

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

TÍTULO: REINGENIERÍA Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMA DE FILTRACIÓN,
DESINFECCIÓN Y BOMBEO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PTAP TRINIDAD, DEPARTAMENTO DE CASANARE

AUTOR: LEWIS RENIER RINCÓN FLÓREZ

DIRECTOR: MSC. JUDITH CRISTANCHO PABÓN

PAMPLONA COLOMBIA

2016

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

ii

AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.**

**TÍTULO: REINGENIERÍA Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMA DE FILTRACIÓN,
DESINFECCIÓN Y BOMBEO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PTAP TRINIDAD, DEPARTAMENTO DE CASANARE.**

AUTOR: Lewis Renier Rincón Flórez

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO:

Ing. Judith Cristancho Pabón.

JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:

Ing. Julio César Ospino.

SECRETARIO:

Ing. Jesús Eduardo Ortiz.

PAMPLONA COLOMBIA

2016

Dedicatoria

Dedico y agradezco a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desfallecer ante los problemas, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres Benigna y Héctor por su apoyo incondicional, sus buenos consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles, gracias a ellos soy el ser humano de ahora.

Lewis Rincón Flórez

Agradecimientos

Agradecimiento a la Universidad de Pamplona, la Facultad de Ingenierías y Arquitectura y de ella a sus excelentes docentes quienes con su profesionalismo y ética nos comparten sus conocimientos adquiridos en su larga vida.

A la Empresa de Servicios Públicos y la Alcaldía de Trinidad Casanare, quienes me dieron la oportunidad de mostrar mis conocimientos, y me permitieron acceder a sus instalaciones y conocer sus procesos sin ninguna desconfianza.

Abstract

The present project is based in the proposed of a reengineering to optimize the system of purification used in the plant of treatment of water drinking PTAP located in the municipality of Trinidad, Department of Casanare; with the aim of analyzing each of the applied process, determine possible failures and improve each of them, with more modern, economic and safe systems.

Water for human consumption must not contain pathogenic micro-organisms, or substances toxic or harmful to health, for this reason, it must meet the microbiological and physicochemical quality requirements demanded by the Ministry of Social protection, or you replace it. The water quality should not deteriorate or fall below the limits set for the period of time for which the supply system was designed.

Resumen

El presente proyecto se basa en la propuesta de una reingeniería con el fin de optimizar el sistema de potabilización utilizado en la planta de tratamiento de agua potable PTAP ubicada en el municipio de Trinidad, departamento de Casanare; con el objetivo de analizar cada uno de los procesos aplicados, determinar las posibles fallas y mejorar cada uno de ellos, con sistemas más modernos, económicos y seguros.

El agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud, por tal motivo, ésta debe cumplir los requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos exigidos por el Ministerio de Protección Social, o el que lo reemplace. La calidad del agua no debe deteriorarse ni caer por debajo de los límites establecidos durante el periodo de tiempo para el cual se diseñó el sistema de abastecimiento.

Objetivos

Objetivo General

Optimizar el proceso de potabilización del agua establecido por la Empresa de Servicios Públicos del Municipio de Trinidad, departamento de Casanare.

Objetivos específicos

- Analizar la normatividad aplicada a sistemas de potabilización en Colombia.
- Evaluar el estado actual del sistema de potabilización utilizado.
- Diagnosticar las necesidades en base a pruebas fisicoquímicos del agua.
- Replantear los sistemas de filtración, desinfección y bombeo según la necesidad encontrada.
- Realizar los cálculos para determinar método para corrección de factor de potencia.
- Realizar el diagrama P&ID de la planta de tratamiento de agua potable.

Tabla de Contenidos

El Problema	1
Descripción del problema.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. EL CONCEPTO DE REINGENIERÍA	3
1.2. MARCO INSTITUCIONAL	5
1.3. NIVEL DE COMPLEJIDAD	9
1.3.1. Requisitos de la Norma.....	9
Población actual y futura	12
Alcance	16
Categorías	25
CAPITULO 2. JUSTIFICACION PARA REALIZAR UN PROYECTO DE REINGENIERÍA Y OPTIMIZACIÓN AL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN EXISTENTE.....	27
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	27
2.2. OBJETIVO DEL PROYECTO	28

2.3. POBLACIÓN AFECTADA	28
CAPÍTULO 3. DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE AGUA POTABLE.....	30
3.1. DOTACION.....	30
3.1.1. Dotación neta	30
3.1.2. Dotación bruta.....	33
3.2. DEMANDA DE AGUA	33
3.2.1. Caudal medio diario (qmd)	33
3.2.2. Caudal máximo diario (QMD).....	34
3.2.3. Caudal máximo horario (QMH).....	35
CAPÍTULO 4. ASPECTOS DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU TRATABILIDAD	40
4.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO FUENTE EXISTENTE.....	42
CAPÍTULO 5. PROCESOS Y ELEMENTOS INVOLUCRADOS EN LA POTABILIZACIÓN Y ACCIÓN DE MEJORA	44
5.1. AIREADORES DE BANDEJAS	45
5.1.1. Aspectos generales.....	45
5.1.2. Problemas ocasionados	48
5.1.3. Proceso de Aireación	48

5.1.4. Cambio a medio de adsorción propuesto	50
5.2. SISTEMA DE FILTRACIÓN	54
5.2.1. Aspectos generales.....	54
5.2.2. Factores que influyen en la filtración.....	54
5.2.3. Unidades de filtración.....	56
5.2.4. Procedimiento de diseño para determinar el filtro óptimo.....	62
5.2.5. Recomendaciones a implementar	66
5.3. SISTEMA DE DESINFECCIÓN	68
5.3.1. Aspectos generales.....	68
5.3.2. Estado actual, operación y mantenimiento	69
5.3.3. Sistema de desinfección propuesto	70
5.4. ESTACIÓN DE BOMBEO	77
5.4.1. Método de arranque existente bombas 30CV y 40CV.....	78
5.4.2. Método de arranque existente bombas 75CV.....	82
5.4.3. Método de arranque propuesto.....	85
5.4.4. Corrección del factor de potencia (banco de condensadores).....	89
5.5. DIAGRAMA P&ID DE PROCESO PTAP TRINIDAD.....	96
5.5.1. Software utilizado (AutoCAD P&ID Versión estudiante).....	99

ANÁLISIS DE LEGALIDAD	10xi
CONCLUSIONES	102
SISTEMA DE UNIDADES.....	104
VARIABLES	105
ABREVIATURAS.....	106
GLOSARIO	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112

Tabla 1. <i>Asignación de niveles de complejidad.</i>	10
Tabla 2. <i>Método de cálculo permitido.</i>	11
Tabla 3. <i>Periodo de diseño según complejidad del sistema.</i>	12
Tabla 4. <i>Población Trinidad Censo 2005.</i>	13
Tabla 5. <i>Historial censos.</i>	13
Tabla 6. <i>Proyección población Trinidad.</i>	15
Tabla 7. <i>Variables límites para el proceso de priorización.</i>	17
Tabla 8. <i>Parámetros para el desarrollo de cada sistema.</i>	21
Tabla 9. <i>Dotación neta según complejidad del sistema.</i>	30
Tabla 10. <i>Dotación neta según el clima complejidad del sistema.</i>	30
Tabla 11. <i>Porcentaje máximos admisibles de pérdidas técnicas.</i>	32
Tabla 12. <i>Coefficiente de consumo máximo diario k1.</i>	34
Tabla 13. <i>Coefficiente de consumo máximo diario k2.</i>	35
Tabla 14. <i>Demanda de agua potable municipio Trinidad.</i>	36
Tabla 15. <i>Calidad de la fuente.</i>	40
Tabla 16. <i>Resultados análisis de laboratorio.</i>	41

Tabla 17. <i>Características de los medios filtrantes</i>	57
Tabla 18. <i>Tamaños típicos de grava para lavado solo con agua</i>	59
Tabla 19. <i>Grava de soporte para falso fondo</i>	59
Tabla 20. <i>Parámetros de cargas inductivas instaladas</i>	89

Lista de figuras

xiv

Figura 1. Proyecciones crecimiento población urbana Trinidad.....	16
Figura 2. Diagrama general de priorización de proyectos.....	20
Figura 3. Diagrama de proceso de potabilización existente	43
Figura 4. Bandejas de aireación existentes	44
Figura 5. Bandejas de aireación propuestas	50
Figura 6. Sistema de filtración existente.....	53
Figura 7. Unidad de filtración.....	58
Figura 8. Lecho filtrante sobresaturado.	65
Figura 9. Sistema de desinfección existente	67
Figura 10. Cloruro de sodio disuelto en agua (salmuera)	71
Figura 11. Electrólisis de salmuera.....	72
Figura 12. Diagrama de flujo proceso electrocloración.....	74
Figura 13. Cuarto de bombeo existente	75
Figura 14. Sistema de arranque existente 40CV	76
Figura 15. Relación Par y corriente Vs. Velocidad	77
Figura 16. Circuitos de fuerza y control existente bombas 40CV	79

Figura 17. Sistema de arranque existente 75CV	80
Figura 18. Circuitos de fuerza y control existente bombas 75CV	82
Figura 19. Comportamiento tensión, corriente y par en arranque motor	83
Figura 20. Circuito de fuerza y control propuesto para motor de 40HP	85
Figura 21. Circuito de fuerza y control propuesto para motores de 75HP	86
Figura 22. Diferencias entre factores de potencia.....	88
Figura 23. Vectores de potencias	90
Figura 24. Conexión de controlador de factor de potencia	92
Figura 25. P&ID planta de tratamiento de agua potable.....	95
Figura 26. Diagrama P&ID y modelado 3D	96

El Problema

Descripción del problema

La demanda constante de una comunidad creciente, de un líquido vital e importante como lo es el agua, conlleva a grandes problemas de cobertura y calidad en la prestación de dicho servicio. El municipio de Trinidad, ubicado al norte del departamento de Casanare no es un lugar ajeno a dicha necesidad; el cual en los últimos cinco años su población en la zona urbana ha pasado de 7.500 habitantes a aproximadamente 9.500 según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Dicho incremento ha llevado a la necesidad de mejorar y optimizar el sistema utilizado en la planta de tratamiento de agua potable del municipio, ya que no supe el cien por ciento de la demanda, la calidad del producto y el servicio prestado no es el óptimo, generando gran malestar dentro de la comunidad pudiendo este a llevar a un problema de salud pública, del medio ambiente y bienestar social.

En la planta de tratamiento no se aplica de forma correcta los procesos a seguir y en este repetir de recreación y reconfiguración, se debe trabajar por encima de los límites, en vez de hacerlo dentro de ellos.

Por tal motivo, se hace necesario por parte de la Administración Municipal realizar un análisis detallado , ver los problemas y posibles soluciones desde una nueva perspectiva y sin limitarse a los conceptos y reglas existentes, sino crear e implementar nuevas reglas y

ventajas que permitan ser más competitivos y optimizar la prestación del servicio; realizando un trabajo de reingeniería en los procesos relacionados con el tratamiento y distribución del líquido y que no estén supliendo las necesidades actuales que demanda la población; este trabajo busca dar solución a la problemática de desabastecimiento y calidad que se presenta en la región, mejorando de esta manera la calidad de vida de la población y optimizando el servicio. Al desarrollar el proceso de reingeniería se estaría beneficiando la comunidad en general del municipio de Trinidad Casanare y estaría ofreciendo un agua cien por ciento potable y apta para el consumo humano.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. EL CONCEPTO DE REINGENIERÍA

La reingeniería se ha convertido en una herramienta muy importante para el desarrollo de cualquier proceso; sin embargo, su metodología de aplicación sin ser conocida se descarta o bien se usa desconociéndola, produciendo resultados no esperados y por lo tanto generando un especie de rechazo a esta técnica.

La reingeniería proviene de la conjunción de dos palabras por un lado “Ingeniería”, la cual tiene distintos significados: 1) es la aplicación de las ciencias físico matemáticas a la invención o mejora; 2) es el perfeccionamiento y la utilización de la técnica industrial; 3) es el conjunto de los estudios que permiten determinar las orientaciones más deseables, la mejor concepción, las condiciones óptimas de rentabilidad y los materiales y procedimientos más adecuados para la realización de un trabajo determinado; 4) es la aplicación de la técnica, fundada en principios de carácter científico para dominar o encauzar las fuerzas de la naturaleza y por último 5) es el conjunto de conocimientos y de técnicas que permiten aplicar el saber científico a la utilización de la materia y de las fuentes de energía, mediante invenciones o construcciones útiles para el hombre. (Morris y Brandon, 1994). Por otro lado la palabra “re” puede indicar el replanteamiento de los procesos, su corrección y mejora. Reingeniería es la modificación de los procesos para hacerlos mucho más efectivos, es hacer más con menos recursos. (Peppard, y Rowland).

A Michael Hammer se le atribuye la creación del término reingeniería y la define como el cambio fundamental para llegar a la base de los problemas de la organización; un cambio radical que debe ocurrir para poder obtener los resultados espectaculares que la reingeniería promueve por medio del estudio de los nuevos procesos productivos que harán de la organización más productiva, se pasa de una etapa de especialización a una de generalización, en la cual el servicio puede ser realizado por una sola persona. (Hammer y Champy, 1994).

La reingeniería de procesos es un enfoque administrativo relativamente joven; de hecho, a principios de la década de los 90's se comenzaron a emprender esfuerzos internacionales por lograr mejoras en las organizaciones, aunque los primeros proyectos formales en nuestro país se dieron a partir de 1999.

Dentro del ámbito de la consultoría de empresas las inversiones que comienzan a realizar las organizaciones en esta materia se centran principalmente en las tecnologías de información, comunicaciones, automatización, maquinaria y equipo entre otros, lo cual lleva a la obtención de mejoras en el servicio a los clientes, reducción de costos de administración, distribución, producción, tiempo de respuesta y calidad de productos.

Es así que cualquier proceso está dado para realizarle un cambio o una reingeniería de manera que sea más productivo y organizado. Es por ello que las plantas de tratamiento de agua potable PTAP, no están ajenas a estos planteamientos; uno de los ejemplos más claros y de mayor recordación a causa del mal manejo que se le ha dado, ha sido el de la

Planta de Tratamiento de Agua Potable de Yopal, Casanare; la cual desde el año 2011 fue destruida a causa de un derrumbe y que a la fecha solo se han adoptado medidas de choque y ninguna solución definitiva, convirtiéndose en un problema de salud pública y bienestar social. Aunque esta es una antítesis de la reingeniería es importante traerlo a colación. Casanare es un departamento con inmensa riqueza hídrica, aunque ha hecho muy poca inversión en cuanto a procesos de potabilización del agua, siendo considerado un departamento con pocas plantas de tratamiento donde su agua es potable y apta para el consumo humano, uno de los claros ejemplos de reingeniería en la PTAP fue el desarrollado en el municipio de Recetor, Casanare en el año 2012; un municipio con menos de 10.000 habitantes ha logrado realizar un trabajo de reingeniería y optimización en su PTAP y lo ha posicionado como un claro ejemplo de buen manejo de los recursos y optimización de sus procesos, prestando un servicio de acueducto de excelente calidad y cobertura.

1.2. MARCO INSTITUCIONAL

Las diferentes entidades relacionadas con la prestación de los servicios públicos de acueducto en el Municipio, así como las responsabilidades y funciones de cada una, se identifican a continuación:

- A. ENTIDAD RESPONSABLE DEL PROYECTO: Empresa de Acueducto,
Alcantarillado y Aseo de Trinidad – AGUA VITAL TRINIDAD S.A. - E.S.P.

KRA 5 N° 7-58 Telefax: 6371072

Representante Legal: Rafael Cuevas.

- B. PAPEL DEL MUNICIPIO: Prestador Indirecto del Servicio a través de EMSP como ente descentralizado – Cofinanciador – Alcalde preside la Junta Directiva.
- C. ENTIDAD PRESTADORA DEL SERVICIO: AGUA VITAL TRINIDAD S.A. – E.S.P.
- D. ENTIDADES TERRITORIALES COMPETENTES: Alcaldía de Trinidad como responsable de garantizar la oportuna y eficiente prestación de los servicios públicos en su jurisdicción. Gobernación de Casanare, como responsable solidario, en espacial a partir de la entrada en vigencia de los Planes Departamentales de Agua (CONPES-3463).¹
- E. ENTIDADES DE PLANEACIÓN. A NIVEL LOCAL: Secretaría de Planeación Municipal, como responsable directo de la planificación del desarrollo del municipio y de la evaluación del cumplimiento de las metas del Plan de

¹ Estos planes son la estrategia del estado para lograr incrementos significativos en el mediano y largo plazo en los indicadores de cobertura, calidad y continuidad de los servicios de agua potable y saneamiento básico, a través de la unión de esfuerzos institucionales y presupuestales de todos los actores involucrados es decir los municipios, el departamento, la corporaciones y el gobierno nacional.

Ordenamiento y del Plan de Desarrollo Municipal. A NIVEL REGIONAL: Departamento Administrativo de Planeación de la Gobernación de Casanare, como responsable de liderar el proceso de implementación de los PDAPSB². A NIVEL NACIONAL: Departamento Nacional De Planeación - DNP. El Departamento Nacional de Planeación - DNP es un Departamento Administrativo que pertenece a la Rama Ejecutiva del poder público y depende directamente de la Presidencia de la República. Los departamentos administrativos son entidades de carácter técnico encargadas de dirigir, coordinar un servicio y otorgar al Gobierno la información adecuada para la toma de decisiones. Tienen la misma categoría de los Ministerios, pero no tienen iniciativa legislativa. Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico-DGAPSB. Le corresponde entre otras funciones, Formular las políticas, planes y programas en materia de agua potable, saneamiento básico y ambiental. Realizar seguimiento de la implementación de la política y normas para la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable, saneamiento básico y ambiental, así como para la protección, conservación y recuperación de los recursos naturales renovables que sean

² **PDAPSB** :Planes Departamentales de Agua Potable y Saneamiento Basico.

- utilizados en la captación, transporte, tratamiento y disposición final de tales servicios.
- F. ENTIDAD REGULADORA: Comisión de Regulación de Agua Potable-CRA. Es la entidad del orden nacional creado para regular los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en Colombia, según mandato legal y con funciones delegadas por el Presidente de la República. Para cumplir con dicha función expide metodologías tarifarias aplicables a los SPD. Fue creada según el Artículo 69.1 de la ley 142 de 1994. Es una unidad administrativa especial adscrita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, inicialmente al Ministerio de Desarrollo, con independencia técnica, administrativa y patrimonial, sin personería jurídica.
- G. ENTIDAD DE CONTROL, INSPECCIÓN Y VIGILANCIA: Superintendencia De Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD. Es un organismo de carácter técnico. Creado por la Constitución de 1.991 para que, por delegación del Presidente de la República, ejerza el control, la inspección y la vigilancia de las entidades prestadoras de servicios públicos domiciliarios.
- H. OPERADOR: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Trinidad – EMSP.
- I. ACCIONES PROYECTADAS DE LA COMUNIDAD EN EL SISTEMA. La comunidad es beneficiaria directa de los proyectos y obras que se ejecuten para

dar cumplimiento a las políticas del sector. Así mismo, a través de los mecanismos de participación ciudadana, tiene la obligación de ejercer control ciudadano.

- J. **AUTORIDAD AMBIENTAL COMPETENTE.** Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia – CORPORINOQUIA. La Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia ejerce funciones establecidas en el artículo 31 de la Ley 99. La Misión de Corporinoquia es Ejercer la autoridad ambiental y administrar los recursos naturales, biodiversidad y ambiente para orientar el desarrollo territorial sostenible de la jurisdicción.

1.3. NIVEL DE COMPLEJIDAD

1.3.1. Requisitos de la Norma

Según los Términos de Referencia: “Quien elabore el proyecto deberá estimar la población actual y la proyección a lo largo del periodo de planeamiento del sistema, para lo cual se deberá realizar un censo de usuarios para establecer las dotaciones mínimas a captar en la fuente de abastecimiento. Para determinar la población estimada en el área del proyecto se deberán considerar las densidades de saturación con base en el Plan de Ordenamiento Territorial Municipal y se tomarán como referencia para ajustar en forma crítica la proyección de la población servida al tiempo determinado según el nivel de complejidad, para la planeación del sistema.

La presente se adelanta teniendo en cuenta las recomendaciones contenidas dentro de la RESOLUCIÓN N° 1096 de 17 de Noviembre de 2000, “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.”, emanada del Ministerio de Desarrollo Económico.

De acuerdo con el Capítulo A.3. del RAS – 2000³, “La clasificación de un proyecto en uno de estos niveles depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto, de acuerdo con lo establecido en la Tabla A.3.1. del RAS”

Tabla 2. Asignación de niveles de complejidad. (Tabla A3.1 RAS).

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio alto	12500 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Para poder llevar a cabo la clasificación, es necesario conocer los datos de población y su comportamiento a través de los años para poder hacer las respectivas

³ Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Ministerio de Desarrollo Económico. Edición 2000.

proyecciones. La asignación del nivel de complejidad del proyecto según el RAS-2000 es de obligatorio cumplimiento y debe hacerse según las siguientes disposiciones:

- ✓ La población que debe utilizarse para clasificar el nivel de complejidad corresponde a la proyectada en la zona Urbana del municipio en el periodo de diseño de cada sistema o cualquiera de sus componentes. Debe considerarse la población flotante.
- ✓ El nivel de complejidad del sistema adoptado debe ser el que resulte mayor entre la clasificación obtenida por la población urbana y la capacidad económica.
- ✓ En ningún caso se permite la adopción de un nivel de complejidad del sistema más bajo que el establecido según los anteriores numerales.

Deben recolectarse los datos demográficos de la población, en especial los censos de población del DANE y los censos disponibles de suscriptores de acueducto y otros servicios públicos de la localidad o localidades similares. Con base en los datos anteriores deben obtenerse los parámetros que determinen el crecimiento de la población.

El método de cálculo para la proyección de la población depende del nivel de complejidad del sistema según se muestra en la Tabla B.2.1. del RAS. Se calculará la población utilizando por lo menos los siguientes modelos matemáticos: Aritmético,

geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población. Los datos de población deben estar ajustados con la población flotante y la población migratoria.

En caso de falta de datos se recomienda la revisión de los datos de la proyección con los disponibles en poblaciones cercanas que tengan un comportamiento similar al de la población en estudio.

Tabla 2. Método de cálculo permitido. (Tabla B.2.1 RAS).

Método por emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Aritmético, geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético + geométrico + exponencial + otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X

Población actual y futura

Para realizar los cálculos de la población futura, es conveniente establecer el periodo de diseño que se ha de adoptar para cada uno de los componentes del sistema de acueducto del municipio.

Según el RAS-2000, el período de diseño debe fijar tanto las condiciones básicas del proyecto, como la capacidad de la obra para atender la demanda futura. El período de

diseño también depende de la curva de demanda y de la programación de las inversiones, así como de la factibilidad de ampliación, de la tasa de crecimiento de la población y de la tasa de crecimiento del comercio y la industria.

Para realizar los cálculos de la población futura, es conveniente establecer el periodo de diseño que se ha de adoptar para cada uno de los componentes del sistema de acueducto del municipio.

Para el caso de las obras de captación, según el RAS, los periodos de diseño se especifican en la tabla B.4.2. de dicha norma.

Tabla 3. Periodo de diseño según complejidad del sistema. (Tabla B.4.2 RAS).

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

1.3.2.1. Información de censos

Deben recolectarse los datos demográficos de la población, en especial los censos de población del DANE y los censos disponibles de suscriptores de acueducto y otros servicios públicos de la localidad o localidades similares. Con base en los datos anteriores deben obtenerse los parámetros que determinen el crecimiento de la población.

La población actual del municipio de Trinidad para el casco urbano según el DANE, tomado de la página Web www.dane.gov.co, para el año 2005:

Tabla 4. Población Trinidad Censo 2005 (Fuente: DANE)

Municipio	Población Total	Cabecera
Trinidad	11083	6003

En la misma página del DANE, www.dane.gov.co, es posible obtener los datos de población de censos anteriores, esto lo hacemos con el fin de establecer una tendencia de la tasa de crecimiento:

Tabla 5. Historial censos (Fuente: DANE)

Año	Población	r	% Crecimiento
1973	757		
		0,048	4,8
1985	1323		
		0,1	10
1993	2842		
		0,049	4,9
2001	4163		
		0,0959	9,59
2005	6003		

De acuerdo con las estadísticas censales, es evidente que las tasas de crecimiento poblacional no presentan una tendencia clara y definida que permita adoptar un único valor de r, que sirva como base para las proyecciones de población.

Observamos, en la tabla 1. “Asignación de niveles de complejidad. Según tabla A3.1 RAS”, que el Nivel de complejidad será MEDIO, y el periodo de diseño para los

componentes del sistema será de 20 años. Con éste valor, hacemos las proyecciones de población.

Los resultados de dichas proyecciones se muestran en la siguiente tabla, donde se puede apreciar que el valor calculado de la población futura se mantiene dentro del rango entre 2501 y 12500 habitantes por cerca de 10 años más; por lo tanto se confirma que el Municipio de Trinidad se ubicará en un **Nivel de complejidad medio** en los próximos años.

Tabla 6. Proyección población Trinidad.

Año	Aritmética	Geométrica	Exponencial	Promedio
2016	11066	8580	8630	9425
2017	11526	8863	8920	9770
2018	11986	9155	9219	10120
2019	12447	9457	9528	10477
2020	12907	9770	9848	10842
2021	13367	10092	10178	11212
2022	13827	10425	10520	11591
2023	14288	10769	10873	11977
2024	14748	11124	11238	12370
2025	15208	11491	11615	12771
2026	15668	11871	12004	13181
2027	16129	12262	12407	13599
2028	16589	12667	12823	14026
2029	17049	13085	13253	14462
2030	17509	13517	13698	14908
2031	17970	13963	14158	15364
2032	18430	14424	14633	15829
2033	18890	14900	15124	16305
2034	19350	15391	15631	16791
2035	19811	15899	16155	17288
2036	20271	16424	16698	17798
2037	20731	16966	17258	18318
2038	21191	17526	17837	18851

Las proyecciones del crecimiento poblacional para el municipio de Trinidad Casanare, según los diferentes métodos aplicados según el nivel de complejidad, las observamos en la figura 1.

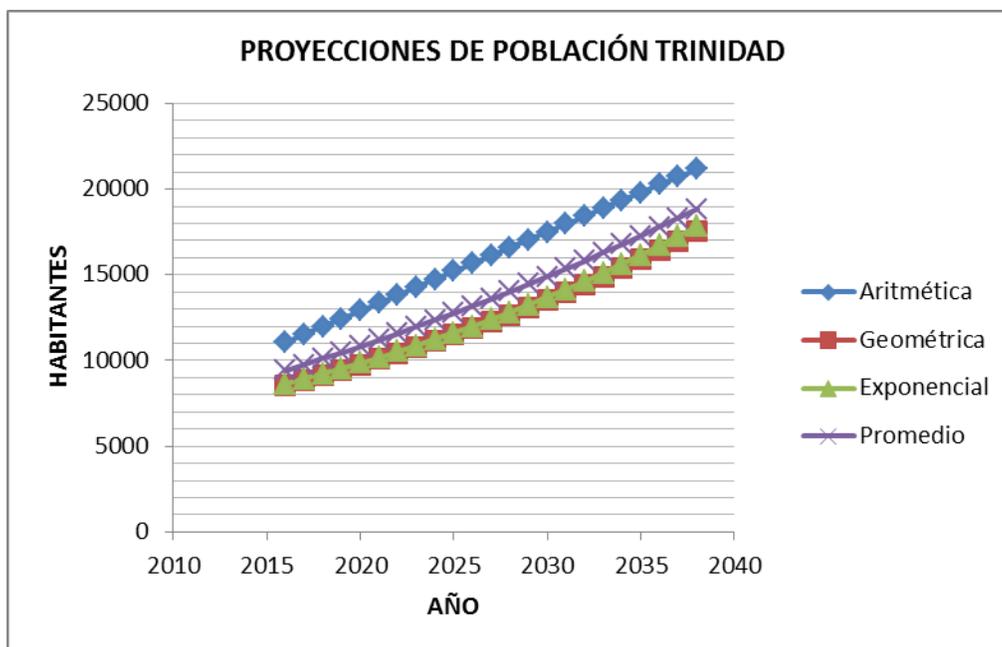


Figura 1. Proyecciones crecimiento población urbana Trinidad.

Alcance

Las entidades territoriales, las ESP y otras que promuevan y desarrollen inversiones en el sector, deben identificar claramente los proyectos de infraestructura cuyo desarrollo es prioritario en su jurisdicción en relación con el sector de agua potable y saneamiento básico con el propósito de satisfacer necesidades inherentes al sector,

racionalizando los recursos e inversiones, de forma que se garantice la sostenibilidad económica de los proyectos.

1.3.2.2. Definición de Parámetros

Para la aplicación de éste Reglamento, la tabla A.5.1 del RAS, define los límites mínimos de cobertura de algunos parámetros utilizados en el proceso de priorización.

Tabla 7. Variables límites para el proceso de priorización. (Tabla A.5.1 RAS).

Parámetro	Símbolo	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Cobertura mínima de agua potable	Cob.AP	95%	90%	90%	85%
Rezago máximo entre cobertura de alcantarillado respecto al agua potable	AP-AL	10%	10%	15%	15%
Cobertura mínima de recolección de desechos sólidos	Cob RDS	95%	85%	85%	80%

Se entenderá por cobertura la relación entre la población que cuenta con el servicio público en cuestión y la población total.

1.3.2.3. Esquema de priorización de proyectos

La primera prioridad para una entidad territorial, una ESP u otra entidad que promueva o desarrolle inversiones en el sector, será llevar a cabo inversiones que tengan un efecto positivo manifiesto en la salud pública de los habitantes y de su medio ambiente, razón por la cual, tienen preferencia la ejecución de obras de suministro de agua potable de adecuada calidad, según el Decreto 1575 de 2007, y la recolección y

disposición de aguas residuales. En un nivel inferior de prioridad, se sitúan el manejo de desechos sólidos y el tratamiento de las aguas residuales.

Se presenta a continuación una metodología para seleccionar los proyectos prioritarios en materia de agua potable y saneamiento básico, definiendo las actividades complementarias. Dicha metodología podrá hacerse por sectores del municipio.

Así, los proyectos y acciones de las entidades territoriales, las ESP o las que desarrollen o promuevan inversiones en el sector de agua potable y saneamiento básico deben ejecutarse evaluando el cumplimiento de las siguientes condiciones que indican el orden obligatorio de prioridades, empezando por el de mayor preferencia:

- ◆ Si la cobertura actual del servicio de agua potable (**Cob AP**) es menor que el porcentaje establecido en la tabla 6, debe ser de mayor prioridad de ejecución un proyecto de ampliación en la cobertura de agua potable.

- ◆ Si la diferencia entre la cobertura actual del servicio de agua potable y la cobertura actual del servicio de alcantarillado sanitario (**AP-AL**) es mayor que el valor establecido en la tabla 6, debe seguir en orden de prioridades de ejecución

un proyecto de ampliación de la cobertura del sistema de recolección de aguas residuales.

- ◆ Si la cobertura actual del servicio de aseo urbano (**Cob RDS**) es menor que el valor establecido en la tabla 6, debe seguir la ejecución de un proyecto de ampliación de la cobertura de recolección de desechos sólidos.

- ◆ En caso de no tener sitio de disposición final controlada y adecuada de desechos sólidos, debe seguirse con la formulación de un proyecto de relleno sanitario

- ◆ En caso de tener problemas de calidad de agua en las fuentes receptoras, debe incluirse la ejecución de un proyecto de tratamiento de aguas residuales.

- ◆ En caso de ser necesario, puede incluirse la ejecución de un programa de manejo de desechos sólidos, ubicado en el último orden de prioridad.

- ◆ La figura 2. resume el procedimiento para establecer prioridades en las inversiones en el sector de agua potable y saneamiento básico.

Diagrama general de priorización de proyectos

Valores límites de los parámetros de cobertura					
Parámetro	Símbolo	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Cobertura mínima de agua potable	Cob.AP	95%	90%	90%	85%
Rezago máximo entre cobertura de alcantarillado respecto al agua potable	AP-AL	10%	10%	15%	15%
Cobertura mínima de recolección de desechos sólidos	Cob RDS	95%	85%	85%	80%

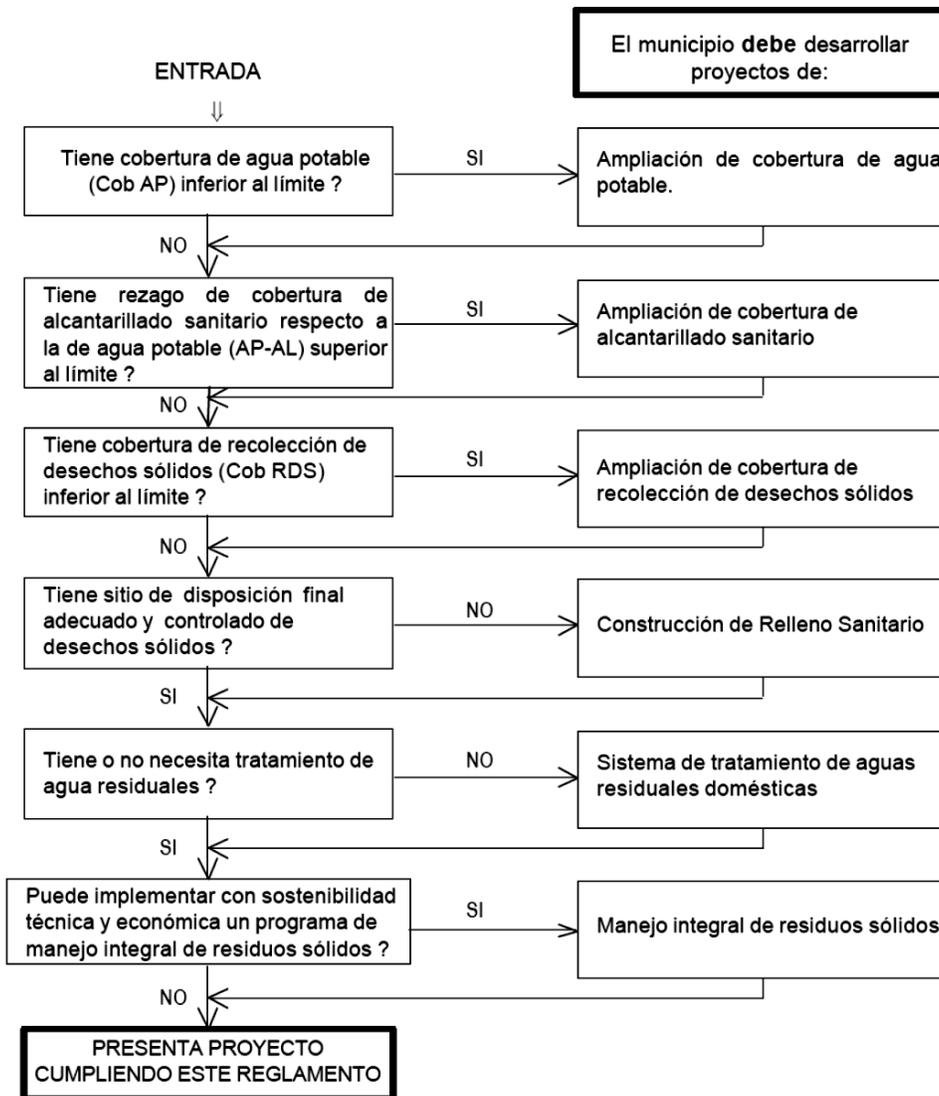


Figura 2. Diagrama general de priorización de proyectos.

1.3.2.4. Alcance y determinación de actividades complementarias

Todo proyecto debe presentarse con actividades complementarias destinadas a mejorar la eficiencia del servicio a cumplir con las disposiciones de este Reglamento y otras autoridades competentes del sector, y para efectos de este Reglamento, en la tabla A.5.2 del RAS, se definen los parámetros que el diseñador debe tener en cuenta en la determinación de las características del proyecto, según el nivel de complejidad del sistema establecido.

Tabla 8. Parámetros para el desarrollo de cada sistema. (Tabla A.5.2 RAS).

		Valores según el nivel de complejidad del sistema (porcentaje)			
Parámetro	Símbolo	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Cobertura mínima de agua potable	Cob.AP	95%	90%	90%	85%
Rezago máximo entre cobertura de alcantarillado respecto al agua potable	AP-AL	10%	10%	15%	15%
Cobertura mínima de recolección de desechos sólidos	Cob RDS	95%	85%	85%	80%
Porcentaje mínimo de conexiones erradas pluvial/sanitario	CE Plu/San	0%	5%	10%	10%
Porcentaje mínimo de conexiones erradas sanitario/pluvial	CE San/Plu	0%	5%	10%	10%
Cobertura mínima de micromedición	Mic	100%	100%	100%	100%
Cobertura mínima de macromedición	MAC	100%	100%	100%	100%
Pérdidas máximas en aducción	Per Adu	5%	5%	5%	5%
Pérdidas máximas totales	Per Total.	30%	30%	30%	30%

1.3.2.5. Suministro de agua potable

Cualquier proyecto dirigido a la ampliación de la cobertura o mejoramiento del servicio de suministro agua potable debe complementarse con las siguientes actividades:

- ◆ Ampliación de cobertura de alcantarillado (PROYECTO PRIORITARIO)
- ◆ Plan de mejoramiento de la calidad del agua (PROYECTO PRIORITARIO).
- ◆ Plan de incremento de los niveles de Macromedición (PROYECTO PRIORITARIO).
- ◆ Programa de ampliación de cobertura de la Micromedición (PROYECTO PRIORITARIO).
- ◆ Programa de reducción de pérdidas (PROYECTO PRIORITARIO).
- ◆ Verificación de dotaciones y plan dirigido a reducir el consumo de agua, según la Ley 373 de 1997. Utilización de instrumentos de bajo consumo y campañas de ahorro de agua. (PROYECTO PRIORITARIO).

1.3.2.6. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas

Un proyecto de ampliación de cobertura de alcantarillado sanitario deberá incluir además del desarrollo de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas, el de las pluviales, ya sea en sistemas independientes o en sistemas combinados.

1.3.2.7. Sobre la pavimentación de calles

No se debe permitir pavimentar una calle antes de la construcción de sus redes de alcantarillado sanitario y/o pluvial o combinado, a menos que la pavimentación sea hecha con adoquines. Se exceptúan algunos casos de alcantarillados condominiales (simplificados), cuando se demuestre que la recolección de las aguas residuales, no afectará la calzada que se va a pavimentar.

1.3.2.8. Alcantarillado sanitario o combinado

Se necesita llevar a cabo un sistema de recolección de aguas residuales domésticas cuando la diferencia entre las coberturas de acueducto y de alcantarillado sanitario sea mayor que el porcentaje establecido en algunas áreas de la localidad, según la tabla 8.

El proyecto de recolección y disposición de aguas residuales domésticas debe complementarse con los siguientes programas:

- ◆ Revisión del sistema de agua potable cuando se presenten dotaciones por fuera de los rangos establecidos.
- ◆ Programa de mantenimiento preventivo y reparación de redes de alcantarillado sanitario. (PROYECTO PRIORITARIO)
- ◆ Programa de ampliación del alcantarillado pluvial. (PROYECTO PRIORITARIO).

1.3.2.8.1. Alcantarillado pluvial o combinado

Se considera necesario llevar a cabo un proyecto de recolección de aguas pluviales mediante la ejecución de un proyecto de alcantarillado pluvial o combinado cuando existan problemas de drenaje de las aguas lluvias.

En caso de que el porcentaje de conexiones erradas del sistema sanitario al pluvial sea mayor que el valor establecido, el proyecto debe contener un programa de mantenimiento y reparación del alcantarillado sanitario.

1.3.2.8.2. Tratamiento de aguas residuales domésticas

Un proyecto de tratamiento de aguas residuales debe llevarse a cabo cuando un estudio de calidad de agua en la fuente receptora demuestre que existe o existirá un problema de salud pública o de carácter ambiental, cuya magnitud amerite la construcción de dicho sistema.

Un proyecto de tratamiento de aguas residuales debe complementarse con las siguientes actividades:

- ◆ Estudios de calidad de agua de la fuente receptora.
- ◆ Caracterización de las aguas residuales domésticas a verterse en la fuente.
- ◆ Sistema separado de aguas residuales domésticas y pluviales.
- ◆ Programa dirigido a la corrección de conexiones erradas, construcción de interceptores de aguas residuales y reparación y/o construcción de aliviaderos.

- Plan de mantenimiento preventivo y reparación total del sistema de alcantarillado.
- Sistema de pretratamiento industrial para remoción de tóxicos.

Evaluamos la situación actual de agua potable y saneamiento básico del municipio de Trinidad, de acuerdo a la metodología establecida por el RAS-2000:

- **COBERTURA DE AGUA POTABLE (CAP).** La cobertura actual de agua potable para el municipio de Trinidad es de **88%**, el mínimo establecido por el RAS para el nivel de complejidad alto debe ser **90%**, luego es prioritaria la inversión en el sistema de acueducto.
- **REZAGO COBERTURA ALCANTARILLADO (CAL).** La cobertura actual del alcantarillado sanitario es del **72%**, luego es rezago es $CAP - CAL = 88 - 72 = 16\%$, el cual está arriba del 10%. Lo cual indica que también existe prioridad en la inversión el sistema de alcantarillado sanitario.

Categorías

De esta manera el orden de prioridad en las inversiones que debe adelantar el Municipio de Trinidad para la próxima década, quedará establecido de la siguiente forma:

- ✓ **NIVEL DE PRIORIDAD 1 – (NP1):** Formulación y ejecución de proyectos que busque garantizar el suministro de agua potable a la población urbana que no cuenta con este servicio.

- ✓ **NIVEL DE PRIORIDAD 2 – (NP2):** Formulación y ejecución de proyectos que busquen ampliar la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario, mejorar su funcionamiento y separar sus flujos del sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias.

- ✓ **NIVEL DE PRIORIDAD 3 – (NP3):** Formulación y ejecución de proyectos tendientes a construir, complementar u optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio, de forma tal que se de inmediato cumplimiento a las normas de vertimiento establecidas en el decreto 1594/84 y aquellos que lo sustituyan o complementen.

CAPITULO 2. JUSTIFICACION PARA REALIZAR UN PROYECTO DE REINGENIERÍA Y OPTIMIZACIÓN AL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN EXISTENTE

Las entidades territoriales, las ESP y otras que promuevan y desarrollen inversiones en el sector, deben identificar claramente los proyectos de infraestructura cuyo desarrollo es prioritario en su jurisdicción en relación con el sector de agua potable y saneamiento básico con el propósito de satisfacer necesidades inherentes al sector, racionalizando los recursos e inversiones, de forma que se garantice la sostenibilidad del proyecto.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua para consumo debe cumplir los requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos exigidos en el Decreto 1575 de 2007, expedido por el Ministerio de Protección Social, o el que lo reemplace. La calidad del agua no debe deteriorarse ni caer por debajo de los límites establecidos durante el periodo de tiempo para el cual se diseñó el sistema de abastecimiento.

El control de la calidad del agua es responsabilidad de las Empresas de Servicios Públicos de Acueducto y la vigilancia de la misma está a cargo del Ministerio de

Protección social a través de las autoridades de salud de los Departamentos, Distritos o Municipios.

2.2. OBJETIVO DEL PROYECTO

La entidad territorial correspondiente, la ESP u otra entidad que promueva y desarrolle inversiones en el sector, debe definir un objetivo concreto del proyecto, el cual debe estar dirigido a solucionar el problema identificado, sus causas y consecuencias, así como las características de la población y de la zona que está siendo afectada por el mismo.

El objetivo debe indicar claramente el estado deseado que se espera obtener a través de la ejecución del proyecto y expresarse en términos de resultados.

El objetivo del presente Proyecto es: **LLEVAR A CABO LA REINGENIERÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN, DESINFECCIÓN Y BOMBEO DE PLANTA DE POTABILIZACIÓN EXISTENTE.**

2.3. POBLACIÓN AFECTADA

Como complemento a la justificación de un proyecto de agua potable o saneamiento básico, la entidad territorial debe determinar la población directa o indirectamente afectada por el problema detectado en el literal anterior, así como la

población objetivo o beneficiada con la ejecución del proyecto, calculada dentro del periodo de diseño del mismo.

La población afectada por el suministro de agua no potable en el municipio de Trinidad, correspondería al 100% de la población urbana, la cual asciende a 9.425 habitantes.

CAPÍTULO 3. DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE AGUA POTABLE

3.1. DOTACION

3.1.1. Dotación neta

De acuerdo con el RAS – 2000, la dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto:

Tabla 9. Dotación neta según complejidad del sistema. (Tabla B.2.2 RAS).

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab·día)	Dotación neta máxima (L/hab·día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

El mismo reglamento establece, que teniendo en cuenta el clima predominante en el municipio, se puede variar la dotación neta establecida anteriormente con base en la siguiente tabla:

Tabla 10. Dotación neta según el clima complejidad del sistema. (Tabla B.2.3 RAS).

Nivel de complejidad del sistema	Clima cálido (Mas de 28°C)	Clima templado (Entre 20°C y 28°C)	Clima frío (Menos de 20°C)
Bajo	15%	10%	No se admite corrección por clima
Medio	15%	10%	
Medio alto	20%	15%	
Alto	20%	15%	

De la misma manera, es necesario considerar las pérdidas en el sistema por los siguientes aspectos:

- **Pérdidas en la aducción (agua cruda)**

Debe establecerse un nivel de pérdidas en la aducción antes de llegar a la planta de tratamiento. El nivel de pérdidas en la aducción debe ser inferior al 5%.

- **Necesidades de la planta de tratamiento**

Debe considerarse entre 3% y 5% del caudal medio diario para atender las necesidades de lavado de la planta de tratamiento.

- **Pérdidas en la conducción**

Debe establecerse el nivel de pérdidas en la conducción. Esta cantidad debe ser un porcentaje del caudal medio diario, el cual debe ser inferior al 5%.

- **Pérdidas técnicas**

Las pérdidas técnicas corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de la planta potabilizadora y el volumen entregado a la población medido en las acometidas domiciliarias del municipio.

En casos como el presente en el que no poseen registros sobre las pérdidas de agua en el sistema de acueducto, el porcentaje de pérdidas técnicas admisible depende del nivel de complejidad del sistema.

Tabla 11. Porcentaje máximos admisibles de pérdidas técnicas. (Tabla B.2.4 RAS).

Nivel de complejidad del sistema	Porcentaje de pérdidas admisibles
Bajo	40%
Medio	30%
Medio alto	25%
Alto	20%

De acuerdo con lo anterior, la dotación a tener en cuenta para el diseño del acueducto será:

$$D = \text{Dotación Neta (Dn)} + \text{Pérdidas en aducción (Pa)} + \text{Pérdidas en conducción (Pc)} + \text{Ajuste por Clima (Ac)} \quad [1]$$

Donde:

$$Dn = 120 \text{ Lt/ Hab. - día.}$$

$$Pa = 1\%$$

$$Np = 2\%$$

$$Pc = 1\%$$

$$Ac = +15\%$$

$$D = 120 * 1.19$$

$$\underline{\underline{D \text{ NETA} = 142.8 \text{ LT/ HAB. - DÍA}}}$$

3.1.2. Dotación bruta

De acuerdo con el RAS – 2000, la dotación bruta debe calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\underline{\underline{\text{Dotación neta}}}}{1 - \% \text{ Perdidas técnicas}} \quad [2]$$

$$D \text{ bruta} = 142.8 / (1 - 0.3)$$

$$\underline{\underline{D \text{ BRUTA} = 204 \text{ L/ HAB. - DÍA}}}$$

Se utilizará para posteriores cálculos, una **Dotación Bruta de 200 L/ HAB. – DÍA.**

3.2. DEMANDA DE AGUA

3.2.1. Caudal medio diario (qmd)

Es el caudal medio calculado para la población proyectada con sus ajustes teniendo en cuenta la dotación asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$qmd = (P * D)/86400 \quad [3]$$

PA = Población Actual = 9425 Habitantes (para el año 2016).

D = Dotación = 200 L./ Hab. – día

Luego:

$$qmd = (9425 * 200)/86400$$

$$\underline{\underline{QMD = 21,82 LPS}}$$

3.2.2. Caudal máximo diario (QMD)

El caudal máximo diario (QMD), corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, K1. El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{QMD = qmd * K_1} \quad [4]$$

Tabla 12. Coeficiente de consumo máximo diario k_1 . (Tabla B.2.5 RAS).

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario - k_1
Bajo	1.30
Medio	1.30
Medi alto	1.20
Alto	1.20

De acuerdo con el RAS – 2000, para el nivel MEDIO de complejidad, el valor de $K_1 =$

1.3. Luego:

$$QMD = 21,81 * 1.3$$

$$\mathbf{QMD = 28,35 LPS}$$

3.2.3. Caudal máximo horario (QMH)

El caudal máximo horario (QMH), corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario K_2 , según la siguiente ecuación

$$\mathbf{QMH = QMD * K_2} \quad [5]$$

Tabla 13. Coeficiente de consumo máximo diario k_2 . (Tabla B.2.6 RAS).

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución	Red Secundaria	Red matriz
Bajo	1.60	-	-
Medio	1.60	1.50	-
Medio alto	1.60	1.45	1.40
Alto	1.60	1.45	1.40

De acuerdo con el RAS – 2000, para el nivel MEDIO de complejidad, el valor de

$K_2 = 1.6$; luego:

$$Q_{MH} = 28,35 * 1.6$$

$$\underline{\underline{Q_{MH} = 36,86 \text{ LPS}}}$$

Los anteriores valores fueron ajustados. Para tal efecto, la Dotación Neta Mínima inicial (**120 LHD**) se incrementa en un 1%. Así mismo, las pérdidas técnicas deberán reducirse en un 1% anual para garantizar su eficiencia y el uso racional del recurso.

Tabla 14. Demanda de agua potable municipio Trinidad.

AÑO	POBLACION	DOTACION NETA	AJUSTE	PERDIDAS	DOTACION BRUTA	qmd	QMD	QMH
	(Hab)	(Lt/Hab-día)	%	%	(Lt/Hab-día)	LPS	LPS	LPS
	1	2	3	4	5	6	7	8
2016	9425	120	19	30	200,0	21,82	28,36	45,38
2017	9770	121,2	19	29,7	205,2	23,20	30,16	48,25
2018	10120	122,4	19	29,4	206,3	24,17	31,42	50,27
2019	10477	123,6	19	29,1	207,5	25,17	32,72	52,35
2020	10842	124,9	19	28,8	208,8	26,20	34,06	54,49
2021	11212	126,1	19	28,5	210,0	27,25	35,43	56,68
2022	11591	127,4	19	28,2	211,3	28,34	36,84	58,95
2023	11977	128,7	19	28,0	212,5	29,46	38,30	61,28
2024	12370	129,9	19	27,7	213,8	30,61	39,80	63,68
2025	12771	131,2	19	27,4	215,1	31,80	41,34	66,14
2026	13181	132,6	19	27,1	216,5	33,02	42,93	68,69
2027	13599	133,9	19	26,9	217,8	34,28	44,57	71,31
2028	14026	135,2	19	26,6	219,2	35,58	46,26	74,02
2029	14462	136,6	19	26,3	220,6	36,92	48,00	76,80
2030	14908	137,9	19	26,1	222,0	38,31	49,80	79,68
2031	15364	139,3	19	25,8	223,4	39,73	51,65	82,64
2032	15829	140,7	19	25,5	224,9	41,20	53,56	85,70
2033	16305	142,1	19	25,3	226,4	42,72	55,53	88,85
2034	16791	143,5	19	25,0	227,9	44,28	57,57	92,10
2035	17288	145,0	19	24,8	229,4	45,89	59,66	95,46
2036	17798	146,4	19	24,5	230,9	47,56	61,83	98,93

Observaciones:

(1) La población se proyecta año a año para un periodo de diseño (20 años) con una tasa de crecimiento del 3,3 % anual.

(2) La dotación neta mínima (120 L/Hab-día) se incrementa en un 1% anual

(3) La dotación neta se ajusta según el RAS. 1% pérdidas aducción + 1% pérdidas conducción + 2% pérdidas PTAP + 15% ajuste por clima.

- (4) Las pérdidas técnicas deberán reducirse mínimo en un 1% anual para garantizar su eficiencia y el uso racional del recurso.
- (5) La dotación bruta corresponde, a la dotación neta afectada por el porcentaje de pérdidas técnicas.
- (6) El caudal medio diario (qmd) resulta del producto de la población por la dotación bruta.
- (7) El caudal máximo diario (QMD), es el qmd afectado por un factor de 1,3
- (8) El caudal máximo horario corresponde al QMD afectado por un factor de 1,6

La capacidad de la fuente subterránea debe ser igual al caudal máximo diario (QMD) cuando se tenga almacenamiento, y al consumo máximo horario (QMH) cuando no se tenga almacenamiento. En ambos casos deben incluirse las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

En este caso, la demanda de la población corresponderá al QMD. Si se tiene en cuenta la capacidad obtenida en las pruebas de bombeo, para los pozos San José y San Jorge, tenemos una capacidad máxima instalada de:

$$31,60\text{LPS} + 13,12\text{LPS} = \mathbf{44,72\text{ LPS}}$$

Con un nivel actual de pérdidas aproximado del 30%, equivale a **31,30 LPS**.

Al margen de la implementación del programa de ahorro y uso eficiente del agua y la reducción del índice de agua no contabilizada, la perspectiva actual plantea la necesidad de contar con una fuente alterna de suministro en total operación antes del año 2019.

CAPÍTULO 4. ASPECTOS DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU TRATABILIDAD

De acuerdo al RAS-2000, es necesario de antemano conocer: El tipo de fuente, la calidad del agua de la misma, las características organolépticas, físico-químicas y microbiológicas esenciales, los estudios de tratabilidad para seleccionar los procesos de potabilización, el procedimiento de muestreo para el control de calidad, las características de producción que debe cumplir la fuente para el abastecimiento que se requiere y la protección que debe suministrarse a este recurso entre otros aspectos.

Entre los ensayos de tratabilidad, el ensayo de jarras tiene gran aplicación. Esta prueba es válida para simular un tratamiento convencional (el cual ocurre esencialmente por un mecanismo de coagulación de barrido), y otros tipos de tratamiento. Para este último caso se deben adecuar las condiciones de la mezcla rápida, si es necesario.

La calidad de la fuente debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés en periodo seco y de lluvia.

Los análisis de laboratorio deben realizarse de acuerdo con métodos estándar reconocidos nacional e internacionalmente y los muestreos de acuerdo con las Normas NTC-ISO 5667.

En la tabla C.2.1 del RAS se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico-químico y microbiológico, y el grado de tratamiento asociado.

Tabla 15. Calidad de la fuente. (Tabla C.2.1 RAS).

Parámetros	Análisis según		Nivel de complejidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 DÍAS	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	> 4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3.4	4 - 6	> 6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual mg/L		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 - 20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L-Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L-F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
-Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE: literal C.7.4.3.3)	SI
-Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
-Proceso de tratamientos utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación + Filtración Rápida] o [Filtración lenta Diversas etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

La tabla 15 muestra algunos valores máximos admisibles de las normas microbiológicas, organolépticas, físicas y químicas de la calidad del agua potable que, de acuerdo al Decreto 475/98 (*DEROGADO POR DEC. 1575/07*), se deben cumplir en todo el territorio nacional en la red de distribución de los sistemas de acueducto independiente de su nivel de complejidad.

4.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO FUENTE EXISTENTE

Para establecer la posible calidad de la fuente se realizaron pruebas a la fuente de agua existente en el municipio, el pozo profundo San José, desde el cual se capta en agua que se consume en la actualidad en el municipio de Trinidad. Arrojando los siguientes resultados.

Tabla 16. Resultados análisis de laboratorio.

Parámetro	Unidad	Pozo San José (cruda)	Pozo San José (tratada)	Requisitos Res. 2115/07
PH		6,1	7,35	6.5-9.0
TURBIEDAD	NTU	0,37	0,35	2
CONDUCTIVIDAD	µsiemens/cm	109	107	1000
SST	mg/l	<3	3	-
HIERRO TOTAL	mg/l	0,23	0,03	0.3
SULFATOS	mg/l	6	4	250
NITRATOS	mg/l	0,088	0,176	10
NITRITOS	mg/l	0,01	0,013	0.1
COLOR APARENTE	UPCo	17	13	15
DUREZA TOTAL	mg/l	39,6	61	300
DUREZA CALCICA	mg/l	10	15	60
DBO5	mg/l			-
GRASAS Y ACEITES	mg/l			0
CLORUROS	mg/l Cl	4,2	2	250
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	0	0	0
COLIFORMES FECALES	UFC/100 ml	0	0	0

Los resultados arrojan que la calidad del agua es **ACEPTABLE** en casi todos los parámetros, por lo que solo se requiere un tratamiento de desinfección a manera de protección en la red de distribución.

No obstante, el **COLOR** presenta valores muy cercanos al máximo permisible y aunque las concentraciones de **HIERRO TOTAL** están dentro del rango aceptado por la norma, es posible que la oxidación de estas bajas concentraciones, le imprima el color marrón característico, afectando los resultados.

En base a dichos resultados, y teniendo en cuenta que la calidad de la fuente es aceptable, se recomienda que el tratamiento más apropiado es AIREACIÓN + FILTRACIÓN DIRECTA + DESINFECCIÓN. Lo cual es concordante con el tratamiento que se le realiza al agua con el sistema existente en el municipio de Trinidad en la actualidad.

Por tal motivo, se requiere realizar un proceso de mejora y reforzamiento a los procesos que actualmente se realizan en la Planta de Tratamiento de Agua Potable; por lo cual el mejor método es el de realizar una reingeniería a dichos procesos.

CAPÍTULO 5. PROCESOS Y ELEMENTOS INVOLUCRADOS EN LA POTABILIZACIÓN Y ACCIÓN DE MEJORA

La planta de potabilización existente posee una capacidad instalada de 30 LPS. No obstante, se proyecta interconectar el a un nuevo pozo profundo (Pozo San Jorge), lo cual incrementaría el caudal a tratar a 40 LPS netos. Para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema y suministrar un líquido en condiciones óptimas de salubridad, se deben realizar algunas mejoras por medio de una reingeniería para la optimización del proceso existente.

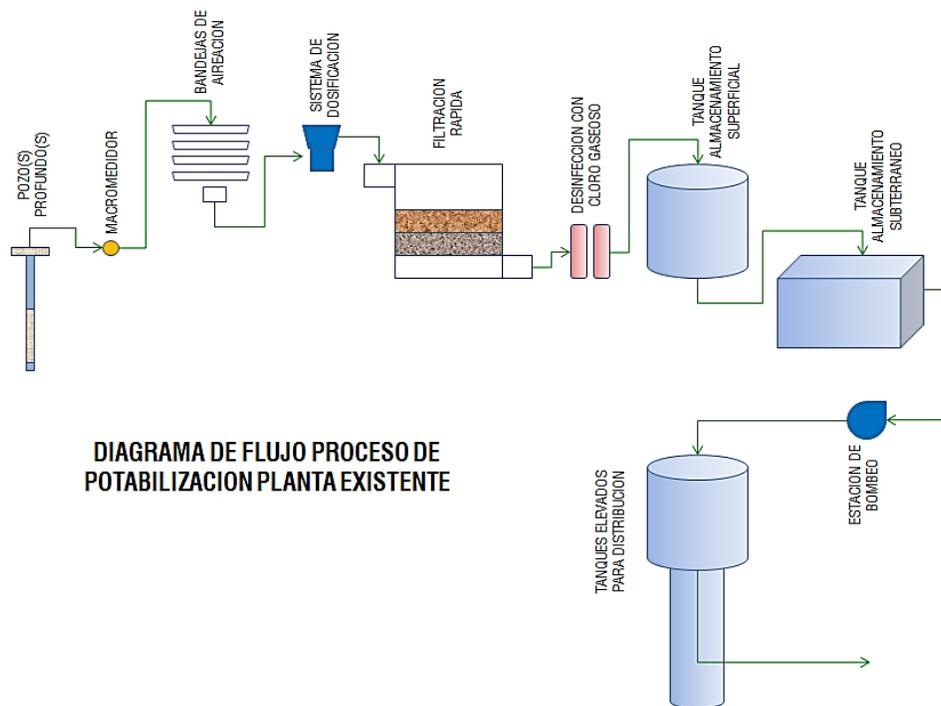


Figura 3. Diagrama de proceso de potabilización existente.

5.1. AIREADORES DE BANDEJAS



Figura 4. Bandejas de aireación existentes.

5.1.1. Aspectos generales

El agua que contiene hierro y manganeso causa problemas de color, favoreciendo el crecimiento de bacterias autotróficas en los sistemas de distribución por lo cual debe llevarse un control sobre estos elementos, ya que pueden presentar pérdidas por fricción, producir malos olores y obstruir boquillas, líneas y válvulas.

Los valores admisibles de hierro total presente en el agua es 0.3 mg/L y para el manganeso es 0.1 mg/L, respectivamente se recomiendan valores inferiores a 0.2 mg/L y preferiblemente 0.05 mg/L.

Con ayuda del contenido de dióxido de carbono en el agua debe producirse dióxido de manganeso adicional para favorecer en hidróxido férrico o los hidróxidos hidratados, en los cuales es expresada como hidróxido férrico y es dependiente del pH, aumentando con el incremento de éste y marcadamente luego de que se alcanza un valor de 8.2.

El rango de pH más apropiado para la precipitación de hidróxido férrico u óxidos férricos por oxigenación debe encontrarse en el rango más favorable de pH para la absorción de manganeso o a la vez hidróxidos férricos u óxidos férricos y dióxido de manganeso.

Los procesos de pretratamiento que deben analizarse para la remoción del hierro y manganeso presentes en el agua son los siguientes (RAS-2000 – C.11.3):

- ✓ Oxidación química.
- ✓ Aeración a presión seguida de filtración.
- ✓ Aeración a presión con tanque de contacto y filtración.
- ✓ Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración.
- ✓ Filtración sobre zeolita mangánica.
- ✓ Aeración, sedimentación y filtración.

La remoción de hierro (Fe) y manganeso (Mn) mediante procesos de filtración biológica ofrece muchos beneficios frente a los procesos fisicoquímicos convencionales. Una de las ventajas, es que opera con las condiciones naturales de las aguas subterráneas,

no siendo necesaria la utilización de productos químicos. Es un sistema muy sencillo de operar, ya que no requiere mano de obra especializada, y sus costos de operación resultan entre un 50 a un 80 % inferiores a los de un proceso convencional.

Las aguas de pozos contienen mayores concentraciones de Fe y Mn que las aguas superficiales, debido al bajo pH (alta concentración de CO₂) y al escaso contenido de oxígeno disuelto.

En el agua el Fe y Mn se presentan en forma químicamente reducida y soluble que no dan color al agua, como bicarbonato de manganeso y bicarbonato ferroso.

Cuando se oxidan por aireación o por cloro, los minerales precipitan y el Fe imparte un color rojizo o negruzco y el manganeso un color purpúreo o negruzco.

El Fe favorece el crecimiento de las “bacterias del hierro”, organismos filamentosos que extraen su energía de la oxidación del Fe⁺² a Fe⁺³ y en esta operación depositan un revestimiento viscoso en las tuberías, no son bacterias verdaderas, sino especies de más alta vida vegetal. Los más comunes de estos organismos son del genero *Crenothrix*.

Otra subdivisión del reino procariote son las bacterias gemantes o accesorias de las cuales el género *Gallionella*, específicamente la especie *Gallionella ferruginea*, se caracteriza porque sus tallos son largos, delgados y retorcidos y están impregnados de hidróxido férrico. Se les encuentra en suelos y aguas que contienen compuestos solubles de hierro reducido.

Tienen la propiedad de transformar el Fe reducido soluble en compuestos férricos insolubles que pueden obstruir los sistemas urbanos de aguas.

5.1.2. Problemas ocasionados

- Depósitos en red de distribución
- Medidores pueden recubrirse de óxidos
- Artefactos sanitarios y utensilios de cocina se recubren de depósitos negruzcos
- Manchas amarillas en ropa
- Corrosión de tuberías
- Sabor metálico
- Industrias de papel (estabilidad de colorantes), bebidas.

5.1.3. Proceso de Aireación

El hierro y el manganeso pueden ser removidos mediante la oxidación de los iones solubles de Fe^{+2} y Mn^{+2} con el uso de oxígeno molecular, cloro residual y permanganato de potasio.

El proceso de aireación en torres de bandejas, cumple los objetivos de aireación del agua como sistema complementario de un proceso de tratabilidad mediante el arrastre o

barrido de sustancias volátiles causadas por la mezcla turbulenta del agua con el aire y por el proceso de oxidación de los metales y los gases.

5.1.3.1. Verificación dimensiones de las bandejas

En este tipo de aireadores los requerimientos de carga varían de 1 a 3 m. Los requerimientos de espacio están en el orden de 9.8-12.3 cm²/m³/día de flujo.

En los aireadores múltiples de bandeja el espaciado entre las bandejas irá de 30 a 75 centímetros. Se aplicarán a un volumen de agua entre 50 y 75 m³/h por m² de área de la bandeja. Se usarán de tres a nueve bandejas.

En base al cálculo anteriormente obtenido tenemos:

La capacidad máxima instalada es de 44,72 LPS. Suponiendo una pérdida del 10% por necesidades de operación y lavado de la planta; el caudal de diseño se puede establecer en 40,0 LPS.

Caudal de diseño = 40 LPS = 144 m³/H = 3456 m³/día. [6]

5.1.3.2. Área mínima de cada bandeja:

Las bandejas existentes poseen unas dimensiones de 2,45 x 2,45 x 0,40 m.

Tomando un **ÁREA UNITARIA** de 12,4 cm²/m³/día = **4,28 m²**.

Tomando un CAUDAL UNITARIO de $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 = \mathbf{2,88 \text{ m}^2}$.

Se adopta el mayor de los dos y se aplica un factor de forma de 1,5 para evitar desbordamiento:

$$\mathbf{As = 1,5 * Au} \quad [7]$$

$$As = 1,5 * 4,28 = \mathbf{6,42 \text{ m}^2}.$$

Utilizando bandejas cuadradas de lados iguales:

$$\mathbf{L = \sqrt{As}} \quad [8]$$

$$L = \sqrt{6,42}$$

$$L = 2,53 \text{ m.} \approx \mathbf{2,60 \text{ m}}$$

Normalmente se recomienda el uso de cinco (5) bandejas espaciadas entre sí 60 cm. La primera bandeja es de distribución, las cuatro siguientes de contacto y una última de recolección en el fondo.

Las torres de aireación fabricadas por en acero inoxidable o fibra de vidrio, se utilizan para remoción de gases objetables (ácido sulfhídrico, metano y dióxido de carbono entre otros).

5.1.4. Cambio a medio de adsorción propuesto

La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. Es el proceso en el cual por ejemplo un contaminante soluble

(adsorbato) es eliminado del agua mediante el contacto con una superficie sólida (adsorbente).

Actualmente se utilizan rocas de carbón coque el cual es un elemento que realiza regularmente el proceso de adsorción, pero con la desventaja de no poder ser reutilizado y al desecharlo se convierte en contaminante ambiental.

La nueva tecnología en las torres de aireación de aguas provenientes de pozos profundos está constituida por la adsorción de hierro y otros compuestos, con base en filtros tipo PALL-RING, lavables y reutilizables:

Las bandejas existentes se encuentran en aparente buen estado; sin embargo presentan corrosión, por lo cual se recomienda su cambio, con los ajustes de las dimensiones calculadas:



Figura 5. Bandejas de aireación propuestas.

Al pasar el agua proveniente de un acuífero subterráneo en la torre de aireación a través de los filtros PALL-RING el hierro solubilizado en el agua se precipita en partículas insolubles, los cuales se adhieren a los anillos PALL-RING permitiendo que el agua aireada pase al depósito o tanque de mezcla de la planta de tratamiento de agua libre de partículas insolubles de hierro.

Al ir aumentando la cantidad de hierro adherido a los filtros PALL-RING estos van cambiando de color como señal de absorción de hierro, El cual se elimina periódicamente lavándolos con una solución de agua y ácido en baja concentración.

Usos.

El principal uso del PALL-RING es la absorción de hierro que se encuentra disuelto en el agua que se sustrae del subsuelo.

El PALL-RING a diferencia del carbón, puede ser reutilizado cuando ha cumplido su ciclo de adherencia de partículas de hierro, pues por la pigmentación creciente debido al incremento del color se puede detectar y definir el momento de realizar la limpieza de los mismos, no ocurre así; con el tradicional carbón coque el cual es un elemento que al desecharlo se convierte en contaminante ambiental.

Las características principales de las torres de aireación, son entre otras las siguientes:

- ◆ Transferir oxígeno al agua para aumentar OD.
- ◆ Disminuir Concentración De CO₂.
- ◆ Remover gases objetables como el gas sulfhídrico y el gas metano.

- ◆ Oxidar hierro y manganeso.
- ◆ Remover compuestos orgánicos volátiles.
- ◆ Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores provenientes normalmente de aguas o acuíferos subterráneos.

Ventajas

- ◆ Alta aireación de gas y excelente flujo del líquido.
- ◆ Presiones bajas.
- ◆ Alta eficiencia de traslado de masa.
- ◆ Ningún efecto en restricción del flujo a airear.
- ◆ No infringen normas ambientales de los códigos locales o nacionales.
- ◆ Excelente estabilidad mecánica.
- ◆ Bajo peso.
- ◆ Libre escogencia de material.

5.2. SISTEMA DE FILTRACIÓN



Figura 6. Sistema de filtración existente.

5.2.1. Aspectos generales

La filtración consiste en la remoción de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua, mediante su paso por un medio poroso. Esta operación se puede considerar como el resultado de dos mecanismos complementarios: el transporte de las partículas dentro de los poros y la adherencia a los granos del medio; el transporte es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los mecanismos que gobiernan la transferencia de masas, y la adherencia entre partículas y el medio es un fenómeno de atracción superficial, influenciado tanto por parámetros físicos como químicos.

5.2.2. Factores que influyen en la filtración

La eficiencia de la filtración está relacionada con:

◆ *Las características de la suspensión*

En cuanto a las características de la suspensión se destacan la temperatura, el potencial zeta, el pH y el tipo, tamaño y densidad de las partículas, además de la dureza del floc. Este último factor es muy importante en la filtración rápida, pues los flóculos frágiles tienden a fragmentarse penetrando fácil al lecho y por ende reduciendo la pérdida de carga, aunque esto conduce a un aumento en el tiempo de filtración útil, contribuye a que se sobrepase la turbiedad permitida en el efluente; por el contrario los flóculos duros ocasionan una pérdida de carga mayor.

◆ *Las características del lecho filtrante*

Los lechos filtrantes más utilizados en las plantas de tratamiento son la arena silícea y la antracita. Estos son especificados con base en sus características de granulometría mediante tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad, la forma mediante el coeficiente de esfericidad y la densidad de las partículas. La forma tiene importancia por el aspecto hidráulico en relación con la pérdida de carga inicial y por la relación de volumen a superficie, considerando que la eficiencia aumenta en la medida que se incrementa esta superficie, es decir, con la disminución en el diámetro de los granos. La forma también se relaciona con la porosidad, los granos angulares tienen mayor porosidad que los esféricos, por lo general a menor porosidad mejor calidad del efluente, pero la pérdida de carga aumenta más rápidamente.

◆ *Características hidráulicas de la filtración*

Las características hidráulicas que influyen en la eficiencia de la filtración son la tasa de filtración, la carga hidráulica disponible y el método de control de la operación de las unidades de filtración. En general, la carga hidráulica disponible es fijada en el diseño e influye significativamente en la duración de la carrera de filtración.

◆ ***La calidad del efluente.***

Los patrones de potabilidad varían por la normativa particular, pero de modo general, la turbiedad del efluente de un filtro debe ser inferior a 1 UNT, que no presente color, aunque se tolera valores hasta de 5 UPC. Desde el punto de vista bacteriológico, los filtros constituyen una barrera sanitaria, obteniéndose eficiencias de remoción de microorganismos del orden del 99 %. La calidad del agua filtrada no es constante a lo largo de la duración de la carrera, ya que inicialmente influye el grado de limpieza del filtro y al final hay una desmejora de la calidad por la colmatación.

5.2.3. Unidades de filtración

La finalidad de las unidades de filtración rápida es la separación de las partículas y los microorganismos que se han generado en el proceso de aireación, a continuación, se hace referencia a los filtros rápidos descendentes de tasa declinante.

5.2.3.1. Componentes

Un filtro rápido de tasa declinante está compuesto por un lecho que constituye la parte activa del proceso de filtración, una capa de grava de soporte al lecho y un falso fondo que recoge el agua filtrada y distribuye uniformemente el agua de lavado.

Adicionalmente existe una estructura de distribución e ingreso del agua, en este caso es un canal común a todos los filtros que tiene.

- ◆ Orificios sumergidos para la alimentación a cada unidad
- ◆ Una o varias canaletas de lavado que recolectan el agua ascendente para limpiar el filtro
- ◆ Un canal de agua de lavado para evacuar el efluente del lavado, y
- ◆ Un vertedero de salida que fija el nivel mínimo del agua en el filtro y crea la cabeza necesaria para efectuar de la unidad con el agua de las otras a través de un canal de interconexión.

5.2.3.2. Funcionamiento Del Lecho Filtrante

Inicialmente el lecho está limpio y el agua sedimentada es obligada a pasar a través del filtro por acción de la gravedad, por la combinación de los mecanismos que gobiernan la filtración, el material suspendido es retenido en el lecho hasta que este se colmata, es decir, se obstruyen los poros por donde circula el agua, aumentando la pérdida de carga y por ende la altura de la lámina de agua dentro de la caja del filtro, hasta un nivel que hace necesario el lavado.

En el lavado se invierte el sentido del flujo, haciendo que el agua pase de abajo hacia arriba provocando fluidización en el lecho, de manera que la fuerza de cizalladura despega y arrastra el material retenido. Finalizado el lavado, el lecho vuelve a asentarse pero estratificadamente, quedando las partículas grandes abajo y las pequeñas arriba, de manera que los espacios en la parte superior son menores, lo cual conduciría a colmatación en menor tiempo, para contrarrestar este problema, se emplean lechos filtrantes múltiples, generalmente, en el caso de los lechos dobles se coloca una capa de antracita encima de una arena, la antracita presenta mayor tamaño efectivo y mayor espacio interparticular, por lo que permite que los flóculos penetren a una mayor profundidad, hasta la arena y así se garantiza mejor aprovechamiento del filtro. Además de que la antracita tiende a permanecer encima de la arena dada su menor densidad respecto a la de la arena.

La disposición de las capas de antracita y arena con granulometrías diferentes permite conseguir en forma parcial que los vacíos interparticulares del lecho disminuyan en el sentido del flujo del agua. Las características de los materiales que conforman el lecho doble se definen mediante el tamaño efectivo (TE), el coeficiente de uniformidad (CU) y el espesor de cada capa, en la tabla 14 se presentan las características generales del lecho doble de arena y antracita.

Tabla 17. Características de los medios filtrantes.

Material	Altura (cm)		TE (mm)		Densidad	
	Máximo	Típico	Máximo	Típico	Máximo	Típico
Antracita	45 a 50	45	0,80-1,40	0,80-1,00	1,40-1,73	1,4
Arena	15 a 45	15 a 30	0,45-0,60	0,50-0,60	2,60-2,65	2,6
Material	Porosidad inicial		Esfericidad		CU	
	Máximo	Típico	Máximo	Típico	Máximo	Típico
Antracita	0,56-0,60	0,58	1,8	1,5	0,44-0,84	0,5
Arena	0,42-0,47	0,45	1,30-1,70	1,50-1,70	0,70-0,80	0,75

Adicionalmente los materiales deben cumplir las siguientes especificaciones.

Arena: Compuesta de material silíceo, con una dureza de 7 en la escala de Mohs, debe ser limpia, sin barro ni materia orgánica y no más del 1 % del material puede ser laminar.

Antracita: debe tener una dureza mínima de 3 en la escala de Mohs y el máximo porcentaje de partículas planas debe ser del 30 %.

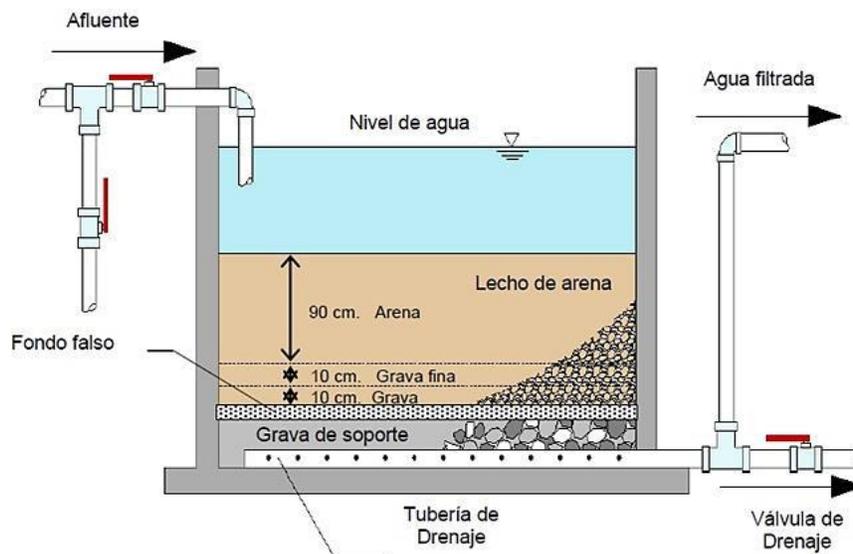


Figura 7. Unidad de filtración.

La profundidad total del lecho generalmente se adopta entre 0,60 y 0,80 m. El espesor relativo de las capas influye en la duración de la carrera de filtración, siendo mayor el tiempo de lavado entre lavados en cuanto mayor es la relación volumen antracita/ volumen arena. Se recomienda 60 % en volumen de antracita y 40 % en volumen de arena.

5.2.3.3. Grava De Soporte

El tipo y tamaño de la grava están condicionados por el falso fondo (tipo permeable o de boquillas), debe ser colocada manualmente durante la construcción del filtro. Para el caso de un subdrenaje construido por tubería perforada, se utiliza entre 0,50 y 0,55 m de grava de diferentes tamaños como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 18. Tamaños típicos de grava para lavado solo con agua.

Capa	Espesor (cm)	Tamaño (mm)
Fondo	15	38,0 a 75,0
Segunda	10	19,0 a 38,0
Tercera	5	12,7 a 19,0
Cuarta	9	6,4 a 12,7
Quinta	9	3,2 a 6,4
Sexta	7	2,4 a 3,2

La capa superior (gravilla) se selecciona con un peso específico mayor o igual a 2,65 para evitar que se mezcle con la arena, en algunos casos se colocan capas más gruesas en la parte superior.

5.2.3.4. Sistema De Drenaje

Se clasifican en tres tipos: tuberías perforadas, falsos fondos y placas porosas. Generalmente, se utiliza falso fondo con bloques Tetra o Leopold, para el cual se recomienda colocar 5 capas de grava con las siguientes especificaciones:

Tabla 19. Grava de soporte para falso fondo.

Capa	Espesor (cm)	Tamaño (pul)	Tamaño (mm)
Fondo	10,0 a 15,0	1 a 2	25,4 a 50,0
Segunda	7,5 a 10,0	1/2 a 1	12,7 a 25,4
Tercera	7,5 a 10,0	1/4 a 1/2	6,4 a 12,7
Cuarta	7,5 a 10,0	1/8 a 1/4	3,2 a 6,4
Quinta	7,5 a 10,0	1/12 a 1/8	1,7 a 3,2

El número, diámetro y espaciamiento de orificios en el sistema de drenaje se calculan para produzcan unas pérdidas de carga relativamente altas en el lavado, de 0,20 a 0,30 m para obtener una distribución uniforme del agua de lavado a través del falso fondo.

5.2.3.5. Tasa De Filtración

Los filtros con lecho doble se usan generalmente para trabajar con altas tasas de filtración, preferentemente entre 300 y 360 m³/m².día. En un sistema declinante, la tasa decrece en forma escalonada, permaneciendo constante para cada unidad entre lavados sucesivos, es decir, el filtro más limpio comienza a filtrar con la tasa máxima hasta que se lava la segunda unidad y esta entra nuevamente en operación. a partir de este momento dicho filtro disminuye la tasa, permaneciendo constante hasta que entra en funcionamiento la tercera unidad y así sucesivamente hasta que la tasa del primer filtro

llega a un mínimo que indica la necesidad de lavado a dicho filtro. Así tales tasas de filtración mínima y máxima, se definen como:

- ◆ **qmín** = 60 m³/m².día
- ◆ **q** (recomendado) = 240 m³/m².día
- ◆ **qmáx** = 360 a 480 m³/m².día

5.2.4. Procedimiento de diseño para determinar el filtro óptimo.

Para determinar el filtro a utilizar en la planta de tratamiento de agua potable de Trinidad, es necesario realizar ciertos análisis y conocer ciertos parámetros, los cuales determinaremos a continuación:

5.2.4.1. Número De Filtros

El número mínimo de unidades depende del tamaño que se quiera dar a cada una y de la tasa de filtración, para un determinado caudal. Por razones de operación deben existir varias unidades, en caso de mantenimiento o limpieza.

La cantidad de filtros a utilizar se calcula mediante la fórmula empírica de Morrill y Wallace.

$$N = 0,044 * Q^{0,5} \quad [9]$$

Dónde:

N: Número de filtros

Q: Caudal de filtración total en m³/día

Para tratamiento del caudal producido en pozo San José (Tratamiento actual):

$$QD = 30,0 \text{ LPS} * (86400 \text{ s/día}) * (1 \text{ m}^3/1000 \text{ L}) = \mathbf{2592 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$N = 0.044 * (2592 \text{ m}^3/\text{día})^{0.5} = 2,24 \approx \mathbf{2 \text{ UNIDADES}}$$

Para tratamiento del caudal pozo San José + pozo San Jorge (proyectado):

$$QD = 40,0 \text{ LPS} * (86400 \text{ s/día}) * (1 \text{ m}^3/1000 \text{ L}) = \mathbf{3456 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$N = 0.044 * (3456 \text{ m}^3/\text{día})^{0.5} = 2,58 \approx \mathbf{3 \text{ UNIDADES}}$$

El RAS-2000 recomienda que siempre se construya **mínimo dos (2) unidades** de filtración, para garantizar la operatividad de la planta aún durante el mantenimiento.

Esta condición se cumple para el estado actual ya que la planta de tratamiento cuenta con dos unidades de filtración; no obstante, si se suma el caudal del pozo San Jorge, resultaría indispensable contar con una nueva unidad de filtración.

5.2.4.2. Dimensiones De Los Filtros

Los filtros usualmente son de planta cuadrada o rectangular, el ancho y la longitud del área superficial pueden definirse utilizando las siguientes relaciones:

$$\frac{L}{B} = \frac{2N}{N+1} \quad [10]$$

Dónde:

B = Ancho del filtro, m

L: Longitud del filtro, m

N: Número de filtros

El área superficial total de filtros se determina mediante:

$$A = \frac{Q}{q} \quad [11]$$

Dónde:

A = Área total de filtración, m²

Q = Caudal de la planta, m³/día

q = Tasas de filtración.

La tasa de filtración debe depender de la calidad del agua, de las características de la filtración y de los recursos de operación y control. La tasa normal debe garantizar la eficiencia del proceso. Según el RAS-2000 deben adoptarse las siguientes tasas de filtración:

- Para lechos de arena o antracita sola con T_e de 0.45 mm a 0.55 mm y una profundidad máxima de 0.75 m, la tasa debe ser inferior a $120 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$.
- Para lechos de antracita sobre arena y profundidad estándar, la tasa máxima es de $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$, siempre y cuando la calidad del floc lo permita.
- Para lechos de arena sola o antracita sola de tamaño grueso, con profundidad mayor de 0.9 m, la tasa de filtración máxima es de $400 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$.

Tasas de filtración mayores a $360 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ deben determinarse en filtros pilotos, siempre que la calidad del floc lo permita.

Reemplazando:

Para $QD=30 \text{ LPS}$ ($2592 \text{ m}^3/\text{día}$)

$$A = 2592/300$$

$$A = 8,64 \text{ m}^2$$

Para $QD=40$ LPS ($3456 \text{ m}^3/\text{día}$)

$$A = 3456/300$$

$$A = \mathbf{11,52 \text{ m}^2}$$

Las dos unidades de filtración existentes presentan unas dimensiones de:

$$L*B=2,75\text{m}*2,75\text{m} = 7,56 \text{ m}^2$$

Luego la tasa actual de filtración es:

$$V = (2592 \text{ m}^3/\text{día})/7,56 \text{ m}^2 = 342,85 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{día})$$

Esta velocidad es superior a la máxima permitida para un filtro de lecho mixto, lo cual puede resultar en una disminución de la eficiencia del proceso.

5.2.5. Recomendaciones a implementar

Resulta evidente que el sistema de filtración existente se encuentra sobrecargado, adicionalmente se pudo observar que el lecho filtrante mixto requiere recambio, ya que desde la construcción de la planta no se ha realizado ningún tipo de mantenimiento diferente al lavado de los mismos. Tal como se observa en el registro fotográfico, el lecho

filtrante esta sobresaturado, con alta adsorción de material fino, lo cual disminuye su eficiencia, propiciando su rápida colmatación.



Figura 8. Lecho filtrante sobresaturado.

Es recomendable reemplazar el lecho filtrante por uno nuevo, en las mismas proporciones recomendadas por el diseñador del proceso existente:

ARENA TIPO CUARZO 20-40 → 2,4 TON

ARENA TIPO TORPEDO 50-60 → 2,4 TON

GRAVA 1/8" A MALLA 10 → 2,4 TON

ANTRACITA DENSIDAD 0,80-0,90 → 4,8 TON

Teniendo en cuenta que el sistema de filtración existente no sería efectivo en caso de que se interconectase el pozo San Jorge; permitiendo el paso de partículas de hierro hacia los tanques de almacenamiento y hacia la red, se recomienda construir un nuevo filtro que complemente a los dos filtros existentes o implementar un sistema de filtros a presión posterior al sistema existente.

5.3. SISTEMA DE DESINFECCIÓN



Figura 9. Sistema de desinfección existente.

5.3.1. Aspectos generales

Desde los inicios del siglo XX, la clave para usar como método de desinfección y tratamiento del agua y eliminar enfermedades epidémicas originadas por el consumo de agua no potable ha sido el uso del cloro. Desde entonces ha sido un elemento invaluable para poder suministrar agua potable.

Durante el siglo pasado, ha sido estándar en la desinfección del agua la utilización del cloro gaseoso, buscando con ello prevenir un gran número de enfermedades originadas por aguas no aptas para el consumo humano, protegiendo así a millones de vidas; sin

embargo, a pesar de la larga historia de beneficios, existe un factor de inseguridad que en nuestra sociedad actual es inaceptable.

Los nuevos retos que se asumen con este nuevo milenio, relacionados con la salud y la seguridad. El aumento de la población mundial y el consecuente aumento de la demanda de agua potable para consumo básico, exige una menor tolerancia con los casos originados por un deficiente tratamiento y los riesgos originados al manipular y transportar productos químicos.

5.3.2. Estado actual, operación y mantenimiento

El sistema de desinfección existente en la planta de tratamiento del municipio de Trinidad, consiste en, aplicar una solución de cloro gaseoso, compuesto estabilizado, es un bactericida con amplio espectro y costo moderado. Se aplica al efluente de salida de la filtración, a la entrada del tanque de almacenamiento, para asegurar una buena mezcla se utiliza una bomba dosificadora de gravedad, la cual se ajusta manualmente. La dosis de Cloro gaseoso aplicado al agua es de 0,35 mg/l, en cilindros de 68kg y 907kg (comúnmente llamados de tonelada) de cloro gaseoso requerido como producto comercial.

Las balas de cloro (Cl_2) comúnmente llamados de 1000kg (tonelada métrica) se encuentran sueltas, no están aseguradas a los muros o estructuras con anillos o cinta

fijadora; los elementos de protección no se encuentran en el cuarto de desinfección aunque los operadores de la planta dicen poseerlos.

Para la operación se utilizan cilindros de gas de 68 kg de industria argentina, la realización de la desinfección se obtiene mediante la aplicación de 0,3 mg/l de cloro gaseoso (Cl_2) al agua a tratar.

Este tipo de sistema de además de ser costoso, representa un peligro permanente para los operarios, debido a los riesgos que conlleva la manipulación de productos químicos.

Se recomienda implementar un método más moderno y seguro para llevar a cabo el proceso de desinfección.

5.3.3. Sistema de desinfección propuesto

La Industria se estandarizó por décadas, pero en la actualidad, el uso del cloro gas a presión o al vacío ha sido sometido a normas tan estrictas que muchas áreas de servicios han evaluado la situación, encontrando que, dentro de varias alternativas, la generación del hipoclorito de sodio en el mismo sitio donde se va a utilizar, es la mejor tecnología para desinfectar las aguas.

Se ha comprobado que la generación del hipoclorito de sodio “in situ”, es un proceso de bajo costo de operación, confiable y seguro ante las normas cada vez más estrictas, y ante

los aumentos de precio que experimentan tanto el gas-cloro como el hipoclorito de sodio en solución o industrial al 10-12% de concentración.

La generación “in situ” se ha transformado en una alternativa ampliamente aceptada pues se ha ido transformando en la solución a los desafíos que los departamentos dedicados al tratamiento de aguas van encontrando ante reglamentos más limitantes.

Actualmente, el mercado ofrece sistemas para generar Hipoclorito de Sodio en sitio, los cuales fácilmente producen Hipoclorito de Sodio al 0.8% de concentración combinando 3 consumibles comunes: agua, sal y electricidad, proveyendo un poderoso método de desinfección para cualquier aplicación: alimentos y bebidas, agua potable, aguas servidas, control de olor y corrosión, torres de enfriamiento, desinfección de piscinas o albercas y oxidación.

5.3.3.1. Sistema de electrocloración

Un sistema de electrocloración está conformado principalmente por celda(s) electrolítica(s) las cuales al aplicar energía eléctrica a una mezcla de salmuera (agua + sal) $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + 2e$ proporcionada por una bomba que capta la mezcla de un tanque de salmuera previamente instalado y premezclado; de esta reacción química se obtiene el compuesto de Hipoclorito de Sodio + Hidrógeno $\text{NaClO} + \text{H}_2$ como se muestra en la

figura 11, obteniendo hasta un tanque diario de producto; una bomba dosificadora la cual se encarga de aplicar el Hipoclorito de Sodio al agua a tratar; un soplador para diluir el Hidrógeno H_2 que se libera de la reacción química, todo bajo un diseño compacto para facilitar una sencilla instalación y fácil arranque. Los sistemas de electrocloración se pueden conseguir en el mercado actual, con diseños compactos, controlados por medio de PLC con capacidades según la necesidad que producen hipoclorito en menos de un día.

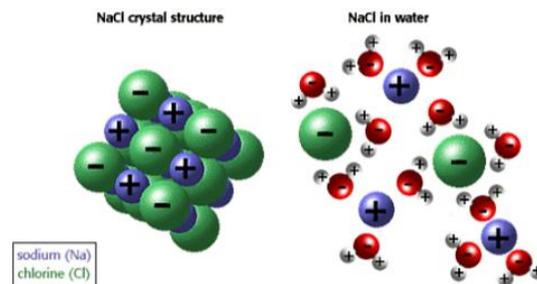


Figura 10. Cloruro de sodio disuelto en agua (salmuera).

Entre las ventajas que se obtienen al incluir un sistema de generar Hipoclorito de Sodio “in situ”, tenemos:

- ✓ eliminar riesgos asociados al transporte de químicos y mercaderías peligrosas.
- ✓ Reducción de costos de funcionamiento.
- ✓ Implementa menor número de medidas de seguridad comparado con los sistemas que utilizan cloro gaseoso.

- ✓ Dispone en todo momento de solución de hipoclorito limpio, lo que minimiza las necesidades de mantenimiento del sistema y consigue que este tenga una prolongada vida útil.

✓ Celda electrolítica

El corazón de un sistema de electrocloración es la celda electrolítica. Es aquí en donde la salmuera reacciona debido a la corriente directa que se le aplica para convertirse en hipoclorito de sodio diluido (0.8 %). Las series de celdas instaladas en el proceso, contienen el arreglo de electrodos en forma de placas sólidas orientadas verticalmente, para permitir el rápido flujo del electrolito a través de sus superficies. Cada banco de electrodos contiene un número idéntico de ánodos (+) y cátodos (-), fabricados en titanio preferiblemente. Es importante adaptar un doble paso de flujo a través de la celda, porque el proceso electrolítico libera hidrógeno.

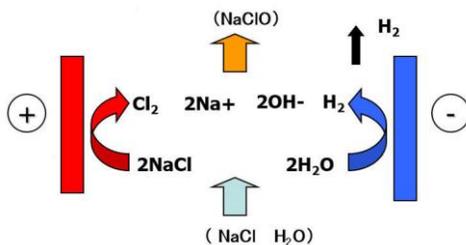


Figura 11. Electrólisis de salmuera.

También es necesario proveer una separación rápida de la máxima cantidad de hidrógeno en la superficie del electrodo, para evitar la calcificación o incrustaciones en ambos electrodos. Estos elementos en el diseño de la celda promueven la eficiencia del

sistema en general, minimizando el calentamiento del electrolito, el depósito de calcio y el consumo de energía.

La matriz o recinto debe ser diseñado con el fin de favorecer un espacio uniforme para los electrodos y para un rápido desarme.

A mayor superficie de electrodos, se logran menores densidades de corriente (un máximo de 0.95 amps/pulg²), dando como resultado además una mayor vida a los electrodos y una menor temperatura de la celda.

Las celdas deben permitir una completa visibilidad y fácil acceso al arreglo de los electrodos y que puedan ser removidas como una unidad, con el objetivo de eliminar el tiempo y trabajo que se requiere para desarmar los electrodos, pudiendo así manejar los electrodos individualmente.

✓ **Sub-productos**

El hidrógeno es el único sub-producto. Las celdas electrolíticas y el tanque de almacenamiento de hipoclorito deben ser diseñados para contener y ventear en forma segura el hidrógeno que se produce en la celda hacia la atmósfera. La dilución y la dispersión del hidrógeno son manejadas por el sistema de dilución de hidrógeno, al cual se debe incorporar un soplador, el cual provee una ventilación forzada a través del

sistema de tuberías de venteo de las celdas y del tanque de almacenamiento de hipoclorito.

Ventajas del proceso

- Seguro.
- Costo efectivo y eficiente.
- Concentración consistente de la solución y reducción de los sub-productos en la desinfección.
- Exento de uso de seguridad en el proceso.
- Exento en la planificación del control de riesgos.
- Calidad mejorada del agua.
 - Elimina la dependencia de los proveedores de químicos.
 - Muy fácil de operar e instalar.
 - Reduce la formación de subproductos en la desinfección.
 - Mejora la calidad del agua.
 - Procesa la cloración en forma segura.
 - Reduce el mantenimiento.

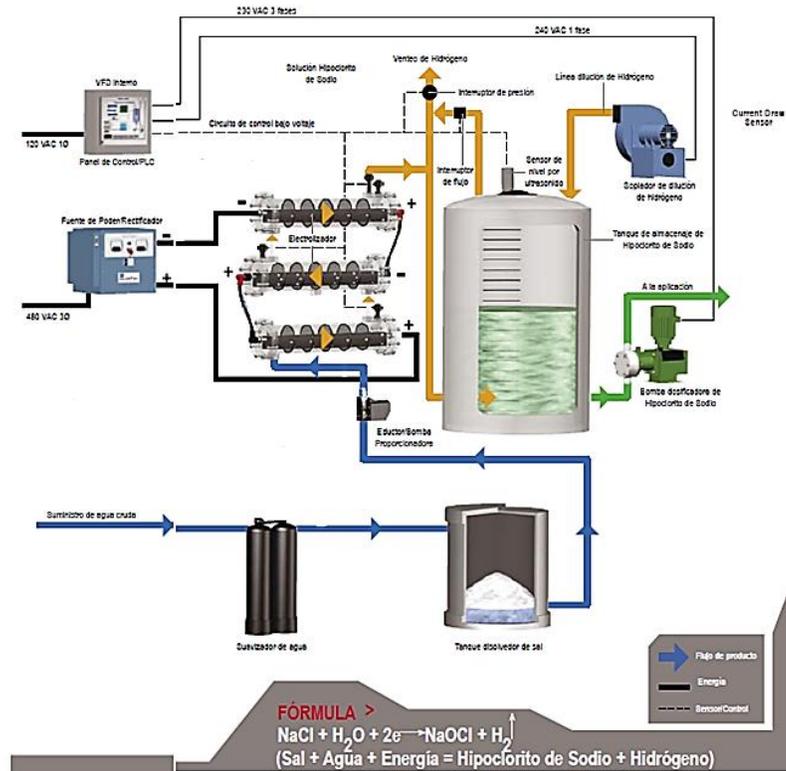


Figura 12. Diagrama de flujo proceso electrocloración.

5.4. ESTACIÓN DE BOMBEO



Figura 13. Cuarto de bombeo existente.

Actualmente el sistema de bombeo consta de una bomba de extracción sumergible (tipo lapicero) de 30 hp, encargada de captar el agua sin tratar de un pozo de agua subterránea de aproximadamente ciento veinte (120) metros de profundidad y bombear el líquido a unas bandejas de aireación ubicadas a una altura de quince (15) metros aproximadamente para iniciar el proceso de potabilización; dos (2) bombas de impulsión de 40 CV las cuales llenan el tanque de distribución San José, una de estas dos bombas se mantiene como respaldo de la otra en caso de avería o falla; y dos (2) bombas de impulsión de 75 CV las cuales llenan el tanque de distribución del Instituto Técnico Integrado de Trinidad Sección C (ITIT), ubicado aproximadamente a 1 Km de distancia del cuarto de bombeo.

5.4.1. Método de arranque existente bombas 30CV y 40CV

Las bombas son accionadas individualmente y de forma manual, utilizando el arranque a tensión reducida por el método de conexión “Estrella – Delta”.

Este método de arranque usa contactores correctamente configurados. El motor se arregla para arrancar en conexión estrella y una vez el motor alcanza entre el 70% y 80% de la velocidad nominal se desconecta de la configuración estrella para después funcionar en conexión delta.

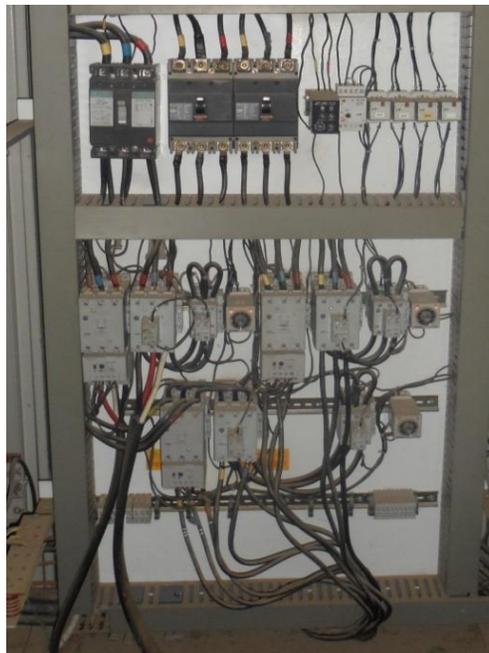


Figura 14. Sistema de arranque existente 40CV.

Aunque es un método de los más económicos, ofrece bajo torque en el motor y produce una considerable reducción en el par de arranque, obligando al motor a arrancar en vacío o con poca carga.

También, se presentan sobrepicos de corriente al momento de realizar la transición estrella – delta, generando altos consumos de energía y sobrecostos, más aún, cuando las bombas se accionan varias veces durante el día.

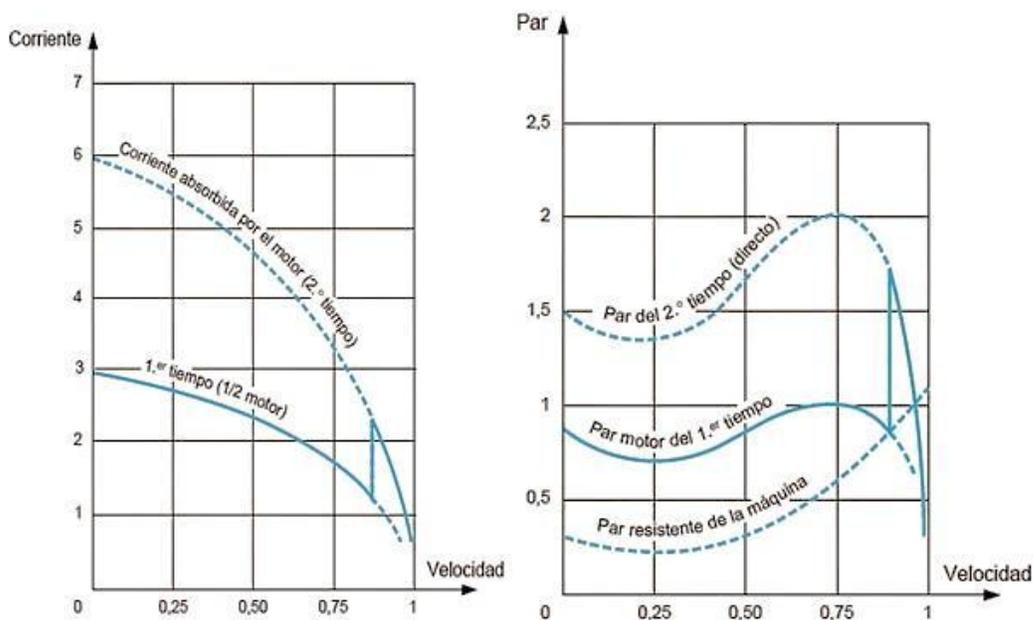


Figura 15. Relación Par y Corriente Vs. Velocidad.

Además, con el método de arranque Estrella–Delta, solo se puede controlar el arranque; lo cual genera una gran desventaja al momento de apagar la bomba, ya que se interrumpe instantáneamente la alimentación, y debido a la inercia de las partes rotativas de los conjuntos elevadores, inmediatamente después de la falta de corriente, la velocidad

de las bombas comienza a disminuir, reduciéndose rápidamente el caudal; la columna líquida continúa subiendo por la tubería de descarga, hasta el momento en que la inercia es vencida por la acción de la gravedad. Durante este periodo se verifica una descompresión en el interior de la tubería.

Enseguida, ocurre la inversión en el sentido del flujo y la columna líquida vuelve a las bombas.

No existiendo válvulas de retención o una parada suave, las bombas comenzarían entonces, a funcionar como turbinas, girando en el sentido contrario.

La corriente líquida, al retornar a la bomba, encontrando la válvula de retención cerrada, ocasiona el choque y la compresión del fluido, lo cual da origen a una onda de sobrepresión (golpe de ariete), generando desgaste mecánico en la bomba.

En la figura. 16. Se muestra El circuito de fuerza y control que se alojan en el tablero existente; dicho tablero está conformado por:

B1 (Totalizador 125A), marca Merlin Gerin, se encuentra en buen estado.

K1 (Contactor Red), C72 marca Allen Bradley en buen estado.

K3 (Contactor Delta), C72 marca Allen Bradley y contactor auxiliar A11, en buen estado.

K2 (Contactor Estrella), C43 marca Allen Bradley y contactor auxiliar A11, en buen estado.

F2 (Relevador De Sobrecarga), E1 Plus marca Allen Bradley en buen estado.

K7 (Relevador De Tiempo). Marca Autonics, en buen estado.

S0 (Pulsador Parada).

S1 (Pulsador Arranque).

**DIAGRAMA DE LOS CIRCUITOS DE CONTROL Y DE FUERZA EXISTENTES,
ARRANCADOR A TENSIÓN REDUCIDA POR EL MÉTODO ESTRELLA-DELTA.
PARA ELECTROBOMBAS DE IMPULSIÓN DE 40CV**

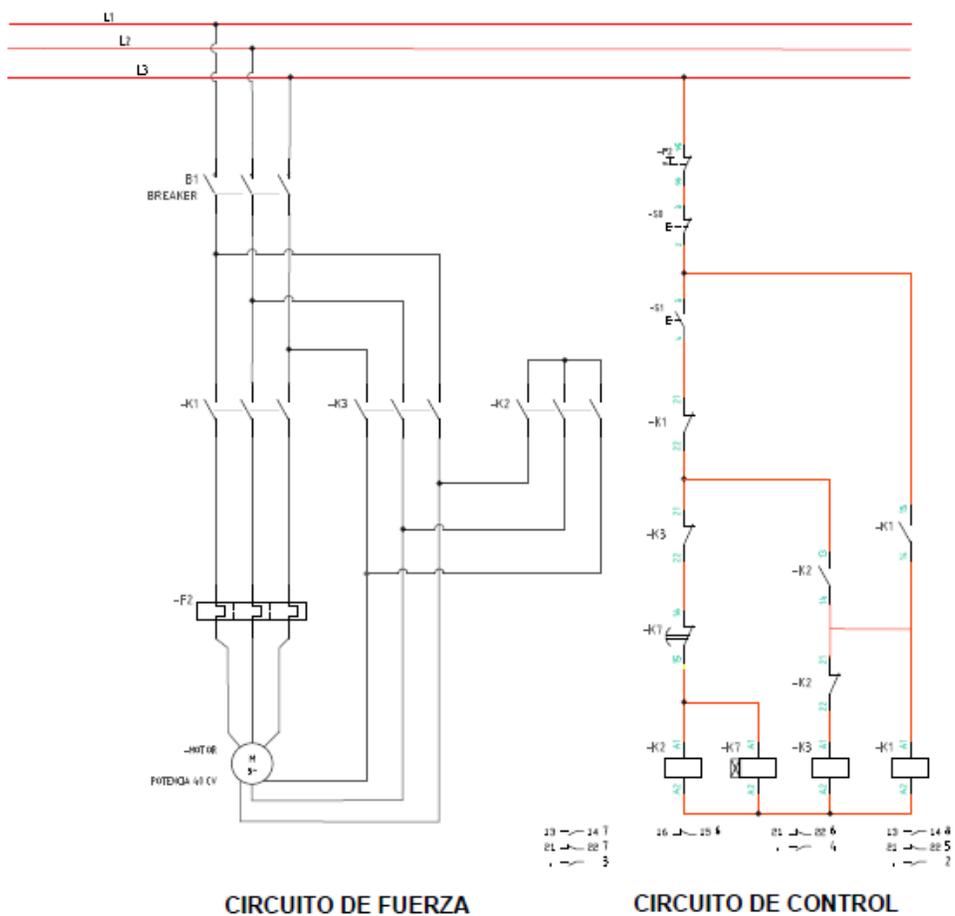


Figura 16. Circuitos de fuerza y control existente bombas 40CV.

El circuito se repite para las dos (2) electrobombas de impulsión de 40CV, y una electrobomba sumergible tipo lapicero de 30CV instaladas.

Los sistemas de fuerza y control funcionan correctamente, y sus componentes y cableado se encuentran en buen estado.

5.4.2. Método de arranque existente bombas 75CV

La figura 17. Muestra El montaje de fuerza que se alojan en el tablero existente para accionar las electrobombas de 75CV, estas electrobombas son utilizadas para impulsar el agua tratada desde el tanque de almacenamiento subterráneo, hasta el tanque de distribución ubicado en el Instituto Técnico Integrado sección C (ITIT), cuya distancia es de aproximadamente 1 kilómetro.



Figura 17. Sistema de arranque existente 75CV.

Para estas bombas, se utiliza el arranque a tensión reducida por el método de autotransformador en conexión estrella. Este método es muy usado debido a su economía, eficiencia y flexibilidad para ajustar al voltaje de arranque deseado. Toda la energía aplicada se transmite al motor, excepto las pérdidas del autotransformador que son pequeñas, por lo que la carga se acelera suave y en forma segura.

Antes de continuar es importante hacer notar lo siguiente: Un voltaje reducido produce corriente reducida y par mecánico o torque reducido también: A cualquier velocidad, la reducción de corriente es proporcional a la reducción del voltaje. El porcentaje de reducción del par mecánico o torque es proporcional al cuadrado de la reducción del voltaje, así, $\frac{1}{2}$ del voltaje produce $\frac{1}{4}$ del par mecánico, $\frac{2}{3}$ del voltaje producen $\frac{4}{9}$ del par mecánico, etc.

Dicho tablero está conformado por:

B1 (Totalizador 200A), marca Merlin Gerin, se encuentra en buen estado.

K1 (Contactor Red), 100-D110 marca Allen Bradley en buen estado.

K3 (Contactor Delta), 100-D110 marca Allen Bradley, en buen estado.

K2 (Contactor Estrella), C72 marca Allen Bradley y contactor auxiliar A22, en buen estado.

T1 (Autotransformador 10VA, en buen estado.

F2 (Relevador De Sobrecarga), E1 Plus marca Allen Bradley en buen estado.

K7 (Relevador De Tiempo). Marca Autonics, en buen estado.

S0 (Pulsador Parada).

S1 (Pulsador Arranque).

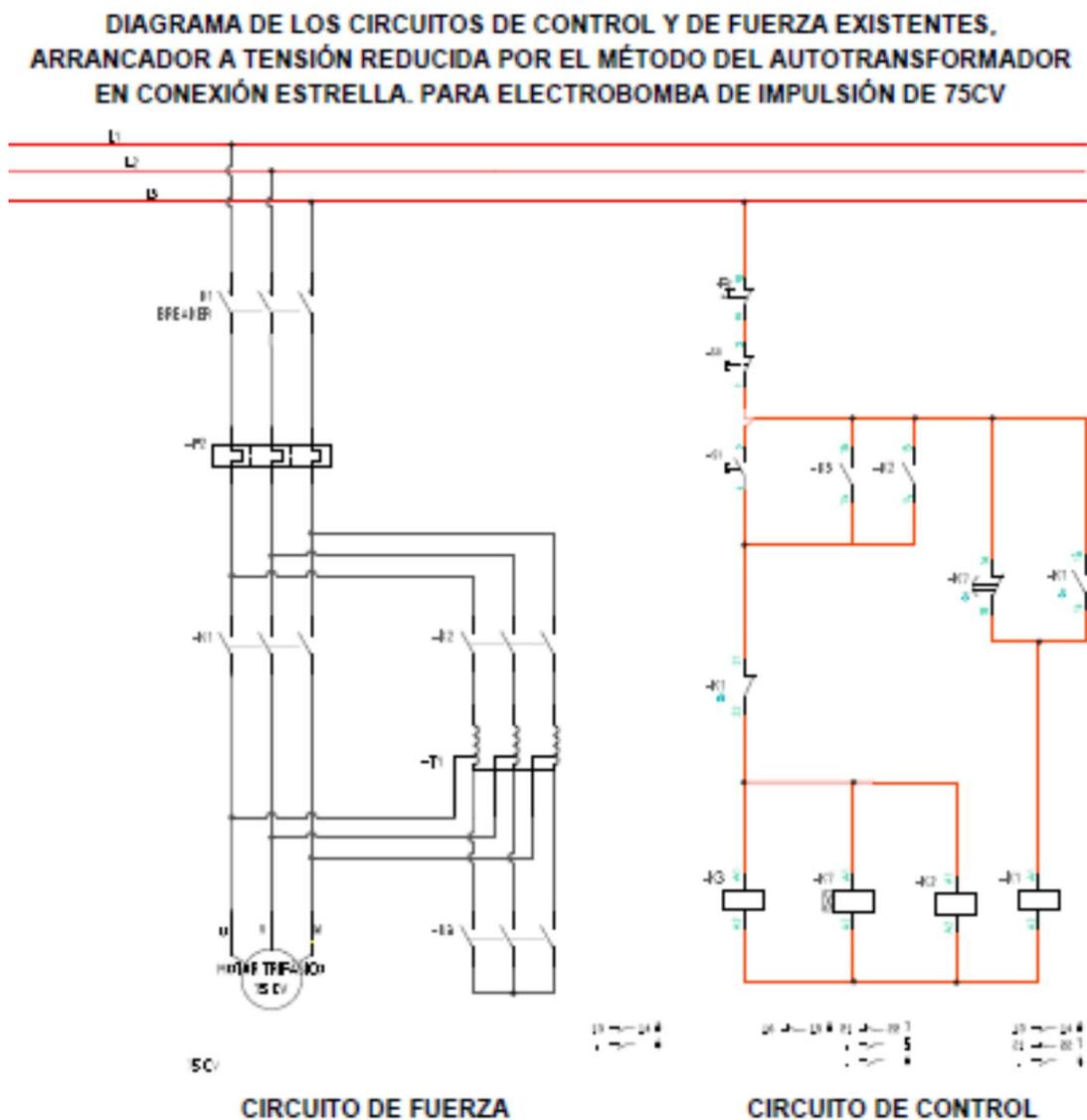


Figura 18. Circuitos de fuerza y control existente bombas 75CV.

El circuito se repite para dos electrobombas de impulsión de 75CV instaladas. Los sistemas de fuerza y control funcionan correctamente, y sus componentes y cableado se encuentran en buen estado.

5.4.3. Método de arranque propuesto

Para controlar las electrobombas, se debe implementar un método en donde no solo se proteja el motor y disminuya el consumo en el arranque, sino que también se garantice una parada suave.

Los arrancadores suaves controlan continuamente la electricidad que recibe el motor, siempre adaptándose a las características de la máquina accionada. Los equipos se aceleran con bajo nivel de esfuerzo; esto genera un efecto positivo tanto en las características de la operación como en la vida útil de la máquina. Ya sea para evitar picos de presión durante el uso de bombas centrífugas, o si se desea reducir la corriente de arranque, los arrancadores suaves ofrecen, para casi toda aplicación, una alternativa que le asegura el arranque suave de motores.

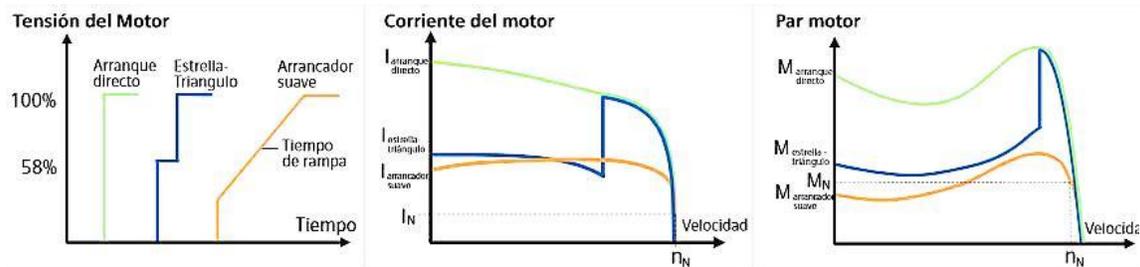


Figura 19. Comportamiento tensión, corriente y par en arranque motor.

Los arrancadores suaves limitan la corriente y el par de arranque. De este modo, se evita el esfuerzo mecánico y las bajas de tensión en la línea. La tensión del motor se reduce con el control de fases y se eleva hasta la tensión de la línea de alimentación dentro del tiempo de arranque predeterminedo. El arranque y parada suave le garantizan un esfuerzo mínimo en los dispositivos conectados y le aseguran operaciones de producción suaves.

Ventajas

Las principales ventajas que ofrecen los arrancadores suaves son:

1. Control simple y flexible sobre la corriente y el par de arranque.
2. Control uniforme de la corriente y la tensión libre de saltos o transiciones.
3. Apto para realizar arranques frecuentes.
4. Apto para un cambio sencillo de las condiciones de arranque.
5. Control de parada suave que amplía el tiempo de deceleración del motor.
6. Control de frenado que reduce el tiempo de deceleración del motor.

Para controlar las electrobombas de 75HP, se propone un circuito similar que las de 40HP. En este caso se utiliza un arrancador suave de mayor potencia, por tal motivos se propone usar el Sirius 3RW4056-6BB34 de Siemens, el cual satisface la necesidad requerida. Para proteger aún más los motores, se recomienda usar un guardamotor 3RV1041-4MA10, el guardamotor ofrece la protección contra cortocircuito, sobrecarga y marcha en dos fases, lo cual garantiza aún más la vida útil del motor. En la figura 21 se observa el nuevo circuito de fuerza y control con arrancador suave.

Los demás componentes como lo son: breaker, relevador de sobrecarga, pulsadores y demás, serán reutilizados si es posible dentro de la nueva configuración.

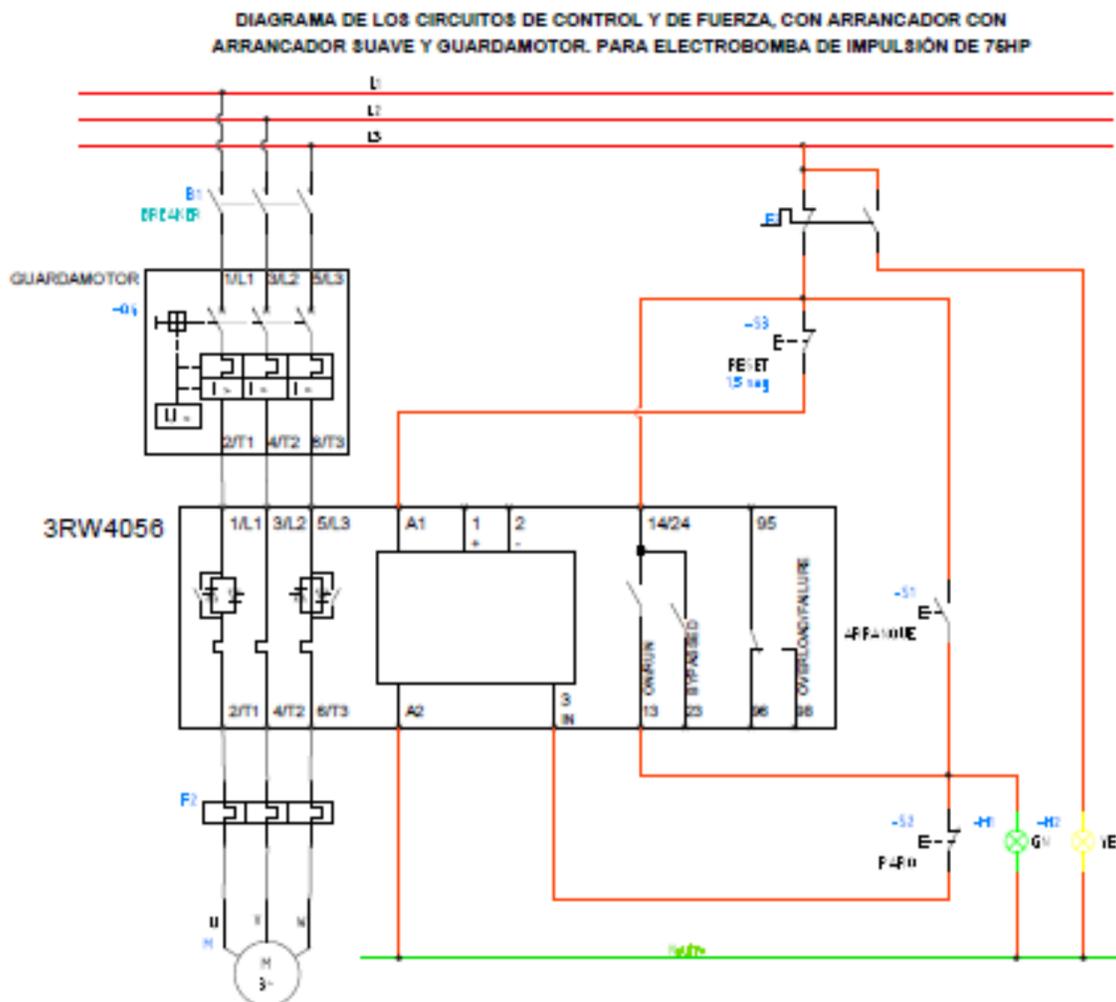


Figura 21. Circuito de fuerza y control propuesto para motores de 75HP.

5.4.4. Corrección del factor de potencia (banco de condensadores).

Todas las máquinas eléctricas alimentadas con corriente alterna convierten la energía eléctrica suministrada en trabajo mecánico y calor. Esta energía se mide en kWh

y se denomina energía activa. Los receptores que absorben únicamente este tipo de energía se denominan resistivos.

Ciertas cargas necesitan campos magnéticos para su funcionamiento (motores, transformadores...) y consumen otro tipo de energía denominada energía reactiva.

El motivo es que este tipo de cargas (denominadas inductivas) absorben energía de la red durante la creación de los campos magnéticos que necesitan para su funcionamiento y la entregan durante la destrucción de los mismos. Este traspaso de energía entre las cargas y la fuente provoca pérdidas en los conductores, caídas de tensión en los mismos, y un consumo de energía suplementario que no es aprovechable directamente por los receptores (Empresa suministradora). Las compañías eléctricas penalizan el consumo de energía reactiva con el objeto de incentivar su corrección.

Un factor de potencia elevado optimiza los componentes de una instalación eléctrica mejorando su rendimiento eléctrico y evitando generar armónicos en la red. Mientras que un factor de potencia bajo, genera armónicos en la red y provoca una corriente de atraso o desfase entre la tensión y corriente.

En la actualidad, para la PTAP el consumo de energía reactiva está generando un sobrecosto de aproximadamente \$ 2.000.000,00 de pesos mensuales, según lo registra la factura del servicio de energía eléctrica, con consumos de energía reactiva facturados mensualmente de 8600kWh aproximadamente.



Figura 22. Diferencias entre factores de potencia.

La instalación de un banco de condensadores reduce el consumo de energía reactiva entre la fuente y los receptores. Los condensadores proporcionan la energía reactiva descargando a la instalación desde el punto de conexión de los condensadores aguas arriba.

Como consecuencia es posible aumentar la potencia disponible en el secundario de un transformador MT/BT, instalando en la parte de baja un equipo de corrección del factor de potencia.

Para el sistema de bombeo de la PTAP Trinidad, es indispensable implementar un banco de condensadores, el cual será el encargado de corregir el factor de potencia generado por los motores inductivos que allí funcionan (electrobombas).

5.4.4.1. Cálculo del banco de condensadores.

Para determinar la capacidad del banco de condensadores se puede determinar matemáticamente por diferentes métodos. El objetivo del mismo es determinar el valor de los Kvar a instalar para corregir el factor de potencia.

Para realizar los cálculos asumimos el momento más crítico del proceso, en otras palabras, suponiendo que se encuentran en marcha las tres electrobombas involucradas en el proceso de bombeo.

Tabla 20. Parámetros de cargas inductivas instaladas.

CARGAS INDUCTIVAS INSTALADAS	POTENCIA (HP)	POTENCIA (KW)	ALIMENTACIÓN (V)	FRECUENCIA (Hz)	FACTOR DE POTENCIA EN ATRASO (COSΦ)	CORRIENTE (A)
ELECTROBOMBA SUMERGIBLE	30	22,371	440	60	0,84	34,94562465
ELECTROBOMBA DE IMPULSIÓN	40	29,828	440	60	0,84	46,59416621
ELECTROBOMBA DE IMPULSIÓN	75	55,9275	440	60	0,87	84,35150779
TOTALES	145	108,1265	440	60	0,855	165,8912986

Para realizar los cálculos del banco de condensadores, tomamos los siguientes parámetros:

Carga máxima (kW)	108,1265
Tensión (V)	440
Frecuencia (HZ)	60
F.P en atraso (cosΦ)	0,855
Corriente (A)	165,9
F.P. deseado	0,96

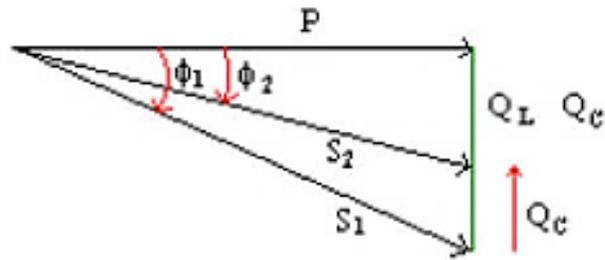


Figura. 23 Vectores de potencias.

En base a estos parámetros, iniciamos calculando la potencia aparente sin corrección de factor de potencia S_1 y la potencia reactiva Q_L

$$S_1 = \frac{V * I * \sqrt{3}}{1000} \quad [12]$$

$$S_1 = \frac{(440V * 165,89A * \sqrt{3})}{1000} = 126,425 \text{ Kva}$$

$$Q_L = \sqrt{(S_1^2 - P^2)} \quad [13]$$

$$Q_L = \sqrt{(126,425^2 - 108,1265^2)} = 65,51 \text{ Kvar}$$

Luego calculamos la potencia aparente con corrección de factor de potencia S_2 y la potencia reactiva Q_c .

$$S_2 = P / \cos \phi_2 \quad [14]$$

$$S_2 = 108,1265 \text{ KW} / 0,96 = \mathbf{112,63 \text{ Kva}}$$

$$Q_c = \sqrt{(S_2^2 - P^2)} \quad [15]$$

$$Q_c = \sqrt{(112,63^2 - 108,1265^2)} = \mathbf{31,53 \text{ Kvar}}$$

Finalmente hallamos la diferencia entre las potencia reactiva Q_L y Q_c . para determinar cuál es la potencia Q_{CFINAL} para del banco de condensadores.

$$Q_{CFINAL} = Q_L - Q_c \quad [16]$$

$$Q_{CFINAL} = 65,51 \text{ Kvar} - 31,53 \text{ Kvar} = \mathbf{33,98 \text{ Kvar}}$$

BANCO DE CONDENSADORES 34 Kvar

A partir de los cálculos realizados, obtenemos que es necesario implementar un banco de condensadores con una capacidad de 34 Kvar.

5.4.4.2. Metodo de compensación propuesto

Teniendo en cuenta que las cargas inductivas (motores) no funcionan constantemente, lo cual genera una variación constante en la energía reactiva, es conveniente implementar un método de compensación automático.

La compensación automática consiste en el empleo de un dispositivo electrónico que monitorea constantemente los niveles de energía reactiva y conecta y/o desconecta

los condensadores por medio de contactores de maniobra para alcanzar la compensación óptima necesaria.

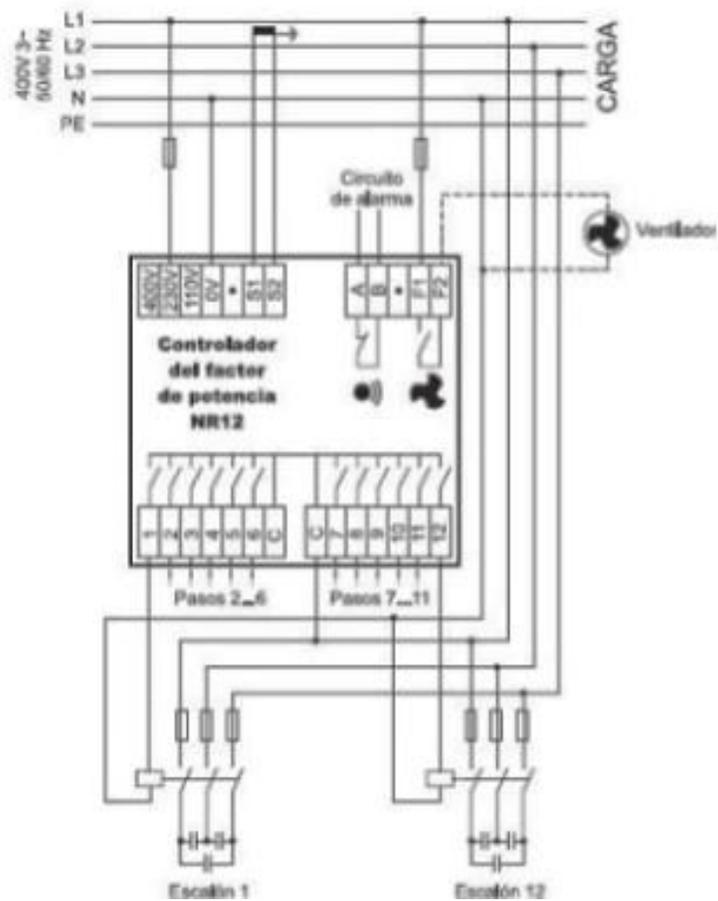


Figura. 24. Conexión de controlador de factor de potencia.

5.5. DIAGRAMA P&ID DE PROCESO PTAP TRINIDAD.

En instrumentación y control, se emplea un sistema especial de símbolos con el objeto de transmitir de una forma más fácil y específica la información. Esto es indispensable en el diseño, selección, operación y mantenimiento de los sistemas de control.

Un sistema de símbolos ha sido estandarizado por la ISA (Sociedad de Instrumentistas de América). La siguiente información es de la norma: ANSI/ISA-S5.1-1984(R 1992).

Las necesidades de varios usuarios para sus procesos son diferentes. La norma reconoce estas necesidades, proporcionando métodos de simbolismo alternativos. Se mantienen varios ejemplos agregando la información o simplificando el simbolismo, según se desee.

Los diagramas de tuberías e instrumentación P&ID, son diagramas que contienen básicamente los equipos de proceso, las tuberías, los instrumentos y las estrategias de control del proceso. Un P&ID es el elemento único más importante en el dibujo para:

1. Definir y organizar un proyecto.
2. Mantener el control sobre un contratista durante la construcción.
3. Entender como es controlada la planta después de finalizar el proyecto.
4. Mantener un registro de lo que fue acordado y aprobado formalmente para la construcción.
5. Registrar lo que fue construido en la forma como se diseñó con los P&ID.

Los P&ID son conocidos con varios nombres, pero en todo el mundo sin tomar en cuenta como son nombrados conocen su valor. Estos son algunos de los nombres por los cuales son conocidos:

- DTI
- P&ID (por sus siglas en inglés)
- Diagramas de tubería e instrumentación
- Diagramas de procesos e instrumentación

La mayoría de los programas, software o firmas, utilizan las normas ISA como una base para luego añadir sus propias modificaciones de acuerdo a sus necesidades.

Las normas ISA ANSI/ISA-5.1-1984 (R1992) e ISA-5.3-1983 son las guías generalmente más aceptables para desarrollar simbolismo para instrumentación y sistemas de control en: las industrias químicas y petroquímica, generación de energía, pulpa y papel, refinación, metales, aire acondicionado, etc. y pueden ser utilizadas en procesos continuos, por lotes y discretos.

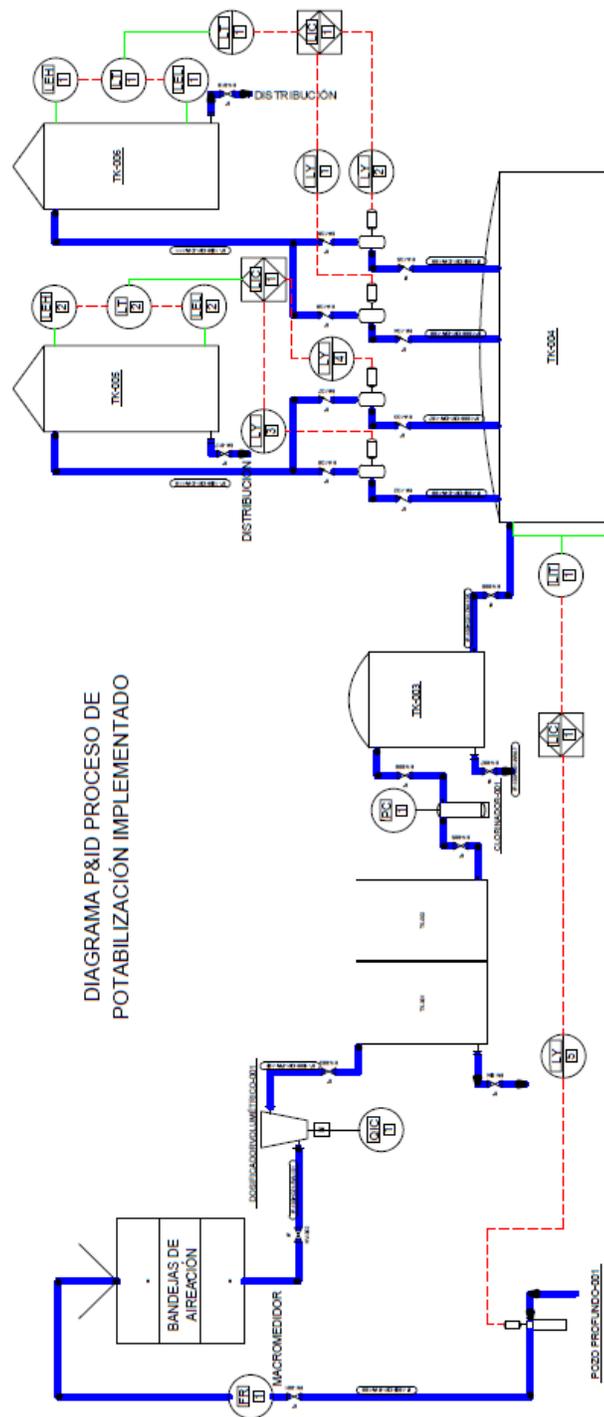


Figura. 25. P&ID planta de tratamiento de agua potable.

5.5.1. Software utilizado (AutoCAD P&ID Versión estudiante)

El AutoCAD P&ID es un software de diseño, creado por la compañía Autodesk, Inc., dedicada al software de diseño en 2D y 3D para las industrias de manufacturas, infraestructuras, construcción, medios y entretenimiento y datos transmitidos vía inalámbrica. AutoCAD P&ID está diseñado para la creación de diagramas de proceso, ruteado de tuberías, creación de estructuras, entre muchas más aplicaciones. Permite vincular los P&ID con el modelo en 3D ya que es compatible con otros software del Autodesk como son: AutoCAD Plant 3D, AutoCAD Electrical, entre otros, y así extraer planos ortográficos e isométricos de la planta.

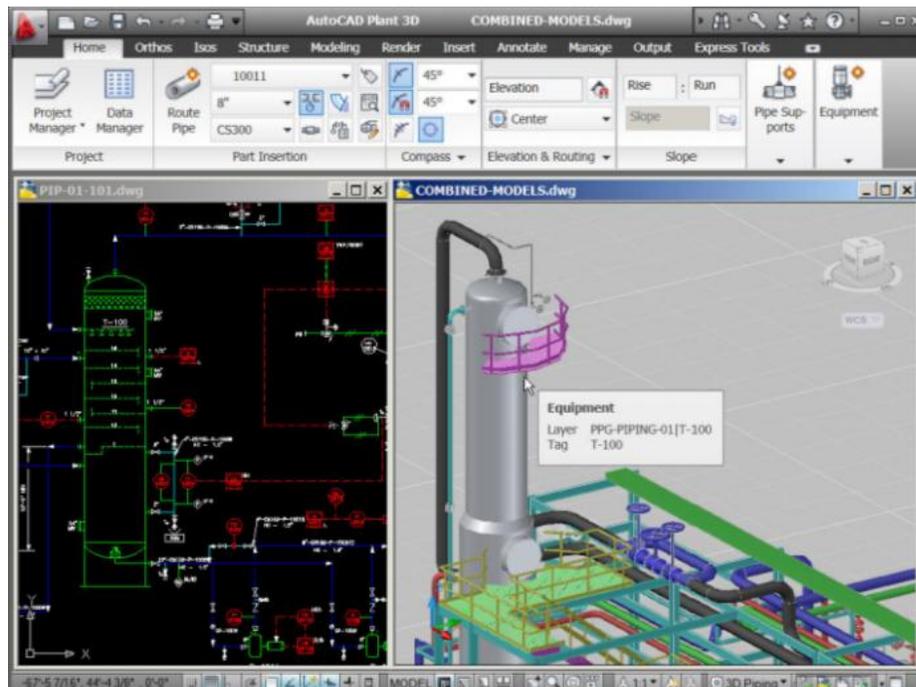


Figura. 26. Diagrama P&ID y modelado 3D.

El software modela los procesos bajo las siguientes normas:

1. ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992), Identificación y símbolos de instrumentación.
2. ANSI/ISA-S5.2-1976 (R1992), Diagramas lógicos binarios para operaciones de proceso.
3. ISA-S5.3-1983, Símbolos gráficos para control distribuido, instrumentación de desplegados compartidos, sistemas lógicos y computarizados.
4. ANSI/ISA-S5.4-1991, Diagramas de lazo de instrumentación.
5. ANSI/ISA S5.5-1985, Símbolos gráficos para identificación de procesos.

ANÁLISIS DE LEGALIDAD

Para desarrollar el presente proyecto, se usó únicamente la versión estudiantil gratuita del software AutoCAD P&ID, la cual se puede descargar directamente de la red, el cual permite que con su utilización se pueda desarrollar cualquier proyecto académico. Se ha tenido en cuenta el marco legal que reglamenta el sector de agua potable y saneamiento básico dispuesto por el Ministerio de Desarrollo Económico Mindesarrollo en Colombia.

CONCLUSIONES

- Aunque en el municipio de Trinidad, se implemente un programa de ahorro y uso eficiente del agua y la reducción del índice de agua no contabilizada, la perspectiva actual plantea la necesidad de contar con una fuente alterna de suministro en total operación antes del año 2019.
- Las pruebas de laboratorio y análisis hechos al agua, arrojan que la calidad del agua que se consume en la actualidad es aceptable en casi todos los parámetros, por lo que solo se requiere por lo menos un tratamiento de desinfección a manera de protección en la red de distribución.
- El color del agua presenta valores muy cercanos al máximo permisible y aunque las concentraciones de hierro total están dentro del rango aceptado por la norma, es posible que la oxidación de estas bajas concentraciones, le imprima el color marrón característico.
- Basados en las pruebas realizadas, y teniendo en cuenta que la calidad de la fuente es aceptable, se determinó que el tratamiento más apropiado para mejorar la calidad actual, es aireación + filtración directa + desinfección.
- Los métodos de arranque utilizado para las electrobombas de succión e impulsión, son inapropiados, se recomienda utilizar arrancadores suaves, ya que no se

realizan bombeos constantes, lo cual provoca que durante el día se accionen varias veces las bombas lo que implica un alto consumo de energía y desgaste mecánico.

- Debido a los sobrecostos en la facturación excesiva de potencia reactiva, para el sistema de bombeo de la PTAP Trinidad, es indispensable implementar un banco de condensadores, el cual debería ser el encargado de corregir el factor de potencia generado por los motores inductivos que allí funcionan (electrobombas).
- Se debe involucrar a todo el personal de la empresa en la reingeniería de procesos, para que tengan conocimiento detallado de los cambios a realizarse y pueda ser considerado como un cambio positivo en la empresa para mejorar el rendimiento y la productividad.

SISTEMA DE UNIDADES

Año	año
cm ²	centímetro cuadrado
cm ³	centímetro cúbico
dia	día
g	gramo
h	hora
hab	habitante
kg	kilogramo
km	kilómetro
km ²	kilómetro cuadrado
kN	kilonewton
kPa	kilopascal
kV	kilovoltio
kVA	kilovoltamperio
kVar	Potencia aparente
kW	kilowattio
L	litro
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
mg	miligramo
min	minuto
mm	milímetro
MPa	megapascal
N	Newton
°	grados
Pa	Pascal
s	segundo
t	tonelada
W	Wattio

VARIABLES

%p = porcentaje de pérdidas (entre 0 y 1)	-
r = densidad del agua	kg/m ³
m = viscosidad absoluta del agua	Pa·s
rs = densidad del sedimento	kg/m ³
a = área del desagüe	m ²
a = celeridad de la onda de presión	m/s
dbruta = dotación bruta	L/(hab·día)
dc/dt = tasa de cambio de la concentración de cloro en el tiempo de caudales	mg/L -s
dneta = dotación neta	L/(hab.día)
e = espesor de la tubería	m
K = conductividad hidráulica	m/s
k ₁ = coeficiente de consumo máximo diario	-
k ₂ = coeficiente de consumo máximo horario	-
QMD = caudal máximo diario	L/s
Qmd = caudal medio diario	L/s
QMH = caudal máximo horario	L/s

ABREVIATURAS

AWWA	American Water Works Association
ASTM	American Society of Testing Materials
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
DNP	Departamento Nacional de Planeación
DSPD	Dirección de Servicios Públicos Domiciliarios del Ministerio de Desarrollo Económico
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ISO	International for Standardization Organization
NTC	Norma Técnica Colombiana
NTCOO	Norma Técnica Colombiana Oficial Obligatoria
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
ESP	Empresa de servicios públicos
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PTAP	Planta de tratamiento de agua potable

GLOSARIO

Agua cruda Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.

Agua potable: Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

Capacidad de acuífero: Volumen de agua que puede producir un acuífero.

Capacidad específica (agua subterránea o pozos profundos): Caudal extraído de un pozo por unidad de abatimiento, para un tiempo determinado, expresado en L/s/m.

Capacidad hidráulica: Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

Captación: Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

Caudal de diseño: Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

Caudal específico de distribución: Caudal de distribución medio que se presenta o se estima en un área específica y definido en términos de caudal por unidad de área o caudal por unidad de longitud de tubería de distribución instalada o proyectada en el área de diseño.

Caudal máximo diario: Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

Caudal máximo horario: Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

Caudal medio diario: Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.

Cloro residual: Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.

Coefficiente de almacenamiento: Medida del volumen de agua drenado por unidad de área cuando la presión estática desciende un metro en un acuífero.

Coefficiente de consumo máximo diario: Relación entre el consumo máximo diario y el consumo medio diario.

Coefficiente de consumo máximo horario con relación al máximo diario: Relación entre el consumo máximo horario y el consumo máximo diario.

Coefficiente de consumo máximo horario: Relación entre el consumo máximo horario y el consumo medio diario.

Desinfección: Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

Dotación: Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.

Estación de bombeo: Componente destinado a aumentar la presión del agua con el objeto de transportarla a estructuras más elevadas.

Golpe de ariete: Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien por el cierre rápido de una válvula o apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobreelevación de la presión, subpresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.

Instrumentación: Colección de instrumentos o sus aplicaciones con el fin de observar mediciones, control, o cualquier combinación de estos.

Macromedición: Sistema de medición de grandes caudales, destinados a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada en una planta de tratamiento y la que está siendo transportada por la red de distribución en diferentes sectores.

Optimización: Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.

Planta de potabilización: Instalaciones necesarias de tratamientos unitarios para purificar el agua de abastecimiento para una población.

Población de diseño: Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.

Población flotante: Población de alguna localidad que no reside permanentemente en ella y que la habita por un espacio de tiempo corto por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal.

Prueba de bombeo (aguas subterráneas): Procedimiento de campo por medio del cual se busca encontrar las características hidrogeológicas de producción de un pozo perforado para la explotación de un acuífero.

Prueba escalonada: Prueba de bombeo realizada con diferentes caudales en un período de tiempo determinado.

Red de distribución: Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.

Sedimentación: Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

Tubería de impulsión: Tubería de salida de un equipo de bombeo.

Tubería de succión: Tubería de entrada a un equipo de bombeo.

Tubería: Ducto de sección circular para el transporte de agua.

Usuario: Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio. A este último usuario se le conoce también como consumidor. (Ley 142 de 1994)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hammer Michael y Champy James, Reingeniería, Editorial Nava, Colombia, 1994.
2. Morris, Daniel y Brandon, Joel. Reingeniería, Cómo aplicarla con éxito en los negocios. McGraw-Hill Interamericana, España, 1994.
3. Peppard, Joe y Rowland Phillip. La esencia de la reingeniería en los procesos de negocios. Prentice Hall Hispanoamérica S.A. México, 1998.
4. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Ministerio de Desarrollo Económico, República de Colombia. 2000.
5. Gariboglio, M. Diagnóstico de biocorrosión e incrustación microbiológica en pozos.- Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°28. 1996.
6. Augen, J. (2004). Bioinformatics in the post-genomic era: Genome, transcriptome, proteome, and information-based medicine. Addison-Wesley Professional.
7. Gislette, P. & Mouchet P. Eliminación del Fe, del Mn y del amoníaco en las aguas potables, los tratamientos biológicos.- Taller Internacional sobre Fe y Mn. (AIDIS) Buenos Aires, Argentina. 1997.

8. Pacini, V. (2001) Potabilización de aguas subterráneas con Fe y Mn a través de procesos de biooxidación, Tesis Carrera de Posgrado de Especialización en Ingeniería Sanitaria. FCEIA. UNR.
9. Ventura N. Isaías. Sistemas de Control de Motores Eléctricos Industriales. Manual Técnico. Veracruz, Mex. 2008.
10. Vandeivira A. Motores de Corriente Alterna. Garrigós. España. 2011.
11. Bombas Ideal S.A. Datos técnicos de Hidráulica. Bombas. Oficina de Ingeniería Bombas Ideal S.A., Ed. Signo Gráfico, S.L., Massalfassar, Valencia, España, 2005.
12. <https://www.dane.gov.co>
13. <https://www.mindesarrollo.gov.co>
14. www.siemens.com/automation