulgadas - 25cm
 Medida en cm 135 cm
 Entrada Roscada o abertura Superior : 2.5 pulgadas
 Capacidad (GPM): 16.4 galones - 62 litros por minuto
 Capacidad en Pies cúbicos: 2.2
 Carcasa interior con Revestimiento de polietileno de alta densidad continuo y de una pieza.
 Resistencia a los productos químicos.
 Presión operativa máxima: 150 Psi.
 Temperatura Operativa máxima: 120 grados f.
 Parametros de Diseño:
 Factor de seguridad: 4:1
 Explosión mínima: 600 Psi.
 Capacidad de flujo de agua: 8 GPM en filtros de arena y 6 GPM en filtro de carbón.

ZEOSORB ZEOLITA

Zeosorb es una zeolita que tiene mejores propiedades que la arena y realiza filtraciones hasta 3 micras, ofrece Mejor claridad de filtrado, esta propiedad permite reducir en gran medida la turbidez del filtrado -NTU. (Los filtros de arena y antracita solo logran filtrar partículas hasta de 12 a 15 micras)

Es un aluminosilicato natural de alta pureza, Se destaca por su superficie altamente porosa y su resistencia a la abrasión. Tiene entre 6 a 7 veces mas superficie que la arena, esto hace que el Zeosorb sea un medio filtrante con mayor capacidad de retención y carga de solidos. Puede filtrar grandes cantidades de agua.

CARACTERISTICAS:

- Reduce la turbidez
- Filtración hasta 3 micras
- Controla la formación de cloraminas
- Área de superficie mayor
- Tiempo de vida útil aproximado 10 años
- Reduce el tiempo de retrolavado hasta en un 50% comparado con filtros de arena
- Producto naturalmente verde

PROPIEDADES FISICAS:

- Filtración nominal: 3 micras
- Porosidad: 24 - 32%
- Medida de partículas: 0.5-1.0 mm y 1.5-2.5 mm
- Área de superficie: 270 m²/g
- Medida de malla: 18 x 35 y 8 x 14
- Color: verde palido / gris
- Retención de agua: Sostiene el 50% de su peso
- Absorción de superficie: Hidrolífica

CARBÓN HYDRAFFIN 30N

Carbón activado granular, neutralizado de origen mineral, que cuenta con un elevado grado de porosidad y superficie interna, para la adecuada eliminación de cloro y compuestos orgánicos en el agua, que causan color, olor y sabor indeseable.

Especificaciones:

- Granulometría (mm) 0,6 - 2,36
- Densidad aparente (kg/m³) 490 ± 30
- Contenido de humedad (% en peso) < 5 (recién envasado)
- Índice de yodo (mg/g) 1000 ± 50

Características típicas:

- Densidad aparente después de retro lavado y drenaje 440
- contra lavado (km/m³) Superficie interna (m²/g) env. 950 (BET-método)
- Dureza o Resistencia a la abrasión > 90
- Contenido de cenizas (% en peso) < 15

VALVULA MANUALDE 3 POSICIONES PARA TANQUE DE POLYGLASS

Válvula manual multipuerto para sistemas de tratamiento de agua de 3 vías o Multiválvula.
 Para una sencilla operación Manual, diseñada para aplicaciones de entrada y salida y retrolavado.
 Rosca en la base: 2.5 pulgadas
 Entrada y salida: 1 pulgada
 Medidas: 149 x 127 x 180 mm

Para el sellado de los tanques de polyglass que son ideales para la instalación ablandadores y de filtros de agua residenciales y comerciales, con medios filtrantes como: FILTROS DE ARENA, FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO, FILTROS MULTIMEDIO (ARENA, CARBÓN ACTIVADO, ANTRACITA), FILTRO BIRM PARA HIERRO.

No incluye accesorios y tubería para su instalación.

Figura H: Características Filtro Ascendente - Descendente

Fuente: Proveedor

Medidas	2.54 cm
Garantía	1 año
Material	Plástico (Nylon reforzado) Muelle y tornillería en acero inoxidable.
Uso	Residencial, comercial, agrícola
Color	Negro
Tipo	Electroválvula
Modelo	Electroválvulas CPV
Función	Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada.
Características	Electroválvula de riego 24 V Cepex - rosca hembra 1".Electroválvula de riego Cepex. Fabricada con nylon reforzado. Muelle y tornillos en acero inoxidable. Presión de trabajo de 0,5-10 BAR. Solenoide 2 vías, control interno, 24 VAC/50HZ. Electroválvula riego rosca hembra 1". Sin tubos ni accesorios externos Construcción compacta Cierre por tornillos Orificio auto-limpiante
Pais donde se fabrica (Procedencia)	España
Origen	España
Incluye	Tornillo de purga, regulador de caudal, tapa de la válvula, solenoide, diafragma

Figura I: Características Electro-Válvula
Fuente: Proveedor

Producto	TANQUES			TAPAS		Peso del Kit (Tanque + Tapa)
	"Diámetro Inferior (D1)"	"Diámetro Superior (D2)"	Altura (H1)	Diámetro (D3)	Altura (H2)	
250 L	545	740	930	778	100	7
500 L	700	940	1050	1000	165	11
1000 L	910	1185	1270	1230	185	18
2000 L	1170	1515	1580	1530	220	37
5000 L	1670	2080	1910	2220	370	100
6000 L	1740	2080	2110	2220	370	119
Bebedero / Jr 250 L	800	950	460	980	190	11
Bebedero / Jr 550 L	1010	1220	660	1255	210	15,5

Figura J: Características Tanques de almacenamiento
Fuente: Proveedor

PRESIÓN EXTREMO LISO
Sistema de Tuberías y Conexiones
 Lista de Precios PAVCO  CLIENTE FINAL

PRECIOS: NO INCLUYEN EL I.V.A.

FECHA LISTA:
 REEMPLAZA LISTA:

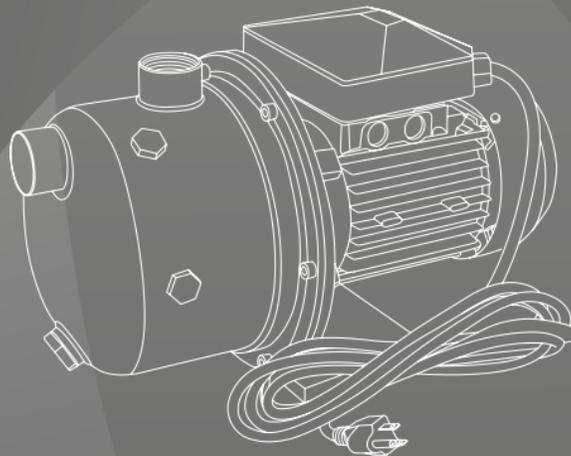
NOVIEMBRE 6 DE 2021
 SEPTIEMBRE DE 2021

TUBERIAS			
Tuberías	Referencia	Díámetro	Precio x Tubo
Tramos de 6 metros extremos lisos Presión de trabajo 23°C			
RDE psi			
9 500	2900266	1/2	\$ 23.856
11 400	2900210	3/4	\$ 31.764
13.5 315	2902449	1/2	\$ 17.023
	2900213	1	42.858
21 200	2900237	3/4	\$ 21.093
	2900220	1	29.600
	2900225	1.1/4	53.316
	2902450	1.1/2	69.616
	2902453	2	106.752
	2900230	2.1/2	173.011
	2900233	3	230.994
	2900240	4	393.998
	2904616	6	838.346
26 160	2900246	2	\$ 88.137
	2900251	3	188.299
*** NUEVO *** TUBERIA BIAXIAL EXTREMO LISO			
Verificar Descuento Comercial con Asesores			
PR 200	2911093	3	215.000
200 psi	2911094	4	290.386
	2911095	6	650.000
TUBERIAS AGUAS RECUPERADAS			
Tuberías	Referencia	Díámetro	Precio x Tubo
Tramos de 6 metros extremos lisos Presión de trabajo 23°C			
RDE psi			
9 500	2905818	1/2	\$ 23.856
11 400	2905812	3/4	\$ 31.764
13.5 315	2905813	1	42.858
21 200	2905814	1.1/4	53.316
	2905815	1.1/2	69.616
	2905816	2	106.752

CONEXIONES			
Tees	Referencia	Díámetro	Precio x Unidad
Reducidas	2901538	3/4 x 1/2	\$ 2.163
	2901530	1 x 1/2	4.267
	2901532	1 x 3/4	4.267
Codos 90°	2901122	1/2	\$ 659
	2901144	3/4	1.055
	2901105	1	2.062
	2901114	1.1/4	3.960
	2901110	1.1/2	7.394
	2901127	2	12.118
	2901132	2.1/2	34.897
	2901137	3	45.161
	2901149	4	97.974
Codos 45°	2901074	1/2	\$ 1.088
	2901096	3/4	1.739
	2901064	1	3.311
	2901073	1.1/4	5.988
	2901069	1.1/2	8.029
	2901083	2	13.276
	2901087	2.1/2	37.424
	2901090	3	42.743
	2901100	4	90.937
	Uniones	2901635	1/2
2901661		3/4	664
2901616		1	1.088
2901626		1.1/4	1.992
2901621		1.1/2	2.721
2901642		2	4.458
2901647		2.1/2	17.637
2901654		3	21.848
2901667		4	47.462
Adaptadores Macho	2900779	1/2	454
	2900802	3/4	823
	2900762	1	1.718
	2900771	1.1/4	3.616
	2900767	1.1/2	4.237
	2900784	2	6.053
	2900790	2.1/2	15.738
	2900794	3	23.793
	2900807	4	43.768

Figura K: Características tuberías de instalación
 Fuente: Proveedor

AQUA PAK®



SERIE FIX

FIX05E, FIX10E, FIX15E y FIX15E/3230

BOMBAS DE SUPERFICIE (TIPO JET)

MANUAL DE INSTALACIÓN

NOM **ANCE**
PRODUCTO CERTIFICADO
ESTRATEGIA PRODUCTIVA
(Sólo modelos monofásicos)

Figura L: Manual de Instalación Moto Bomba
Fuente: Proveedor

3. MONTAJE DE LA TUBERIA

El tubo de aspiracion debera ser resistente a la depresion y permanecer sumergido unos 30 centimetros bajo el nivel del agua a fin de impedir la formacion de remolinos que puedan provocar la entrada de aire a la bomba.

En caso de que la tuberia de aspiracion sea de mas de 7 metros se recomienda un diametro de tuberia mayor a la succion de la bomba.

Las uniones y/o racores deberan estar totalmente sellados. Ademas se recomienda eliminar curvas durante el recorrido, procurando que todo el tramo de aspiracion tenga una pendiente minima de 2% (figura 1)

La tuberia de descarga debera ser de un diametro igual o superior al de la descarga de la bomba.

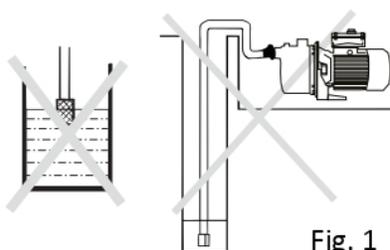


Fig. 1

4. CONEXIÓN ELÉCTRICA

La instalacion electrica debe estructurarse con interruptor que permite la desconexion de la bomba.

El motor de la bomba tiene proteccion termica incorporada.

En la figura 2 se muestra la correcta conexión eléctrica de la bomba.

Realice la conexión a tierra de la bomba.

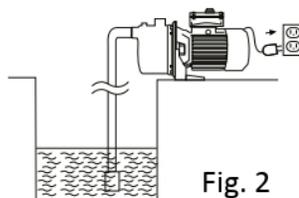


Fig. 2

Figura M: Manual de Instalación Moto Bomba
Fuente: Proveedor

5. CONTROLES PREVIOS A LA PUESTA EN MARCHA INICIAL



- Compruebe que la tension y frecuencia de la red corresponden a las indicadas en la placa de características.
- Asegurese de que el eje de la bomba gira libremente.
- Llene el cuerpo de la bomba quitando el tapon de cebado (pongalo nuevamente despues de llenar la bomba).
- Verifique que el sentido de giro de la bomba sea horario visto desde la tapa del ventilador (figura 3).
- **NUNCA HAGA FUNCIONAR LA BOMBA EN SECO.**

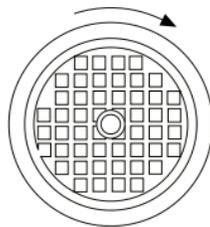


Fig. 3

6. PUESTA EN MARCHA

- Abra todas las valvulas de bola que puedan existir en el circuito de aspiracion y descarga.
- Conecte el interruptor de alimentacion electrica y espera mientras se efectua el autocebado, si se hubiera instalado la valvula de pie, el cebado es instantaneo.
- Si el motor no arranca o no extrae agua, consulte la relacion de posibles averias y soluciones que aparece mas adelante en este manual.

Figura N: Puesta en Marcha Moto-Bomba
Fuente: Proveedor

7. MANTENIMIENTO

Esta electrobomba no precisa mantenimiento especial.



Se recomienda, en periodos de baja temperatura e inactividad prolongada, vaciar el cuerpo de la bomba.

Si la inactividad perdura es conveniente limpiar la bomba y guardarla en un lugar seco y ventilado.

FALLAS, CAUSAS Y SOLUCIONES	1	2	3	4	5	Causa	Soluciones
1) La motobomba no arranca.	X					Bomba bloqueada	Desmontarla y llevarla a un servicio tecnico autorizado
				X		Valvula de pie obturada	limpiarla o cambiarla por una nueva
2) La motobomba no aspira		X		X		Altura manometrica total superior a la prevista	Verificar la altura geometrica y las perdidas de carga
	X				X	Tension erronea	Comprobar que la tension sea igual a la marcada en la placa de caracteristicas
		X	X	X		Disminucion del nivel de agua en el pozo	Regular la altura de aspiracion
3) La motobomba funciona pero no da presión	X					Fusible o rele termico desconectado	Cambiar el fusible o rele termico
			X	X		Turbinas desgastadas	Desmontarla y llevarla a un servicio tecnico autorizado
4) El caudal es insuficiente		X	X			Valvula de pie no sumergida	Sumergir adecuadamente el tubo de aspiracion
		X	X			Olvido cebar la bomba	Llenar el cuerpo de la bomba de agua
5) El motor se calienta excesivamente					X	Ventilacion deficiente del local	Obtener una buena ventilacion
		X	X			Entrada de aire	Sellar perfectamente los racores y juntas
				X		Venturi obturado	Desmontarla y llevarla a un servicio tecnico autorizado

Figura O: Mantenimiento Moto-Bomba

Fuente: Proveedor

9. ESPECIFICACIONES CURVAS DE OPERACIÓN

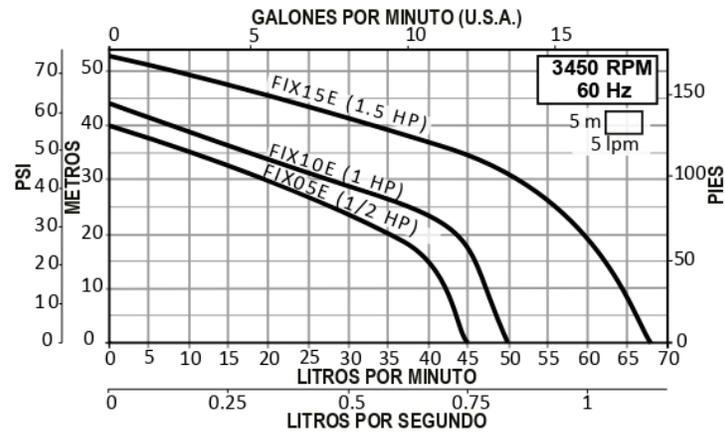


TABLA DE ESPECIFICACIONES

CÓDIGO	HP	kW	FASES X VOLTS	AMP.	SUCCIÓN X DESCARGA (pulgadas)	DMS*	PRESIÓN AL CIERRE (m/psi)	CARGA EN METROS (psi)			
								10 (14.2)	20 (28.4)	30 (42.6)	40 (56.8)
								GASTO (lpm)			
FIX05E	1/2	0.37		7.1	1" x 1"	1.25"	40 / 56	42	35	19	
FIX10E	1	0.75	1 X 127	9			44 / 62	47	43	27	8
FIX15E	1.5	1.1		10			54 / 76	64	59	51	33
FIX15E/3230			3 x 230	3.5							

DIMENSIONES Y PESOS

CÓDIGO	A	B	C	D	E	PESOS (kg)
FIX05E	195	345	201	157	1"	8.8
FIX10E						10.3
FIX15E		375		162		11.5
FIX15E/3230						

Dimensiones en mm.

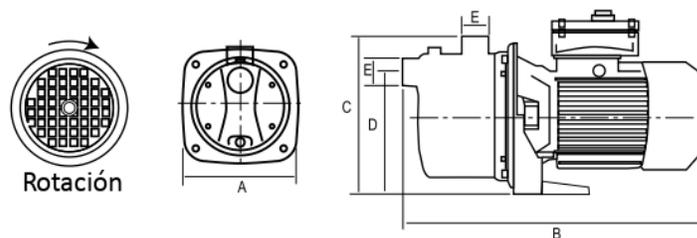


Figura P: Curvas de operación y especificaciones Moto-Bomba
Fuente: Proveedor

Pessl Instruments Water Level Sensor

M metos.at/home/es/portfolio/pessl-instruments-water-level-sensor-or-tank-level-sensor/



Disculpa, pero esta entrada está disponible sólo en [Inglés Estadounidense](#), [Alemán](#), [Italiano](#), [Ruso](#), [Ucraniano](#), [Francés](#), [Polaco](#) y [Turco](#). For the sake of viewer convenience, the content is shown below in this site default language. You may click one of the links to switch the site language to another available language.

PESSL INSTRUMENTS WATER LEVEL SENSOR

The Water level sensor is an accurate and cost effective submersible water level sensor that can be connected to METOS® stations with the precision of 3 mm within the measurement ranges. Sensor has an integrated barometric sensor module to increase precision. Pressure (Measuring) ranges: 0 mWC up to 5 mWC (other distances on request). Special cable is also available.

Applications: Depth or level measurement in wells and open waters (rivers and lakes) and ground water level measurement.

SENSOR	PESSL INSTRUMENTS WATER LEVEL SENSOR OR TANK LEVEL SENSOR
---------------	--

Order number	600026 / 900201, 600153
---------------------	--------------------------------



1/2

Figura Q: Características Sensor de Nivel
Fuente: Proveedor

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Accuracy according to IEC 60770	Limit point adjustment (nonlinearity, hysteresis and repeatability) within ± 3 % within the measurement ranges
Response time	~ 5 ms
Range	0 to 20 m of water column (other on request)
Resolution	1 mm
Accuracy	0.5 % of maximum water level
Operating temperature range	0 °C to 50 °C
Storage temperature range	-20 °C to 80 °C
Weight	1.1 kg (including cable)
Housing	Stainless steel 1.4301
Diaphragm	Ceramic
Seals	FKM
Cable sheath	Shielded PVC
Output signal	Serial (RS485)
Support	PI-bus only at the end of the chain
Dimensions gauge shaft	90 x 20 mm (height x diameter)

PESSL INSTRUMENTS GmbH
Werksweg 107, A-8160 Weiz, Austria
Tel: +43 (0) 3172 5521, Fax: +43 (0) 3172 5521 23
E-mail: sales@metos.at, Webpage: www.metos.at



Values may be changed without notice. All rights reserved. © 1984-2022 Copyright PESSL INSTRUMENTS GmbH

[BACK TO ALL SENSORS](#)

2/2

Figura R: Características Sensor de Nivel
Fuente: Proveedor

LOGO! expansion modules

Overview

- Expansion modules for connection to LOGO! Modular
- With digital inputs and outputs, analog inputs, or analog outputs

Design

- Relay outputs with max. 5 A output current.
- Different modules:
 - 4 digital inputs, 4 digital outputs or
 - 4 digital inputs, 4 relay outputs or
 - 2 analog inputs or
 - 2 analog outputs.
- Interface for connection to LOGO! modular logic modules.

Note on compatibility:

Expansion modules for LOGO! 8 can only be used on LOGO! 8 basic devices!

Expansion modules for LOGO! 6 and 7 cannot be used with LOGO! 8 basic devices.

Technical specifications

Article number	6ED1055-1CB00-0BA2 LOGO! DM8 24 Exp. mod., 4DI/4DO	6ED1055-1HB00-0BA2 LOGO! DM8 24R Exp. mod. 2 MW, 4DI/4DO	6ED1055-1MB00-0BA2 LOGO! DM8 12/24R Exp. mod. 2 MW, 4DI/DO	6ED1055-1FB00-0BA2 LOGO! DM8 230R Exp. mod. 2 MW, 4DI/4DO
Installation type/mounting				
Mounting	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide
Supply voltage				
Rated value (DC)			Yes	
• 12 V DC				
• 24 V DC	Yes	Yes	Yes	
• 115 V DC				Yes
• 230 V DC				Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V	20.4 V	10.8 V	100 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V	28.8 V	28.8 V	253 V
Rated value (AC)		Yes		
• 24 V AC				
• 115 V AC				Yes
• 230 V AC				Yes
Line frequency				
• permissible range, lower limit		47 Hz		47 Hz
• permissible range, upper limit		63 Hz		63 Hz
Digital inputs				
Number of digital inputs	4	4	4	4
Input voltage				
• Type of input voltage	DC	AC/DC	DC	AC/DC
• for signal "0"	< 5 V DC	< 5 V AC/DC	< 5 V DC	< 40 V AC, < 30 V DC
• for signal "1"	> 12 V DC	> 12 V AC/DC	> 8.5 V	> 79 V AC, > 79 V DC
Input current				
• for signal "0", max. (permissible quiescent current)	0.88 mA	1.1 mA	0.88 mA	0.06 mA; 0.05 mA with AC, 0.06 mA with DC
• for signal "1", typ.	2.1 mA	2.63 mA	1.5 mA	0.13 mA
Input delay (for rated value of input voltage) for standard inputs				
— at "0" to "1", max.	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	40 ms
— at "1" to "0", max.	1.5 ms	15 ms	1.5 ms	75 ms
Digital outputs				
Number of digital outputs	4	4; Relays	4; Relays	4; Relays
Short-circuit protection	Yes	No	No	No
Controlling a digital input	Yes	Yes	Yes	Yes
Switching capacity of the outputs				
• on lamp load, max.		1 000 W	1 000 W	1 000 W; 500 W at 115V AC
Output current				
• for signal "1" rated value	0.3 A	5 A	5 A	5 A

Figura S: Características Modulo de Expansión
Fuente: Proveedor

Article number	6ED1055-1CB00-0BA2 LOGO! DM8 24 Exp. mod., 4DI/4DO	6ED1055-1HB00-0BA2 LOGO! DM8 24R Exp. mod. 2 MW, 4DI/4DO	6ED1055-1MB00-0BA2 LOGO! DM8 12/24R Exp. mod. 2 MW, 4DI/DO	6ED1055-1FB00-0BA2 LOGO! DM8 230R Exp. mod. 2 MW, 4DI/4DO
• for signal "1" minimum load current		100 mA	100 mA	100 mA
Parallel switching of two outputs				
• for uprating	No	No	No	No
Switching frequency				
• with resistive load, max.	10 Hz	2 Hz	2 Hz	2 Hz
• with inductive load, max.	0.5 Hz	0.5 Hz	0.5 Hz	0.5 Hz
• mechanical, max.		10 Hz	10 Hz	10 Hz
Relay outputs				
Switching capacity of contacts				
— with inductive load, max.		3 A	3 A	3 A
— with resistive load, max.		5 A	5 A	5 A
EMC				
Emission of radio interference acc. to EN 55 011				
• Limit class B, for use in residential areas	Yes	Yes	Yes	Yes
Degree and class of protection				
IP degree of protection	IP20	IP20	IP20	IP20
Standards, approvals, certificates				
CE mark	Yes	Yes	Yes	Yes
CSA approval	Yes	Yes	Yes	Yes
UL approval	Yes	Yes	Yes	Yes
FM approval	Yes	Yes	Yes	Yes
developed in accordance with IEC 61131	Yes	Yes	Yes	Yes
according to VDE 0631	Yes	Yes		Yes
Marine approval	Yes	Yes	Yes	Yes
Ambient conditions				
Ambient temperature during operation				
• min.	0 °C; ES03 and higher: -20 °C	0 °C; ES03 and higher: -20 °C	0 °C; ES03 and higher: -20 °C	0 °C; ES03 and higher: -20 °C
• max.	55 °C	55 °C	55 °C	55 °C
Dimensions				
Width	35.5 mm	35.5 mm	35.5 mm	35.5 mm
Height	90 mm	90 mm	90 mm	90 mm
Depth	58 mm	58 mm	58 mm	58 mm
Article number	6ED1055-1CB10-0BA2 LOGO! DM16 24 Exp. mod., 4 MW, 8DI/8DO	6ED1055-1NB10-0BA2 LOGO! DM16 24R Exp. mod. 4 MW, 8DI/8DO	6ED1055-1FB10-0BA2 LOGO! DM16 230R Exp. mod. 4 MW, 8DI/8DO	
Installation type/mounting				
Mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide	
Supply voltage				
Rated value (DC)				
• 24 V DC	Yes	Yes		
• 115 V DC				Yes
• 230 V DC				Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V	20.4 V		100 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V	28.8 V		253 V
Rated value (AC)				
• 24 V AC		No		
• 115 V AC				Yes
• 230 V AC				Yes
Line frequency				
• permissible range, lower limit				47 Hz
• permissible range, upper limit				63 Hz
Digital inputs				
Number of digital inputs	8	8	8	
Input voltage				
• Type of input voltage	DC	DC		AC/DC
• for signal "0"	< 5 V DC	< 5 V DC		< 40 V AC, < 30 V DC
• for signal "1"	> 12 V DC	> 12 V DC		> 79 V AC, > 79 V DC
Input current				
• for signal "0", max. (permissible quiescent current)	0.85 mA	0.85 mA		0.06 mA; 0.05 mA with AC, 0.06 mA with DC
• for signal "1", typ.	2 mA	2 mA		0.13 mA
Input delay (for rated value of input voltage)				
for standard inputs				
— at "0" to "1", max.	1.5 ms	1.5 ms		40 ms
— at "1" to "0", max.	1.5 ms	1.5 ms		75 ms
Digital outputs				
Number of digital outputs	8	8; Relays		8; Relays
Short-circuit protection	Yes	No		No

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10000028?activeTab=productinformation®ionUrl=WW>

2/4

Figura T: Características Módulo de Expansión
Fuente: Proveedor

Article number	6ED1055-1CB10-0BA2 LOGO! DM16 24 Exp. mod., 4 MW, 8DI/8DO	6ED1055-1NB10-0BA2 LOGO! DM16 24R Exp. mod. 4 MW, 8DI/8DO	6ED1055-1FB10-0BA2 LOGO! DM16 230R Exp. mod. 4 MW, 8DI/8DO
Controlling a digital input		Yes	Yes
Switching capacity of the outputs			
• on lamp load, max.		1 000 W	1 000 W; 500 W at 115V AC
Output current			
• for signal "I" rated value	0.3 A	5 A	5 A
• for signal "I" minimum load current		100 mA	100 mA
Parallel switching of two outputs			
• for uprating	No	No	No
Switching frequency			
• with resistive load, max.	10 Hz	2 Hz	2 Hz
• with inductive load, max.	0.5 Hz	0.5 Hz	0.5 Hz
• mechanical, max.		10 Hz	10 Hz
Relay outputs			
Switching capacity of contacts			
— with inductive load, max.		3 A	3 A
— with resistive load, max.		5 A	5 A
EMC			
Emission of radio interference acc. to EN 55 011			
• Limit class B, for use in residential areas	Yes	Yes	Yes
Degree and class of protection			
IP degree of protection	IP20	IP20	IP20
Standards, approvals, certificates			
CE mark	Yes	Yes	Yes
CSA approval	Yes	Yes	Yes
UL approval	Yes	Yes	Yes
FM approval	Yes	Yes	Yes
developed in accordance with IEC 61131 according to VDE 0631	Yes	Yes	Yes
Marine approval	Yes	Yes	Yes
Ambient conditions			
Ambient temperature during operation			
• min.	0 °C; ES03 and higher: -20 °C	0 °C; ES03 and higher: -20 °C	0 °C; ES03 and higher: -20 °C
• max.	55 °C	55 °C	55 °C
Dimensions			
Width	71.5 mm	71.5 mm	71.5 mm
Height	90 mm	90 mm	90 mm
Depth	58 mm	58 mm	58 mm
Article number	6ED1055-1MA00-0BA2 LOGO! AM2 Exp. mod., 12/24V, 2AI,	6ED1055-1MD00-0BA2 LOGO! AM2 RDT, 2AI, -50...+200DECR/C	
Installation type/mounting			
Mounting	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide	
Supply voltage			
Rated value (DC)			
• 12 V DC	Yes; 10.8 V DC to 28.8 V DC	Yes; 10.8 V DC to 28.8 V DC	Yes; 10.8 V DC to 28.8 V DC
• 24 V DC	Yes; 10.8 V DC to 28.8 V DC	Yes; 10.8 V DC to 28.8 V DC	Yes; 10.8 V DC to 28.8 V DC
Input current			
Current consumption, typ.	30 mA	30 mA	
Analog inputs			
Number of analog inputs	2	2; 2 or 3 wire connection	
Input ranges			
• Voltage	Yes	No	
• Current	Yes	No	
• Resistance thermometer	No	Yes; For PT100/PT1000 sensors	
Input ranges (rated values), voltages			
• 0 to +10 V	Yes	No	
Input ranges (rated values), currents			
• 0 to 20 mA	Yes; 0 mA or 4 mA to 20 mA	No	
Input ranges (rated values), resistance thermometer			
• Pt 100	No	Yes	
EMC			
Emission of radio interference acc. to EN 55 011			
• Limit class B, for use in residential areas	Yes	Yes	
Degree and class of protection			
IP degree of protection	IP20	IP20	
Standards, approvals, certificates			
CE mark	Yes	Yes	
CSA approval	Yes	Yes	
UL approval	Yes	Yes	
FM approval	Yes	Yes	
developed in accordance with IEC 61131 according to VDE 0631	Yes	Yes	
Marine approval	Yes	Yes	
Ambient conditions			

Figura U: Características Modulo de Expansión
Fuente: Proveedor

Article number	6ED1055-1MA00-0BA2 LOGO! AM2 Exp. mod., 12/24V, 2AI,	6ED1055-1MD00-0BA2 LOGO! AM2 RDT, 2AI, -50...+20DECR/C
Ambient temperature during operation		
• min.	0 °C; ES03 and higher: -20 °C	0 °C; ES03 and higher: -20 °C
• max.	55 °C	55 °C
Dimensions		
Width	35.5 mm	35.5 mm
Height	90 mm	90 mm
Depth	58 mm	58 mm
Article number	6ED1055-1MM00-0BA2 LOGO! AM2 AQ, 2AQ, 0-10V, 0/4-20mA	
Installation type/mounting	Mounting on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide	
Supply voltage	Rated value (DC) 24 V	
Analog outputs	Number of analog outputs 2	
Output ranges, voltage	• 0 to 10 V Yes	
Output ranges, current	• 0 to 20 mA Yes • 4 mA to 20 mA Yes	
EMC	Emission of radio interference acc. to EN 55 011 • Limit class B, for use in residential areas Yes	
Degree and class of protection	IP degree of protection IP20	
Standards, approvals, certificates	CE mark Yes CSA approval Yes UL approval Yes FM approval Yes developed in accordance with IEC 61131 Yes according to VDE 0631 Yes Marine approval Yes	
Ambient conditions	Ambient temperature during operation • min. 0 °C; ES03 and higher: -20 °C • max. 55 °C	
Dimensions	Width 35.5 mm Height 90 mm Depth 58 mm	

Figura V: Características Modulo de Expansión
Fuente: Proveedor



LOGO! basic modules with display

Overview

- The space-saving basic versions
- Interface for the connection of expansion modules, up to 24 digital inputs, 20 digital outputs, 8 analog inputs and 8 analog outputs can be addressed
- All basic units with integrated web server
- Enclosure width 72 mm (4 U)
- All basic units with Ethernet interface for communication with LOGO! 8, LOGO! TDE, SIMATIC Controllers, SIMATIC Panels and PCs
- Use of standard micro SD cards

Design

- Ethernet port
- Relay outputs with max. 10 A output current
- Integrated display field with parameterizable backlight (6 x 16 characters, 3 background colors).
- Integrated operator control panel.
- Integrated EEPROM memory for control program and setpoint values.
- Optional standard micro CF cards
- Integral real-time clock with automatic summer/winter time switchover.
- Backup of the integrated real-time clock for 20 days.
- 8 digital inputs, 4 digital outputs.
- 4 inputs as analog inputs in 12/24 V DC variants (0 to 10 V); inputs can also be used digitally.
- 4 inputs can be used for high-speed counting up to 5 kHz (DC versions only).
- Interface for the connection of expansion modules, up to 24 digital inputs, 20 digital outputs, 8 analog inputs and 8 analog outputs can be addressed.
- Connection of the LOGO! TDE text display via Ethernet.

Function

- Integrated basic and special functions:
 - Basic logic functions:
AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR, positive/negative pulse edge evaluation.
 - Special functions:
ON delay, latching ON delay, OFF delay, impulse relay, locking relay, counter (forward/backward), time switch, interval time-delay relay, operating hours counter, trigger, asynchronous pulse generator, year time switch, comfort light switch function, random generator, staircase light switch function as per DIN 18015-2, edge-triggered interval time-delay relay, combined ON/OFF delay, analog comparator, analog trigger, analog delta trigger, analog watchdog, analog amplifier, text and variable display, shift register, soft key function, PI controller, ramp function, analog multiplexer, PWM function, analog arithmetic function, function for detecting errors in the analog arithmetic function.
- 400 function blocks can be interlinked
- Up to 64 bit memories
(including restart bit memory, bit memory for controlling the backlight of the integral display and the LOGO! TDE text display, bit memory for switching between 2 parameterizable character sets in the message text).
- Integrated retentivity.
- Password protection.
- Additional know-how protection with the optional micro CF card.
- Data logging to internal memory or micro CF card (up to 20 000 records)
- Macros (user-defined functions) for LOGO! Soft Comfort
- 64 open terminals
- 4 8-bit shift registers
- Extended diagnostic functions

Technical specifications

Article number	6ED1052-1CC08-0BA1	6ED1052-1MD08-0BA1	6ED1052-1HB08-0BA1	6ED1052-1FB08-0BA1
	LOGO! 24CE, 8DI(4AI)/4DO, 400 Blocks	LOGO!12/24RCE, 8DI(4AI)/4DO, 400 Blocks	LOGO! 24RCE, 8DI/4DO, 400 Blocks	LOGO!230RCE, 8DI/4DO, 400 Blocks
Display				
with display	Yes	Yes	Yes	Yes
Installation type/mounting				
Mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide
Supply voltage				
Rated value (DC)	Yes			
• 12 V DC				

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10000026?activeTab=productinformation®ionUrl=WW#>

1/2

Figura W: Características Controlador lógico programable
Fuente: Proveedor

Article number	6ED1052-1CC08-0BA1 LOGO! 24CE, 8DI(4AI)/4DO, 400 Blocks	6ED1052-1MD08-0BA1 LOGO!12/24RCE, 8DI(4AI)/4DO, 400 Blocks	6ED1052-1HB08-0BA1 LOGO! 24RCE, 8DI/4DO, 400 Blocks	6ED1052-1FB08-0BA1 LOGO!230RCE, 8DI/4DO, 400 Blocks
• 24 V DC	Yes	Yes	Yes	
• 115 V DC				Yes
• 230 V DC				Yes; 240 V DC
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V	10.8 V	20.4 V	100 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V	28.8 V	28.8 V	253 V
Rated value (AC)			Yes	
• 24 V AC				
• 115 V AC				Yes
• 230 V AC				Yes; 240 V AC
Line frequency				
• permissible range, lower limit			47 Hz	47 Hz
• permissible range, upper limit			63 Hz	63 Hz
Time of day				
Time switching clocks				
• Number	400; Max. 400, function-specific			
• Power reserve	480 h	480 h	480 h	480 h
Digital inputs				
Number of digital inputs	8; Of which 4 can be used in analog mode (0 to 10 V)	8; Of which 4 can be used in analog mode (0 to 10 V)	8	8
Digital outputs				
Number of digital outputs	4; Transistor	4; Relays	4; Relays	4; Relays
Short-circuit protection	Yes; electrical (1 A)	No; external fusing necessary	No; external fusing necessary	No; external fusing necessary
Output current				
• for signal "I" permissible range for 0 to 55 °C, max.	0.3 A	10 A		
Relay outputs				
Switching capacity of contacts				
— with inductive load, max.		3 A	3 A	3 A
— with resistive load, max.		10 A	10 A	10 A
EMC				
Emission of radio interference acc. to EN 55 011				
• Limit class B, for use in residential areas	Yes; Radio interference suppression according to EN55011, Limit Value Class B	Yes; Radio interference suppression according to EN55011, Limit Value Class B	Yes; Radio interference suppression according to EN55011, Limit Value Class B	Yes; Radio interference suppression according to EN55011, Limit Value Class B
Standards, approvals, certificates				
CE mark	Yes	Yes	Yes	Yes
CSA approval	Yes	Yes	Yes	Yes
UL approval	Yes	Yes	Yes	Yes
FM approval	Yes	Yes	Yes	Yes
developed in accordance with IEC 61131	Yes	Yes	Yes	Yes
according to VDE 0631	Yes	Yes	Yes	Yes
Marine approval	Yes	Yes	Yes	Yes
Ambient conditions				
Ambient temperature during operation				
• min.	-20 °C; No condensation			
• max.	55 °C	55 °C	55 °C	55 °C
Ambient temperature during storage/transportation				
• min.	-40 °C	-40 °C	-40 °C	-40 °C
• max.	70 °C	70 °C	70 °C	70 °C
Altitude during operation relating to sea level				
• Ambient air temperature-barometric pressure-altitude	Tmin ... Tmax at 1 080 hPa ... 795 hPa (-1 000 m ... +2 000 m)	Tmin ... Tmax at 1 080 hPa ... 795 hPa (-1 000 m ... +2 000 m)	Tmin ... Tmax at 1 080 hPa ... 795 hPa (-1 000 m ... +2 000 m)	Tmin ... Tmax at 1 080 hPa ... 795 hPa (-1 000 m ... +2 000 m)
Dimensions				
Width	71.5 mm	71.5 mm	71.5 mm	71.5 mm
Height	90 mm	90 mm	90 mm	90 mm
Depth	60 mm	60 mm	60 mm	60 mm

Figura X: Características Controlador lógico programable
Fuente: Proveedor



Sensor de pH, montaje tipo unión, cuerpo de LCP (polímero de cristal líquido), 2 hilos con salida de 4 - 20 mA, electrodo de vidrio

de producto: 6458P0
 USD Precio: Contáctenos
 No Disponible

Regeneratable Encapsulated LCP or PPS Differential pH and ORP Sensors-ideal for aggressive applications.

LCP (polímero de cristal líquido), montaje tipo unión, cable analógico de 3 m, 2 hilos con transmisor integrado, electrodo de pH de vidrio de uso general

Rendimiento excepcional con la técnica de medición de electrodos diferenciales

Esta técnica de eficacia probada utiliza tres electrodos en lugar de los dos que normalmente se usan en los sensores de pH convencionales. Los electrodos de proceso y de referencia miden el pH de manera diferencial con respecto a un tercer electrodo de tierra. El resultado es una exactitud inigualable en la medición, una reducción en interferencias en los potenciales de referencia y la eliminación de bucles de tierra en el sensor. Estos sensores ofrecen una mayor fiabilidad, lo que conlleva una reducción en los tiempos de inactividad y en el mantenimiento.

Menos mantenimiento necesario con el puente salino reemplazable

El puente salino crea una barrera contra la contaminación que reduce al mínimo la dilución de la solución de celda estándar interna. El resultado es un menor mantenimiento y un mayor tiempo entre calibraciones.

Preamplificador integrado o transmisor de 2 hilos

El preamplificador incorporado produce una señal intensa, lo que le permite colocar el analizador a una distancia máxima de hasta 914 m (3000 pies) del sensor. Un transmisor de 2 hilos incorporado opcional está disponible para aplicaciones que requieran una señal del sensor de 4 - 20 mA. Esta opción requiere que el instrumento de indicación del sistema de medición sea capaz de proporcionar 24 V CC de alimentación al sensor, y disponer de medios de ajuste para calibrar a cero la desviación y el intervalo.

Tipos de montaje versátiles

Se suministran roscas NPT de 1,5 pulg. en ambos extremos del sensor de tipo de montaje convertible para instalarlo en una T para tubo o en el extremo del tubo para inmersión. El sensor de tipo convertible le permite consolidar el inventario y reducir así los costes asociados. Hay disponibles también una T de montaje y un sensor de montaje tipo unión para instalar y desmontar de forma cómoda el sensor para el servicio en línea.

Distancia de transmisión de 914 m (3000 pies)

Especificaciones

Contenido de la caja:	Incluye: sensor con cable de 10 pies, montaje tipo unión y manual
Diámetro:	55 mm
Garantía:	12 meses
Longitud de cable:	3 m (10 pies) de 2 conductores (par trenzado)
Material carcasa:	LCP
Material del electrodo:	Vidrio
Peso:	0,6 kg
Rango de medición ORP:	-2000 - +2000 mV
Rango de medición pH:	pH 0 - 14

Figura Y: Características Sensor potencial de hidrógeno
 Fuente: Proveedor

Rango de temperatura:	De -5 a 95 °C (de 23 a 203 °F)
Sensibilidad:	< 0,005 pH
Sensitivity 2:	< 0,5 mV
Tipo montaje:	Unión
Unión:	PVDF Junction

Contenido de la caja

Incluye: sensor con cable de 10 pies, montaje tipo unión y manual

Accesorios requeridos

- Controlador universal SC200: de 100 a 240 V CA con una entrada analógica para sensor de pH/ORP/DO y dos salidas de 4 a 20 mA (Item LXV404.99.00102)
- Controlador universal SC200: 100 - 240 V CA (cable de alimentación para Norteamérica) con dos entradas analógicas para sensor de pH/ORP/OD, Modbus RS232/RS485 y dos salidas de 4 - 20 mA (Item LXV404.99.51112)

TR13

Sensor de temperatura modular RTD

Tecnología común y completa para medición de temperatura en casi todos los sectores industriales



Más información y precios actuales:

www.es.endress.com/TR13

Ventajas:

- Alto nivel de flexibilidad gracias a su diseño modular con cabezales terminales adaptados al estándar DIN EN 50446 y longitudes de inmersión específicas para cliente
- Alto nivel de compatibilidad de la electrónica introducida y diseño según DIN 43772
- Cuello de extensión para proteger el transmisor para cabezal contra los sobrecalentamientos
- Tiempo de respuesta rápido con boquilla reducida / con sección decreciente
- Tipos de protección para uso en zonas clasificadas: seguridad intrínseca (Ex ia), sin chispas (Ex nA)
- Transmisor para cabezal con facilidades de selección: salida analógica 4 a 20 mA, HART®, PROFIBUS® PA o Foundation Fieldbus™

Resumen de especificaciones

- **Precisión** clase A según IEC 60751 clase AA según IEC 60751
- **Tiempo de respuesta** según la configuración
- **Máx. presión de proceso (estática)** a 20 °C: 50 bar (725 psi)
- **Rango de temperatura de operación** PT100 TF StrongSens: -50 °C ... 500 °C (-58 °F ... 932 °F) PT100 WW: -200 °C ... 600 °C (-328 °F ... 1.112 °F) PT100 TF: -50 °C ... 400 °C (-58 °F ... 752 °F)
- **Máx. longitud de inmersión bajo demanda** hasta 10.000,00 mm (393,70")

Ámbito de aplicación: Este sensor de temperatura sólido y muy modular se utiliza en diversas aplicaciones de la mayoría de sectores industriales. Un transmisor para cabezal opcional con todos los protocolos de

Endress+Hauser 

Figura AA: Características Sensor de temperatura
Fuente: Proveedor

comunicación habituales permite su uso con unas características de exactitud y fiabilidad de medición mejoradas en comparación con otros sensores de conexión directa por cable. La diversidad de conexiones a proceso, tamaños y materiales proporciona un nivel elevado de flexibilidad y una gran variedad de posibilidades de aplicación.

Características y especificaciones

Termómetro

Measuring principle

Detector de Temperatura de Resistencia

Característica / Aplicación

tipo métrico
 portasondas de temperatura modular
 rango de aplicación universal
 apto para zonas con peligro de explosión
 conexión a proceso con brida
 con cuello
 termopozo / tubo de protección incluido (metal)
 se puede utilizar con el elemento de inserción StrongSens

termopozo / tubo de protección

tubo de protección soldado

Inserto / sonda

aislamiento mineral (MI), flexible

Tubo de protección de diámetro exterior / Elemento de inserción

9,0 mm (0,35")

11,0 mm (0,43")

12,0 mm (0,47")

14,0 mm (0,55")

15,0 mm (0,59")

Máx. longitud de inmersión bajo demanda

hasta 10.000,00 mm (393,70")

Figura AB: Características Sensor de temperatura
 Fuente: Proveedor

Termómetro**Tubería/termopozo protector del material**

1.4404 (316L)
1.4571 (316Ti)
Hastelloy C276 (2.4819)
Hastelloy 600 (2.4816)

Recubrimiento opcional

Tántalo
PTFE Teflon
PVDF

Conexión a proceso

brida:
DN15 PN40 B1 (EN1092)
DN15 PN40 C (EN1092)
DN25 PN20 B1 (EN1092)
DN25 PN40 C (EN1092)
DN25 PN50 B1 (EN1092)
DN25 PN100 B2 (EN1092)
DN40 PN40 B1(EN1092)
DN50 PN40 B1 (EN1092)
ASME 1" 150 RF (B16.5)
ASME 1" 300 RF (B16.5)

Forma de la Punta

recta
reducida
ahusada

Aspereza de la superficie Ra

1,6 µm (63,0 µin)

Figura AC: Características Sensor de temperatura
Fuente: Proveedor

Termómetro

Rango de temperatura de operación

PT100 TF StrongSens:

-50 °C ... 500 °C

(-58 °F ... 932 °F)

PT100 WW:

-200 °C ... 600 °C

(-328 °F ... 1.112 °F)

PT100 TF:

-50 °C ... 400 °C

(-58 °F ... 752 °F)

Máx. presión de proceso (estática)

a 20 °C: 50 bar (725 psi)

Precisión

clase A según IEC 60751

clase AA según IEC 60751

Tiempo de respuesta

según la configuración

Integración del transmisor de cabezalsí (4 ... 20 mA; HART; PROFIBUS PA; FOUNDATION
FIELDBUS)**Aprobaciones Ex**

ATEX II

ATEX IECEX

NEPSI

IECEX

EAC Ex

Certificación

Metrología Gost

SIL (solo el transmisor)

Más información www.es.endress.com/TR13

Sensor de turbidez Turbimax CUS52D

Sensor higiénico Memosens para la medición de la turbidez en aplicaciones de agua potable, de proceso y servicios auxiliares



Más información y precios actuales:
www.es.endress.com/CUS52D

Ventajas:

- Resultados de medición como en el laboratorio: monitorización fiable y de alta precisión de la calidad de su agua – incluso con los niveles de turbidez más bajos.
- Medición de turbidez sin pérdida de producto: las mediciones higiénicas en línea preservan hasta la última gota del agua del proceso.
- Funcionamiento sin supervisión: su diseño inteligente ofrece funcionalidades de autolimpieza sofisticadas y minimiza las tareas de mantenimiento.
- Verificación y calibración inteligentes: absolutamente seguro, sin líquido, sin formazina.
- Gran flexibilidad, manejo sencillo: un único sensor para todos los puntos de medición y todos los entornos de instalación (en línea o de inmersión).
- Control de procesos mejorado: tiempos de respuesta del sensor adaptables a cada aplicación.
- Puesta en marcha rápida: la calibración de fábrica y la tecnología Memosens permiten una integración de tipo "plug & play" en su proceso.

Resumen de especificaciones

- **Rango de medición** 0,000 a 4000 FNU
- **Temperatura del proceso** Versión de acero inoxidable: -20 a 85 °C (0 a 185 °F) Versión de plástico: -20 a 60 °C (-4 a 140 °F)
- **Presión de proceso** Versión de acero inoxidable: 0,5 a 10 bar abs (7,3 a 145 psi abs) Versión de plástico: 0,5 a 6 bar abs (7,3 a 87 psi abs)

Endress+Hauser 

Figura AE: Características Sensor de turbidez
Fuente: Proveedor

Ámbito de aplicación: Turbimax CUS52D es un sensor inteligente con calidad de laboratorio que funciona sin supervisión en todos los puntos de medición de sus aplicaciones de producción de agua. Gracias a su diseño higiénico autolimpiante, puede montarlo directamente en su sistema de tuberías. De este modo, se ahorrará extensas instalaciones de bypass y evitará pérdidas de producto. Gracias a la tecnología digital Memosens, el equipo Turbimax CUS52D combina una máxima integridad de proceso y datos con una fácil utilización. Permite la calibración en laboratorio y simplifica las tareas de mantenimiento preventivo.

Características y especificaciones

Turbiedad

Measuring principle

Luz esparcida de rayo único

Aplicación

Medición de la turbidez en:

Agua para consumo y de proceso

Agua salina

Fluidos de servicio de todas las industrias

Instalación

En línea in situ, sensor con abrazadera, célula de caudal, sensor con abrazadera, retráctil, sensor recto, inmersión en canales abiertos

Rango de medición

0,000 a 4000 FNU

Principio de medición

Sensor de turbidez nefelométrica (90° de dispersión) según ISO7027

Diseño

Sensor de 40 mm

Figura AF: Características Sensor de turbidez
Fuente: Proveedor

Turbiedad**Material**

Versión de acero inoxidable: 1.4404

Versión de plástico: cabezal del sensor: PEEK, eje: PPS

Óptica: zafiro

Juntas tóricas: EPDM

Dimensión

Diseño de 40 mm, versión clamp higiénica

320 × 40 mm

Temperatura del proceso

Versión de acero inoxidable: -20 a 85 °C (0 a 185 °F)

Versión de plástico: -20 a 60 °C (-4 a 140 °F)

Presión de proceso

Versión de acero inoxidable: 0,5 a 10 bar abs

(7,3 a 145 psi abs)

Versión de plástico: 0,5 a 6 bar abs

(7,3 a 87 psi abs)

Sensor de temperatura

Versión de acero inoxidable: -20 a 85 °C

(0 a 185 °F)

Versión de plástico: -20 a 60 °C

(-4 a 140 °F)

Protección contra ingreso

IP68

Salida / comunicación

Memosens

Certificados adicionales

ISO 7027

Más información www.es.endress.com/CUS52D

Anexo 4 : Diagramas de contactos y potencia

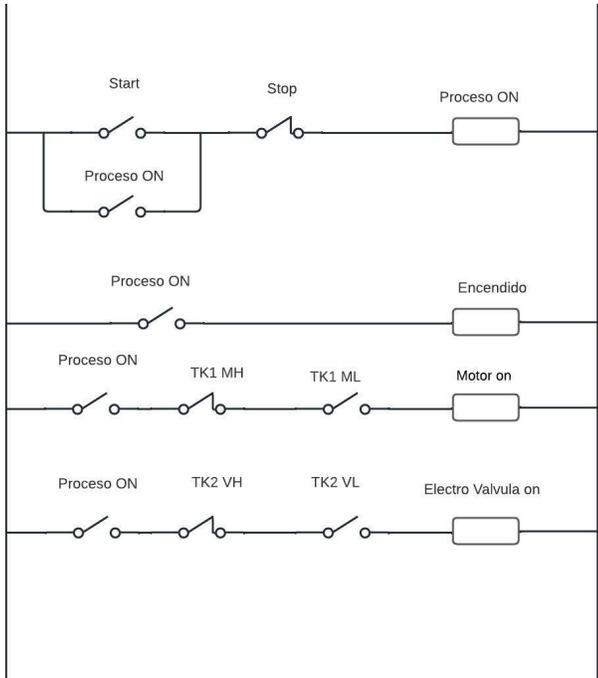


Figura AH: Diagrama de mando Sensores
Fuente: Elaboración propia.

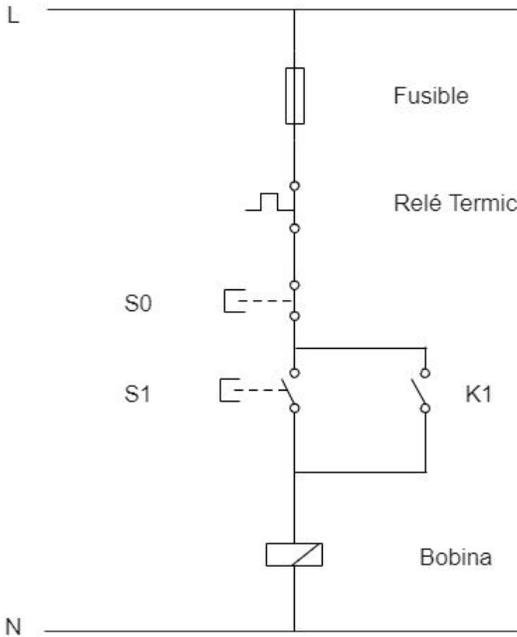


Figura AI: Diagrama de potencia Moto-bomba
Fuente: Elaboración propia.

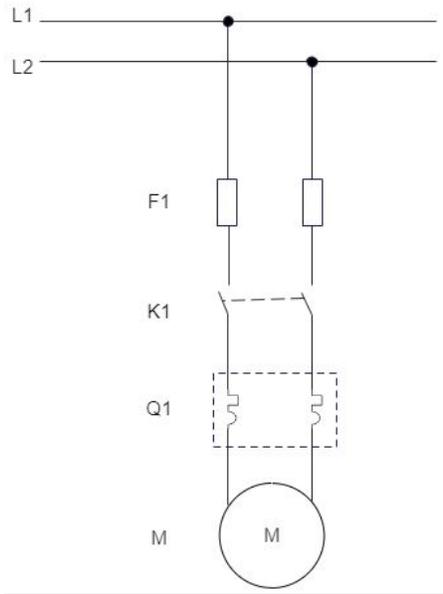


Figura AJ: Diagrama de mando moto-bomba
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5 : Tabla de instrumentos asociados PID

TAG	DESCRIPCIÓN	RANGO
CX	Controlador Logico Programable	---
FV - 201	Valvula de Control	4 - 20 mA
FV - 201 - A	Valvula Manual Alivio TK2	---
FV - 201 - B	Valvula Manual Salida TK2	---
LSH - 201	Sensor de Nivel por Alta TK2	4 - 20 mA
LSL - 201	Sensor de Nivel por Baja TK2	4 - 20 mA
LSH - 501	Sensor de Nivel por Alta TK3	4 - 20 mA
LSL - 501	Sensor de Nivel por Baja TK3	4 - 20 mA
FV - 301 - A	Valvula Manual Paso MB - Filtro	---
FV - 301 - B	Valvula Manual Alivio TK4	---
FV - 301 - C	Valvula Manual Vaciado TK4	---
MB	Moto-Bomba	1,5 HP
LSH - 301	Sensor de Nivel por Alta TK4	4 - 20 mA
LSL - 301	Sensor de Nivel por Baja TK4	4 - 20 mA
FV - 304	Valvula Manal de distribución	---
PI - 301 - A	Indicador de Presión Filtro IN	0 - 300 Psi
PI - 301 - A	Indicador de Presión Filtro OUT	0 - 300 Psi
FV - 401	Valvula manual de Llenado TK1	---
FV - 402	Valvula manual de Vaciado TK1	---
FV - 403	Valvula manual de Llenado TK3	---
FV - 404	Valvula manual de Vaciado TK3	---
TT	Sensor Transmisor de Temperatura	4 - 20 mA
TuT	Sensor Transmisor de Turbidez	4 - 20 mA
PhT	Sensor Transmisor de pH	4 - 20 mA
TdT	Sensor Transmisor Tds	4 - 20 mA

Figura AK: Tabla instrumentos PID
Fuente: Elaboración propia.

Sistema de Tratamiento de Agua Potable Supervisado por un Índice de Calidad de Agua

1st Danny Yamid Hernández B. 2nd Francisco Franco Obando D. 3rd Edgar Andrés Palacios G.
Dep. Instrumentación y control Dep. Instrumentación y control Dep. Instrumentación y control
Universidad del Cauca Universidad del Cauca Universidad del Cauca
Popayán, Colombia Popayán, Colombia Popayán, Colombia
dyhernandez@unicauca.edu.co fobando@unicauca.edu.co pedgar@unicauca.edu.co

Resumen—Este artículo muestra el diseño de un sistema de diagnóstico que facilite la interpretación del índice de calidad de agua (ICA) aplicado a un proceso de tratamiento de agua en una zona rural de Colombia. Para ello se realiza una revisión de literatura que permite identificar la necesidad de asociar nuevas tecnologías e instrumentación a fases ya establecidas corrigiendo los parámetros que no se encuentren dentro de los valores contemplados en la normativa. Además, para mostrar de manera visual y sencilla el estado del ICA se incluye instrumentación extra que facilite su interpretación, permitiendo al encargado de la zona identificar las medidas correctivas que se deben asumir para el correcto funcionamiento del proceso.

Index Terms—Automatización, Instrumentación, Sistema de tratamiento de agua potable

Abstract—This article shows the design of a diagnostic system that facilitates the interpretation of the water quality index (ICA) applied to a water treatment process in a rural area of Colombia. A literature review was carried out to identify the need to associate new technologies and instrumentation to the established phases. Thus, the parameters that are not in accordance with the values contemplated in the regulations are adjusted. In addition, extra instrumentation is included to show in a visual and simple way the status of the ICA, which facilitates its interpretation. The person in charge of the area will be able to identify the corrective measures to be taken for the correct operation of the process.

Index Terms—Automation, Instrumentation, Drinking water treatment system

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial son muchos los países que están en búsqueda de nuevas alternativas para dar solución a la contaminación del agua para consumo humano. Según las cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en todo el mundo “al menos 2.000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces (...) y se calcula que unas 842.000 personas mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua y un saneamiento insuficiente”[7]. Por su parte, el Instituto Nacional de Salud (INS)[4] para el año 2016 registró que en Colombia alrededor de 17 mil muertes se asocian con algún factor ambiental, entre los que se encuentran enfermedades que se producen

por el consumo de agua de mala calidad como la diarrea aguda (EDA). Este tipo de enfermedades afectan en su gran medida a las zonas rurales, puesto que tienen baja inversión en tecnologías adecuadas para la potabilización, condicionando a emplear sistemas de tratamiento artesanales que no cumplen los requisitos mínimos para lograr un agua consumible.

Este artículo muestra el diseño de un sistema de diagnóstico que facilita la interpretación del índice de calidad de agua (ICA) aplicado a un proceso de tratamiento de agua. Para dar cumplimiento al objetivo este documento se divide en cinco secciones. En la primera sección se realiza un resumen sobre el resultado de los análisis físico-químicos y microbiológicos de una fuente de agua superficial en una zona rural de Colombia. En la segunda sección se realiza una propuesta con nuevas tecnologías de potabilización adecuadas a la zona, realizando una filtración de las técnicas que presentan algunos proyectos comerciales y de investigación. La tercera sección presenta el cálculo del indicador de calidad de agua, estableciendo los parámetros y los pesos que conforman el índice. La cuarta sección muestra el diagnóstico en el que se establece los lineamientos a seguir para que el operario identifique la calidad de agua, con el fin de tomar acciones correctivas o de mantenimiento. Y por último, el trabajo genera conclusiones pospositivas al mejoramiento de la cobertura del servicio básico de agua potable.

II. ANÁLISIS DE LA FUENTE DE AGUA A TRATAR

En los sistemas de tratamiento de agua potable se lleva a cabo un conjunto de operaciones realizadas sobre el agua a tratar, donde se modifican las características físicas, químicas y microbiológicas con el propósito de hacerla apta para consumo humano, y cumplir con los requerimientos que exige la Resolución¹ 2115 de 2007[5].

¹Resolución 2115 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Para identificar la calidad del agua del sistema de abastecimiento de las zonas rurales² se utiliza como referencia el cálculo del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA), cuya función radica en calificar de 0 (cumple los valores aceptables) a 100 (no cumple los valores aceptables) el riesgo de incidencia de enfermedades agrupadas al no cumplimiento de las normas sanitarias. El análisis arroja que el riesgo de calidad de agua en esta región corresponde a un nivel de riesgo alto, ubicándose en 87%. Los parámetros físico-químicos de color, turbiedad, hierro y microbiológicos como coliformes totales y E. Coli, sobrepasan los valores de referencia descritos en la norma, tal y como se muestra en la figura 1, esto permite afirmar que el agua no es apta para consumo humano.

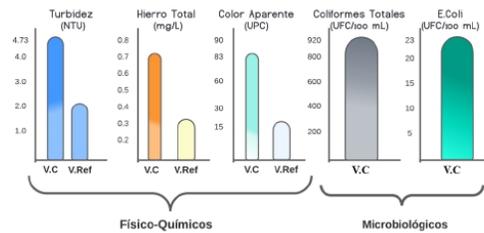


Figure 1. Parámetros físico-químicos y microbiológicos Fuente: Elaboración propia. V.C: Valor calculado. V.Ref: Valor de referencia dado en la norma. Los parámetros microbiológicos se comparan con un valor de referencia igual a cero.

III. DETERMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

En la actualidad los altos estándares de calidad de agua potable y la creciente contaminación del medio ambiente causada por el hombre requieren ajustar aquellas fases de base (coagulación, floculación, filtración, desinfección, cloración) y acoplar nuevas tecnologías que incrementen la eficiencia de purificación y así evitar impurezas que deja la adición de reactivos químicos durante el tratamiento. Entre algunas de estas nuevas tecnologías que se asocian a la fase de filtración se encuentran los filtros compuestos por membranas en el orden de las micro, nano y ultrafiltración, así como también tecnologías tales como la desinfección ultravioleta (UV) donde su funcionamiento se basa en eliminar las bacterias y virus penetrando en la pared celular de un organismo modificando su material genético, de tal manera que la célula ya no pueda reproducirse.

²El cálculo físico químico y microbiológico de la fuente de abastecimiento se realizó en específico para la vereda Arena Blanca del municipio de Pupiales, Nariño, sin embargo, los cálculos son aplicables a cualquier zona rural con similares características.

En el trabajo de investigación [3], base de este artículo, se realiza una comparativa entre datos encontrados en la literatura de algunos proyectos comerciales y de investigación. Esta comparativa da como resultado que tanto las estructuras comerciales y de investigación regidas por un marco normativo como el decreto 1575 del 2007 y la resolución 2115, usan fases tales como las mostradas en la figura 2, de ellas se hace una selección entre aquellas que más se repiten, y se encuentra que la sedimentación, filtración y desinfección son más comunes en los procesos de potabilización.

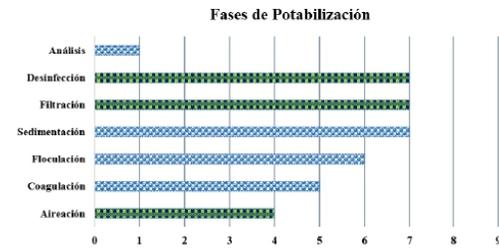


Figure 2. Selección de fases de potabilización Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo, según los resultados físico-químicos y microbiológicos se recomiendan utilizar la aireación, filtración y desinfección (resaltadas en la figura 2) para una potabilización más eficaz. Estas fases consisten en:

A. Aireación

En esta etapa, de acuerdo a los parámetros arrojados por el análisis físico-químico y microbiológico, se observa que el hierro (Fe) arroja un valor de 0.7 mg/l superando su valor ideal (0.4 mg /l), por tanto, está por encima del valor establecido por la resolución 2115 del 2007. En este sentido, se pretende corregir el exceso de Fe presente en la fuente de agua a través de un proceso de aireación que facilita el arrastre o barrido de sustancias volátiles gracias a la mezcla turbulenta del agua con el aire y por tanto la oxidación de los metales y los gases [11].

B. Filtración

Es una etapa fundamental en todos los procesos de potabilización. En el estudio de Torres Parra et al.(2016) propone que por medio de un sistema de filtración compuesto por diferentes partículas granulares (piedra pómez, carbón activo, gravilla) se logran corregir parámetros físico-químicos como la turbidez, pasando de un promedio de 55 NTU del agua problema a un resultado de 1.3 NTU. Así mismo para el color aparente donde se obtuvo un índice de remoción del 83%, disminuyendo el resultado de 22.5 UPC a 3.7 UPC. Así, se define esta etapa como aquella que

permite corregir la turbidez y el color aparente de la fuente de agua objeto de estudio, la cual se ubica en 4.73 NTU y 83 UPC respectivamente, sobrepasando el valor ideal según la norma (2.0 NTU para la turbidez y de menos 15 UPC para el color aparente)[8].

C. Desinfección

La etapa de desinfección se vuelve efectiva a la hora de disminuir los indicadores microbiológicos de contaminación en el agua. Según el estudio “Pathogens and microbiological indicators of the quality of water for human consumption”, generalmente han sido bacterias de flora saprófita intestinal, entre las que se encuentran bacteroides fragilis, bacterias mesófilas, coliformes totales y fecales, escherichia coli y estreptococos fecales[9]. En su mayoría son bacterias entéricas provenientes del tracto gastrointestinal de animales y humanos. En este sentido, esta fase lograría reducir el valor de los parámetros microbiológicos de coliformes fecales y E. coli obtenidos que se encuentran entre valores de 920 UFC/100 ml y 23 UFC/100 ml respectivamente sobrepasando el valor ideal de 0 UFC, en ambos casos según la norma.

De acuerdo con lo anterior, se presenta en la figura 3 el diagrama de flujo de potabilización. Este consiste en tres etapas principales la captación, la purificación y almacenamiento y distribución, cada una descrita con la tecnología más adecuada para el proceso general.

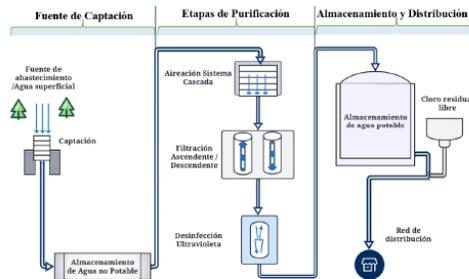


Figure 3. Diagrama de flujo de fases de potabilización de agua
Fuente: Elaboración Propia

IV. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA

Hoy en día la percepción de un agua clara e inodora o que sea sometida a un tipo de tratamiento no garantiza su confiabilidad en el consumo. En este sentido la evaluación de la calidad de agua potable siempre será primordial antes de su distribución, el índice de calidad de agua (ICA) o Water Quality Index (WQI) conocido internacionalmente, resume los parámetros de calidad en un solo valor, con base en 2 o mas variables sobre 9 establecidas según el

índice (Coliformes Fecales, pH, Demanda de oxígeno, Nitratos, Temperatura, Turbidez, sólidos disueltos, Oxígenos Disueltos, Fosfatos). Dicho valor puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color a partir de los valores que puede tomar el ICA. Su ventaja radica en que la información puede ser más fácilmente interpretada en comparación con una lista de valores numéricos[2].

Para el cálculo del ICA, se usa el método propuesto por Brown en 1970 que es una versión modificada de WQI [6], basándose principalmente en un método de agregación de suma aritmética ponderada descrito en la ecuación 1 que consiste en:

$$ICA \sum_{i=1}^n = Sub_{(i)} * W_{(i)} \quad (1)$$

Donde:

Sub_(i) = Subíndice del parámetro.

W_(i) = Pesos relativos a cada parámetro (Sub_(i))

Teniendo en cuenta la importancia de conocer el estado del agua potable en el proceso de potabilización, tal y como es el caso del sistema propuesto para la zona veredal del lugar estudio, se agrega el ICA con el fin de dar visibilidad al índice por medio de instrumentación de medida para tomar lectura de los parámetros sobre los cuales se realiza el cálculo.

A. Selección de Parámetros

Para el proceso propuesto de potabilización para la zona veredal del caso de estudio se seleccionan cuatro parámetros teniendo en cuenta los criterios admisibles reglamentados[10] para cada uno descritos a continuación:

- El *potencial de hidrógeno (pH)*: es una medida que indica la acidez del agua, donde la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua condicionan la acidez del líquido, el rango de medición para el caso de agua potable es de 6.5 - 9 (Norma 2115). Mientras más cantidad de iones de hidrógeno (≥ 9) es mayor la acidez, mientras si es menor la cantidad (≤ 6.5) indica un rango de acidez más básico.
- La *turbidez (NTU)*: es uno de los parámetros más importantes en la calidad de consumo humano que se define como una propiedad óptica de una suspensión. Este parámetro se mide en unidades nefelométricas donde el valor ideal debe estar por debajo de los ≤ 2 NTU. Un agua turbia no solamente tiene un impacto estético negativo para el consumidor, sino que a la vez es un indicador

de una mayor probabilidad de contaminación microbiológica y compuestos tóxicos que se adhieren a la materia dispersa en el agua.

- La *temperatura* ($^{\circ}\text{C}$): es uno de los parámetros físicos que influyen en el cambio de la aceleración o retardo de la actividad biológica, precipitación de compuestos y absorción de oxígeno. Dichos cambios se pueden notar por el cambio de la estabilidad microbiológica del agua distribuida o por su tendencia de rechazo a etapas de desinfección aplicados a los procesos de potabilización. Los valores recomendados de la temperatura deben ser inferiores a 15°C , dado que si se supera este valor favorece el desarrollo de microorganismos no deseables para el agua de consumo.
- Los *sólidos disueltos totales (TDS)*: es el porcentaje de los componentes adicionales disueltos en el agua, como sales y minerales (calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y algunas pequeñas cantidades de materia orgánica. El valor del TDS se mide por unidad de volumen en el agua (mg/L) para determinar que este parámetro se encuentre en los niveles recomendados. La OMS establece las recomendaciones sobre dichos niveles, si el rango esta entre 0 - 300 es de excelente calidad, entre 300 - 600 nivel bueno, 600 - 900 nivel regular; pero si se sobrepasa de un valor de 1200 es inaceptable la calidad de agua.

B. Pesos Relativos

Los pesos relativos establecidos para los parámetros seleccionados se muestran en la tabla I, en este sentido, según los artículos “Indicadores de la calidad del agua evolución y tendencias a nivel global”[2] y “Estimación de la degradación temporal en calidad de agua almacenada utilizando modelos de regresión”[1] establecen que dichos pesos dependen del orden de importancia que tenga cada parámetro sobre el ICA.

i	Parámetro	Peso de Importancia (W_i)
1	pH	0.3
2	Turbidez	0.3
3	Temperatura	0.1
4	TDS	0.3

Table I
PESOS DE LOS PARÁMETROS ICA

Fuente: Elaboración propia

En este caso el pH, turbidez y TDS se les asigna el mismo valor de importancia de 0.3 teniendo en cuenta

la importancia en la apariencia y contaminación microbiológica del líquido. La temperatura se le asigna un valor de importancia de 0.1 dado que durante el proceso no representa cambios bruscos y su comportamiento es constante generando un impacto mínimo en la calidad del agua.

C. Instrumentación para el Cálculo del ICA

Estableciendo los parámetros y los pesos descritos anteriormente, para realizar la lectura del Índice de calidad de agua se hace necesario la asociación al proceso de una instrumentación extra asociada como se muestra en la tabla II. Estos dispositivos son instrumentos analógicos con un rango de medida que sera realimentada a un controlador lógico programable (PLC).

Instrumento	Referencia	R Temperatura	Sensibilidad	Presión	Rango de Medicion
Turbidimetro	Turbimac CUS52D	-20 a 85 $^{\circ}\text{C}$	-	-	0,000 a 4000 FNU
Pi-metro	GLI - 6458P0	-5 a 95 $^{\circ}\text{C}$	< 0,005 pH	-	pH 0 - 14
Sensor Temperatura	TR13	-50 a 500 $^{\circ}\text{C}$	< 0,005 pH	725 psi	-
Sensor TDS	LXV323.99.30002	0 - 60 $^{\circ}\text{C}$	< 0,005 pH	< 10 bar or < 100 m	0,001 - 500 g/L

Table II
INSTRUMENTACIÓN PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS

Fuente: Elaboración propia

El PLC tendrá las tareas de control en la activación y operación del sistema de tratamiento, al tiempo que permite calcular el parámetro de calidad de agua e informar al usuario del estado del producto. Por lo tanto, cada instrumento entregará al PLC el valor de la lectura por cada variable, valor que se calcula con la ayuda de las gráficas establecidas por el mismo ICA mostradas en la figura 4. El dispositivo programable se encarga de la operación autónoma del sistema de potabilización al tiempo que calcula el parámetro ICA para generar una señal de alerta.

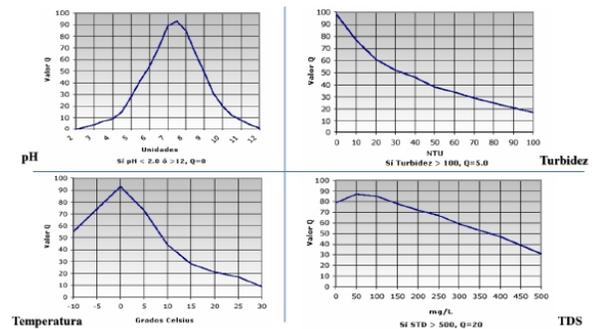


Figure 4. Gráficas de los parámetros ICA
Fuente:[10]

V. DIAGNÓSTICO A PARTIR DEL ICA

El sistema por medio del controlador tiene la función de clasificar el posible valor que puede tomar el ICA (ver tabla III) y mostrarlo por medio de una baliza de colores, que tiene la tarea de servir como luz indicadora en el proceso de verificación de calidad de agua, mostrando de acuerdo al color si el proceso junto a las fases seleccionadas cumple o no con el ICA.

Valores del ICA	Calificación del ICA	Salida de Alerta
0.00 - 0.50	Mala	Rojos
0.51 - 0.70	Regular	Amarillo
0.71 - 1.00	Buena	Verde

Table III
RANGOS DE CALIDAD POSIBLES

Fuente:Elaboración Propia

En este sentido por medio del color mostrado en la baliza el operario a cargo de la inspección del proceso de potabilización conocerá en que estado de calidad en que se encuentra el agua y de esta forma tomar las acciones correctivas sobre el proceso bajo el siguiente diagnóstico.

- **ROJO:** Dado el caso que en la baliza se muestre el color rojo conlleva a dos posibles acciones. Una *revisión* que consiste en la inspección de el agua que desemboca en el tanque de recepción desde la fuente superficial así mismo la inspección de posibles daños en los instrumentos de medición. Un *cambio* que consiste en el remplazo de el lecho filtrante en el filtro (zeolita e Hidrafin 30N), en el mismo sentido se presenta el posible cambio de la lampara de desinfección UV.
- **AMARILLO:** De indicar el color amarillo en la baliza de colores se procede a realizar dos posibles acciones. Una *revisión* que consiste en la inspección detallada del taponamiento del lecho filtrante, pérdida de intensidad de luz en la lampara UV, funcionamiento correcto de los sensores de medición, observación de presencia de partículas suspendidas en los tanques. Un *mantenimiento* que significa realizar una limpieza, ya que según el decreto 15 del 2007 establece un lavado de los tanques en un mínimo de cada 6 meses. Entre los tanques previstos a limpieza se encuentran, tanque de captación, aireación, cloración y distribución.
- **VERDE:** El indicador verde evidencia que el agua esta potable cumpliendo con los valores establecidos de los parámetros seleccionados trayendo consigo que el sistema no necesita de inspección o mantenimiento.

El diagrama P&ID expuesto en la figura 5 corresponde a las líneas, instrumentos, actuadores y equipos del proceso de potabilización en su totalidad, con la implementación extra de medición y monitoreo para la verificación de calidad de agua a partir del parámetro ICA. El proceso comienza de la siguiente manera: el agua proveniente desde la fuente superficial abastece de manera constante el tanque de captación TK1. Para el paso del flujo a las bandejas de aireación se conecta una electroválvula con el fin de evitar el rebose del líquido en el tanque de aireación TK2. Posteriormente para el paso del flujo al sistema de filtros ascendente y descendente se utiliza una bomba centrífuga (MB) con el fin de compensar la pérdida de presión e impulsar el líquido hasta la lámpara de desinfección UV para finalmente almacenar el líquido en los tanques TK3 (cloración) y TK4 (almacenamiento), donde se encuentran inmersos los sensores de temperatura, turbidez, pH y solidos disueltos totales encargados de la toma de muestras para el cálculo del ICA.

CONCLUSIONES

Se concluye que el problema del agua potable es silencioso y está afectando la calidad de vida de la población, por ende, se hace necesario un sistema de tratamiento basado en tecnología adecuada que permita hacer frente a mayores cargas de sólidos suspendidos y contaminación, e implementar un índice de calidad de agua basado en instrumentación y sistemas de control que apoyen el monitoreo de los procesos de tratamiento. Además, la evolución en los sistemas de medida, así como en los procesadores de cálculo, permite generar soluciones de ingeniería a través de algoritmos de inteligencia que den autonomía a procedimientos operativos de saneamiento. Para este caso, se debería considerar que estos procesos sean aplicables desde el punto de vista financiero para solucionar problemas de saneamiento básico y cobertura eficiente del servicio de agua potable, a poblaciones en donde las políticas estatales no pretenden hacer grandes inversiones.

De esta manera, se recomienda como trabajo futuro que además de la ejecución de un prototipo de potabilización aplicable a las zonas rurales, se considere la implementación de un sistema de control que por medio del parámetro de calidad pueda realizar un autodiagnostico, donde el mismo sistema sea capaz de corregir los parámetros que estén fuera de los valores que establece la normativa que regula el consumo de agua potable. Además, teniendo en cuenta la baliza de colores propuesta, se considera como trabajo futuro que el diagnóstico se pueda realizar a partir de un control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) con enfoque social, con el fin de hacer más visible y más sencilla la manera de interpretar el estado del proceso de potabilización tomando acciones correctivas para su correcto funcionamiento.

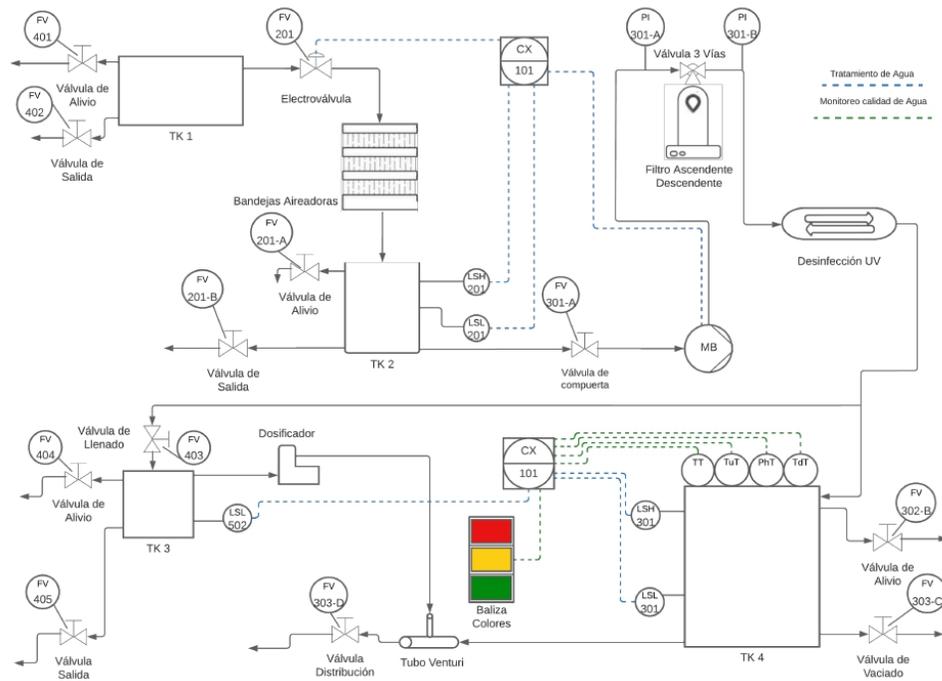


Figure 5. Diagrama de instrumentación y control (P&ID) Fuente: Elaboración Propia

REFERENCES

- [1] A. C. Aguilar Aguilar and F. F. Obando. Aprendizaje Automático Para La Predicción De Calidad De Agua Potable. *Ingeniare*, (28), 2020.
- [2] M. Castro, J. Almeida, J. Ferrer, and D. Diaz. Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17):111–124, 2014.
- [3] D. Hernández Benavides and E. Palacios Gómez. Propuesta tecnológica para la potabilización de agua en la vereda Arena Blanca del municipio de Pupiales, Departamento de Nariño, 2022.
- [4] Instituto Nacional de Salud INS. Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia. *Observatorio Nacional de Salud*, pages 1–175, 2018.
- [5] Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente. Resolución 2115 del 2007, 2007.
- [6] H. M. Nazir, I. Hussain, M. I. Zafar, Z. Ali, and N. M. AbdEl-Salam. Classification of Drinking Water Quality Index and Identification of Significant Factors. *Water Resources Management*, 30(12):4233–4246, 2016.
- [7] OMS Organización Mundial de la Salud. Agua para Consumo humano, 2022.
- [8] N. Pichel, H. Lubarsky, A. Afkhami, V. Baldasso, L. Botero, J. Salazar, M. Hincapie, J. A. Byrne, and P. Fernandez-Ibañez. Safe drinking water for rural communities using a low-cost household system. Effects of water matrix and field testing. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 2021.
- [9] S. Ríos-Tobón, R. M. Agudelo-Cadavid, and L. A. Gutiérrez-Builes. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2):236–247, 2017.
- [10] N. Samboni, Y. Carvajal, and J. Escobar. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Revista de Ingeniería e Investigación*, 27(3):172–181, 2007.
- [11] C. A. Torres-Parra, C. A. García-Ubaque, J. C. García-Ubaque, M. C. García-Vaca, and R. Pacheco-García. Safe water for rural communities from an alternative filtration system. *Revista de Salud Publica*, 19(4):453–459, 2017.