

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE LA UNIDAD DE
SERVICIOS INDUSTRIALES DE UNA PLANTA MEJORADORA
DE CRUDO EXTRAPESADO**

Presentado por:

ARIANA KATERINA SALAZAR GONZÁLEZ

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como
requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO QUÍMICO

Barcelona, junio de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE LA UNIDAD DE
SERVICIOS INDUSTRIALES DE UNA PLANTA MEJORADORA
DE CRUDO EXTRAPESADO**

ASESORES

Ing. Quím., Milena Amundarain M.Sc
Asesor Académico

Ing. Quím. Ana G. González
Asesor Industrial

Barcelona, junio de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE LA UNIDAD DE
SERVICIOS INDUSTRIALES DE UNA PLANTA MEJORADORA
DE CRUDO EXTRAPESADO**

JURADOS

Ing. Quím. Milena Amundarain, M.Sc
Asesor Académico

Ing. Quím., Alexis Cova, M.Sc
Jurado principal

Ing. Quím., Maritza Millán, M.Sc
Jurado principal

Barcelona, junio de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado:

“los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la universidad de oriente y sólo podran ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, el cual participará al consejo universitario”

DEDICATORIA

A mis queridos padres, *Argenis e Isabel*,
quienes me dieron la vida y cultivaron en mi la profesional
que soy hoy en día.

A mis adorables hermanos, *Argenis y Anabel*,
quienes han sido mi apoyo y mi gran ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

*H*ay cosas en la vida que no puedes hacer solo, como la de tener un gran sueño en el que se vean envueltas muchas personas, por ello mis agradecimientos especiales a:

- *D*ios todopoderoso, por darme la vida que tengo hoy en día y brindarme la salud, la fortaleza y sabiduría para llegar a alcanzar todas las metas que me propongo.
- *M*is padres, *Argenis e Isabel* y hermanos, *Argenis y Anabel*, mis fieles comprensivos, siempre con su don cauto alumbrándome el buen camino, por ser mi infinito apoyo, compañeros y mejor ejemplo. Contar con ellos me hizo más fuerte.
- *L*os demás integrantes de mi familia, *mis abuelos, tíos y primos*, al lado de quienes he crecido y vivido momentos inolvidables, muchas gracias. Realmente me hacen sentir orgullosa de la gran familia que tengo.
- *L*a ingeniero *Ana González*, quien además de cumplir con su excelente rol de tutor industrial, me brindó su desinteresada colaboración, amistad y constante apoyo moral para la elaboración del presente trabajo.

- *La* profesora *Milena Amundarain*, por haber contribuido de forma muy especial en la orientación y revisión de este trabajo de grado y a su esposo, el profesor *Oswaldo Ochoa*, por la ayuda brindada con las estimaciones de costos del proyecto.
- “*La casa más alta, la casa que vierte su Orinoco de luz torrencial*”..., la *Universidad de Oriente*, por darme la oportunidad de cursar mis estudios y hacerme una profesional.
- *La* empresa *Petromonagas*, por darme la oportunidad de culminar mis estudios profesionales en el ámbito laboral desempeñando en ella mi pasantía y trabajo de grado y por todo el apoyo brindado por el personal de los diferentes departamentos, en especial:

A los señores *Carlos Marthes y Carlos Guaina*, quienes me recibieron incondicionalmente en su laboratorio colaborándome siempre en la ejecución de los análisis necesarios.

A los operadores *Subero, Leonel y Puente*, quienes me ayudaron muy cordialmente con las mediciones de caudal a pesar de las dificultades. Gracias muchachos, ya se acabaron las pescas en la fosa.

A los señores *Antonio Alastre, Víctor Mustiola, Harold Guerrero, Eddy Arias, Ramón Sanéz, José Benítez, Luis Urkía y Guillermo Tovar*, por haberme ayudado en el sitio de trabajo ofreciéndome conocimientos, apoyo, afecto, sonrisas y confianza durante la realización de mis pasantías.

A mis COMPAÑEROS y colegas de Procesos, *Arelis, Jemmy, Gustavo, Rodha, Mirna, Peraza* y *Jesús González*, por haberme orientado y facilitado las herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo. Gracias muchachos, son un excelente equipo.

Al Superintendente de Ingeniería de Procesos, *José Luis Moreno*, por la amistad, colaboración y receptividad brindada a pesar de sus múltiples ocupaciones.

- *Lo* más bello que me dio la Universidad, mis amigos, *David, Lali, Ana, Chabela, Fela, Scarlet, José Luis y Carlos Marín*. Con ustedes viví y aprendí de experiencias extraordinarias que recordaré y disfrutaré todos los días de mi vida. A ustedes pertenece también gran parte de este esfuerzo, en especial a ti *David*, que fuiste mi compañero incondicional desde el primer semestre de la carrera. Mis mejores deseos para todos.
- *Mis* amigos *Julián, Carla, Roger, Alfredo, Raquel y Leticia*, de quienes no faltaban sus consejos y apoyo moral para seguir siempre adelante. Gracias Carlita por recibirme tantos años en tu morada.
- *Mi* adorable novio, *Juan Carlos Rodríguez*, que gracias a su cariño, comprensión y estímulo, me ayudaron a superar todas las adversidades presentadas durante la carrera y culminar exitosamente este período tan importante de mi vida. Mis gratitudes se extienden a sus padres, *Elio y Mariel* y a su hermano *Juan José*,

quienes son merecedores de mi más sincero aprecio por sus cálidas palabras de aliento que me daban ánimo y valor en los momentos más precisos.

RESUMEN

Este proyecto tuvo como finalidad la selección de un nuevo sistema de desinfección para el tratamiento de las aguas de la unidad de servicios industriales del mejorador Petromonagas ubicado en el Complejo Industrial, Petroquímico y Petrolero José Antonio Anzoátegui, ya que el sistema actual de desinfección presenta serios problemas de corrosión y la degradación fisicoquímica considerable del desinfectante (hipoclorito de sodio). El estudio y selección del nuevo sistema requirió de la cuantificación de parámetros como flujo, presión, diámetro de tuberías y demanda de cloro de cada una de las aguas a tratar. De las pruebas del punto de ruptura realizadas para determinar la demanda de cloro se obtuvo que los efluentes sanitarios fueron los que presentaron mayor demanda con 18,00 mg/L de cloro añadido, luego los efluentes aceitosos con 9,40 mg/L, seguidamente el agua de enfriamiento con 3,08 mg/L y finalmente con 0,6 mg/L el agua de servicio. Además se realizaron análisis microbiológicos de niveles de coliformes y de algunas características químicas de estas aguas que permitieron afianzar más los resultados obtenidos de las demandas de cloro. A continuación se llevó a cabo una investigación teórica sobre veintidós opciones de desinfección existentes en el mercado, de las cuales fueron preseleccionadas el dióxido de cloro, hipoclorito de sodio comercializado a 12,5 % v/v, cloro gas, hipoclorito de calcio, ozono y el hipoclorito de sodio generado in situ por electrólisis de agua salada. Con estas seis opciones se elaboró una matriz de evaluación, obteniéndose en primer lugar el sistema de cloro gaseoso con 72,5 puntos por cumplir con los parámetros técnicos y operacionales requeridos para el mejorador. Para concretar los resultados de la matriz se realizó un estudio de factibilidad económica con las dos mejores tecnologías propuestas (cloro gas y NaOCl a 12,5%) resultando el cloro gas la alternativa más rentable económicamente con un valor presente neto de Bs. -17.831.524. Finalmente se presentaron algunos aspectos importantes para el futuro diseño del sistema de cloro gas tales como

componentes del sistema, ubicación en la planta, requerimiento de servicios e insumos, aspectos de seguridad, higiene y ambiente, entre otros.

TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	x
TABLA DE CONTENIDO.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
CAPÍTULO I.....	20
EL PROBLEMA	20
1.1. Presentación de la Empresa.....	20
1.2. Proceso de Mejoramiento del Crudo Extrapesado	21
1.3. Planteamiento del Problema.....	22
1.4. Objetivos	26
1.4.1. Objetivo General	26
1.4.2. Objetivos Específicos.....	26
CAPÍTULO II	28
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	28
2.1. Antecedentes	28
2.2. Servicios a Estudiar Para Diseñar el Sistema de Desinfección de Aguas.....	30
2.2.1. Sistema de Agua de Enfriamiento.....	30
2.2.2. Sistema de Agua Industrial y Agua de Servicio	32
2.2.3. Planta Potabilizadora de Agua	33
2.2.4. Sistema de Aguas Residuales.....	35
2.3.1. Mecanismos de la Desinfección del Agua	43
2.3.2. Desinfectante Ideal.....	43

2.3.3. Clasificación de los Desinfectantes.....	44
2.3.4. La Cloración Como Sistema de Desinfección del Agua.....	68
2.3.5. Definición de la Cloración	69
2.3.6. Aplicaciones del Cloro.....	69
2.3.7. Tipos de Cloro.....	70
2.3.8. Reacciones Químicas del Ácido Hipocloroso y del Dióxido de Cloro.....	83
2.3.9. Mecanismos de la Desinfección con Cloro.....	86
2.3.10. Factores que Determinan la Efectividad de la Desinfección del Cloro ..	88
2.3.11. Efectos del Cloro Para la Salud.....	91
2.3.12. Cantidad de Cloro a Dosificar en la Red.....	91
2.3.13. Comportamiento del Cloro en el Agua	92
2.4. Estimados de Costos	94
2.4.1. Clase V.....	94
2.4.2. Clase IV.....	94
2.4.3. Clase III.....	95
2.4.4. Clase II	95
2.4.5. Clase I	96
2.5. Valor Presente Neto	96
CAPÍTULO III.....	98
DESARROLLO DEL PROYECTO	98
3.1. Cuantificación de los Parámetros Requeridos para la Selección del sistema de Desinfección.....	98
3.1.1. Determinación de la Demanda de Cloro.....	99
3.1.2. Análisis de Bacterias Coliformes.....	107
3.1.3. Análisis Químico de las Aguas a Tratar.....	107
3.1.4. Determinación del Flujo, Presión y Diámetro de Tuberías en los Puntos de Inyección del Desinfectante	109
3.2. estudio de las Posibles Opciones para el Tratamiento Microbiológico de las Aguas de la Unidad de Servicios Industriales de la Planta	114

3.2.1. Selección Preliminar	115
3.2.2. Entrevistas no Estructuradas a Otras Empresas	116
3.2.3. Ponderación y Calificación de la Matriz de Evaluación	116
3.3. Realización de un Estudio de Factibilidad Económica de los Sistemas de Desinfección que Resulten Más Accesibles a su Posible Utilización.....	121
3.3.1. Estimación de los Costos de Inversión de Capital	121
3.3.2. Estimación de los Costos de Operación	123
3.3.3. Determinación de la Rentabilidad del Proyecto.....	124
3.4. Presentación de los Detalles Conceptuales del Sistema de Desinfección Seleccionado	126
3.5. Muestra de Cálculos.....	126
3.5.1. Determinación de la Cantidad de Cloro Agregado	126
3.5.2. Cálculo del Flujo Promedio	127
3.5.3. Conversión de Nitrógeno Amoniacal a Nitrógeno Total	128
3.5.4. Cálculo de los Costos Operacionales por Seguro, Mantenimiento e Impuestos	129
3.5.5. Cálculo de los Consumos de Cloro Gaseoso y de Hipoclorito de Sodio y su Costo Asociado.....	130
CAPÍTULO IV	133
DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
4.1. Discusión de Resultados	133
4.1.1. Cuantificación de los Parámetros Requeridos para la Selección del Sistema de Desinfección.....	133
4.1.2. Estudio de las Posibles Opciones para el Tratamiento Microbiológico de las Aguas de la Unidad de Servicios Industriales de la Planta.....	145
4.1.3. Estudio de Factibilidad Económica de los Sistemas de Desinfección que Resulten más Accesibles a su Posible utilización.....	153
4.1.4. Presentación de los Detalles Conceptuales del Sistema de Desinfección Seleccionado	157

4.2. Conclusiones	176
4.3. Recomendaciones	177
BIBLIOGRAFÍA	179
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Empresas ubicadas en el Complejo Industrial, Petroquímico y Petrolero José Antonio Anzoátegui [1]	20
Figura 2. Proceso de mejoramiento del crudo extrapesado en Petromonagas [1]	22
Figura 3. Perforación en el tanque de almacenamiento de NaOCl.	20
Figura 4. Fuga de hipoclorito de sodio (unidad de aguas residuales).	20
Figura 5. Sección interna de descarga hacia la tanquilla de Pequiven.	20
Figura 6. Tubería-brida corroída (Unidad 41, agua de servicio).	20
Figura 7. Exposición del NaOCl a la radiación ultravioleta del sol (Unidad 41).	20
Figura 8. Exposición del NaOCl a la radiación ultravioleta del sol (Unidad 51).	20
Figura 9. Esquema del sistema de agua de enfriamiento del mejorador Petromonagas [8].	30
Figura 10. Representación del sistema de agua industrial y de servicio de Petromonagas [9]	33
Figura 11. Diagrama simplificado del sistema de tratamiento de agua aceitosa [11].	36
Figura 12. Diagrama simplificado del sistema de tratamiento de agua sanitaria [11]	37
Figura 13. Comportamiento de las fracciones de ácido hipocloroso respecto a variaciones de pH [16]	88
Figura 14. Relación dosis - demanda – residual [22].	92
Figura 15. Evolución de la cantidad de cloro residual en función de la cantidad de cloro introducido [24]	93
Figura 16. Diagrama simplificado de la cuantificación de los parámetros necesarios para la selección de un sistema de desinfección.	98
Figura 17. Puntos de muestreo del agua de servicio, de enfriamiento, los efluentes sanitarios tratados y los efluentes industriales tratados.	99
Figura 18. Vaso de muestra del kit CHEMets [37].	105

Figura 19. Ampolla CHEMets en el vaso de muestra [37]	105
Figura 20. Tubo comparador CHEMet de bajo alcance [37].....	106
Figura 21. Comparador CHEMets de alto alcance [37].....	106
Figura 22. Diagrama simplificado del estudio y selección de opciones de desinfección.	114
Figura 23. Diagramas típicos para la estimación del VPN de dos alternativas.....	124
Figura 24. Demanda de cloro del agua de servicio	135
Figura 25. Demanda de cloro de los efluentes sanitarios tratados	136
Figura 26. Demanda de cloro de los efluentes industriales tratados.	137
Figura 27. Demanda de cloro del agua de enfriamiento	138
Figura 28. Resultados de las entrevistas no estructuradas realizadas a diferentes empresas.....	149
Figura 29. Calificación de las opciones de desinfección comparadas en la matriz de selección.....	151
Figura 30. Diagrama típico del un sistema de dosificación de cloro [22].....	159
Figura 31. Plano típico para una pequeña instalación de cloro.....	164
Figura 32. Sistema de detección y alarmas	168
Figura 33. Torre de absorción	169
Figura 34. Tanque para la solución neutralizadora.	169
Figura 35. Sistema de captación.....	170
Figura 36. Sistema de recirculación de la solución neutralizadora.	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables.....	42
Tabla 3.1. Muestras de las aguas de las unidades de servicios industriales del mejorador.....	100
Tabla 3.2. Prueba de demanda de cloro del agua de servicio	102
Tabla 3.3. Prueba de demanda de cloro de los efluentes industriales tratados.	103
Tabla 3.4. Prueba de demanda de cloro de los efluentes sanitarios tratados.	103
Tabla 3.5. Prueba de demanda de cloro del agua de enfriamiento.....	104
Tabla 3.6. Métodos de análisis aplicados a las muestras acuosas.....	107
Tabla 3.7. Niveles de amoníaco determinados en los efluentes industriales y sanitarios tratados antes y después de clorar.	108
Tabla 3.8. Flujos registrados durante el muestreo de los efluentes sanitarios tratados.	110
Tabla 3.9. Flujos registrados durante el muestreo del agua de servicio de la empresa.	112
Tabla 3.10. Flujos del agua de enfriamiento registrados en el PI-ProcessBook.	113
Tabla 3.11. Flujos de los efluentes industriales tratados registrados en el PI-ProcessBook.....	113
Tabla 3.12. Ponderación y calificación de la matriz de evaluación.....	120
Tabla 3.13. Factores relativos para la estimación de inversión de capital para los diversos rubros, basados en el costo del equipo entregado.....	121
Tabla 4.1. Registro de calidad de las dos muestras de hipoclorito de sodio recolectadas.....	133
Tabla 4.2. Demanda y dosis de cloro recomendada para cada tipo de agua en estudio.	139
Tabla 4.3. Resultados de los análisis de los niveles de organismos coliformes en cada muestra.....	140

Tabla 4.4. Resultados del análisis químico de las muestras de agua de servicio, de enfriamiento, efluentes sanitarios y efluentes industriales tratados, sin clorar	142
Tabla 4.5. Resultados del análisis químico de las muestras de agua de servicio, de enfriamiento, efluentes sanitarios y efluentes industriales tratados, luego de la cloración.....	142
Tabla 4.6. Condiciones de diseño y flujos operacionales medidos en los puntos de inyección del desinfectante.	144
Tabla 4.7. Características de los sistemas de calor y radiaciones x y gamma.	145
Tabla 4.8. Sistemas de desinfección y/o desinfectantes utilizados por otras empresas.	149
Tabla 4.9. Matriz de evaluación sistemas de cloro gas, hipoclorito de sodio y dióxido de cloro.....	150
Tabla 4.10. Matriz de evaluación sistemas de ozono, hipoclorito de calcio y hipoclorito de sodio generado en sitio.	151
Tabla 4.11. Estimación de la inversión de capital para los sistemas de cloro gaseoso y de hipoclorito de sodio, basados en el costo del equipo entregado.....	155
Tabla 4.12. Costos operacionales para los sistemas de cloro gas y de hipoclorito de sodio.	155
Tabla 4.13. Consumo de cloro gaseoso y de hipoclorito de sodio por cada tipo de agua.	156
Tabla 4.14. Resultados del cálculo del VPN de las tecnologías propuestas.	157
Tabla 4.15. Reacciones fisiológicas del hombre ante la presencia de cloro	161
Tabla 4.16. Características del cloro.....	166
Tabla 4.17. Reactividad del cloro	167
Tabla 4.18. Condiciones ambientales.....	172

La empresa se constituyó como Asociación Estratégica el 28 de octubre de 1997 bajo el nombre de Operadora Cerro Negro (OCN), momento en el cual se contaba con la participación adicional de la Corporación Estadounidense Exxon Mobil, cuya representación accionaria era del 41% hasta el 1° de mayo de 2007 cuando el Estado venezolano, por intermedio de PDVSA, asumió el control operativo de todas las instalaciones que son afectadas por la ley de Nacionalización, estableciéndose la empresa Petromonagas con un capital mixto cuyos accionistas son: PDVSA, con 84% y British Petroleum (BP), con 16%.

1.2. Proceso de Mejoramiento del Crudo Extrapesado

El proceso de mejoramiento del crudo extrapesado de Petromonagas, representado en la figura 1.2, se inicia en la etapa de extracción realizando la inyección de nafta diluyente de 50° API a la corriente del crudo proveniente de los pozos, con el fin de facilitar su transporte por oleoductos hasta la planta desaladora del COPEM donde se extrae parte de las sales, agua y gas asociado. Seguidamente, el crudo diluido es trasladado a la planta de mejoramiento en Jose. Aquí se vuelve a desalar y se lleva a un proceso de destilación atmosférica donde se retira el diluyente que es enviado nuevamente al COPEM. Una parte del residuo de esta destilación es procesada por la Unidad de Coquificación Retardada (DCU), mientras que la otra parte es mezclada con los líquidos que resultan del DCU. De esta manera se ajustan las propiedades fisicoquímicas del crudo mejorado de 16° API, dando cumplimiento a las exigencias de los mercados internacionales. Del proceso se obtienen, además, subproductos como coque, azufre y gas de combustión, también comercializables.

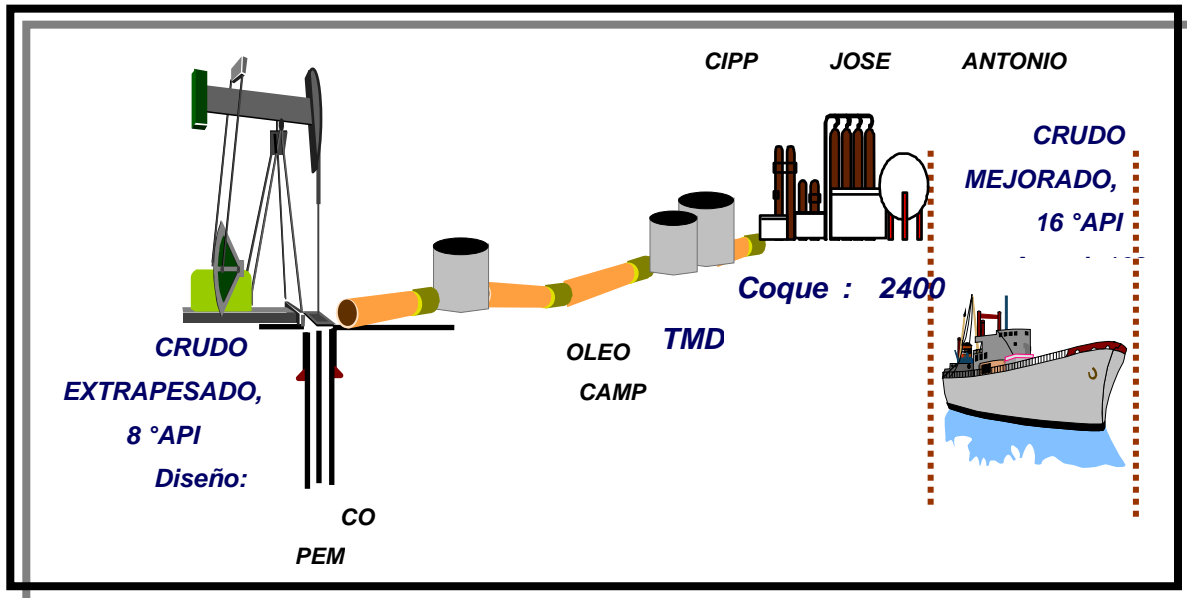


Figura 2. Proceso de mejoramiento del crudo extrapesado en Petromonagas [1]

1.3. Planteamiento del Problema

El mejorador de crudo requiere para su funcionamiento una serie de plantas auxiliares. Petromonagas cuenta con los siguientes sistemas de servicios industriales: agua de enfriamiento, agua cruda, agua de servicio, aguas residuales, tanques y mezclas, gas combustible, generación de vapor, aire comprimido, nitrógeno, sistema contra incendio y sistema de mecurrios.

En los cuatro primeros sistemas, donde el agua es la sustancia a tratar, existen condiciones favorables para la proliferación de microorganismos diversos. Por ejemplo, las biopelículas (biofilms) en los sistemas de enfriamiento, están constituidas por un conjunto de microorganismos que se reproducen sinérgicamente bajo ciertas condiciones de temperatura, pH, oxígeno y nutrientes. Si no es controlado, el crecimiento microbiano ocasiona problemas de ensuciamiento,

corrosión y deslignificación en los equipos de transferencia de calor y partes de la torre de enfriamiento.

Así mismo, la presencia de organismos patógenos origina la propagación de enfermedades a través del agua, tal es el caso de la *Legionella*, muy común en las aguas de enfriamiento no tratadas y causante de la neumonía. En el mismo orden de ideas, a través del agua potable pueden ser transmitidas una gran cantidad de enfermedades que afectan especialmente al tracto gastrointestinal, éstas incluyen la tifoidea, paratifoidea, cólera, diarrea con vómito, shigelosis, leptospirosis y lombrices, así como problemas causados por virus, como la hepatitis. Igualmente, las aguas residuales, que son descargadas al mar, presentan residuos fecales e industriales que contienen millones de microorganismos patógenos, siendo el grupo coliformes el más destacado.

Para controlar y mejorar estos problemas en la planta se efectúa la inyección de biocidas en el agua, tales como el hipoclorito de sodio (NaClO). Esta sustancia es un químico agresivo (tóxico) para el ambiente y el ser humano, por lo que siempre deben evitarse las fugas y sobredosificación en los sistemas, ya que pueden causar serios daños a la salud del personal, así como también corrosión moderada y/o severa en componentes de tuberías y equipos.

Como parte de la evaluación de las condiciones de corrosión y confiabilidad de equipos, tuberías y paquetes de inyección de químicos, la empresa ha realizado en varias oportunidades inspecciones visuales y detalladas a los sistemas de inyección de hipoclorito de sodio del mejorador. Dichas observaciones evidenciaron serios problemas de corrosión y reiteradas fugas del aditivo en diferentes partes del sistema (tanques, bombas, tuberías, accesorios, etc.), lo cual ha conllevado a la aplicación de medidas correctivas como el revestimiento de superficies con sustancias anticorrosivas, sustitución de accesorios y tuberías, limpiezas con herramientas

manuales y la suspensión y reemplazo temporal del servicio de algunos de los paquetes de inyección del mencionado químico (Figuras 1.3 hasta 1.6) (anexo A).



Figura 3. Perforación en el tanque de almacenamiento de NaOCl.



Figura 4. Fuga de hipoclorito de sodio (unidad de aguas residuales).



Figura 6. Tubería-brida corroída (Unidad 41, agua de servicio).



Figura 5. Sección interna de descarga hacia la tanquilla de Pequiven.

Otro de los inconvenientes asociados a los paquetes de hipoclorito de sodio tiene que ver con su degradación. Actualmente el hipoclorito de sodio se dosifica a una concentración de 12,5% v/v pero la misma se disminuye debido a la degradación que éste sufre por la influencia de la radiación ultravioleta (Figuras 1.7 y 1.8) [2]. Esta situación ha traído como consecuencia una alteración en el efecto biocida que ejerce dicho químico sobre el agua, por lo que la cantidad de hipoclorito requerido para cubrir la demanda y mantener el residual de cloro dentro de las especificaciones tiende a incrementarse, convirtiéndose ello en gastos económicos extras para la empresa.



Figura 8. Exposición del NaOCl a la radiación ultravioleta del sol (Unidad 51).



Figura 7. Exposición del NaOCl a la radiación ultravioleta del sol (Unidad 41).

El agua es el elemento vital para la alimentación, higiene y actividades del ser humano y demás seres vivos. Hoy en día es innumerable la contaminación que se ha desarrollado por diversas circunstancias en los cuerpos de agua, lo que ha provocado su degradación y en consecuencia la alteración de los ecosistemas acuáticos. Los afluentes de los procesos y de los sanitarios que se generan en la planta Petromonagas, una vez tratados son descargados al mar. El Estado, en su deber de proteger y resguardar la calidad de los cuerpos de agua, regula a las industrias a través del decreto 883 [3] donde se establecen las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.

En la búsqueda del mejoramiento continuo de la empresa, la gerencia técnica de Petromonagas, en su interés por mantener el desarrollo sustentable de sus operaciones, propone la necesidad de seleccionar un nuevo sistema de desinfección para las aguas de la unidad de servicios industriales que maneja. Como primera etapa del proyecto se procedió a la recolección de los datos necesarios para los cálculos de los equipos, esto a través de mediciones en campo y análisis de laboratorio sobre las propiedades químicas de las aguas a tratar. Luego se realizó un estudio exhaustivo de las opciones de desinfección disponibles en el mercado, el cual se basó en datos teóricos y referencias obtenidas de empresas proveedoras y de aquellas que tienen en funcionamiento esta clase de equipos. Toda esta información recibida sirvió para seleccionar las tecnologías de mayor viabilidad para la empresa comparando en una

matriz de evaluación los requerimientos técnicos y operacionales más importantes para el funcionamiento óptimo del sistema en estudio. Para concretar la selección por la mejor opción se llevó a cabo un estudio de factibilidad económica a los sistemas más recomendables para el tratamiento de las aguas de la empresa. Finalmente se profundizaron los detalles conceptuales de la tecnología seleccionada tomando como base las Normas de PDVSA para la elaboración de proyectos.

A través del presente proyecto Petromonagas tendrá la información técnica y económica requerida para realizar los cambios necesarios en su sistema de desinfección, lo que permitirá mitigar los inconvenientes ocasionados por corrosión y la degradación del hipoclorito de sodio, cumplir con la legislación ambiental y alcanzar mayor calidad y confiabilidad de operación en el tratamiento de las aguas de sus servicios industriales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Seleccionar un sistema de desinfección para el tratamiento de las aguas de la unidad de servicios industriales de la planta mejoradora de crudo extrapesado Petromonagas.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Cuantificar los parámetros requeridos para la selección del sistema de desinfección a emplearse en el tratamiento de las aguas de la unidad de servicios industriales del mejorador (agua potable, agua de enfriamiento, aguas aceitosas y efluentes sanitarios).

2. Estudiar las posibles opciones para el tratamiento microbiológico de las aguas de la unidad de servicios industriales de la planta.

3. Realizar un estudio de factibilidad económica de los sistemas de desinfección que resulten más accesibles a su posible utilización.

4. Presentar los detalles conceptuales del sistema de desinfección seleccionado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

En el 2001, Mota [4], consideró la cantidad de errores operativos cometidos en la aplicación de sustancias químicas y procesos físicos al agua de la planta potabilizadora Bajo Guarapiche, debido a la falta de conocimientos técnicos y científicos por parte del personal de operaciones y de control de calidad, aunado a la falta de medidores de flujo en las etapas de filtración y poscloración y el descontrol de la recolección de datos para la evaluación del funcionamiento del proceso potabilizador. En tal sentido, se realizó un estudio de las características fisicoquímicas y bacteriológicas de la fuente de abastecimiento y de las distintas etapas del proceso potabilizador, lo que permitió determinar las cantidades adecuadas de las sustancias químicas utilizadas en la etapa de tratamiento y elaborar planillas que faciliten el manejo de los datos recopilados diariamente para luego relacionarlos entre sí y obtener perfiles de tratamiento químico con respecto a las características presentadas por el agua que se está tratando.

En el 2007, Díaz [5], consideró la problemática que afecta a la población a nivel mundial sobre el carecimiento de acceso al agua potable y los problemas de salud en millones de personas, sobre todo las situadas en las zonas más pobres. Para mejorar esta situación, Díaz estudió la posibilidad de seleccionar y desarrollar una tecnología de desinfección que pueda ser efectiva para la capacidad de medios y recursos locales de una gran parte de la población rural, que cumpla con unas propiedades mínimas de salubridad en el agua para las personas que las consuman, logrando con ello unas

condiciones aptas para su consumo. Del estudio realizado de diversas técnicas de potabilización se encontró que la desinfección solar es un método sencillo, económico y con buena disposición, aplicable a las condiciones que se requieren para los fines del proyecto.

En el 2007, Ramírez y Durán [6], evaluaron la influencia del proceso de adsorción con carbón activado en granos sobre la demanda en cloro de un agua superficial clarificada para producción de agua potable. La presencia de este proceso previo a la fase de desinfección del agua produce un efecto benéfico de disminución de la demanda de cloro debido a una mayor remoción de contaminantes (nitrógeno amoniacal y materia orgánica natural). La magnitud de la disminución de la dosis es función del tipo de carbón activado aplicado. De los dos carbones evaluados, NC60 y PICABIOL, el primero resultó ser el más eficiente debido a su mayor área disponible y a su mesoporosidad.

En el 2007, Serrano [7], diseñó un sistema de abastecimiento de agua potable para las poblaciones de Apéyémé y Todomé que pueda ser gestionado por los propios habitantes, teniendo en cuenta la ubicación del proyecto, el grado de desarrollo de la comunidad a la que va dirigido, la economía y accesibilidad a la consecución de los materiales empleados.

En los trabajos de investigación citados se realizaron análisis de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua, así como también de la demanda de desinfectante. En el proyecto de Díaz se estudiaron varios métodos de desinfección de los cuales se seleccionó el que mayor cumplía con las especificaciones requeridas. En este proyecto se procederá a estudiar diferentes tecnologías para el tratamiento de desinfección del agua de servicio, agua de enfriamiento, efluentes aceitosos y efluentes sanitarios de Petromonagas, para lo cual se requerirán análisis tales como demanda de cloro y niveles de organismos

coliformes. Debido a esto, los estudios anteriormente citados serán tomados como referencia para el desarrollo del proyecto.

2.2. Servicios a Estudiar Para Diseñar el Sistema de Desinfección de Aguas

2.2.1. Sistema de Agua de Enfriamiento

El sistema de agua de enfriamiento del mejorador Petromonagas representado en la figura 2.1 está constituido por una torre de enfriamiento, dos ventiladores, tres bombas, una piscina de agua, líneas de suministro/ retorno, sistemas de dosificación de químicos y la instrumentación asociada, siendo su función principal la de remover el calor absorbido por el agua durante el proceso de enfriamiento de las corrientes que circulan por los diferentes equipos que integran el mejorador. Éste es un sistema recirculante, es decir, que el agua es retornada a la torre una vez que cumple su proceso, utilizando para ello un sistema de recirculación abierto, en el cual el calor es expulsado en la torre de enfriamiento a través de la evaporación de una fracción del agua, causando pérdidas de agua y concentración de los sólidos disueltos.

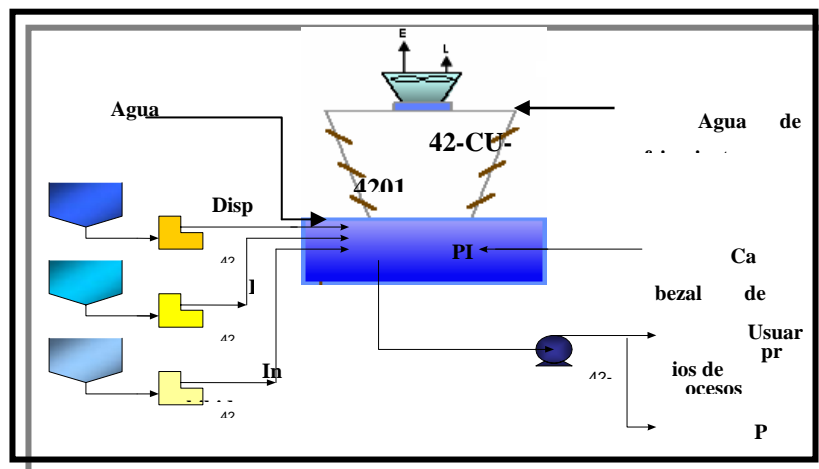


Figura 9. Esquema del sistema de agua de enfriamiento del mejorador Petromonagas [8].

La torre de enfriamiento es de tiro inducido y está constituida por dos celdas independientes, cada una de ellas con una capacidad de diseño de 60 % que descargan a una piscina común y dos ventiladores para extraer el calor del agua de retorno. Los sólidos que se concentran en la piscina de la torre son controlados mediante una purga que descarga a una rata constante.

El agua perdida por evaporación y purga es repuesta al sistema con agua fresca (agua de reposición) proveniente del tanque de agua industrial de la planta TK-4101. En el diseño del sistema de agua de enfriamiento, los ciclos de concentración están ajustados para estar alrededor de 4.9, asignando un flujo de 30,09 L/s de reposición y 6,18 L/s de flujo de purga.

2.2.1.1. Inyección de Químicos al Sistema

A. Inyección del Dispersante

Los depósitos e incrustaciones que se forman en el sistema de enfriamiento como carbonato de calcio son controlados eficazmente con el uso de agentes secuestrantes y quelatos que son capaces de formar complejos solubles con iones de metal.

B. Inyección de Inhibidor de Corrosión

Los problemas de corrosión en el sistema son controlados por inhibidores pasivantes (anódicos), los cuales forman una película protectora del óxido sobre la superficie de metal.

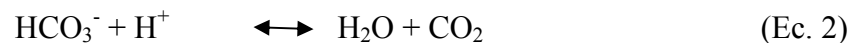
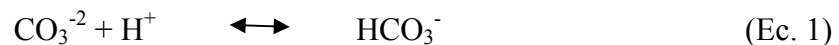
C. Inyección de Biocida

La formación de biopelículas sobre las superficies húmedas o mojadas se controlan mediante la aplicación de biocidas en el agua de enfriamiento y un

apropiado monitoreo biológico. El programa de control microbiológico que utiliza Petromonagas está basado en la aplicación de hipoclorito de sodio en forma líquida en combinación con una solución de bromo en choque a razón de tres veces por semana (bactericida oxidante).

D. Inyección de Ácido Sulfúrico

Aunque se inyecta dispersante en el agua como se mencionó anteriormente, existe todavía la posibilidad de formación de carbonato de calcio y de que se deposite en el sistema. Por consiguiente el ácido sulfúrico se inyecta en el agua para disminuir el ion carbonato transformándolo en CO_2 por la reacción mostrada a continuación [8]:



2.2.2. Sistema de Agua Industrial y Agua de Servicio

El agua industrial que alimenta a las unidades de procesos del mejorador Petromonagas, proviene de la planta de agua de Pequiven. En dichas instalaciones, se trata el agua procedente del río Neverí mediante operaciones de prefiltración, clarificación y filtración para suministrar el servicio de agua industrial a diferentes clientes del condominio industrial Jose.

El agua industrial se divide en tres cabezales: agua industrial, agua de servicio y agua para el sistema contra incendios. Adicionalmente existe una línea que alimenta a la planta potabilizadora, tal como se muestra en la figura 2.2.

La corriente de agua industrial que llega a Petromonagas es tratada nuevamente con una solución de hipoclorito de sodio para el control de microorganismos cumpliendo con la especificación para uso humano. Ésta es utilizada como agua de

servicio para el suministro a las estaciones de servicio de las diferentes unidades, a las edificaciones de la planta (equipos sanitarios en el almacén, edificio de mantenimiento, laboratorio, edificio administrativo, sala de control, estación de bomberos, edificio de seguridad y edificio de operaciones del coque), a los sistemas de protección personal (lavamanos y duchas). No es apta para el consumo [9].

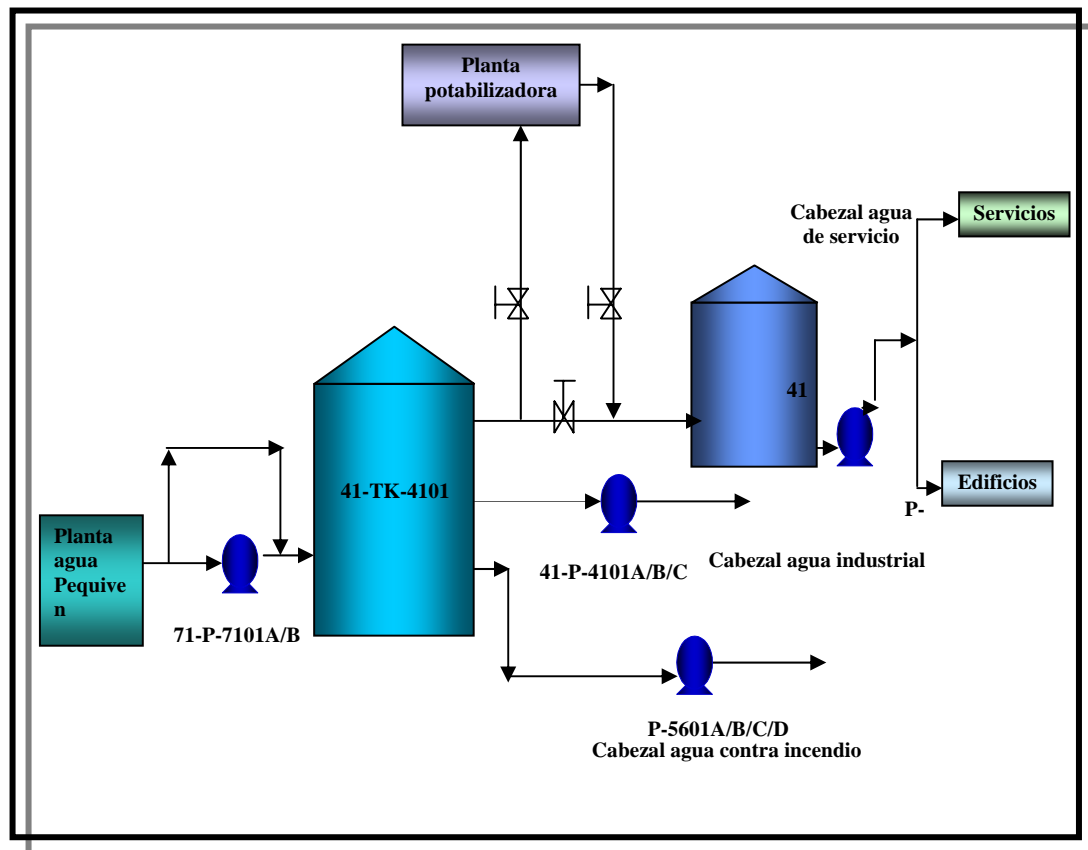


Figura 10. Representación del sistema de agua industrial y de servicio de Petromonagas [9]

2.2.3. Planta Potabilizadora de Agua

El agua proveniente de Pequiven es almacenada en el tanque TK-4101 de Petromonagas, ésta es descargada por gravedad hacia un segundo tanque (TK-4102)

pasando previamente por una planta potabilizadora donde se realiza un determinado tratamiento fisicoquímico. Posteriormente el agua potable es bombeada y distribuida hacia diferentes sectores del mejorador.

El proceso de potabilización del agua consta de siete etapas. La primera de ellas es un sistema de bombeo hacia la planta potabilizadora compuesto por dos bombas centrífugas horizontales con motor de 1,5 HP. Estas bombas han sido instaladas con la finalidad de compensar las pérdidas de carga que se producen en la planta de tratamiento y garantizar la presión requerida para que el agua llegue al tanque de almacenamiento de agua potable TK-4102. En la línea de succión de las bombas se encuentran los puntos de inyección de químicos. Los químicos a dosificar son soda cáustica para elevar el pH a valores comprendidos entre 8,00 - 9,00 y facilitar la precipitación del hierro e hipoclorito de sodio para desinfectar y colaborar con la oxidación del hierro.

Igualmente se dispone de un punto de inyección de hipoclorito en la línea de descarga de la planta con el fin de garantizar 3 mg/L de cloro residual a la salida de la planta y evitar la reproducción de coliformes. En la cuarta etapa se le inyecta aire a la corriente de agua para mejorar la oxidación del hierro en el tanque precipitador. La quinta etapa consta de un tanque precipitador donde se busca lograr la precipitación del hierro para facilitar luego su separación. El agua clarificada proveniente del precipitador es enviada hacia un filtro de doble lecho (arena + antracita) cuya función es remover los sólidos suspendidos. Finalmente, los filtros de carbón activado forman la última etapa del tratamiento cuya función es la eliminación de olores y sabores [10].

2.2.4. Sistema de Aguas Residuales

El sistema de aguas residuales tiene como objetivo proporcionar las instalaciones necesarias para tratar las corrientes líquidas de desechos aceitosos y sanitarios generados por el mejorador, con el propósito de alcanzar los límites permisibles de descarga al mar, en conformidad con las normativas ambientales de acuerdo al decreto N° 883 [3], artículo 10, para disposiciones en cuerpos de aguas marinas y costas.

Este sistema está conformado básicamente por dos sub-sistemas:

- Sistema de agua aceitosa (figura 2.3)
- Sistema de agua sanitaria (figura 2.4).

2.2.4.1. Efluentes del Mejorador

Los siguientes corrientes del mejorador deben ser tratados en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas:

- Purga del desalador y exceso de agua agria despojada.
- Agua del sistema de cloacas (incluye desecho de regeneración de la planta desmineralizadora, purga de las calderas, torre de enfriamiento).
- Agua sanitaria de desecho.

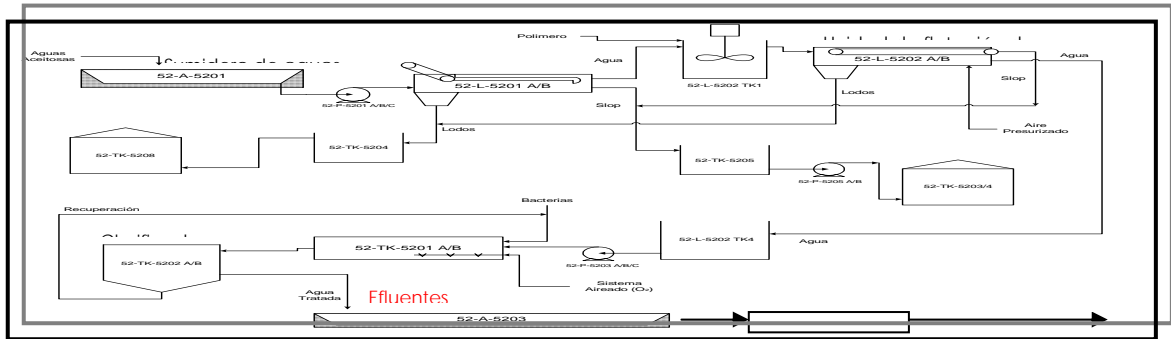


Figura 11. Diagrama simplificado del sistema de tratamiento de agua aceitosa

[11]

La unidad de agua aceitosa fue diseñada para tratar el agua de desecho proveniente del proceso, también el agua posiblemente contaminada en las superficies de las áreas de proceso. Ésta se encuentra conformada por:

- Sumidero de agua aceitosa.
- Fosa de retención de agua de lluvia.
- Separadores API.
- Unidades de flotación de aire para disolver (DAF).
- Unidad de tratamiento biológico: tanque de aireación, clarificador, bomba de reciclo de lodo.
- Sumidero de afluyente.

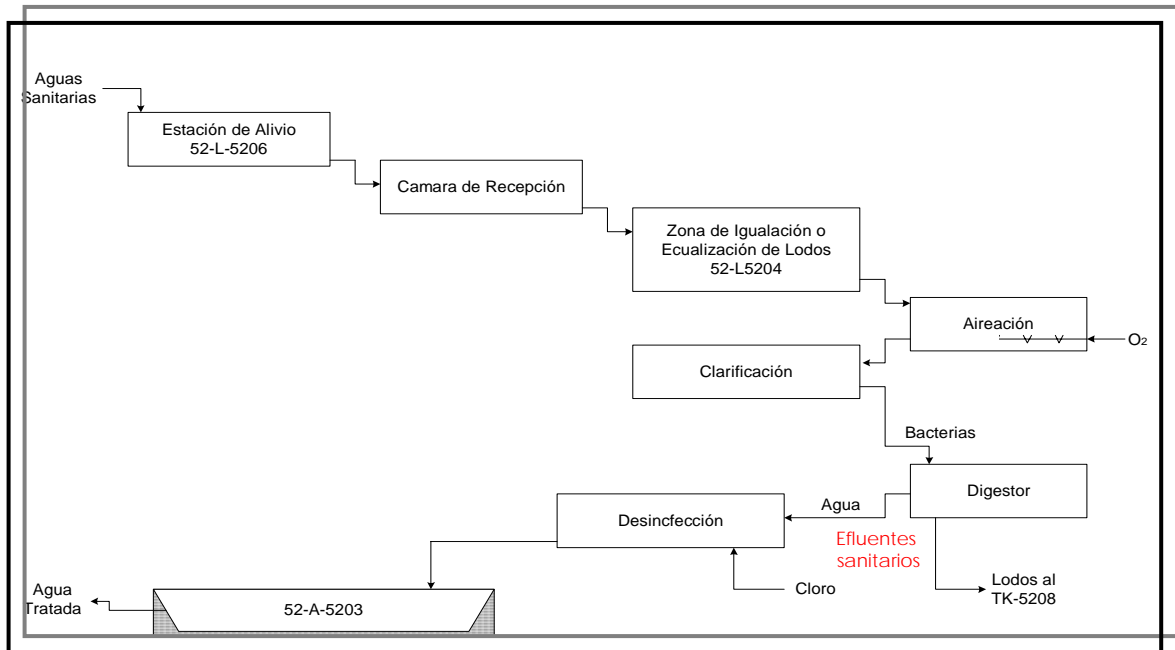


Figura 12. Diagrama simplificado del sistema de tratamiento de agua sanitaria [11]

La unidad de agua sanitaria fue diseñada para tratar el agua de desechos sanitarios proveniente de los edificios de administración, taller, sala de control, edificio de operadores y caseta de seguridad. Ésta se encuentra constituida por:

- Estación de alivio.
- Unidad de tratamiento: cámara de recepción.
- Sección de igualación.
- Sección de aireación.
- Sección de clarificación.
- Sección de desinfección.
- Tanque digestor aeróbico.

- Sopladores de aire.

Para estas aguas se tiene un tratamiento primario y uno biológico. Se le llama tratamiento primario de las aguas residuales al proceso físico destinado a eliminar la mayor parte de los sólidos sedimentables contenidos en las corrientes de aguas residuales. Dentro del sistema de tratamiento secundario los procesos tienen dos fines:

- Oxidar biológicamente la materia orgánica soluble que queda después del tratamiento primario.
- Eliminar los sólidos en suspensión y coloidales, floculados como resultado del proceso biológico.

2.2.4.2. Sección de Cloración de los Efluentes Sanitarios, Función y Propósito

La sección de cloración de los efluentes sanitarios de la empresa consiste en una bandeja de cloración donde se agrega el cloro (en pastillas) y una cámara de contacto (sección de desinfección). Aquí se recibe el agua sanitaria tratada para luego ser descarga hacia un sumidero de efluentes. Su principal propósito es controlar patógenos orgánicos, a manera de prevenir la propagación de enfermedades hídricas [11].

2.3. Desinfección del Agua

El agua es un recurso natural escaso, indispensable para la vida y para el ejercicio de la mayoría de las actividades económicas. Una de las propiedades esenciales del agua es que puede disolver fácilmente muchas sustancias. El agua que cae a la tierra por la lluvia disuelve una gran variedad de sustancias, partículas y

gases contaminantes presentes en el aire. Cuando el agua de escorrentía fluye por la tierra también disuelve gran cantidad de compuestos como son partículas de arena, materia orgánica, microorganismos y minerales. El agua que se filtra en el suelo y forma las aguas subterráneas como el agua contenida en acuíferos, generalmente tiene una gran cantidad de minerales disueltos, como resultado del contacto con el suelo y las rocas. Las actividades humanas, como son la agricultura y la industria generan gran cantidad de contaminantes que luego se descargan como aguas residuales.

Antes de que el agua llegue a nuestros hogares como agua potable, sea utilizada para algún proceso industrial o sea descargada al ambiente como agua residual, debe someterse a varias etapas de tratamiento como por ejemplo la oxidación, floculación-coagulación, sedimentación y filtración. Para garantizar la seguridad de esta agua, si es para uso doméstico, se aplica la desinfección generalmente en una etapa final del tratamiento [12].

La desinfección es la operación con la cual se consigue controlar el número de microorganismos patógenos no deseados presentes en el agua mediante el uso de desinfectantes químicos y/o físicos. Estos microorganismos pueden afectar la salud humana y necesariamente deben ser eliminados si se está produciendo agua potable, además, pueden afectar equipos en los que el agua va a ser utilizada por lo que deben ser eliminados como una forma de preservar dichos equipos y mantener la eficiencia de su operación.

En el caso de los efluentes líquidos producidos por las industrias, estos deben ser desinfectados antes de su descarga en algún cuerpo de agua receptor para prevenir el riesgo de contraer enfermedades ocasionado por organismos patógenos que pudieran estar presentes aún luego de haber recibido tratamiento completo, así como también la degradación del medio acuático y la alteración de los niveles de calidad exigidos por el Ejecutivo Nacional para preservar y mejorar el ambiente.

Los microorganismos más comunes que se pueden encontrar en aguas a tratar son: bacterias, virus, hongos, algas, protozoos y helmintos. En el caso del tratamiento para agua potable y aguas residuales, es necesario eliminar toda posibilidad de que ésta sea portadora de enfermedades graves tales como las que se muestran en la tabla 2.1.

En el caso de tratamientos para aguas de procesos es necesario eliminar otros tipos de microorganismos:

- **Bacterias del hierro**

Éstas asimilan las sales de hierro (ferroso) disueltas para oxidarlas a sales férricas, precipitando éstas como barros, incrustaciones y tuberculaciones en las líneas de agua principalmente. Ejemplos: *Gallionella*, *Crenothix*, *Sphaerotilus*.

- **Bacterias reductoras del sulfato**

Reducen sulfatos a sulfuros y éste se desprende como sulfuro de hidrógeno. Son casos típicos de procesos anaeróbicos. Ejemplo: *Clostridia*.

- **Bacterias oxidantes del sulfuro**

Oxidan sulfuros a sulfatos. Son casos típicos de procesos aeróbicos.

Otras bacterias comunes en las aguas de enfriamiento son: *Pseudomonas* (aeróbica), *Flavobacterium* (aeróbica), *Aerobacter* (aeróbica), *Desulfovibrio* (anaeróbica) y *Nitrificantes* (convierten el amoníaco en nitrato).

- **Algas**

En torres de enfriamiento, por tratarse de un agua saturada en oxígeno, expuesta a la luz solar y relativamente caliente, el crecimiento de este tipo de microorganismos se ve muy favorecido, lo que provoca que se depositen en los rellenos de estas torres, disminuyendo notoriamente su capacidad y rendimiento. Son introducidas a los sistemas de enfriamiento recirculante por el polvo y sucio que es arrastrado por el aire. Pueden vivir a temperaturas de entre 50 y 60 °C y a temperaturas normales; además, no son muy sensitivas al pH. Ejemplos: *Cyanophyta*, *Diatomeas*, *Chlorophyta*.

- **Hongos**

También en el caso de torres de enfriamiento, con rellenos de madera, los hongos pueden atacar y deteriorar notoriamente dicho material, lo que provoca que disminuya sensiblemente la vida útil del mismo. Son organismos muy sensibles, sin clorofila y se reproducen por esporulación. Viven en la tierra y son inmóviles, pero sus esporas son transportadas por el viento y de esta manera son introducidas a los sistemas de enfriamiento abiertos. Ejemplos: *Ascomicetos*, *Imperfecti*, *Basidiomycetes* [13].

Tabla 2.1. Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables
[14]

AGENTE	ENFERMEDAD CAUSADA
Bacterias	
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis
<i>Leptospira (spp.)</i>	Leptospirosis
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella</i> (2.100 serotipos)	Salmonelosis
<i>Shigella</i> (4 spp.)	Shigelosis (disentería bacilar)
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Salmonella paratyphi A y B</i>	Fiebre paratifoidea
<i>Campylobacter</i>	Gastroenteritis aguda y diarrea
Protozoos	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiasis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amoébrica)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>T. solium</i>	Teniasis
<i>Taenia saginata</i>	Teniasis
<i>Enterobius vericularis</i>	Enterobiasis
Virus	
Virus entéricos (72 tipos, por ejemplo los virus <i>echo</i> y <i>coxsakie</i> del polio)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis
Virus hepatitis A y E	Hepatitis A y E

Tabla 2.1. Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables (continuación) [14]

AGENTE	ENFERMEDAD CAUSADA
Agente de Norwalk	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

2.3.1. Mecanismos de la Desinfección del Agua

El mecanismo de la desinfección del agua consiste en provocar daño o destrucción de la pared celular de los microorganismos, o cambios en la permeabilidad de la célula, cambios en la actividad del protoplasma celular o actividad enzimática (debido al cambio estructural de las enzimas). Estos problemas en la célula evitan la multiplicación de los microorganismos. Los desinfectantes también provocan la oxidación y destrucción de la materia orgánica que son generalmente nutrientes y fuente de alimentación de los microorganismos [15].

2.3.2. Desinfectante Ideal

Se considera desinfectante ideal aquel agente químico o físico que asegure una completa destrucción de los microorganismos que se proponen eliminar, afectando lo menos posible el agua que se está tratando, los seres vivos y los equipos que estarán en contacto con ésta, el ambiente y que se obtenga a un costo razonable.

Entre otras consideraciones se pueden detallar las siguientes:

- Debe destruir toda clase y cantidad de microorganismos que puedan introducirse en las aguas que se han de tratar, en un lapso razonable, dentro de una amplia

gama de temperaturas y que no se vea afectado por posibles fluctuaciones en la composición, concentración y condición de las aguas a tratar.

- En las concentraciones requeridas no debe ser tóxico al hombre y otros seres vivos, y tampoco debe tener sabor.
- Debe ser aplicable a un costo razonable, seguro y fácil de almacenar, manipular, transportar y aplicar.
- Su concentración en el agua debe ser fácil, rápida y automáticamente medible. Estos ensayos deben ser exactos, precisos y reproducibles.
- Debe persistir en el agua con una concentración suficiente que asegure un efecto residual.

2.3.3. Clasificación de los Desinfectantes

En general los desinfectantes pueden ser clasificados en agentes físicos y químicos. Una clasificación con más detalle es la que sigue:

2.3.3.1. Físicos

A. Calor

El agua caliente a la temperatura de ebullición, por ejemplo, destruye las principales bacterias causantes de enfermedades y no formadoras de esporas. El calor se suele emplear con frecuencia en las industrias lácticas y de bebidas, pero su aplicación al agua residual no es factible debido al alto costo en su aplicación.

Las células vegetativas mueren entre 60 - 70 °C, mientras que las esporas requieren 120 °C. A mayor temperatura más rápidamente mueren los

microorganismos. Cuanto mayor es el tiempo de contacto mayor es el número de microorganismos que mueren [13].

B. Radiación

Se pueden utilizar radiaciones ionizantes o no ionizantes para la desinfección de aguas. Cuanto más intensa sea la radiación, más efectiva será la eliminación de microorganismos.

Las radiaciones ionizantes (rayos X y rayos γ) son letales para los microorganismos, pero resulta difícil trabajar con ellas por ser nocivas y costosas. Este proceso está experimentando actualmente un cierto desarrollo para la desinfección de aguas residuales urbanas. No existen equipos específicos para el tratamiento de agua por radiación gamma o X, los que existen están basados en las emisiones de bombas de cobalto, las cuales son bastante complicadas y su operación si bien no es difícil, requiere personal especialmente capacitado.

Cualquier radiación está caracterizada por una longitud de onda particular. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda, lo que significa que a menor longitud de onda mayor frecuencia; y es casi intuitivo que una mayor frecuencia está asociada con una mayor fuerza o energía. De hecho así es, y siendo las radiaciones γ y X de mayor frecuencia que la ultravioleta, su energía es mayor, por lo tanto, su capacidad bactericida es mejor que la de esta radiación.

Se han reconocido dos mecanismos de desinfección por radiación: uno donde la potencia de la radiación daña el ADN del microorganismo y el segundo donde el choque de aquella contra algunos átomos de oxígeno componentes de la célula genera ozono y otros radicales que la perturban hasta su aniquilación.

Al igual que con las radiaciones ultravioletas, no se presentan problemas sanitarios ni formación de subproductos con las radiaciones X y γ .

Dadas sus pocas posibilidades de ser una técnica de uso extendido no se han hecho estudios comparativos entre las diferencias de desinfectar comestibles y agua. Sin embargo, no hay duda de que si se implementara esta técnica ahora, sus costos serían muy superiores a los métodos de desinfección más tradicionales y extendidos [16].

La luz solar también es un buen desinfectante, especialmente la radiación ultravioleta, la cual es una radiación no ionizante y es el agente más común por su fácil y segura manipulación.

Los rayos ultravioletas producidos por lámparas especiales de vapor de mercurio a muy baja presión trabajan, por lo general, a longitudes de onda entre 200 y 300 nm, correspondiendo la máxima acción microbicida a unos 250 nm. Esta longitud de onda penetra la pared celular de los microorganismos y es absorbida por los materiales celulares, incluidos el ADN y ARN, lo cual puede impedir la reproducción o producir directamente la muerte de la célula.

En la esterilización de pequeñas cantidades de agua, el empleo de lámparas especiales ha resultado exitoso. La eficacia de este proceso depende de la penetración de los rayos en el agua. Debido a que solo son efectivos los rayos ultravioletas que alcanzan a las bacterias, es conveniente que el agua esté libre de turbiedad y color, desprovista de hierro, de coloides orgánicos o de microorganismos planctónicos, ya que podrían absorber la radiación y actuar como escudo de las bacterias, además pueden formar sedimentos sobre los tubos del equipo. Se ha comprobado que esta clase de radiación no constituye un desinfectante efectivo para aguas residuales que presentan altas concentraciones de sólidos.

Puesto que no se trata de un agente químico, la radiación ultravioleta no produce residuos tóxicos. No obstante puede provocar la alteración de determinados compuestos químicos. Existe la idea general de que tales compuestos se degradan a formas más inocuas, pero es preciso ahondar más en el conocimiento de este tema. Por lo tanto, actualmente, es preciso considerar que la desinfección mediante radiación ultravioleta no tiene efectos positivos ni negativos sobre el medio ambiente [17].

C. Filtración

Los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de medios granulares (por ejemplo: arena) que retiran los contaminantes. Su eficacia varía considerablemente, pero estos sistemas se pueden utilizar para corregir problemas de turbidez, color, sabor y olor, así como también tratamiento para eliminar *Giardia* y *Cryptosporidium*, bacterias y virus.

Dentro de los sistemas de filtración se encuentran la filtración convencional, directa, filtración con tierra diatomea, lenta con arena, filtración con bolsa o cartucho, filtración de cerámica y filtración biológica con arena. Estos sistemas de filtrado incluyen procesos como el tamizado mecánico, floculación, coagulación, sedimentación, absorción y, en particular, en filtros de arena lentos, los procesos bioquímicos [18].

La filtración lenta en arena (FLA) es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo. Copia el proceso de purificación que se produce en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos. El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la

turbiedad del agua, pero si se diseña y opera convenientemente puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua.

A diferencia de la filtración rápida en arena, en la que los microorganismos se almacenan en los intersticios del filtro hasta que se vierten nuevamente en la fuente por medio del retrolavado, la FLA consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruyen los microorganismos patógenos del agua. Constituye una tecnología limpia que purifica el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente. Básicamente, un filtro lento consta de una caja o tanque que contiene una capa sobrenadante del agua que se va a desinfectar, un lecho filtrante de arena, drenajes y dispositivos de regulación y control.

El filtro lento se caracteriza por ser un sistema sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento de agua. Comparado con el filtro rápido, requiere de áreas más grandes para tratar el mismo caudal y, por lo tanto, tiene mayor costo inicial. Sin embargo, su simplicidad y bajo costo de operación y mantenimiento lo convierte en un sistema ideal para zonas rurales y pequeñas comunidades, teniendo en cuenta además que los costos por área de terreno son comparativamente menores en estas zonas.

La filtración lenta, como se ha mencionado, es un proceso que se desarrolla en forma natural, sin la aplicación de ninguna sustancia química, pero requiere un buen diseño, así como una apropiada operación y cuidadoso mantenimiento para no afectar el mecanismo biológico del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbiológica.

Los subproductos del proceso de filtración lenta son sustancias naturales de degradación biológica sin ningún riesgo para la salud, ya que el proceso no requiere sustancias químicas que reaccionen con la materia disuelta en el agua. En tal sentido, los subproductos de la filtración lenta son dióxido de carbono y sales relativamente

inocuas, como sulfatos, nitratos y fosfatos, además de un contenido bajo de oxígeno disuelto.

Dada la sencillez de la filtración lenta, solo se requiere un equipo de bombeo cuando es necesario elevar la carga hidráulica para que el agua llegue hasta el filtro. Por otro lado, la calidad del agua cruda determina el uso de otras instalaciones adicionales al filtro lento a fin de adecuar la calidad del agua cruda a las condiciones de operación del filtro.

Las tareas rutinarias de operación comprenden los ajustes y medición del caudal, monitoreo de la calidad del agua producida, limpieza de la superficie de la arena que se efectúa por “raspado” de la porción superior del filtro (aproximadamente 5 cm de arena), lavado y almacenamiento de la arena y la posterior reconstrucción del lecho filtrante. Este periodo entre limpiezas, llamado “carrera”, es variable. A veces puede ser necesario realizarla cada tres o cuatro semanas y en otras circunstancias, pasados muchos meses. Cada cinco años debe hacerse un lavado completo del filtro.

En cuanto al monitoreo, los sistemas de filtración lenta requieren para su control un programa de monitoreo mínimo, el cual deberá considerar la toma de muestras de agua cruda y tratada para constatar la calidad de la materia prima que está ingresando al sistema y la del producto final obtenido.

La FLA tiene ventajas y desventajas que se mencionan a continuación [19]:

- **Ventajas de la Filtración Lenta**

- La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad. El filtro lento sin controlador de velocidad y con controles de nivel mediante vertederos es muy

sencillo y confiable de operar con los recursos disponibles en el medio rural de los países en desarrollo.

- No hay cambios organolépticos en la calidad del agua.
- Las comunidades aceptan el agua tratada por la FLA.

○ **Desventajas de la Filtración Lenta**

- El filtro lento, sin pretratamiento, no debe operar con aguas de turbiedad mayor de 20 ó 30 NTU; esporádicamente se pueden aceptar picos de 50 a 100 NTU.
- La eficiencia de esta unidad se reduce con la temperatura baja.
- La presencia de biocidas o plaguicidas en el afluente pueden modificar o destruir el proceso microbiológico en el que se basa la filtración lenta.

2.3.3.2. Químicos

Se debe considerar sucesiva o simultáneamente una serie de mecanismos, del tipo de:

- Daño a la pared celular: cuando la pared celular es dañada, el protoplasma liberado soporta menos el ataque del medio. La lisozima ataca la pared de las bacterias, degradándola. La penicilina impide la síntesis de nueva pared en las células en crecimiento.
- Alteración de la permeabilidad de la membrana: la membrana celular es selectiva y regula el transporte a través de ella. Si se altera la permeabilidad puede haber vaciamiento de la célula.

- Ocupación de centros activos de la membrana celular: puede haber sustratos análogos a los de algunas enzimas que la enzima confunde y se interrumpe la síntesis.
- Alteración de la característica coloidal de la membrana: al producirse la coagulación de las proteínas del protoplasma se consigue la muerte celular.
- Inhibición de actividades enzimáticas: se realiza sobre los grupos sulfhidrido de las enzimas por parte de metales pesados o por oxidación.

A. Oxidantes

- **Halógenos (Cl₂, Br₂, I₂)**

- **Yodo (I₂)**

El yodo pertenece a la familia de los halógenos y a temperatura ambiente es sólido. Tiene baja solubilidad en el agua y es la sustancia menos agresiva de su familia. Es un agente germicida usado bajo forma de solución alcohólica o como iodoformo. Tiene una buena acción contra las esporas. Interacciona con enzimas.

A diferencia del cloro y el bromo, sustancias que no producen problemas cuando se ingieren en las concentraciones normales que se encuentran en el agua, el yodo sí presenta problemas por sí mismo. En realidad, la preocupación cuando se utiliza el yodo no está tanto en los subproductos de desinfección (SPD), sino en su misma acción. Si bien el yodo es indispensable para la síntesis de las hormonas de la tiroides, no está claro qué ocurre cuando se suministra en el agua de consumo con eventuales excesos.

En el mundo se han registrado numerosos casos de “yodismo”, lo que puede definirse como una reacción alérgica de las personas hipersensibles al yodo cuando

las dosis consumidas son mayores que las requeridas diariamente. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), “el consumo de agua yodada no aparenta haber causado efectos adversos en la salud humana, a pesar de que se han observado algunos cambios en el estado de la glándula tiroides”.

Asimismo, la OMS expresa en las Guías OMS para la calidad del agua de bebida, volumen 2, que: “existe poca información relevante sobre los efectos del yodo”. Y agrega que: “debido a que el yodo no es recomendado para la desinfección del agua por largos períodos de tiempo, la exposición al mismo a partir de la ingesta de agua de bebida es poco probable” [16].

Al igual que los otros miembros de su familia, esta sustancia produce SPD. Sin embargo, debido a su menor potencial de oxidación y menor reactividad, ésta genera menos trihalometanos (THM) que los otros.

Al igual que el cloro y el bromo, una vez disuelto en el agua el yodo forma el hipo-ácido correspondiente (en este caso el hipoyodoso) HOI. Sin embargo, dependiendo del pH, una parte (que puede ser considerable), permanece en el agua como I_2 .

Cabe destacar que el ión hipoyodito no es un buen desinfectante, pero que tanto el I_2 como el ácido hipoyodoso sí lo son y además presentan características microbicidas muy deseables. Ambos son buenos bactericidas y destruyen inclusive esporas, quistes y virus.

Cuando se utiliza yodo como desinfectante de emergencia y en volúmenes pequeños, las dosis son mayores que las que se emplean en la desinfección de sistemas de agua. En estos casos es común utilizar soluciones desde 1 hasta 8 mg/l, con tiempos de contacto de 30 minutos como mínimo. Cuando se utiliza tintura de

yodo, que se prepara con una concentración de 2 %, se recomienda una dosis de dos gotas por litro de agua a desinfectar.

El yodo puede ser adicionado al agua pasando una corriente de vapor a través de un manto de cristales de la sustancia y disolviendo luego el vapor en agua. Sin embargo, el método más recomendado es el de preparar una solución saturada pasando una corriente de agua por un lecho también de cristales de yodo y luego dosificarlos con una bomba de diafragma convencional.

Para monitorear el yodo en el agua existen dos métodos, el más utilizado es la titulación amperométrica y el segundo es la espectrofotometría utilizando como reactivo la N,N dimetilanilina o leuco cristal violeta (LCV). Si bien no son métodos complicados, requieren cierto nivel de capacitación de los operadores o químicos de planta para realizar estas pruebas.

Como en el caso del bromo, a igualdad de una serie de parámetros de operación (equipos, sencillez, fácil manejo, etc.), tanto el costo (10 a 20 veces mayor) y la dificultad en obtenerlo en zonas alejadas en los países en desarrollo lo hacen muy poco competitivo con el cloro y sus derivados.

Entre las ventajas de la desinfección con yodo se encuentra la sencillez del sistema. Sin embargo, el uso del yodo durante períodos prolongados para la desinfección del agua ha sido debatido por muchos organismos de salud, principalmente en relación con los efectos fisiológicos que el yodo puede ejercer en personas sensibles a esta sustancia. Y aunque no ha habido pruebas contundentes ni información amplia ni confirmada, al tomar la decisión de implementar o no la yodación como método de desinfección se deben tomar esas consideraciones por encima de los costos superiores, que también son razones contundentes. Su facilidad

de manejo, en cambio, lo convierte en una buena opción para la desinfección en casos de emergencia.

- **Bromo (Br_2)**

Siendo de la familia de los halógenos, el bromo es muy parecido y actúa también en forma semejante al cloro: una vez disuelto en el agua produce ácido hipobromoso (HOBr) un primo hermano del ácido hipocloroso (HOCl). El poder de desinfección del HOBr es muy alto, aunque ligeramente menor que el del hipocloroso.

La ventaja del uso del bromo es que a temperatura ambiente es líquido, lo que lo hace más simple de manipular y dosificar que el cloro. Hay que destacar, sin embargo, que la sustancia como tal es corrosiva y agresiva, por lo que su manejo también requiere de mucho cuidado. Además, la disponibilidad del bromo en cualquier país o ciudad no se compara con la fácil adquisición del cloro.

El bromo se vaporiza con mucha facilidad y los gases son muy agresivos, por lo que se debe evitar su inhalación. Hay que destacar que al igual que el cloro, tanto éste como el bromo no parecen indicar ningún potencial cancerígeno. El agua clorada y el agua bromada no son cancerígenas. Pero el bromo al igual que el cloro, forma trihalometanos y si hay presencia de ácidos fúlvicos y de amoníaco en el agua cruda, entonces formará bromoformo. Éste es el riesgo, pues estos compuestos sí son cancerígenos y al igual que muchos otros SPD son motivo de preocupación.

Como se ha mencionado, el HOBr actúa de manera similar al HOCl ; esto es, penetrando las membranas de las células de los microorganismos. Una vez dentro de la célula, su sola presencia parece “desorganizar” la estructura de aquellos pero

atacan también reaccionando con grupos sulfhidrilos, inactivando enzimas y deteniendo el proceso metabólico, lo que lleva a la muerte del microorganismo.

Al ser líquido, el bromo se dosifica por medio de una bomba de diafragma o pistón y sus requerimientos operativos como las medidas de seguridad son semejantes a las usadas y descritas para el cloro.

En cuanto al monitoreo, no existe una prueba específica para el bromo. En análisis de rutina y aunque el método está sujeto a interferencias, se utiliza el método de la orto-tolidina, tal como se emplea en la determinación de cloro.

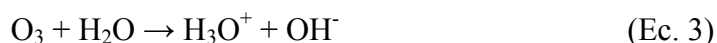
Como se ha indicado, el bromo actúa en el agua de forma similar al cloro y podría haber sido tan popular como este último si no fuera por las diferencias de costo. A igualdad de equipos dosificadores, se estima que la bromación es cinco veces más cara que la cloración y a eso hay que sumarle la difícil disponibilidad del bromo.

La desinfección con bromo presenta casi todas las ventajas de la cloración, pero tiene dos grandes desventajas frente a éste: su costo mucho más elevado y la dificultad para adquirirlo en cualquier comunidad, sobre todo en aquellas alejadas y menores de los países en desarrollo [16].

○ **Ozono (O₃)**

El ozono (O₃) es una variedad alotrópica del oxígeno, de fórmula O₃. Es un gas de color azul de gran poder oxidante y un eficaz desinfectante primario. Esta molécula rica en oxígeno se bombea en sistemas de agua para eliminar contaminantes biológicos como bacterias, virus, *Giardia*, *Cryptosporidium* y químicos orgánicos. Además, es eficaz para la oxidación y eliminación del hierro, azufre, manganeso y

otras sustancias inorgánicas. Debido a que el ozono es oxígeno puro no produce sabores ni olores residuales en el agua. En el tratamiento de las aguas residuales, el ozono también se puede emplear para el control de olores y para la eliminación de materia orgánica soluble refractaria, sustituyendo el proceso de adsorción con carbón activado. Algunas de las propiedades químicas del ozono se pueden ilustrar basándose en sus reacciones de descomposición, que se entiende que tienen lugar de acuerdo con las siguientes expresiones [20]:



Los radicales libres que se generan, el HO_2 y el HO , tiene gran poder oxidante, y son los probables responsables de la acción desinfectante del proceso. Estos radicales libres también tienen suficiente capacidad oxidante como para hacer reacción con otras impurezas presentes en las soluciones acuosas.

El ozono es un oxidante extremadamente reactivo, y está ampliamente aceptado que la destrucción de las bacterias por ozonación se produce directamente debido a la desintegración de la pared celular (lisis celular). El ozono también es un virucida muy efectivo y, asimismo, se entiende que su efectividad es superior a la del cloro. La ozonación no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ión amonio ni por el pH del agua que entra en el proceso de desinfección.

El gas de ozono es inestable y se revierte rápidamente a una molécula normal de oxígeno (O_2) con dos átomos en vez de tres. Debido a esta condición, no se puede

almacenar o transportar con facilidad. Por el contrario, las instalaciones de tratamiento se ven obligadas a crear un proceso de generación en sitio. El método de generación de ozono más eficaz del que se dispone en la actualidad es la generación por descarga eléctrica. El ozono se genera a partir del aire, o de oxígeno puro, al hacer circular una corriente de alto voltaje entre dos electrodos separados por un espacio muy pequeño. La corona de alta energía que se produce con este sistema permite disociar una molécula de oxígeno para, al juntarse con otras dos, producir dos moléculas de ozono. La corriente de gas que se produce en el proceso puede contener entre 0,5 y 3 % de ozono si se trabaja con aire, y aproximadamente el doble si se trabaja con oxígeno puro, entre 1 y 6 %.

Infortunadamente, no produce protección residual duradera. Si es necesario almacenar el agua por períodos prolongados, o si debe distribuirse a grandes distancias, quizá sea necesario agregar a la ozonización un tratamiento residual duradero como el cloro o las cloraminas.

Al contrario de lo que sucede con los demás agentes desinfectantes estudiados, los efectos del ozono sobre el ambiente son esencialmente beneficiosos. Existe información que indica que el ozono puede ser un tóxico agudo para la vida acuática. No obstante, dado que el ozono se disipa muy rápidamente, normalmente no es de esperar que exista cantidad de ozono residual en el efluente en el momento de ser descargado a los cuerpos de agua receptores. Algunas investigaciones han concluido que el ozono puede producir algunos compuestos tóxicos mutagénicos o carcinógenos. No obstante estos compuestos son inestables, y su presencia en el agua ozonada sólo se prolongaría por espacio de unos minutos. Por lo tanto no es de suponer que estos compuestos estuvieran presentes en el efluente en el momento de la descarga a los cuerpos receptores de agua.

Ciertas investigaciones han concluido que el ozono colabora en la destrucción de determinadas sustancias refractarias nocivas como el ácido húmico (precursor de la formación de trihalometano) y el malatión. La formación de subproductos tóxicos durante la ozonación depende de la dosis de ozono, del tiempo de contacto y de los compuestos inicialmente presentes. Existen informaciones que indican que la ozonación previa al proceso de desinfección por cloración reduce la posibilidad de formación de trihalometano.

Otra de las ventajas que se deriva del empleo de ozono para la desinfección es que se elevará la concentración de oxígeno disuelto del efluente, hasta valores cercanos a la concentración de saturación. Este hecho puede permitir no tener que reairear el efluente para cumplir con las limitaciones normativas de calidad del efluente relacionadas con la concentración de oxígeno disuelto. Es más, debido a que el ozono se descompone rápidamente, no queda en el efluente ningún compuesto químico residual que precise ser eliminado, como ocurre con el cloro residual.

Los sistemas de ozono se utilizan en varias regiones del mundo; pero requieren de bastante infraestructura, y su implementación puede tener un costo elevado. Además, la operación y mantenimiento de estos sistemas requiere de personal tecnificado que quizá no esté disponible en todas las regiones.

○ **Permanganato de Potasio (KMnO₄)**

Este reactivo, relativamente costoso (2,5 a 3 veces más caro que el cloro) se utiliza en algunos países sobre todo en pretratamiento, para la eliminación de manganeso en solución en el agua. Su acción frente al hierro y el manganeso es más eficaz que la del cloro, siendo independiente del contenido de estos dos metales en el agua.

El permanganato potásico, debido a su escasa eficacia, no se utiliza como desinfectante en estaciones de tratamiento de agua. Sin embargo, se emplea a veces, a pesar de la dificultad que presenta su disolución, para la desinfección, antes de poner o volver a poner en servicio depósitos y tuberías de distribución, con una dosis de 30 g/m³ y un tiempo de contacto de 24 horas como mínimo [20].

B. Iones metálicos

Actúan por inhibición de enzimas uniéndose a grupos sulfhidrilos.

- **Plata**

La mayoría de los metales presenta la propiedad llamada “oligodinamia” que significa “efecto o poder en pequeña cantidad”. Metales como la plata, el cobre, el mercurio, el manganeso y el hierro, entre otros, son potenciales desinfectantes del agua. Sin embargo, de todos ellos y por variadas razones, sólo la plata ha tenido algún uso en la desinfección del agua para consumo humano y como tal ha sido utilizada desde la antigüedad.

La plata no es particularmente tóxica para los seres humanos y al ser ingerida, el cuerpo absorbe solo fracciones muy pequeñas de ella. En ciertos tratamientos médicos que usan dosis altas del metal se ha detectado descoloramiento de la piel, pelo y uñas (argirosis), pero en las concentraciones que se utilizan para desinfectar el agua, no se ha observado ese inconveniente. La OMS no ha propuesto un valor guía para la plata en el agua de bebida, precisamente por esa relativa seguridad que manifiesta. En el tratamiento con plata no se producen sabores, olores ni colores anormales en el agua. Tampoco hay formación de SPD.

La plata sólo tiene propiedades desinfectantes en su estado coloidal, esto es cuando se presenta en partículas extremadamente pequeñas que permanecen en

suspensión y que por su tamaño se cargan eléctricamente con mucha facilidad. En ese estado también es conocida como proteína de plata, sales de plata, proteína de plata ligera y proteína de plata fuerte. Las sales que se utilizan son: cloruro de plata y yoduro de plata.

La plata en su forma coloidal no elimina a los virus, pero se considera de gran eficacia para destruir diversas bacterias. El mecanismo de desinfección actúa por la inactivación de las enzimas de las células bacterianas y hongos que usan oxígeno para su metabolismo, pues causa una disrupción celular, aunque en tiempos muy variables y dependientes de la temperatura. Al respecto, a temperatura de 10 °C o menores se requieren tiempos muy largos, lo que hace difícil determinar el poder germicida con exactitud. La plata coloidal puede permanecer largo tiempo en el agua, pero debido a esa lentitud en las reacciones de eliminación de materia orgánica, se considera que la plata no posee un buen poder residual. Las dosis recomendadas para una alta eficiencia germicida están en el rango de 25 a 75 microgramos de plata por litro (0,025 – 0,075 µg/L).

En la desinfección con plata se emplean tres métodos. El primero o “de contacto” requiere hacer pasar el agua a través de dispositivos saturados de plata, como tanques con paredes y pantallas recubiertas con pinturas especiales que la contienen. El segundo método consiste en dosificar soluciones de plata de baja concentración de la misma forma como se hace con las soluciones de cloro y empleando equipos y dosificadores similares. El tercer método, el electrolítico, parece ofrecer el procedimiento más práctico para usar la plata. Hace uso de un número de electrodos de plata conectados al polo positivo (ánodo) de una fuente eléctrica de bajo poder. Un electrodo inerte se usa como polo negativo, donde se produce y libera hidrógeno. Por electrólisis, los iones de plata son liberados por los electrodos dentro

de la corriente de agua a ser tratada en proporción a la corriente suministrada. Esto es muy apropiado, pues mediante la variación de la corriente, se varía la dosificación.

El método electrolítico solamente se emplea en pequeños sistemas de abastecimiento de agua. Desde el punto de vista práctico y seguro, se precisa de cierto nivel de automatización y complejidad en el sistema de control, que debe tener sensores para verificar la correcta desinfección. Esto simplemente no se puede hacer en forma manual. También es recomendable tener una conexión a una válvula solenoide que pueda cortar automáticamente el flujo de agua en cualquier momento que el sistema no pueda producir la dosificación adecuada.

En lo que respecta al monitoreo, no hay una prueba simple para la medición del contenido de plata en el agua y la que se aplica presenta un considerable error de exactitud. El método más efectivo es la dosificación del agua con cantidades controlables de plata; es decir, el control se efectúa básicamente en la dosificación y no en el control analítico después de la misma.

El costo de la pintura no es excesivamente alto, pero este método es el menos apropiado. Para una pequeña población, la dosificación de una solución requiere los equipos ya mencionados para el cloro, en donde la gama de bombas dosificadoras de diafragma es muy variable y los costos no son elevados. El costo de las soluciones, en cambio, es más elevado y en todo caso notoriamente más alto que las soluciones equivalentes de cloro con igual capacidad bactericida.

Para los pequeños sistemas, los equipos electrolíticos presentan costos considerables. El costo final depende del tamaño, del caudal a desinfectar y de los equipos auxiliares. En lo que respecta al costo de operación de estos últimos equipos, además del costo de la solución de plata, debe considerarse el costo de la energía eléctrica. En lo que respecta al mantenimiento, éste también es de consideración

porque el reemplazo de los electrodos es relativamente frecuente, puesto que son la única fuente de iones de plata y se gastan relativamente rápido.

Las aparentes virtudes de la plata para el tratamiento del agua son que no produce sabor, olor ni color en el agua tratada y no hay formación de productos adicionales. Es una metodología muy simple y fácil de manejar en las áreas rurales del mundo en desarrollo. Por ello puede ser utilizada en los planes de desinfección del agua en el nivel familiar.

Su desventaja es que resulta difícil controlar la dosificación por falta de un método simple de análisis de laboratorio. La segunda desventaja, y esta ha sido históricamente una barrera casi infranqueable, es que los costos de producción son altos. Tanto el método electrolítico donde los electrodos necesarios para producir los iones de plata se desgastan relativamente rápido, como la dosificación de plata coloidal son de alto costo. Se estima que el costo de la desinfección con plata resulta 200 a 300 veces superior al costo de la cloración [16].

- **Cobre**

El ión cúprico es fuertemente bacterioestático (inhibidor) pero relativamente ineficaz como bactericida (destruir) y casi totalmente ineficaz para las esporas. Otra desventaja del cobre es su tendencia a precipitar en aguas ligeramente alcalinas, perdiendo así su efectividad. Los iones de cobre, al reaccionar con los iones del agua, hacen que se forme un compuesto coloidal que atrae y fija las partículas en suspensión (orgánicas e inorgánicas) y forma flóculos que después serán retenidos por los filtros.

La actividad antibacteriana del cobre está limitada a los *Staphylococcus* y *Streptococcus* (Gram⁺). Los compuestos a base de cobre y en particular el sulfato de

cobre son sobre todo dotados de propiedades antifúngicas. El cobre es activo sobre los hongos como *Trichophyton interdigital* o *Trichophyton gypseum*. El cobre es inactivo contra otros hongos filamentosos como *Aspergillus niger*. Pinturas compuestas por partículas de zinc y cobre previenen el crecimiento de los microbios [21].

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha aprobado el registro de aleaciones de cobre antimicrobiano, afirmando que beneficia la salud pública. Dichas afirmaciones reconocen que el cobre, latón y el bronce son capaces de destruir bacterias dañinas y potencialmente mortíferas. Es un excelente alguicida y se usa frecuentemente cuando hay infección de algas en cursos de agua que van a ser usados para potabilización.

La efectividad del sistema no depende de la temperatura del agua. Cuando se ocupa la ionización se requiere menos mantenimiento, los iones no son corrosivos, esto causa menos estrés al sistema de distribución. La generación de los iones de cobre en el lugar se traduce en que no se requiere mantener almacenados químicos ni transportarlos. La efectividad de la ionización depende del pH, a pH 9 solo un 10% de la efectividad se alcanza. Para matar en forma efectiva a los microorganismos los iones cobre deben estar presentes en todo el sistema acuático. Cuando el sistema es poco utilizado o el flujo de agua es muy pequeño produce problemas para la desinfección [21].

C. Ácidos y álcalis

Se considera que no hay microorganismo que sobreviva por debajo de pH = 3 y por encima de pH = 11. Estos compuestos actúan alterando la permeabilidad y coagulando las proteínas. En general los ácidos son más eficaces que los álcalis.

Los ácidos inorgánicos (por ej., el ácido nítrico, clorhídrico, fosfórico y sulfúrico) se utilizan como limpiadores. Poseen propiedades desinfectantes debido a su bajo pH, pero por lo general actúan lentamente. Son limpiadores muy eficaces, aunque poseen limitaciones muy estrictas debido a su capacidad de corrosión tanto para la piel como para los materiales.

Además, muchos ácidos orgánicos (por ej., el ácido fórmico, cítrico, láctico, málico, glutárico y propiónico) han sido utilizados en formulaciones para exaltar las propiedades fungicidas y viricidas de otros desinfectantes. Su actividad se incrementa sustancialmente en presencia de detergentes aniónicos del tipo del sulfonato o éter sulfato, propiedad que ha sido utilizada en un gran número de productos sanitarios.

El ácido acético y el ácido benzóico actúan a través de la acción de la molécula sin disociar. El ácido acético posee un olor penetrante y acre pero se ha utilizado como desinfectante en limpiadores y en combinación con algunas formulaciones fenólicas; es un componente que forma parte del ácido peracético. El ácido benzóico por lo general se utiliza como preservativo en la industria de bebidas.

El hidróxido sódico y potásico han sido utilizados extensamente por sus propiedades limpiadoras en la industria lechera y alimentaría. Poseen propiedades microbicidas, igual que buenas propiedades desengrasantes y separadora de detritos, aunque su actividad es lenta. La actividad de estos productos se incrementa cuando se aumenta la temperatura, debiendo ser manipulados con mucha precaución. Se utilizan intensamente en los sistemas de limpieza, por lo general seguidos de una neutralización ácida [13].

D. Tensoactivos

Los agentes tensoactivos son sustancias que se caracterizan por ser adsorbidas en las interfases agua-aceite a causa de sus grupos hidrófilos (“amantes del agua”) o polares, y de sus grupos lipófilos (“amantes del aceite”) o no polares. Como consecuencia de esta orientación en la interfase agua-aceite, las moléculas del agente superficial forman una especie de "puente" entre las fases polar y no polar, haciendo así que la transición entre ambas sea menos brusca. Se clasifican en:

- **Catiónicos:** sales de amonio cuaternarias. Son mejores desinfectantes que los demás. Son bacteriostáticos a bajas concentraciones y bactericidas a concentraciones mayores. Estos compuestos no matan esporas. Se usan como antisépticos para la piel y para el saneamiento de lecherías y plantas elaboradoras de alimentos. Tienen mayor actividad a pH alcalino y los Gram⁺ son más susceptibles.
- **Aniónicos:** jabones y ácidos grasos. Tienen mayor actividad a pH ácido y son eficaces contra Gram⁺. Se emplean principalmente para la limpieza de superficies.
- **Anfóteros:** actúan como catiónicos o aniónicos según el pH.

Los agentes tensoactivos han encontrado aplicación práctica como agentes mojadores o humectantes, dispersantes, defloculantes, detergentes, emulsificadores, suspensores y solubilizantes. Su acción desinfectante se basa en la alteración de la permeabilidad de la membrana celular [13].

E. Alcoholes

Los alcoholes actúan desnaturalizando las proteínas, disolviendo las capas lipídicas y como agentes deshidratantes. Lesionan la membrana celular de los microorganismos y desnaturalizan proteínas celulares. Desorganizan la estructura fosfolipídica.

No destruyen esporas y tienen una acción germicida lenta. El poder bactericida aumenta a medida que crece la longitud de la cadena carbonada, pero los alcoholes con peso molecular superior al del propílico (3C) no se mezclan en todas las proporciones con el agua, no se utilizan como desinfectantes.

Los más utilizados son el etanol e isopropílico. El alcohol metílico es menos bactericida que el etílico y además es altamente tóxico. El etanol al 96 % se usa como antiséptico de la piel y como desinfectante en los termómetros clínicos orales y algunos instrumentos quirúrgicos. Se utilizan en concentraciones del 50 al 70 % [13].

F. Aldehídos

Son agentes alquilantes que actúan sobre proteínas, lo que provoca modificación irreversible de enzimas e inhibición de la actividad enzimática. Algunos aldehídos poseen un amplio espectro de actividad frente a las bacterias, hongos, micobacterias, esporas y virus. El formaldehído es, entre ellos, el mejor conocido, y seguramente el más introducido en la desinfección, de entre todas estas sustancias. Ha sido ampliamente utilizado en preparaciones líquidas (en Alemania, por ejemplo, el 30% de los desinfectantes utilizados en veterinaria son aldehídos). Ha sido utilizado como fumigante, mediante ebullición en soluciones de formalina, o produciendo gas formol mediante la reacción de formalina con permanganato potásico o también calentando paraformaldehído.

El glutaraldehído es al menos tres veces más activo que el formaldehído, pero carece de estabilidad química en soluciones concentradas. Ha sido ampliamente utilizado en solución para la esterilización química de instrumental médico (por ej., endoscopios). El glioxialdehído, glicidaldehído y succindialdehído han sido utilizados también en algunas preparaciones, pero por lo general son menos eficaces que el glutaraldehído.

Todos los aldehídos mencionados antes pueden operar en condiciones de fuerte contaminación con materia orgánica. Todos actúan lentamente, con un exponente de concentración bajo. Oxidan lentamente y son escasamente reactivos con otras sustancias químicas. Es preciso tener mucha precaución en las formulaciones en las que se incorporan aldehídos, con el fin de evitar estos problemas. Todas estas sustancias son potencialmente peligrosas por vía respiratoria [13].

G. Fenol y sus compuestos

Los fenoles son derivados de carbón - brea. Tienen un olor característico y se vuelven lechosos en el agua. Los fenoles son muy efectivos contra los agentes bacterianos y son también efectivos contra hongos y muchos virus. Las esporas son mucho más resistentes al fenol. Ellos también retienen más actividad en la presencia de material orgánico que los desinfectantes compuestos por yodo o cloro.

Son desinfectantes que provocan lesiones en la membrana citoplasmática porque desordenan la disposición de las proteínas y fosfolípidos. Esto causa filtración de compuestos celulares, inactivación de enzimas y lisis. Una solución acuosa al 5% de fenol mata rápidamente a las células vegetativas de los microorganismos.

El fenol no es usado a menudo como desinfectante por su olor desagradable, por ser muy irritante y por el residuo que queda luego de tratar las superficies. El fenol ha sido reemplazado por compuestos fenólicos, menos tóxicas y más activas frente a los microorganismos. Los más utilizados son el hexaclorofeno (compuesto difenílico) y los cresoles (alquil fenoles). Son muy efectivos a bajas concentraciones contra formas vegetativas de bacterias [13].

2.3.4. La Cloración Como Sistema de Desinfección del Agua

Existen muchos tipos de desinfectantes o sistemas para desinfectar el agua de consumo, pero ninguno es perfecto. Todos tienen ventajas e inconvenientes. Pueden no eliminar todos los tipos de microorganismos, pueden producir subproductos indeseables en el agua tratada, su utilización puede no ser viable por motivos de infraestructura y de instalaciones necesarias, o incluso puede ser prohibitiva económicamente.

En todo el mundo, el mecanismo de desinfección más aplicado en los sistemas de abastecimiento de agua es el que emplea el cloro y sus compuestos derivados como agentes desinfectantes.

Aunque el cloro y sus derivados no son los desinfectantes perfectos, muestran las siguientes características que los hacen sumamente valiosos [22]:

- Tienen una acción germicida de espectro amplio.
- Muestran una buena persistencia en los sistemas de distribución de agua, pues presentan propiedades residuales que pueden medirse fácilmente y vigilarse en las redes después que el agua ha sido tratada o entregada a los usuarios.
- El equipo para la dosificación es sencillo, confiable y de bajo costo. Además, para las pequeñas comunidades hay dosificadores de “tecnología apropiada” que son fáciles de usar por los operadores locales.
- El cloro y sus derivados se consiguen fácilmente, aun en lugares remotos de los países en desarrollo.
- Es económico y eficaz en relación con sus costos.

2.3.5. Definición de la Cloración

Es uno de los procesos más usados en el control microbiológico del agua para uso industrial o consumo humano, debido a que es muy efectivo contra bacterias, algas, hongos, virus y esporas, así como también ayuda a eliminar compuestos o sustancias que están disueltas en el agua y que son indeseables para la calidad final que se quiere [23].

El cloro es un elemento químico ampliamente distribuido en la naturaleza. Continúa siendo la sustancia química que más económicamente, y con mejor control y seguridad se puede aplicar al agua para obtener su desinfección. Por ser un elemento muy corrosivo se debe tener precaución en su manejo y los equipos empleados deben ser de materiales resistentes a la corrosión [24].

2.3.6. Aplicaciones del Cloro

Debido a su gran poder oxidante que le caracteriza, el cloro produce una serie de reacciones en el agua, de manera que le permite tener una gran variedad de aplicaciones, como son: control microbiológico, desinfección, oxidación del hierro y el manganeso, remoción del amoníaco y compuestos orgánicos nitrogenados, remoción del color, remoción de la materia orgánica, destrucción de la materia orgánica, control del olor y sabor [23].

El cloro es usado en muchas industrias como blanqueador de materiales blancos usados en industrias de papel y textiles, así como en la elaboración de fibras de celulosa para fábricas sintéticas. En la industria química es usado para la manufacturación de químicos útiles tales como solventes, gases refrigerantes, plásticos, productos de goma y microbicidas [24].

2.3.7. Tipos de Cloro

Los productos de la familia del cloro disponibles en el mercado para realizar la desinfección del agua son: cloro gas, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, dicloroisocianurato de sodio, diclorohidantoina y dióxido de cloro.

2.3.7.1. Cloro Gas

El cloro en forma gaseosa es de color amarillo- verdoso, a 20° C es soluble en el agua a aproximadamente 7.000 mg/L y es de 1,5 a 2,0 veces más pesado que el aire. El cloro gas ni es inflamable ni es explosivo, pero al igual que el oxígeno puede producir combustión con algunas sustancias. Reacciona con materiales orgánicos para formar compuestos clorinados y algunos de estos reaccionan con hidrocarburos, alcoholes y éteres que pueden ser explosivos [23].

El cloro es una opción de tratamiento de bajo costo que se utiliza para mejorar el sabor y la claridad del agua a la vez que se eliminan muchos microorganismos como bacterias y virus. Sin embargo, el proceso tiene sus limitaciones. *Giardia* y *Cryptosporidium* son usualmente resistentes al cloro a menos que éste se use en dosis más elevadas que aquéllas preferidas usualmente para el tratamiento. La presencia de estos parásitos puede requerir el tratamiento previo del agua fuente. El cloro elimina además sustancias como el manganeso, hierro y ácido sulfhídrico, el cual puede alterar el sabor del agua [25].

La inyección de cloro en aguas con contenido de materia orgánica da lugar a reacciones químicas particulares. En especial el amoníaco, el hierro, el manganeso y los sulfuros, reaccionan fácilmente con el cloro. La consecuencia de estas reacciones secundarias es la producción de moléculas químicas particulares denominadas

subproductos de la desinfección, representados principalmente por los trihalometanos y organoclorados.

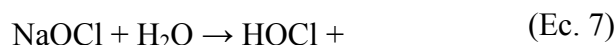
Esto ha provocado en algunos casos la sustitución del cloro por otros desinfectantes químicos, como el dióxido de cloro o el ozono. Sin embargo ya se ha demostrado que dichos reactivos también provocan la formación de moléculas con riesgos a largo plazo. De cualquier modo, todos los conocimientos disponibles hasta la fecha, relativos a las reacciones secundarias provocadas por los reactivos usados en la desinfección química, confirman que la desinfección del agua sigue siendo el tratamiento prioritario en cualquier caso. Lo que si se precisa es que el nivel de dichos compuestos debe ser lo más bajo posible, dentro de los parámetros exigidos por las normas correspondientes [26].

2.3.7.2. Hipoclorito de Sodio

Es un compuesto utilizado a gran escala para la purificación de superficies, blanqueamiento, eliminación de olores y desinfección del agua. El hipoclorito de sodio es efectivo contra las bacterias, virus y hongos y desinfecta de la misma manera que lo hace el cloro. Es una solución clara de ligero color amarillento y un olor característico. La densidad relativa de una solución de hipoclorito al 5,5 % en peso de cloro, es del orden de 1,1 (a 20 °C) y el pH = 11, mientras que la de la solución más concentrada comercialmente en uso (13 %), es de 1,24 y el pH =13. Es una base débil inflamable, un oxidante fuerte y reacciona con compuestos combustibles. El hipoclorito sódico es inestable, por lo que se prepara en solución acuosa de concentración limitada, la solución va perdiendo cloro y aún más si la temperatura es mayor de 30 °C. El calor, la luz, el contacto con ácidos y ciertos metales lo descomponen [27].

Estas características se deben tener en cuenta en el procedimiento de transporte, almacenamiento y uso del producto. El químico puede producir quemaduras en la piel y los ojos. Por lo que se recomienda protegerse mediante el uso de guantes y gafas.

La reacción del hipoclorito de sodio con el agua es la siguiente [27]:



Al igual que el cloro gas, el suministro de hipoclorito de sodio al agua afecta el pH y la alcalinidad, para este caso 1 ppm de alcalinidad “M” (como CaCO_3) es aportado al agua por 1 ppm de NaOCl agregado. Para mantener la estabilidad del hipoclorito de sodio se agrega hidróxido de sodio al producto para que el pH sea mayor a 11,0; sin embargo, este NaOH tiene un efecto mínimo sobre la alcalinidad. Con respecto al pH, un agua con bajo pH puede aumentar éste significativamente debido a que la reacción anterior se desplaza hacia la derecha produciéndose NaOH. Todo lo contrario ocurre cuando el pH del agua es alcalino [27].

Existen varios caminos para el uso del hipoclorito de sodio:

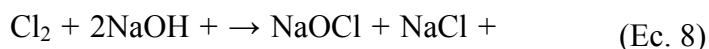
- **Hipoclorito de Sodio Generado en Sitio**

Puede hacerse de diferentes formas:

Mediante la electrólisis de una solución de salmuera preparada con cloruro sódico. La descomposición de la solución de cloruro de sodio se efectúa por medio de una celda electrolítica con dos electrodos, el cátodo está compuesto de titanio y el ánodo de titanio recubierto por óxidos de metales nobles como platino, iridio y rutenio. El proceso de descomposición se desarrolla en cada uno de los electrodos.

El hipoclorito sódico se puede preparar en forma anhidro, con una pureza superior al 90%, pero se descompone con facilidad, es por ello que se encuentra comúnmente en solución acuosa.

Mediante la adición de cloro gas (Cl₂) a soda cáustica (NaOH). Cuando se hace esto, el hipoclorito de sodio, agua y sal se producen de acuerdo a la siguiente reacción [28]:



Electrólisis del agua de mar. Mediante una electrólisis parcial del cloruro de sodio (NaCl) contenido en el agua de mar cruda es posible obtener también hipoclorito de sodio. Al hacer pasar una corriente directa a través del agua del mar, el NaCl se disocia completamente en el ión sodio (Na⁺) y el ión cloruro (Cl⁻).

En el proceso se producen reacciones laterales químicas y electroquímicas simultáneamente con las reacciones básicas tales como la descomposición del hipoclorito a cloruro, la oxidación en el ánodo de hipoclorito a clorato y la reducción catódica de hipoclorito a cloruro y la evolución de oxígeno en el ánodo.

Algunas reacciones que están presentes en el agua del mar (por ejemplo, calcio, magnesio y otros metales) forman hidróxidos y carbonatos, los cuales resultan en sólidos suspendidos que se depositan luego en las superficies catódicas y en consecuencia se requieren procedimientos periódicos de limpiezas químicas.

- **Hipoclorito de Sodio Comercial**

El hipoclorito de sodio puede ser comprado en unidades de 1000 L a concentraciones entre 10 y 15 % v/v. Éste posee un pH elevado que puede llegar a

influir en la precipitación de carbonato cálcico cuando se mezcla con el agua para obtener soluciones más diluidas, formándose incrustaciones en conducciones, válvulas, rotámetros, etc.

Ventajas de la Utilización de Hipoclorito de Sodio

Puede ser fácilmente transportado y almacenado cuando se produce en el sitio. El almacenamiento y transporte del hipoclorito de sodio es seguro. Produce desinfección residual. El hipoclorito generado en sitio es menos costoso que otros desinfectantes como el ozono y el dióxido de cloro pero más costoso que el cloro gas, así como también resulta más económico que la compra del hipoclorito de sodio en solución o industrial al 10-12% de concentración. Es confiable y seguro ante las normas cada vez más estrictas que presenta el gas-cloro. Una gran ventaja de la generación en sitio de hipoclorito es la facilidad del proceso y que se elimina el peligro del almacenaje y manejo de las soluciones de hipoclorito comercial y a la vez se evita la degradación que con el tiempo experimentan las soluciones comerciales de hipoclorito de 10 al 15 % y la consiguiente formación de clorato en esta degradación [28].

Desventajas de la Utilización de Hipoclorito de Sodio

Hipoclorito de sodio es una sustancia peligrosa y corrosiva. Cuando se trabaja con hipoclorito de sodio, se deben tomar medidas de seguridad para proteger a los trabajadores y al medio ambiente. El hipoclorito de sodio no debería entrar en contacto con el aire, porque provoca su desintegración. Tanto el hipoclorito de sodio como el cloro no provocan la desactivación de *Giardia Lambia* o *Cryptosporidium*. Un inconveniente al emplear agua de mar es la formación de incrustaciones en la superficie del cátodo debido al alto contenido de iones que producen dureza lo que haría necesaria las interrupciones y limpiezas con soluciones ácidas. El hipoclorito

comercial del 15 % tiene un elevado pH que puede llegar a influir en la precipitación de carbonato cálcico cuando se mezcla con el agua para obtener soluciones más diluidas, formándose incrustaciones en conducciones, válvulas, rotámetros, etc [29].

2.3.7.3. Hipoclorito de Calcio

El hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) es una sustancia blanco amarillenta, presentada en forma de polvo granular, gránulo o tableta, que contiene de 65 a 70 % en peso de cloro disponible. La densidad aparente del polvo granular es cerca de 0,51 - 0,80 g/cm^3 , y la densidad aparente del gránulo es de 1,1 - 1,3 g/cm^3 .

Este material es inestable, pero no tanto como el grado con 35% de cloro disponible. La mejor manera de adicionarlo es en solución. Su solubilidad teórica es de 22 g/100 mL de agua (18%) a temperatura ambiente. Sin embargo, en la práctica se usa del orden del 3%. Se recomienda la decantación antes de su uso debido al exceso de insolubles presentes y almacenarlo en un sitio frío y seco por períodos no mayores de un año. En este lapso de tiempo, el hipoclorito de calcio puede perder del 3 al 10 % de cloro disponible [30].

La principal desventaja de este producto es que adiciona calcio al agua. 1 mg/L de $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ produce 0,7 mg/L de calcio (como $\text{Ca}(\text{CO})_3$), lo que provoca obturaciones en las bombas de dosificación, conducciones y válvulas. El hipoclorito de calcio se emplea, principalmente, en instalaciones de pequeño tamaño [23].

2.3.7.4. Dicloroisocianurato de Sodio

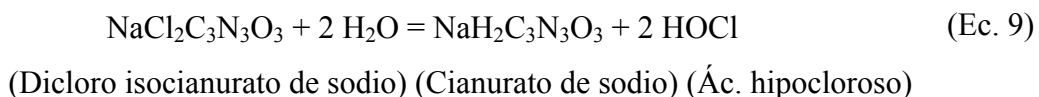
El dicloroisocianurato de sodio, llamado muchas veces “isocianurato de sodio” y que se reconoce por la sigla “NaDCC”, es un compuesto que libera cloro en

concentraciones muy precisas. Presenta una excelente capacidad de manipulación y una concentración alta de cloro activo (60%).

Es muy práctico en su uso, y el agua tratada no tiene el olor y sabor que puede dejar un tratamiento con los compuestos de cloro usuales.

Tiene una larga estabilidad lo que es ideal para mantenerlo en depósito por períodos de tiempo mucho mayores que cualquier otro compuesto de cloro. Se estima que en condiciones adecuadas puede sobrepasar los cinco años de almacenamiento sin perder su potencia.

El dicloro isocianurato de sodio, es un compuesto orgánico derivado del isocianurato que cuando se disuelve en el agua libera ácido hipocloroso según la siguiente reacción [16]:



El NaDCC al ser disuelto en agua produce ácido hipocloroso que es el que aporta el potencial desinfectante y una molécula de cianurato de sodio de la cual no se tiene claro la acción que presenta sobre la salud humana, así como la del mismo isocianurato; es precisamente esta falta de información la que ha evitado el uso indiscriminado del método a pesar de todas sus bondades. El uso de este compuesto sólo es recomendado en algunos países para desinfecciones de emergencia, lo que tácitamente está suponiendo que su uso será por espacios cortos de tiempo.

En relación a los SPD, se está en la misma situación. No sólo se desconocen los problemas derivados de los eventuales SPD generados a partir de los cianuratos, sino

que sumados a esos eventuales, deben contarse los clásicos SPD del ácido hipocloroso, como por ejemplo los trihalometanos.

En cuanto a los equipos dosificadores para este producto pueden ser utilizados los ya mencionados para el caso del cloro, ya que el NaDCC se disuelve en agua para formar una solución típica.

El monitoreo de este producto se puede hacer aplicando métodos como el DPD o el de la ortotolidina ya que lo que se monitorea en este caso es el cloro residual presente.

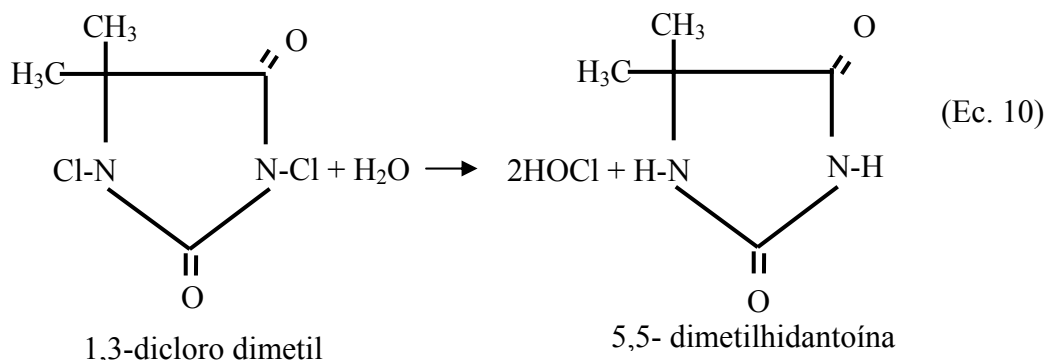
En lo que respecta a los costos se estima que son ligeramente mayores que los compuestos tradicionales del cloro, tales como hipoclorito de sodio o calcio.

- **Ventajas y Desventajas de la Desinfección con NaDCC**

Entre las ventajas se destacan la simplicidad, estabilidad y facilidad de manejo del compuesto. No deja los olores ni sabores característicos de otros compuestos de cloro. Deja un residual. La mayor desventaja es la falta de evidencia en cuanto a su inocuidad cuando es consumido por largos períodos de tiempo [16].

2.3.7.5. Diclorohidantoina

Es un compuesto que cuando se agrega al agua produce la reacción siguiente [16]:



Es una fuente costosa de cloro [16].

2.3.7.6. Dióxido de Cloro

Es un gas de color verde amarillento, estable y sumamente soluble en agua hasta alcanzar concentraciones de 2%. Tiene un poder oxidante 2,6 veces mayor que el cloro, es un excelente biocida, efectivo en un amplio rango de pH (4- 10). Es una alternativa a ser considerada donde además de la desinfección se requiere mejorar la calidad organoléptica del agua. Tiene un gran efecto sobre el control del olor y del sabor, remueve el color y oxida el hierro y el manganeso, destruye sustancias orgánicas que son precursoras de trihalometanos (THM). Por ello, se aplica especialmente cuando las aguas crudas contienen altas concentraciones de precursores, que con la cloración tradicional darían lugar a la formación de los SPD. El dióxido de cloro es sensible a la luz ultravioleta [31].

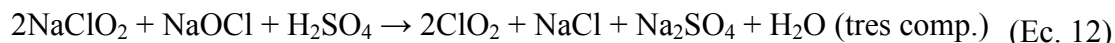
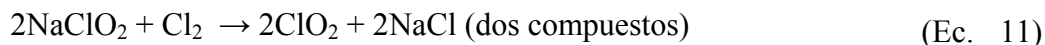
Dióxido de cloro en el agua existe como ClO_2 (poca o ninguna disociación) y, por tanto, es capaz de penetrar a través de las membranas celulares de bacterias y destruir las células bacterianas. Su acción sobre los virus implica absorber y penetrar en la capa proteica de la cápside viral y reaccionar con el ADN viral. Como resultado, la capacidad genética del virus será dañada. El dióxido de cloro tiene menor poder

desinfectante que el ozono, pero es más potente que el cloro. Una investigación reciente en los Estados Unidos y Canadá demostró que el dióxido de cloro destruye enterovirus, *E. coli* y amebas y es efectivo contra los quistes de *Cryptosporidium*.

Como gas no puede ser comprimido ni almacenado en contenedores como el cloro, además es explosivo a concentraciones superiores al 10% en aire, por lo tanto es diluido en agua para formar una solución.

A pesar de ser descubierto en 1811, su empleo fue muy poco debido a las limitaciones mencionadas. Sin embargo, con el avance de la tecnología de producción se desarrolló el dióxido de cloro “estabilizado”, que contiene hasta 15% de activo, lo que ha permitido un cambio en la tendencia del uso de este producto.

Comúnmente se genera mediante dos mecanismos: la reacción de clorito de sodio con cloro gaseoso (sistema de dos compuestos químicos) o mediante la reacción de clorito de sodio con hipoclorito de sodio y ácido sulfúrico (sistema de tres compuestos químicos) [31]:



Mientras los desinfectantes que contienen cloro reaccionan con diversas sustancias mediante la oxidación y sustitución electrofílica, el dióxido de cloro solo reacciona mediante la oxidación. Esta es la razón por la cual el uso de dióxido de cloro puede disminuir la formación de THM en el agua tratada. Si eventualmente se producen niveles considerables de THM en las aguas tratadas con dióxido de cloro, esto a menudo se debe a problemas en los generadores de dióxido de cloro,

generalmente por exceso en el suministro de cloro, sustancia que participa en la formación de esos THM.

En muchos casos, los productos de la oxidación con dióxido de cloro no contienen átomos de halógeno y específicamente el dióxido de cloro en presencia de sustancias húmicas no da lugar a niveles significativos de THM. No se ha observado la formación de trihalometanos que contengan bromo al tratar materiales húmicos con dióxido de cloro. Tampoco reacciona con el amoníaco para formar cloraminas que son potencialmente tóxicas.

De cualquier modo, no se puede negar la existencia de SPD y los productos de la reacción del dióxido de cloro con material orgánico en el agua donde se incluyen los clorofenoles y los ácidos maleicos, fumáricos y oxálicos. Un estudio de los subproductos de la reacción del dióxido de cloro en un tratamiento piloto reveló más de 40 SPD, aunque su toxicidad en la mayor parte es desconocida. Durante la oxidación de la materia orgánica, el dióxido de cloro se reduce al ión clorito. Es precisamente el clorito y también los cloratos los más importantes SPD producidos con el uso de este desinfectante.

- **Instalación y Requerimientos**

El dióxido de cloro en solución acuosa es altamente corrosivo; aun más que el cloro en algunos aspectos. Los materiales recomendados para las líneas de conducción de la solución de dióxido de cloro son en orden de preferencia: PVC tipo I y polietileno. Debe evitarse el uso de tuberías de goma.

Se debe tener especial consideración en el almacenamiento del clorito de sodio y consultar a expertos en seguridad. El almacenamiento debe realizarse en una

edificación externa, preferiblemente separada de las estructuras principales, y debe ser construida en la medida de lo posible con material no combustible, como acero corrugado, concreto prefabricado o ladrillos. En lugares calurosos se debe disponer de suficiente agua para mantener fresco el área del clorito de sodio y prevenir el deterioro por el calor.

La instalación de estos equipos de generación de dióxido de cloro requiere la disponibilidad de energía eléctrica y personal capacitado y adecuadamente implementado para el manejo seguro de los insumos que se utilizan en la generación del desinfectante. Asimismo, se deben tener las sustancias químicas necesarias, como ácido clorhídrico o sulfúrico, clorito de sodio, hipoclorito de sodio o cloro gaseoso, según el tipo de equipo que se vaya a seleccionar.

- **Operación y Mantenimiento**

En la operación, el clorito de sodio debe manipularse con mucho cuidado para evitar su derrame. En caso de producirse, nunca debe usarse un paño absorbente; siempre se debe enjuagar la superficie con abundante agua. Nunca se debe usar poca agua, ya que esto puede ser peor que no usarla para nada.

- **Monitoreo**

Dado que las reacciones del dióxido de cloro incluyen la formación de ion clorito como subproducto, un equipo de pruebas sencillo no puede proporcionar los datos analíticos requeridos para su control. Se requiere el análisis del producto del generador de dióxido de cloro y del agua tratada para cuantificar con precisión la dosificación y los subproductos. Es necesario diferenciar específicamente el dióxido de cloro, el ion clorito y el cloro libre en el generador para determinar su rendimiento

y eficiencia. El método recomendado para determinar el rendimiento y eficiencia del generador es la titulación amperométrica en cuatro pasos. Existen equipos de prueba para concentraciones de menos de 5 mg/L en el agua tratada, pero tienen limitaciones e interferencias.

La verdad es que el monitoreo del ClO_2 es una desventaja adicional, ya que la confección de un análisis de rutina significa contar con personal capacitado y tener en cuenta que cada determinación química requiere un promedio de 45 minutos.

Las propiedades residuales del dióxido de cloro son limitadas, por tal motivo, suele emplearse el cloro como desinfectante secundario para asegurar protección adicional en el sistema de distribución.

La utilización del dióxido de cloro tiene sus ventajas y desventajas, las cuales se mencionan a continuación [31]:

Ventajas del Uso del Dióxido de Cloro

- Su potencial bactericida es relativamente independiente del pH entre 4 y 10.
- Efectivo contra muchos microorganismos y más potente que el cloro en un tiempo de contacto corto.
- Mayor poder de oxidación, lo que contribuye a la remoción de olor, color y mal sabor.
- Tiene buena solubilidad.
- No reacciona con amoníaco o sales de amonio.
- Mejora la coagulación.
- Remueve hierro y manganeso mejor que el cloro.

Desventajas del Uso del Dióxido de Cloro

- Es complejo para producirlo.
- Es más caro que el cloro.
- Se forman subproductos de clorito y clorato.
- Debe producirse en el lugar donde se va a utilizar.
- Para su operación y mantenimiento requiere mano de obra capacitada.
- Difícil de analizar en laboratorio.
- Altamente corrosivo en solución acuosa, incluso más que el cloro.

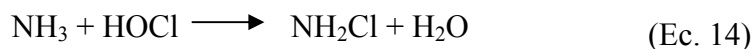
2.3.8. Reacciones Químicas del Ácido Hipocloroso y del Dióxido de Cloro

• Ácido Hipocloroso

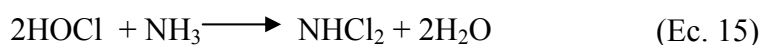
Luz solar: la luz ultravioleta del sol en un rango de 250 a 350 nm descomponen el ión hipoclorito de la forma siguiente [23]:



Amoníaco: la reacción del ácido hipocloroso con el amoníaco produce cloraminas (son desinfectantes, pero no tan efectivas como el ácido hipocloroso) de acuerdo con la reacción siguiente [23]:

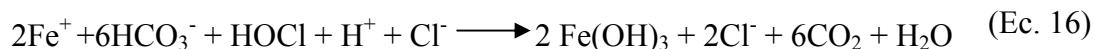


Un pH de 8,5 en el agua permite la formación del NH_2Cl y a un pH de 4,5 el NHCl_2 es el producto principal, tal y como lo indica la reacción [23]:



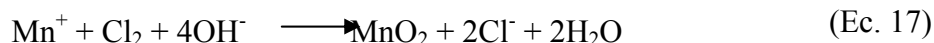
En el rango de pH entre 4,5 y 8,5 existen mezclas de las dos aminas.

Hierro: el cloro oxida el hierro de la siguiente forma [23]:



Esta reacción es muy rápida a pH mayores de 7,0 y se requiere 1 ppm de HOCl para oxidar 2,1 ppm de Fe^{-} soluble.

Manganeso: al igual que el hierro soluble, el manganeso es oxidado por el cloro para formar MnO_2 insoluble, la reacción se detalla a continuación [23]:



Esta reacción es muy rápida a pH mayores a 7,0 y se requiere 1 ppm de Cl_2 para oxidar 0,7 ppm de Mn^{+} soluble.

Sulfuro: el cloro reacciona muy rápidamente con el sulfuro de hidrógeno gaseoso en dos formas [23]:



Compuestos orgánicos oxidables: muchos compuestos orgánicos reaccionan lentamente con el cloro, sin embargo, su velocidad depende del pH y la concentración para formar cloro-orgánicos. Por otro lado, la presencia de altas concentraciones de otros compuestos compite con la formación de cloro-orgánicos. Por ejemplo, altas

concentraciones de NH_3 favorecen la formación de cloraminas por ser una reacción más rápida.

Compuestos aromáticos tales como los fenoles y los ácidos aromáticos también reaccionan con el cloro. La reacción de cloro con el fenol es muy rápida y se forma el clorofenol.

- **Dióxido de cloro**

Hierro: la reacción consiste en la oxidación del hierro soluble para formar hierro insoluble, esta reacción ocurre cuando el pH es mayor de 5,0 [23]:



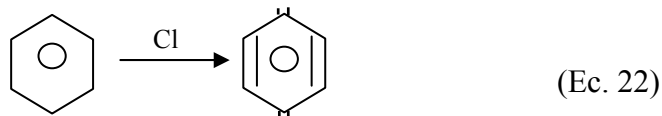
$$\text{mg/L de ClO}_2 = 1,2 \text{ mg/L de Fe}^{+2}$$

Manganeso: el manganeso soluble Mn^{+2} es oxidado y precipitado como Mn^{+3} cuando el pH es mayor de 5,0 [23]:



$$\text{mg/L de ClO}_2 = 5,2 \text{ mg/L S}^{-2}$$

Fenol: la reacción del fenol con el dióxido de cloro está muy relacionada con el pH, en este sentido las reacciones que ocurren son las siguientes [23]:

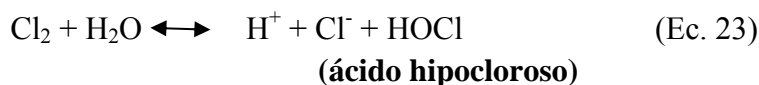


2.3.9. Mecanismos de la Desinfección con Cloro

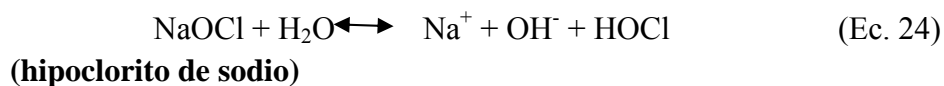
El cloro inhibe patógenos como las bacterias y los virus, rompiendo las uniones químicas moleculares. Los desinfectantes usados para esta aplicación consisten en compuestos de cloro que pueden intercambiar átomos con otros compuestos, como enzimas en bacterias y otras células. Cuando las enzimas entran en contacto con el cloro, uno o más de los átomos de hidrógeno es substituido por el cloro. Esto provoca que la molécula se transforme o se rompa. Si la enzima no funciona correctamente, causa la muerte de la célula o bacteria.

El cloro en cualquiera de sus formas, se hidroliza al entrar en contacto con el agua, y forma ácido hipocloroso (HOCl) de la siguiente forma:

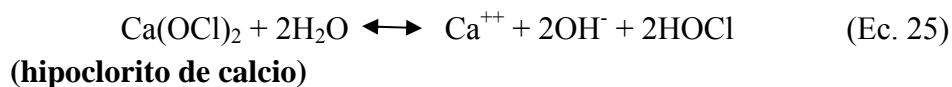
- Cloro gaseoso, la reacción que tiene lugar es [22]:



- Hipoclorito de sodio [22]:



- Hipoclorito de calcio y la porción activa de la cal clorada [22]:



- Dicloro isocianurato de sódio [22]:



(Dicloro isocianurato de sodio) (Cianurato de sodio) (Ácido hipocloroso)

Durante el proceso químico de la desinfección se producen compuestos tales como cloraminas (monocloraminas, dicloraminas y tricloraminas) en presencia de amoníaco en el agua. Las cloraminas sirven igualmente como desinfectantes aunque reaccionan de una manera sumamente lenta. Asimismo, se forman el ácido clorhídrico (HCl) y los hidróxidos de calcio y sodio, los cuales no participan en el proceso de desinfección.

La especie desinfectante es el ácido hipocloroso (HOCl), el cual se disocia en iones hidrogenios (H^+) e hipoclorito (OCl^-) y adquiere sus propiedades oxidantes [22]:



Ambas fracciones de la especie son microbicidas y actúan inhibiendo la actividad enzimática de las bacterias y virus produciendo su inactivación.

Tanto el ácido hipocloroso (HOCl) como el ión hipoclorito (OCl^-) están presentes hasta cierto punto cuando el pH varía entre 6 y 9 (el rango usual para el agua natural y potable). Cuando el valor de pH del agua clorada es 7,5, el 50% de la concentración de cloro presente será ácido hipocloroso no disociado y el otro 50% será ión hipoclorito [22].

Los diferentes porcentajes de HOCl y OCl^- a diferentes valores de pH pueden verse en la figura 2.5.

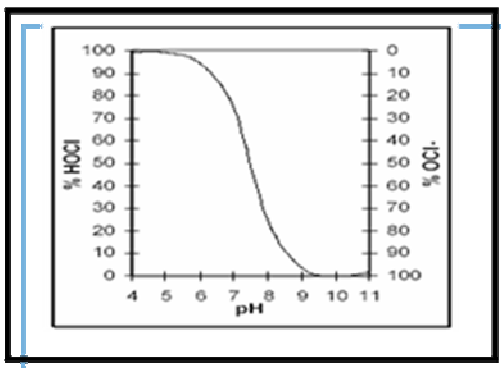


Figura 13. Comportamiento de las fracciones de ácido hipocloroso respecto a variaciones de pH [16]

Las diferentes concentraciones de las dos especies significan una considerable diferencia en la propiedad bactericida del cloro, ya que estos dos compuestos presentan diferentes propiedades germicidas. En realidad, la eficiencia de HOCl es por lo menos 80 veces mayor que la del OCl⁻ [22].

2.3.10. Factores que Determinan la Efectividad de la Desinfección del Cloro

2.3.10.1. Concentración de Cloro

La naturaleza, distribución y concentración de la sustancia desinfectante y de sus productos de reacción en el agua contribuye en el tratamiento de desinfección química. En el caso del cloro, como se explicó en el inciso anterior, las diferentes especies en equilibrio, dependiendo del pH, producen variaciones en el poder desinfectante.

Es muy importante asegurar que exista cloro libre en todos los puntos de la red de distribución de agua: en adición a la acción bactericida del agua tratada en esta

forma, el hecho de encontrar cloro en el agua demuestra que no se ha introducido materia orgánica que consumiera el cloro, y por tanto, probablemente tampoco microbios tras el tratamiento. Por el contrario, la ausencia anormal del desinfectante en la red, debe hacer que los responsables apliquen de inmediato medidas de emergencia [26].

Para diferentes concentraciones de desinfectante, el comportamiento de la desinfección se puede expresar como [13]:

$$C^n t_p = cte \quad (\text{Ec. 28})$$

donde:

C: concentración del desinfectante

t_p : tiempo que se requiere para lograr la muerte de una proporción determinada de microorganismos (generalmente se toma el 99 %).

2.3.10.2. Tiempo de Contacto

El efecto desinfectante del cloro no es inmediato. Se requiere de un tiempo de contacto mínimo entre el agua y el biocida que permita garantizar una desinfección satisfactoria.

2.3.10.3. Temperatura

Los desinfectantes aumentan su poder de desinfección con la temperatura [13].

2.3.10.4. pH

Como se explicó anteriormente es recomendable vigilar el pH del agua cuando se monitorea el cloro en la misma, ya que éste influye en la propiedad bactericida de

los desinfectantes presentes y da una idea del potencial real bactericida de los mismos [26].

2.3.10.5. Cantidad y Tipos de Microorganismos

La naturaleza de los organismos que se van a destruir, así como su concentración, distribución y condición en el agua constituyen otro factor al cual está sujeto el tratamiento de desinfección química.

Entre las bacterias entéricas, por ejemplo, la *Escherichia coli*, es más resistente que las demás bacterias patógenas, por lo que es un buen organismo indicador, ya que detectando su destrucción se puede afirmar que todas las demás ya fueron destruídas. A su vez los virus de la *poliomelitis 1* y *Coxsackie A2*, así como el de la *hepatitis infecciosa*, son aún más resistentes que *Escherichia coli*. Sin embargo estas son consideraciones que se deben hacer cuando la concentración de los organismos a destruir sea tan alta que se plantee una competencia por el desinfectante.

2.3.10.6. Turbidez

La presencia de partículas coloidales minerales, materia orgánica, agentes reductores, etc, pueden ser elementos que compitan con el desinfectante reduciendo la efectividad del mismo por la absorción del cloro y, por otro lado, protegería a las bacterias y virus de su efecto oxidante [13].

La eficacia de la desinfección final será máxima cuando el agua ya ha sido tratada para eliminar toda turbiedad y más exactamente para eliminar toda sustancia que pueda reaccionar y “consumir” el cloro. Si los tratamientos previos se aplican de forma errónea en un momento dado, una sobredosis de cloro permitirá obtener una desinfección correcta del agua, si bien, como consecuencia de ello, aparecerán

subproductos de desinfección. La inyección de cloro, poderoso oxidante, en aguas cargadas de materia orgánica da lugar a reacciones químicas particulares permitiendo la formación de los subproductos de la desinfección representados generalmente en los reglamentos por los trihalometanos (THM) [26].

2.3.11. Efectos del Cloro Para la Salud

Las reacciones del cuerpo humano al cloro dependen de la concentración de cloro presente en el aire, la duración y frecuencia de exposición. Los efectos dependen igualmente de la salud de cada individuo y condiciones ambientales durante la exposición. Cuando cantidades pequeñas de cloro se respiran durante lapsos cortos de tiempo, esto puede afectar el sistema respiratorio. Los efectos varían entre la tos y dolores en el pecho, hasta la acumulación de fluidos en los pulmones. Puede provocar también la irritación de ojos y piel. Cloro puro es muy tóxico, incluso en pequeñas cantidades. Este gas afecta la membrana mucosa (nariz, garganta y ojos), lo cual se produce porque la disuelve, de manera que el cloro gas termina en la sangre. Cuando se respira cloro gas se provoca la liberación de fluidos en los pulmones, como si se tratara de un ahogo [32].

2.3.12. Cantidad de Cloro a Dosificar en la Red

El consumo de cloro por el agua de una red de distribución se debe, por una parte, al consumo de éste por sustancias presentes en el agua y por condiciones físico-hidráulicas tales como temperatura, agitación, turbulencias, etc., y por otra, al consumo que se produce en la interfase con las paredes de las conducciones. En el agua, el consumo depende principalmente de la temperatura y el contenido de materia orgánica disuelta y otras inorgánicas capaces de ser oxidadas. En la interfase con las paredes, el consumo de cloro se produce por la interacción con los productos de corrosión y por los depósitos y biomasa fijada en las paredes [33].

La cantidad de cloro que se requiere dosificar (dosis) equivaldrá a la demanda total de cloro mostrada en la figura 2.6 (cantidad de cloro requerida para reaccionar con las sustancias orgánicas e inorgánicas, y destruir las bacterias contenidas en el suministro de agua), a la que debe adicionarse la cantidad de cloro residual esperada en el extremo de la red (cantidad de cloro remanente después de un período de contacto especificado). Por ello, es conveniente que antes de iniciar la desinfección, se efectúen pruebas para determinar el consumo de cloro [26].

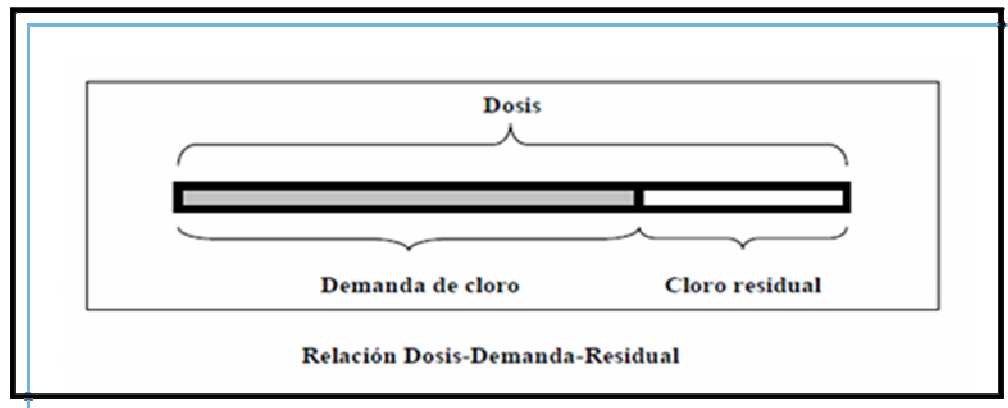


Figura 14. Relación dosis - demanda – residual [22]

2.3.13. Comportamiento del Cloro en el Agua

Al introducir el cloro en el agua, se irán produciendo sucesivamente diversas reacciones químicas. Es conveniente que estos mecanismos se conozcan a la perfección antes de proceder a una operación de desinfección. Tal comportamiento se puede observar en la figura 2.7.

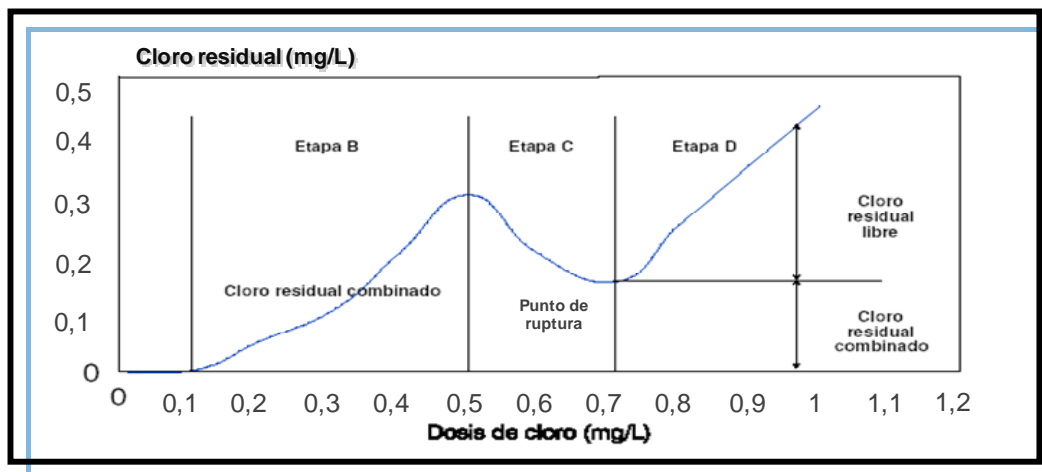


Figura 15. Evolución de la cantidad de cloro residual en función de la cantidad de cloro introducido [24]

- **Etapa A:** el cloro introducido en el agua se combina inmediatamente con la materia orgánica. Consecuentemente, el residual medido se mantiene en cero. Mientras no se destruyan estos compuestos, no se producirá la desinfección.
- **Etapa B:** el cloro se combina con compuestos nitrogenados. Entonces ya se puede medir una cantidad de cloro residual. Esta concentración no corresponde al cloro realmente activo, sino a cloraminas que reaccionan igual que el cloro con los reactivos de los aparatos de medición. Se trata de productos orgánicos complejos, por lo general de fuerte olor, y muy poco desinfectantes.
- **Etapa C:** cuando se añade más cloro, se observa que la cantidad de cloro residual que se mide con los aparatos ordinarios de medición, va en descenso. En realidad, el cloro introducido ha servido para destruir los compuestos formados durante la etapa B. El agua no huele tan mal pero sigue sin estar desinfectada.
- **Etapa D:** el cloro introducido está finalmente disponible para cumplir su función de desinfectante.

En conclusión, los primeros miligramos de cloro introducidos no garantizan la desinfección. De hecho, antes de que éste pueda garantizar realmente una acción eficaz, se deberá agregar una cantidad variable de desinfectante para que se produzcan todas las reacciones químicas secundarias. Esta cantidad es la denominada: demanda de cloro [24].

2.4. Estimados de Costos

Se conocen los siguientes tipos de estimados de costos [34]:

2.4.1. Clase V

Está basada en una definición global del proyecto y de sus principales unidades de proceso, donde la información disponible se limita esencialmente a trabajo de laboratorio, tamaño o capacidad propuesta, ubicación geográfica, etc. A este nivel no se habla de exactitud del estimado, su precisión y confiabilidad dependerán de la pericia con que se evalúe, factorice o escale la información estadística de costos de proyectos similares, anteriormente ejecutados o en etapa actual de desarrollo. La contingencia es de más o menos 40%. Usos: estudios de factibilidad, obtención de fondos para ingeniería conceptual, planificación a mediano plazo.

2.4.2. Clase IV

Este estimado se realiza cuando la ingeniería conceptual se ha avanzado en un rango de 80% a 90%. Se han concluido los estudios para la preselección del tipo y tamaño de los equipos mayores, así como también se han preparado los diagramas principales de flujo y los requerimientos de servicios profesionales. El rango de precisión de este estimado es de un 30% a 40%. La contingencia es de más o menos

30%. Usos: decidir entre varias alternativas de diseño, obtención de fondos para la ingeniería básica.

2.4.3. Clase III

Se realiza después que se ha completado el 60% de la ingeniería básica, se han concluido los estudios para seleccionar el tipo, tamaño y parámetros de diseño para las plantas de procesamiento y otras unidades y se ha comenzado en trabajo de diseño de equipos básicos incluyendo las especificaciones de diseño. Esta estimación se genera utilizando curvas de inversión o técnicas de parroteo equivalentes, las cuales se basan en definiciones de componentes importantes de equipos. El rango de precisión de este estimado es de un 15% un 20%. La contingencia es de más o menos 20%. Usos: obtención de los fondos para la ejecución de la ingeniería de detalle y/o para órdenes de compras de equipos y materiales de largo tiempo de entrega.

2.4.4. Clase II

Es un propósito basado en especificaciones de diseño completadas (ingeniería básica), las cuales son de un alcance suficiente para definir íntegramente el proyecto para el diseño y la ingeniería de detalle subsiguiente. Los principales componentes de equipos, edificios, requerimientos de almacenaje, etc., han sido completamente especificados en los referente a tamaño, papel que jugarán, detalles críticos de diseño, materiales de construcción, distribución física, etc. El rango de precisión de este estimado es de un 10% a 15%. La contingencia es de más o menos 10%. Usos: solicitud de aprobación de fondos para la ingeniería de detalle, procura, construcción y arranque del proyecto, presupuesto base para el control de costos y de avance, establecer flujo de caja y evaluar la tasa de retorno de la inversión.

2.4.5. Clase I

Estimación hecha después de tener disponibles las especificaciones básicas del diseño y, al menos, después de haber completado algo del trabajo de diseño mecánico detallado (fundaciones, estructuras, despliegues de líneas y tuberías). Este estimado se realiza cuando la ingeniería de detalle ha avanzado en un 70 a 90 %. La precisión de este tipo de estimado resulta dentro de más o menos un 10%. Usos: control de procesos de licitación y control de ejecución.

2.5. Valor Presente Neto

El valor presente neto (VPN) es el valor monetario en bolívares de hoy que resulta de una inversión actual y sus flujos netos a futuro, tomando en cuenta la tasa de interés pasiva del mercado como un costo de oportunidad de capital a invertir. El criterio de evaluación de una inversión con este indicador se considera aceptable si el VPN es mayor o igual a cero, es decir, que la inversión rinde un beneficio superior al considerado como mínimo atractivo.

Si el valor presente neto es positivo, financiero del atractivo del inversionista podrá aumentar: la inversión es financieramente atractiva, se acepta.

Si el valor presente neto es cero, el valor financiero del activo del inversionista podrá permanecer inalterado: la inversión es indiferente delante de la inversión.

Si el valor presente neto es negativo, el valor financiero del activo del inversionista podrá disminuir: la inversión no es financieramente atractiva, no se acepta.

Cuando se tienen dos alternativas y sólo puede escogerse una de ellas (las alternativas son mutuamente excluyentes), se debe seleccionar aquella con el valor VPN que sea mayor en términos numéricos, es decir, menos negativo o más positivo, indicando un VPN de costos más bajo o VPN más alto de un flujo de efectivo neto de entradas y desembolsos [35].

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Cuantificación de los Parámetros Requeridos para la Selección del sistema de Desinfección

Para seleccionar el sistema de desinfección destinado al tratamiento de la aguas de las unidades de servicios industriales del mejorador, se determinaron los siguientes parámetros en el agua de servicio, de enfriamiento, efluentes industriales tratados y efluentes sanitarios tratados: demanda de cloro, dosis de cloro y flujo de agua a tratar; además, se investigó la presión y diámetro de las tuberías donde se propuso el punto de inyección del químico (figuras 3.1 y 3.2).

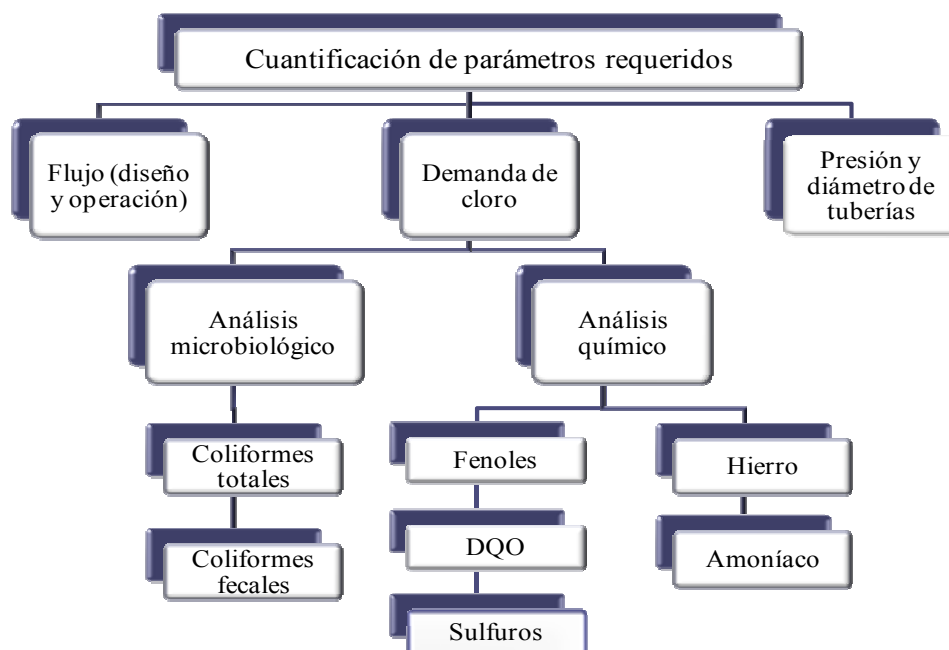


Figura 16. Diagrama simplificado de la cuantificación de los parámetros necesarios para la selección de un sistema de desinfección.

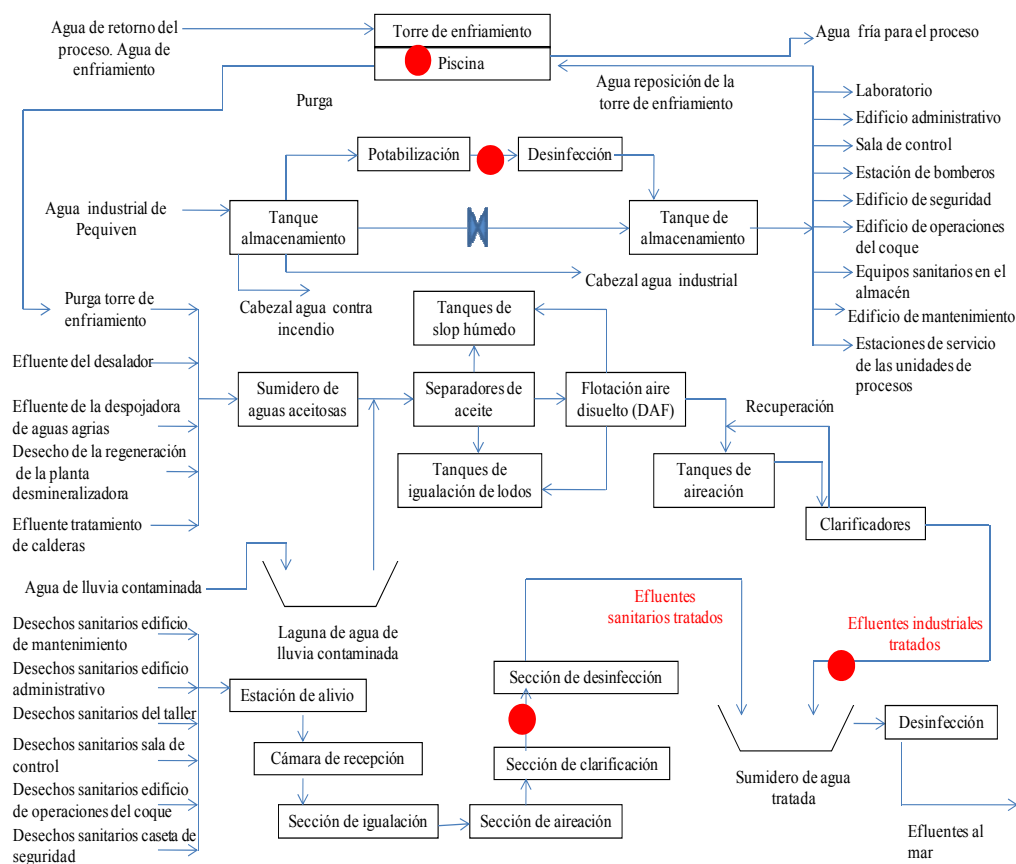


Figura 17. Puntos de muestreo del agua de servicio, de enfriamiento, los efluentes sanitarios tratados y los efluentes industriales tratados.

3.1.1. Determinación de la Demanda de Cloro

3.1.1.1. Premisas de la Prueba de Demanda de Cloro

Dentro de las condiciones que se garantizaron previo al inicio de la prueba:

- Se requirió, un día antes de la prueba de demanda de cloro, la valoración de la solución de hipoclorito de sodio que se inyecta a las unidades de servicios industriales, para ello se tomaron dos muestras aleatorias del químico en botellas de 500 mL de color ámbar y se trasladaron inmediatamente en una cava con hielo al laboratorio central, donde se les efectuó el ensayo respectivo a través del

método de la N,N- dietil- p- fenilendiamina (DPD) 10102 de la compañía HACH. Dichas muestras fueron resguardadas en un ambiente adecuado en ausencia de luz hasta el siguiente día.

- Operacionalmente se suspendió la inyección de hipoclorito de sodio 12 horas antes de tomar las muestras de agua en las unidades 41 (agua de servicios) y 42 (agua de enfriamiento). En la unidad 52 (efluentes) por razones ambientales no es permitido detener la dosificación de cloro, por lo que se tomaron las muestras aguas arriba del punto de inyección de cloro.

3.1.1.2. Muestreo de las Aguas a Tratar

Se recolectaron en garrafas de 3,785 L muestras de: agua de servicio, agua de enfriamiento, efluentes industriales tratados y efluentes sanitarios tratados atendiendo a la guía para las técnicas de muestreo de aguas naturales, industriales y residuales establecidas por COVENIN [36] y a los procedimientos operacionales de PDVSA para el muestreo de aguas en cada unidad (tabla 3.1). Las garrafas para almacenar las muestras estaban completamente limpias, ya que cualquier suciedad depositada podía reaccionar con el cloro y arrojar resultados errados del residual. Posteriormente se trasladaron las muestras al laboratorio central de Petromonagas donde se realizaron las pruebas.

Tabla 3.1. Muestras de las aguas de las unidades de servicios industriales del mejorador.

Tipo de agua	Volumen de la muestra (L)
Agua de servicios	7,57
Agua de enfriamiento	7,57
E. industriales tratados	7,57
E. sanitarios tratados	7,57

3.1.1.3. Prueba de Demanda de Cloro (Método del Punto de Ruptura)

La demanda de cloro se determinó en base al método del punto de ruptura, el cual se fundamenta en la reacción que tiene el cloro en presencia de materia orgánica y otras sustancias inorgánicas en el agua. La diferencia entre la cantidad de cloro que se haya añadido y la cantidad de cloro residual que está presente después de cierto tiempo de contacto corresponde a la demanda de cloro del agua a tratar [37].

Procedimiento General

- Se prepararon 1000 mL de una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 1000 mg/L (0,1 % v/v) a partir de la solución de hipoclorito de sodio comercial previamente estandarizada (7,68%).
- Se utilizaron 11 botellas de 500 mL con tapa previamente lavados con agua destilada, esto con la finalidad de que no haya interferencias con sustancias extrañas.
- En cada una de las botellas se colocaron 500 mL del agua problema sin desinfectar, uno de ellos sirvió como testigo (no se le añadió solución de cloro).
- A cada una de las botellas se añadieron porciones sucesivas ascendentes de la solución de cloro de reciente preparación para no perder el poder desinfectante activo del cloro y se agitaron fuertemente por un período determinado (10 minutos).
- Se mezclaron vigorosamente las soluciones y se dejaron reposar las muestras herméticamente cerradas durante 30 minutos exactamente como tiempo de reacción, sin que le afectara la luz del sol directamente. Las dosificaciones se desfasaron 5 minutos entre un frasco y otro para poder llevar un control más riguroso del tiempo de reacción.

- Se determinó la concentración del cloro residual de cada alícuota de muestra (25 mL) mediante la prueba del DPD.
- Cuando las dosis de hipoclorito de sodio que se añadía no arrojaban los resultados esperados, el procedimiento continuaba añadiéndose porciones ascendentes de cloro a nuevas muestras de agua hasta obtener el residual esperado para cada tipo de agua.

Con los valores del cloro residual reportados en las tablas 3.2 hasta 3.5 y las concentraciones de cloro añadidas calculadas, se elaboraron las figuras de cloro residual vs. dosis de cloro añadida. Dichas figuras servirán para obtener la demanda de cloro en el punto de ruptura y son presentadas en el capítulo 4.

Tabla 1.2. Prueba de demanda de cloro del agua de servicio

Muestra	Cloro residual (mg/L)	Concentración cloro añadido (mg/L)
1	0,00	0,40
2	0,50	0,50
3	0,35	0,60
4	0,50	0,70
5	0,80	0,80
6	0,90	0,90
7	1,00	1,00
8	1,20	1,20
9	2,00	2,00
10	4,00	4,00
Testigo	0,00	0,00

Tabla 3.3. Prueba de demanda de cloro de los efluentes industriales tratados.

Muestra	Cloro residual (mg/L)	Concentración cloro añadido (mg/L)
1	0,0	2,0
2	0,1	4,0
3	0,2	6,0
4	0,9	8,0
5	1,0	10,0
6	3,5	12,0
7	4,0	14,0
Testigo	0,0	0,0

Tabla 3.4. Prueba de demanda de cloro de los efluentes sanitarios tratados.

Muestra	Cloro residual (mg/L)	Concentración cloro añadido (mg/L)
1	0,00	4,00
2	0,10	6,00
3	0,15	8,00
4	0,20	10,00
5	0,20	12,00
6	0,25	14,00
7	0,30	16,00
8	0,15	18,00
9	0,70	20,00
10	2,50	22,00
11	3,00	24,00
12	3,50	26,00
13	4,50	28,00
14	5,00	30,00
Testigo	0,00	0,00

Tabla 3.5. Prueba de demanda de cloro del agua de enfriamiento

Muestra	Cloro residual (mg/L)	Concentración cloro añadido (mg/L)
1	0,00	1,10
2	0,25	2,20
3	0,90	2,42
4	1,00	2,64
5	1,00	2,86
6	1,00	3,08
7	1,50	3,30
8	3,00	4,40
9	4,00	5,50
10	5,00	6,60
Testigo	0,00	0,00

Determinación del Cloro Residual

El cloro libre del agua de servicio, de enfriamiento, efluentes industriales tratados y efluentes sanitarios tratados se determinó aplicando el método del DPD de la compañía Chemetrics, el cual está basado en la química de la N,N- dietil- p- fenilendiamina (DPD). El cloro residual reacciona con el DPD formando una sustancia de color azul que es proporcional a la concentración del cloro. Posteriormente se compara la muestra con un patrón de color hasta encontrar el que presente mayor correspondencia. Los resultados son expresados en mg/L. Este procedimiento fue aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y es equivalente al método 330.5 para las aguas residuales (1983) de esta Agencia y al 4500-CL G para agua potable (1998) de la Asociación de Salud Pública Americana (APHA) [37].

Procedimiento General

1. Se llenó el vaso de muestra suministrado en el kit CHEMets con la muestra problema hasta la marca de 25 mL (figura 3.3).

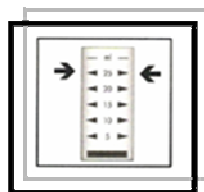


Figura 18. Vaso de muestra del kit CHEMets [37]

2. Se colocó la ampolla CHEMets en el vaso de muestra y se rompió la punta de la misma presionando contra el lateral del vaso. La ampolla se llenaba dejando una pequeña burbuja para facilitar el mezclado (figura 3.4)



Figura 19. Ampolla CHEMets en el vaso de muestra [37]

3. Se mezcló el contenido de la ampolla invirtiéndola varias veces, permitiendo así que la burbuja se desplazara de un extremo a otro. Se limpió el líquido del exterior de la ampolla y se esperó 1 minuto hasta el desarrollo de un color azul.
4. Posteriormente se utilizó el comparador adecuado suministrado por el kit CHEMets para determinar el nivel de cloro residual en la muestra. Si el color de la ampolla CHEMets se encontraba dentro de dos patrones de color, se podía efectuar una estimación de la concentración:

a) Se colocó la ampolla CHEMet en el tubo central del comparador de bajo alcance con el extremo plano hacia abajo. Se orientó la parte superior del comparador hacia una fuente de luz brillante y se observó desde abajo. Se giró el comparador hasta que el patrón de color debajo de la ampolla presentara la coincidencia más exacta (figura 3.5).



Figura 20. Tubo comparador CHEMet de bajo alcance [37]

b) Se sujetó el comparador de alto alcance en una posición casi horizontal, manteniéndolo directamente por debajo de una fuente luminosa intensa. Se colocó la ampolla CHEMet entre patrones de color, desplazándola de izquierda a derecha por el comparador hasta encontrar el color que presentara mayor equivalencia (figura 3.6).

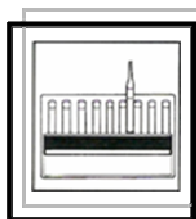


Figura 21. Comparador CHEMets de alto alcance [37]

Este procedimiento se aplicó a las 10 muestras de agua de servicio más la muestra testigo. Del mismo modo se repitió el procedimiento indicado para los efluentes industriales tratados, agua de enfriamiento y efluentes sanitarios tratados. Los datos del ensayo se encuentran en las tablas B1 hasta B4.

3.1.2. Análisis de Bacterias Coliformes

Una vez construida la curva del punto de ruptura se seleccionaron las dos mejores muestras de cada tipo de agua (2 de agua de servicio, 2 de los efluentes sanitarios tratados y 2 de los efluentes industriales tratados) donde se obtuvo el residual de cloro libre requerido y fueron llevadas a las instalaciones del laboratorio de INTERLAB División Control Ambiental C.A, con la finalidad de realizar ensayos que permitieran cuantificar los niveles de organismos coliformes. Las muestras fueron preservadas en frío hasta el traslado al laboratorio el mismo día de su captación. El estudio solicitado involucró la realización de parámetros bacteriológicos, los cuales se llevaron a cabo siguiendo las metodologías establecidas en los Métodos Estándar para el Examen del Agua y Agua Residual 20^a edición 1998 [38], tal como se indica en la tabla 3.6. Los resultados de estas pruebas microbiológicas se ubican en la tabla 4.3.

Tabla 3.6. Métodos de análisis aplicados a las muestras acuosas.

Parámetro	Método	Descripción	Equipos
Coliformes fecales	SMWW 9221 E	Técnica de fermentación en tubos múltiples	Incubadora a 35°C/ Lámpara ultravioleta
Coliformes totales	SMWW 9221 B	Técnica de fermentación en tubos múltiples	Incubadora a 35°C

3.1.3. Análisis Químico de las Aguas a Tratar

Es importante señalar que existen compuestos que se oxidan con el cloro y por ende tienen una demanda de este químico, es por ello que para concretar los resultados de la dosis de químico recomendada para cada tipo de agua se requirieron los siguientes análisis del laboratorio central para las muestras testigo

(agua libre de cloro) y para las dos mejores muestras cloradas de agua de enfriamiento, de servicios, efluentes sanitarios tratados y efluentes industriales tratados:

3.1.3.1. Hierro

El hierro se determinó en las muestras de efluentes industriales tratados, agua de servicio y agua de enfriamiento aplicando la metodología de espectrometría de absorción atómica de llamas (SM 3111-A) establecida en los Métodos Estándar para el Examen del Agua y Agua Residual [38].

3.1.3.2. Amoníaco

La presencia de amoníaco en los efluentes industriales y sanitarios tratados se determinó a través del método titulométrico (SM-4500NH₃ C) establecido en los Métodos Estándar para el Examen del Agua y Agua Residual [38]. Los resultados de la prueba se encuentran en la tabla 3.7

Tabla 3.7. Niveles de amoníaco determinados en los efluentes industriales y sanitarios tratados antes y después de clorar.

	Muestra	NH ₃ (mg/L)
Antes de clorar	E. sanitarios tratados	0,1
	E. industriales tratados	13,5
Después de clorar	E. sanitarios tratados (24 mg/L)	0,09
	E. sanitarios tratados (26 mg/L)	0,08
	E. industriales tratados (12 mg/L)	11,6
	E. industriales tratados (14 mg/L)	0,12

Los valores obtenidos del amoníaco fueron convertidos a nitrógeno total como se indica en la sección 3.5.3. Esto para poder comparar dicho valor

experimental con el rango límite indicado en el Decreto 883 [3], donde se establece el nitrógeno total como parámetro químico a considerar en la calidad de los efluentes líquidos que van a ser descargados al mar.

3.1.3.3. Sulfuros

Los sulfuros en los efluentes industriales y sanitarios tratados fueron hallados aplicando el método yodométrico (SM52005-2F) de los Métodos Estándar para el Examen del Agua y Agua Residual [38].

3.1.3.4. Fenoles

Para determinar fenoles en los efluentes industriales tratados se siguió el método de extracción con cloroformo (SM-5530) establecido en los Métodos Estándar para el Examen del Agua y Agua Residual [38] en conjunto con el método HACH 8047 [39].

3.1.3.5. DQO

La demanda química de oxígeno se determinó en los efluentes industriales y sanitarios tratados a través del método del reactor digester HACH 8000 [39].

Los resultados de todos los análisis realizados se encuentran en las tablas 4.4 y 4.5.

3.1.4. Determinación del Flujo, Presión y Diámetro de Tuberías en los Puntos de Inyección del Desinfectante

El flujo de agua a tratar condiciona la cantidad del desinfectante a dosificar, así como también la capacidad del sistema. El cálculo de la capacidad del dosificador debe hacerse en base a la dosificación y flujos máximos de las

corrientes a tratar, en tal sentido se investigó en los manuales de diseño de la planta los flujos de diseño de los puntos donde se propone la inyección del biocida, mostrados en las figuras D1 a D4. Además de esto fue necesario conocer los diámetros de las tuberías y la presión de diseño en dichos puntos.

Además de los flujos de diseño se cuantificaron los flujos operacionales de cada línea de agua en estudio a manera de verificar las condiciones actuales que mantienen dichas corrientes.

En la tabla 3.8 se encuentran los resultados obtenidos del muestreo individual de los efluentes sanitarios tratados. La determinación del flujo en la línea de efluentes sanitarios se realizó utilizando un método volumétrico, el cual consistió en la recolección de las aguas efluentes en un envase a un tiempo determinado, luego esta agua recolectada fue medida y junto con el tiempo se estableció el caudal de cada muestra, el cual se promedió para obtener el caudal promedio del día y estos a su vez fueron promediados para obtener el caudal promedio de cinco días.

Tabla 3.8. Flujos registrados durante el muestreo de los efluentes sanitarios tratados.

Fecha	Muestra	Hora de captación	Caudal (L/s)	Fecha	Muestra	Hora de captación	Caudal (L/s)
29/10/2009	1	10:25	0,840	02/11/2009	6	11:00	0,247
29/10/2009	2	10:34	0,667	02/11/2009	7	11:02	0,250
29/10/2009	3	10:40	0,827	02/11/2009	8	11:04	0,267
29/10/2009	4	11:30	0,840	02/11/2009	9	11:06	0,250
29/10/2009	5	11:35	0,887	02/11/2009	10	11:08	0,267
29/10/2009	6	11:39	0,997	04/11/2009	1	11:30	0,900
29/10/2009	7	11:45	0,863	04/11/2009	2	11:34	0,983
29/10/2009	8	03:12	0,867	04/11/2009	3	11:38	1,113
29/10/2009	9	03:21	0,933	04/11/2009	4	11:40	0,933
29/10/2009	10	03:27	0,867	04/11/2009	5	11:44	0,897

Tabla 3.8. Flujos registrados durante el muestreo de los efluentes sanitarios tratados (continuación).

Fecha	Muestra	Hora de captación	Caudal (L/s)	Fecha	Muestra	Hora de captación	Caudal (L/s)
30/10/2009	1	10:20	0,940	04/11/2009	6	03:21	1,000
30/10/2009	2	10:22	0,980	04/11/2009	7	03:25	0,867
30/10/2009	3	10:26	0,960	04/11/2009	8	03:29	0,967
30/10/2009	4	10:28	0,947	04/11/2009	9	03:31	0,800
30/10/2009	5	10:32	0,963	04/11/2009	10	03:35	0,793
30/10/2009	6	10:34	0,940	09/11/2009	1	02:10	1,150
30/10/2009	7	02:00	0,870	09/11/2009	2	02:12	1,000
30/10/2009	8	03:40	0,790	09/11/2009	3	02:14	1,103
30/10/2009	9	03:27	0,697	09/11/2009	4	02:16	1,150
30/10/2009	10	03:53	0,713	09/11/2009	5	02:18	1,110
02/11/2009	1	10:50	0,237	09/11/2009	6	02:20	1,107
02/11/2009	2	10:52	0,257	09/11/2009	7	02:22	1,067
02/11/2009	3	10:54	0,263	09/11/2009	8	02:24	1,097
02/11/2009	4	10:56	0,250	09/11/2009	9	02:26	1,103
02/11/2009	5	10:58	0,233	09/11/2009	10	02:28	1,107

La medición del flujo del agua de servicios se realizó durante cinco días empleando un medidor ultrasónico de flujo PANAMETRICS, modelo PT878 y se procedió a calcular un promedio. Los resultados obtenidos del muestreo individual se ubican en la tabla 3.9.

Los flujos de la línea de recirculación de la torre de enfriamiento y el de los efluentes industriales tratados se adquirieron del Sistema de Información en Tiempo Real PI-ProcessBook, versión 2.35 durante un mes de trabajo, esto debido a que el medidor ultrasónico de flujo no permitió realizar las mediciones en dichos puntos. Posteriormente se calculó el flujo promedio del mes. Los resultados de los flujos para estas aguas se ubican en las tablas 3.10 y 3.11.

Tabla 3.9. Flujos registrados durante el muestreo del agua de servicio de la empresa.

Fecha	Hora de captación	Flujo (L/s)	Fecha	Hora de captación	Flujo (L/s)
03/11/2009	10:30	8,472	04/11/2009	10:15	8,365
03/11/2009	11:00	8,661	04/11/2009	10:30	8,415
03/11/2009	11:15	8,529	04/11/2009	10:40	8,384
03/11/2009	11:30	8,623	04/11/2009	11:45	8,977
03/11/2009	12:00	9,475	04/11/2009	12:00	8,901
03/11/2009	12:15	9,608	04/11/2009	12:30	8,876
03/11/2009	12:30	10,100	04/11/2009	03:00	10,295
03/11/2009	03:00	7,778	04/11/2009	03:10	10,522
03/11/2009	03:20	7,696	04/11/2009	03:20	10,794
03/11/2009	03:30	7,854	04/11/2009	03:30	10,648
05/11/2009	10:30	6,933	06/11/2009	10:25	6,914
05/11/2009	10:50	6,952	06/11/2009	10:40	6,882
05/11/2009	11:00	6,958	06/11/2009	10:55	6,945
05/11/2009	12:00	7,387	06/11/2009	11:10	7,002
05/11/2009	12:10	7,374	06/11/2009	02:00	7,557
05/11/2009	12:20	7,488	06/11/2009	02:15	7,602
05/11/2009	12:30	7,570	06/11/2009	02:30	7,671
05/11/2009	03:00	10,220	06/11/2009	03:00	8,472
05/11/2009	03:20	10,339	06/11/2009	03:18	8,529
05/11/2009	03:30	10,371	06/11/2009	03:30	8,560
09/11/2009	10:40	7,109	09/11/2009	12:25	6,807
09/11/2009	10:55	7,141	09/11/2009	12:35	6,914
09/11/2009	11:09	7,217	09/11/2009	03:00	5,791
09/11/2009	12:02	6,712	09/11/2009	03:07	5,879
09/11/2009	12:10	6,781	09/11/2009	03:25	5,911
01/11/2009	904,156	16/11/2009	894,234		
02/11/2009	900,422	17/11/2009	896,002		
03/11/2009	892,752	18/11/2009	895,035		
04/11/2009	894,545	19/11/2009	894,301		
05/11/2009	891,754	20/11/2009	892,055		

Tabla 3.10. Flujos del agua de enfriamiento registrados en el PI-ProcessBook.

Fecha	Flujo (L/s)	Fecha	Flujo (L/s)
06/11/2009	892,212	21/11/2009	890,891
07/11/2009	891,631	22/11/2009	888,364
08/11/2009	897,920	23/11/2009	889,308
09/11/2009	887,418	24/11/2009	889,230
10/11/2009	883,219	25/11/2009	887,339
11/11/2009	897,915	26/11/2009	886,806
12/11/2009	896,087	27/11/2009	886,084
13/11/2009	894,060	28/11/2009	883,480
14/11/2009	894,304	29/11/2009	884,125
15/11/2009	894,019	30/11/2009	884,030

Tabla 3.11. Flujos de los efluentes industriales tratados registrados en el PI-ProcessBook

Fecha	Flujo (L/s)	Fecha	Flujo (L/s)
01/11/2009	29,525	16/11/2009	29,218
02/11/2009	29,114	17/11/2009	26,597
03/11/2009	30,099	18/11/2009	19,746
04/11/2009	29,957	19/11/2009	23,929
05/11/2009	26,816	20/11/2009	18,075
06/11/2009	23,162	21/11/2009	15,280
07/11/2009	26,853	22/11/2009	14,762
08/11/2009	28,468	23/11/2009	19,694
09/11/2009	25,680	24/11/2009	33,767

Tabla 3.11. Flujos de los efluentes industriales tratados registrados en el PI-ProcessBook (continuación).

Fecha	Flujo (L/s)	Fecha	Flujo (L/s)
10/11/2009	29,720	25/11/2009	33,295
11/11/2009	28,081	26/11/2009	28,623
12/11/2009	28,363	27/11/2009	28,021
13/11/2009	23,350	28/11/2009	31,264
14/11/2009	32,768	29/11/2009	33,314
15/11/2009	27,592	30/11/2009	31,968

3.2. estudio de las Posibles Opciones para el Tratamiento Microbiológico de las Aguas de la Unidad de Servicios Industriales de la Planta

Para llevar a cabo el estudio y selección de las opciones de desinfección se procedió siguiendo la metodología mostrada en la figura 3.7.



Figura 22. Diagrama simplificado del estudio y selección de opciones de desinfección.

3.2.1. Selección Preliminar

Para la identificación y conocimiento de los desinfectantes posibles a utilizarse para el tratamiento microbiológico de las aguas de la unidad de servicios industriales del mejorador, se llevó a cabo una profunda investigación teórica sobre las características de todas las opciones de desinfección existentes en el mercado, de esta manera se pudo apreciar cuales de ellas pudiesen o no adaptarse a las condiciones y requerimientos de Petromonagas. Los desinfectantes y/o sistemas de desinfección identificados fueron:

- Calor
- Radiaciones gamma y x
- Radiación ultravioleta
- Yodo
- Bromo
- Ozono
- Hipoclorito de sodio
- Hipoclorito de calcio
- Dicloroisocianurato de sodio
- Dióxido de cloro
- Cloro gas
- Cloraminas
- Permanganato de potasio
- Plata
- Cobre
- Fenol
- Diclorohidantoina
- Filtración
- Aldehidos
- Alcoholes
- Tensoactivos
- Ácidos y álcalis

Este estudio previo fue considerado como una forma de contribuir a la reducción de la lista de desinfectantes y/o sistemas de desinfección que posteriormente serían sometidos a una evaluación técnica-operacional en una matriz de selección. Dentro de los parámetros estudiados para cada tecnología, se encuentran:

- **Técnicos:** relacionados con el funcionamiento del sistema, confiabilidad ante el cumplimiento de los objetivos deseados, requerimientos y consideraciones especiales.
- **Seguridad, higiene y ambiente:** en este parámetro se incluyen las consideraciones de riesgos relacionados con la tecnología y las exigencias de almacenamiento, aspectos de orden y limpieza intrínsecos al funcionamiento, así como los efectos adversos a la salud del hombre e impacto al ambiente.
- **Operacionales:** implica la capacitación que hay que darle al personal de la planta dependiendo de la complejidad de manejo de los equipos y operaciones propuestas.
- **Adquisición de la tecnología:** tiene que ver con todos aquellos aspectos relacionados con la facilidad del proceso de procura y la disponibilidad de la tecnología así como de sus repuestos en el mercado nacional.
- **Experiencia operacional en Venezuela:** este aspecto considera la experiencia operacional de la tecnología en empresas de PDVSA y otras empresas operadoras en el contexto del tratamiento de desinfección de aguas, de modo que sea garantizado y confiable el funcionamiento del sistema y/o desinfectante a implantar.

3.2.2. Entrevistas no Estructuradas a Otras Empresas

Con el fin de profundizar la información bibliográfica y complementar la matriz de evaluación, se decidió realizar entrevistas no estructuradas a personal de empresas de PDVSA y otras que permitieran conocer el tipo de tecnología que emplean para la desinfección de sus aguas. Las entrevistas fueron ejecutadas en conjunto con una inspección en el área del sistema de desinfección aplicado.

3.2.3. Ponderación y Calificación de la Matriz de Evaluación

Para seleccionar el sistema de desinfección de agua más viable para el mejorador fue necesario comparar en una matriz de evaluación las seis opciones anteriormente pre-seleccionadas, la cual dispondrá de la más adecuada. Para elaborar esta matriz se establecieron primeramente los criterios de evaluación que serán considerados para cada una de las opciones, tomando en cuenta la salud del hombre, protección al ambiente, seguridad, higiene, aspectos del proceso, experiencia operacional y facilidades de adquisición de equipos e insumos. Dichos criterios fueron:

- **Efectos a la salud:** tiene que ver con el grado de información que se maneja a nivel mundial respecto a las consecuencias a la salud del hombre cuando el biocida es consumido a través del agua potable, sobre todo en caso de sobredosificación del producto.
- **Efectividad contra los microorganismos:** corresponde a la capacidad que tiene el desinfectante para destruir microorganismos en suspensión y prevenir la diseminación de estos.
- **Seguridad industrial:** consideraciones de los niveles de riesgo que presenta la tecnología en relación a su operación.
- **Impacto ambiental:** tiene que ver con la garantía de éxito de los sistemas propuestos en materia ambiental y con el cumplimiento de la normativa ambiental vigente las descargas a los cuerpos de agua.
- **Almacenamiento:** para los que aplica, se refiere a los requerimientos especiales de resguardo de los insumos de acuerdo a sus características y las del entorno.
- **Orden y limpieza:** tiene que ver con lo funcional que puede resultar el sistema desde el punto de vista del orden y aseo, manteniendo así un ambiente de trabajo favorable.
- **Insumos:** aquí se incluyen todos los químicos necesarios para el funcionamiento del sistema de desinfección que lo requiera.

- **Efecto del pH:** el pH del agua a ser tratada condiciona la efectividad de algunos desinfectantes.
- **Estabilidad en el tiempo:** algunos desinfectantes tienden a degradarse a través del tiempo cuando son sometidos a ciertas condiciones externas.
- **Poder oxidante:** tiene que ver con la capacidad que tienen algunos desinfectantes para oxidar la materia orgánica y ciertos compuestos inorgánicos.
- **Formación de subproductos:** la combinación de algunos desinfectantes con compuestos orgánicos e inorgánicos puede inducir la formación de productos no deseados que pueden afectar tanto la salud del ser humano por consumo en el agua potable como al ecosistema una vez que son descargadas las aguas al mar.
- **Mantenimiento de un valor residual:** para los que aplica, la presencia de un valor residual permite garantizar una desinfección eficiente, previniendo de esta manera la reproducción de los microorganismos.
- **Flexibilidad operacional:** este criterio implica la posibilidad de un reajuste en la capacidad del sistema de desinfección en caso tal que se realice una ampliación en el proceso. No sería rentable tener que descartar el sistema ya instalado.
- **Estandarización en Jose:** se refiere al tipo de tecnología utilizada por las empresas que funcionan en el Complejo Industrial, Petroquímico y Petrolero José Antonio Anzoátegui.
- **Aceptación y migración en refinerías:** se refiere al tipo de tecnología que emplea la Refinería de Puerto La Cruz para la desinfección de sus aguas.
- **Capacidad:** el volumen de agua para el cual ha sido ampliamente utilizado corresponde a la capacidad del sistema.
- **Facilidad de monitoreo:** aquí se incluyen los diferentes procedimientos mediante los cuales se puede vigilar y/o controlar el funcionamiento adecuado del sistema de acuerdo a su principal objetivo que es la desinfección del agua.

- **Requerimiento de servicios industriales:** para el funcionamiento de los sistemas de desinfección se pueden requerir servicios como agua, electricidad, aire de servicio o instrumentación, etc.
- **Requerimiento de personal:** dependiendo del tipo de desinfectante y/o la complejidad del sistema de desinfección será necesario la participación de un determinado número de personas así como también de cierto nivel de entrenamiento y capacitación, esto con el fin de minimizar y controlar los riesgos.
- **Procura:** en este caso se hace énfasis en la disponibilidad de equipos, accesorios y repuestos en Venezuela, permitiendo un proceso de procura más cómodo y eficiente.

Una vez contemplados los criterios de evaluación, se estableció una ponderación para cada uno de estos parámetros en base a 100, siendo ésta discutida en una mesa de trabajo en la cual intervinieron miembros de Petromonagas representantes de las diferentes áreas involucradas con el proyecto. Se asignó una letra o nomenclatura a cada criterio para la identificación en la matriz de evaluación.

Posteriormente se procedió a evaluar cada una de las opciones; para ello se consideró una escala de valoración definida en un rango del 1 al 4, teniéndose: 4= óptimo, 3= bueno, 2= regular y 1= deficiente.

Con la ponderación y el valor asignado a las opciones evaluadas se obtuvo una calificación, cuya sumatoria era la que determinaba la selección por la mejor tecnología desde el punto de vista técnico-operacional. Ambos valores son multiplicados entre si y divididos entre el máximo valor asignado para definir la calidad del sistema, bien sea óptimo, bueno, regular o deficiente como ya fue mencionado.

La tabla 3.12 refleja la ponderación y la calificación para realizar la matriz de evaluación.

Tabla 3.12. Ponderación y calificación de la matriz de evaluación

Elementos	Identif.	Ponderación	Valor asignado	Calif.
Efectos a la salud	A	15	X1	$A=15 \cdot X1/4$
Efectividad contra microorganismos	B	8	X2	$B=8 \cdot X2/4$
Seguridad industrial	C	10	X3	$C=10 \cdot X3/4$
Impacto ambiental	D	10	X4	$D=10 \cdot X4/4$
Almacenamiento	E	5	X5	$E=5 \cdot X5/4$
Orden y limpieza	F	2	X6	$F=2 \cdot X6/4$
Insumos	G	5	X7	$G=5 \cdot X7/4$
Efecto del pH	H	2	X8	$H=2 \cdot X8/4$
Estabilidad del producto	I	2	X9	$I=2 \cdot X9/4$
Poder oxidante	J	2	X10	$J=2 \cdot X10/4$
Formación de subproductos	K	3	X11	$K=3 \cdot X11/4$
Mantenimiento de un residual	L	2	X12	$L=2 \cdot X12/4$
Flexibilidad operacional	M	5	X13	$M=5 \cdot X13/4$
Estandarización en Jose	N	5	X14	$N=5 \cdot X14/4$
Aceptación y migración en refinerías	O	5	X15	$O=5 \cdot X15/4$
Capacidad	P	4	X16	$P=4 \cdot X16/4$
Facilidad de monitoreo	Q	4	X17	$Q=4 \cdot X17/4$
Requerimiento de servicios industriales	R	4	X18	$R=4 \cdot X18/4$
Requerimiento de personal especializado	S	4	X19	$S=4 \cdot X19/4$
Procura	T	3	X20	$T=3 \cdot X20/4$
Total		100	≤ 80	≤ 100

3.3. Realización de un Estudio de Factibilidad Económica de los Sistemas de Desinfección que Resulten Más Accesibles a su Posible Utilización

El estudio de factibilidad económica realizado se basó en una estimación de costos clase V para las dos mejores opciones resultantes de la matriz de evaluación. El estudio comprende la estimación de los costos de inversión y los costos operativos de cada sistema, siendo estos posteriormente evaluados mediante el cálculo del valor presente neto (VPN), a través del cual se determinó la rentabilidad de los sistemas propuestos.

3.3.1. Estimación de los Costos de Inversión de Capital

El costo de inversión de capital fue calculado utilizando el método del porcentaje de equipo entregado [40]. Partiendo del costo total del equipo entregado, los restantes rubros del costo directo e indirecto del sistema se estiman como porcentajes del costo de los equipos entregados para una planta que procesa fluido, tal como se muestra en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Factores relativos para la estimación de inversión de capital para los diversos rubros, basados en el costo del equipo entregado [40].

Rubro	Porcentaje de costo del equipo entregado para planta que procesa		
	Sólidos	Sólidos y fluidos	Fluidos
Costos directos			
Equipo adquirido y entregado	100	100	100
Instalación del equipo adquirido	45	39	47
Instrumentación y controles (instalados)	9	13	18
Cañerías y tuberías (instaladas)	16	31	66
Instalaciones eléctricas (colocadas)	10	10	11
Obras civiles (incluyendo servicios)	25	29	18

Tabla 3.13. Factores relativos para la estimación de inversión de capital para los diversos rubros, basados en el costo del equipo entregado (continuación) [40].

Rubro	Porcentaje de costo del equipo entregado para planta que procesa		
	Sólidos	Sólidos y fluidos	Fluidos
Mejoras del terreno	13	10	10
Instalaciones de servicios (montadas)	40	55	70
Terreno (si es necesario adquirido)	6	6	6
Costo directo total de la planta	264	293	346
Costos indirectos			
Ingeniería y supervisión	33	32	33
Gastos de construcción	39	34	41
Total de los costos directos e indirectos de la planta	336	359	420
Honorarios del contratista (aproximadamente el 5% de los costos directos e indirectos de la planta)	17	18	21
Eventuales (alrededor del 30% de los costos directos e indirectos de la planta)	34	36	42
Inversiones de capital fijo	387	413	483
Capital de trabajo (alrededor del 15% de la inversión total de capital)	68	74	86
INVERSIÓN TOTAL DE CAPITAL	455	487	569

En esta etapa de los cálculos se involucró la participación de proveedores especializados en tecnologías para tratamiento de aguas, quienes facilitaron la información necesaria sobre los costos de los equipos entregados del sistema de cloro gaseoso (anexo C). Para el caso del sistema de hipoclorito de sodio se tomó el costo de los equipos en dólares del proyecto original del sistema de hipoclorito de sodio realizado en la empresa en el año 2004 y fueron proyectados para el año 2010 tomando en consideración el incremento anual de la tasa inflacionaria de los Estados Unidos [41]. Posteriormente estos valores fueron convertidos en bolívares

tomando como tasa de cambio 4,3 Bs/\$. La expresión utilizada para el traslado de los costos de los equipos fue la siguiente [35]:

$$C_{2010} = C_{2004} \cdot (1 + if_{2005})(1 + if_{2006})(1 + if_{2007})(1 + if_{2008})(1 + if_{2009})$$

donde:

C_{2010} = costo aproximado de los equipos entregados en el año 2010.

C_{2004} = costo aproximado de los equipos entregados de finales del año 2004 (tabla C2).

if = tasa de inflación anual.

$$C_{2010} = 62.915 \$ (1 + 0,025)(1 + 0,032)(1 + 0,025)(1 + 0,027)(1 - 0,007) = 69.567 \$$$

El nuevo costo de los equipos entregados del sistema de hipoclorito de sodio fue multiplicado por cuatro, ya que se requieren cuatro sistemas iguales para la desinfección de cuatro clases de aguas pertenecientes a unidades de servicios diferentes y distantes en la planta.

$$C_{2010} = 69.567 \$ \times 4 = 278.267 \$$$

$$C_{2010} = 278.267 \$ \times 4,3 = 1.196.547 Bs.$$

3.3.2. Estimación de los Costos de Operación

Los costos operacionales están constituidos por los insumos, la mano de obra, los servicios generales y supervisión y los relacionados con la inversión tales como seguro, mantenimiento e impuestos, a los cuales se les asignó porcentajes de 1, 6 y 2 % del costo del capital fijo de inversión [42], respectivamente (sección 3.5.4). Los costos de mano de obra y los de servicios generales y supervisión no se incluyeron en la evaluación económica puesto que fueron considerados similares para ambos sistemas.

Los costos del consumo de hipoclorito de sodio fueron tomados de las estadísticas anuales de consumo de este químico en la empresa, mientras que el costo del cloro gaseoso se estimó multiplicando la cantidad anual del químico requerido en la unidad de servicios industriales por el costo de los cilindros de cloro de 907,18 kg (sección 3.5.5).

3.3.3. Determinación de la Rentabilidad del Proyecto

El objeto fundamental del análisis de rentabilidad, consiste en obtener una medida de las ventajas del proyecto para poder establecer comparaciones con otras posibilidades de inversión. En tal sentido, la rentabilidad de las opciones seleccionadas se determinó mediante el cálculo del valor presente neto, considerando una tasa mínima atractiva (Tmar) de 15%, suministrada por el personal especializado en estimaciones de costos del departamento de proyectos en Petromonagas.

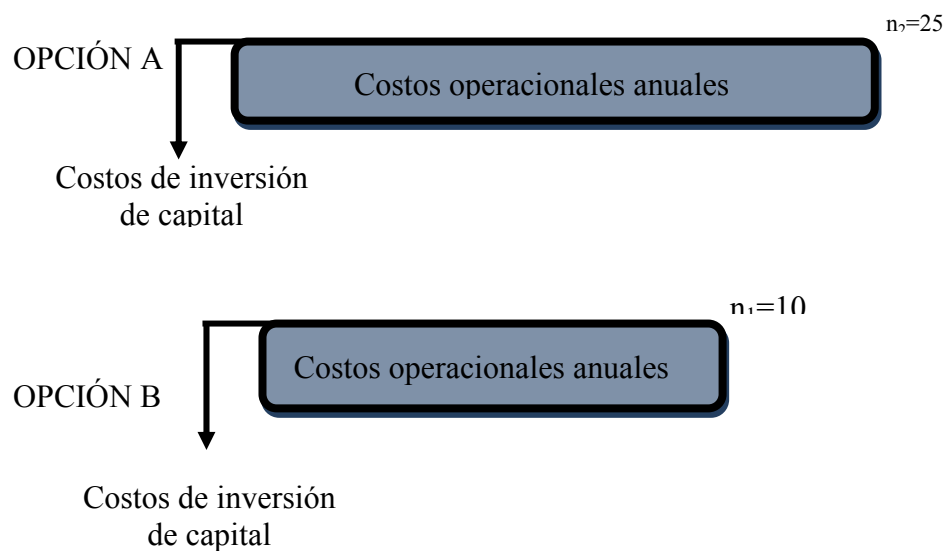


Figura 23. Diagramas típicos para la estimación del VPN de dos alternativas

Para la opción A se calculó el VPN mediante la expresión:

$$VPN_A = \left[\frac{-P i (1+i)^{n_2}}{(1+i)^{n_2} - 1} - A \right] \frac{(1+i)^{n_1} - 1}{i (1+i)^{n_1}} \quad (\text{Ec.3.2})$$

donde:

VPN_A = valor presente neto de la opción A (Bs.)

P = costo de inversión de capital (Bs.)

A = costos operacionales (Bs.)

i = tasa mínima atractiva (15%, utilizada en PDVSA actualmente)

n_1 = años de duración de la opción A (25 años)

n_2 = años de duración de la opción B (10 años)

Sustituyendo los datos del costo de inversión de capital encontrado en la tabla 4.11 y los costos operacionales reflejados en la tabla 4.12, se tiene:

$$VPN_A = \left[\frac{-7.696.526 \times 0,15 (1+0,15)^{25}}{(1+0,15)^{25} - 1} - 1.224.977 \right] \frac{(1+0,15)^{25} - 1}{0,15 (1+0,15)^{25}} = -17.831.524 \text{ Bs.}$$

Para la opción B se calculó el VPN, aplicando la ecuación 3.3:

$$VPN_B = P + A \frac{(1+i)^{n_1} - 1}{i (1+i)^{n_1}} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

donde:

VPN_B = valor presente neto de la opción B (Bs.)

P = costos de inversión de capital (Bs.)

A = costos operacionales (Bs.)

i = tasa mínima atractiva (15%, utilizada en PDVSA actualmente)

n_1 =años de duración de la opción B

Sustituyendo los costos de inversión de capital mostrados en la tabla 4.11 y los costos operacionales mostrados en la tabla 4.12, se tiene:

$$VPN_B = 5.217.542 + \frac{1.919.989 (1+0,15)^{25} - 1}{0,15 (1+0,15)^{25}} = -18.017.468 \text{ Bs.}$$

3.4. Presentación de los Detalles Conceptuales del Sistema de Desinfección Seleccionado

Una vez seleccionada la tecnología de desinfección que mejor se adaptó a los requerimientos del proyecto, se procedió a investigar y dar respuesta a algunos detalles del sistema, que conformarían las bases para el desarrollo subsiguiente de la ingeniería básica de este proyecto.

Para ello se consultaron normas, folletos, páginas web, entre otros, relacionadas con el diseño, instalación y operatividad del sistema, así como también se obtuvo información de proveedores especializados en el tratamiento de desinfección de aguas.

3.5. Muestra de Cálculos

3.5.1. Determinación de la Cantidad de Cloro Agregado

Para determinar la cantidad de cloro agregado al agua se utilizó la ecuación 3.4, la cual relaciona el volumen de soluto (solución de cloro) con el volumen de solvente (muestra de agua problema) por la concentración de cloro empleado [43].

$$Cl \text{ añadido} = \frac{V_{\text{solución patrón}}}{V_{\text{muestra}}} \times CS \quad (\text{Ec. 3.4})$$

donde:

Cl añadido: concentración de cloro añadido a la muestra (mg/L).

Vsolución patrón: volumen de la solución patrón de cloro que se agregó a cada muestra (mL).

Vmuestra: volumen de la muestra (aguas a desinfectar) (mL).

CS: concentración de la solución patrón de cloro (1000 mg/L para todas las pruebas excepto para la del agua de enfriamiento que fue de 1100 mg/L)

Considerando la tabla B1, con los primeros volúmenes de la solución de cloro y del agua de servicio, se sustituyeron estos valores en la ecuación 3.4, teniéndose:

cálculos se efectuaron similarmente para los demás valores de la tabla B1 y los de las tablas B2 hasta B4. Los resultados de este ensayo se encuentran en las tablas 3.2 hasta 3.5.

3.5.2. Cálculo del Flujo Promedio

Los promedios de los flujos generados fueron determinados por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{prom} = \frac{Q_i + Q_{i+1} + \dots + Q_n}{n} \quad (\text{Ec.3.5})$$

donde,

Q_{prom} : caudal promedio (L/s).

Tomando como referencia los valores del muestreo de los efluentes sanitarios tratados para la fecha del 29/10/2009 encontrados en la tabla 3.8, se obtiene:

$$Q_{prom} = \frac{0,840 + 0,667 + 0,827 + 0,840 + 0,887 + 0,997 + 0,863 + 0,867 + 0,933 + 0,867}{10}$$

$$Q_{prom} = 0,859 \text{ L/s}$$

De igual forma se procedió para los demás flujos de las muestras de efluentes sanitarios tratados, agua de servicio, agua de enfriamiento y los efluentes industriales tratados, cuyos valores se toman de las tablas 3.8 hasta 3.11. Los resultados se encuentran reportados en la tabla 4.6.

3.5.3. Conversión de Nitrógeno Amoniacal a Nitrógeno Total

La conversión se realizó multiplicando las cantidades de amoníaco, determinadas por el método de análisis SM-4500NH₃ C [38], por 0,823, lo cual es la razón de los pesos equivalentes del nitrógeno (14) y amoníaco (17).

$$NH_3 - N = NH_3 \times 0,823$$

donde :

NH₃-N: nitrógeno amoniacal total (mg/L)

NH₃: amoníaco (mg/L)

Sustituyendo el primer dato del amoníaco de la tabla 3.7, se tiene:

$$NH_3 - N = 0,1 \frac{mg}{L} \times 0,823 = 0,082 \text{ mg/L}$$

Del mismo modo se obtuvo el nitrógeno amoniacal total para los demás valores de la tabla 3.7 y se encuentran reportados en las tablas 4.4 y 4.5.

3.5.4. Cálculo de los Costos Operacionales por Seguro, Mantenimiento e Impuestos

Los costos por seguro, mantenimiento e impuestos para cada sistema fueron calculados de la siguiente manera:

$$C_s = CIC \times \frac{\% \text{ seguro}}{100\%} \quad (\text{Ec.3.6})$$

donde:

C_s : costos por seguro (Bs.).

CIC: costos de inversión de capital (Bs.)

% seguro: porcentaje asignado por seguro [42].

Tomando el valor del costo de inversión de capital para el sistema de cloro gas mostrado en la tabla 4.11, se tiene:

$$C_s = 7.696.526 \text{ Bs} \times \frac{1\%}{100\%} = 76.965 \text{ Bs}$$

Del mismo modo se obtuvieron los costos por mantenimiento e impuestos del sistema de cloro gas, siendo para estos 6 y 2 % del costo de capital fijo de inversión. Estos resultados se encuentran ubicados en la tabla 4.12.

Para los cálculos del sistema de hipoclorito de sodio se procedió de igual forma tomando para éste el costo de inversión de capital 5.217.542 Bs., calculado y mostrado en la tabla 4.11.

3.5.5. Cálculo de los Consumos de Cloro Gaseoso y de Hipoclorito de Sodio y su Costo Asociado

- **Cloro gas**

Las cantidades de cloro gaseoso necesarias para cada tipo de agua fueron calculadas a través de la siguiente ecuación [22]:

$$C = Q \times D \quad (\text{Ec. 3.7})$$

donde:

C= cantidad de cloro a dosificar (g/h)

Q= caudal de agua a tratar (m³/h)

D= dosis de cloro (g/m³)

Tomando los datos del flujo de diseño del agua de enfriamiento mostrados en la tabla 4.6 y la dosis de cloro recomendada en la tabla 4.2, se tiene:

$$Q = 914,81 \frac{L}{s} \times \frac{1 m^3}{1000 L} \times \frac{3600 s}{1 h} = 3293,32 m^3/h$$

$$D = 3,30 \frac{mg}{L} \times \frac{1000 L}{1 m^3} \times \frac{1 g}{1000 mg} = 3,30 g/m^3$$

$$C = 3293,32 \frac{m^3}{h} \times 3,30 \frac{g}{m^3} = 10867,94 g/h$$

$$C = 10867,94 \frac{g}{h} \times \frac{1 kg}{1000 g} \times \frac{24 h}{1 d} = 260,83 kg/d$$

Multiplicando por 365 días del año, se tiene que el consumo de cloro del agua de enfriamiento anualmente es:

$$C = 260,83 \frac{kg}{d} \times 365 d = 95202,95 kg$$

De igual forma se calculó el consumo de cloro para el agua de servicio, los efluentes industriales y los sanitarios tratados tomando los datos del flujo de la tabla 4.6 y las dosis de la tabla 4.2. El total del consumo de cloro anual en la unidad de servicios industriales corresponde a la suma de las cantidades de cloro requeridas para cada tipo de agua reportada en la tabla 4.13. Dividiendo esta cantidad por la capacidad de los cilindros de cloro (907,18 kg) resulta el número de cilindros aproximado que utilizará la planta anualmente.

$$\text{Número de cilindros anuales requeridos} = \frac{104.871,08 kg}{907,18 kg} = 116$$

Finalmente se multiplicó este valor por el costo actual de cada cilindro (Bs. 4588,7), suministrado por representantes de Pequiven en la entrevista no estructurada realizada, obteniéndose de esta manera el costo de cloro gaseoso por año necesario para el proceso de desinfección de las aguas de Petromonagas.

$$\text{Costo del consumo anual de cloro gaseoso} = 116 \times 4588,7 Bs. = 532.289 Bs.$$

Estos resultados se encuentran reflejados en la tabla 4.12.

- **Hipoclorito de sodio**

Para calcular el consumo de hipoclorito de sodio se sumaron las cantidades anuales registradas en la empresa para el agua de servicio, de enfriamiento y los efluentes industriales tratados, mostradas en la tabla 4.13:

$$\text{Consumo de NaOCl anual} = (15.600 + 96.600 + 571.800)kg = 684.000 kg$$

Seguidamente se dividió esta cantidad por la capacidad de los tanques almacenadores del químico (1.200 kg) para obtener el número de éstos:

$$\text{Consumo de NaOCl anual} = \frac{684.000 \text{ kg}}{1.200 \text{ kg}} = 570$$

Finalmente se multiplicó este número de tanques por su costo individual:

$$\text{Costo de NaOCl anual} = 570 \times 2385 \text{ Bs} = 1.359.450 \text{ Bs.}$$

- **Tricloroisocianurato de sodio**

En el tratamiento de desinfección de los efluentes sanitarios la empresa utiliza pastillas de tricloroisocianurato de sodio. Para calcular el costo del tricloroisocianurato de sodio se tomó el valor de consumo registrado por la empresa en un año (2400 kg), se dividió entre la capacidad de los cuñetes donde viene presentado el químico (50 kg) y se multiplicó por el costo individual de los mismos:

$$\text{Número de cuñetes} = \frac{2400 \text{ kg}}{50 \text{ kg}} = 48$$

$$\text{Costo anual} = 48 \times 1895 \text{ Bs} = 90.960 \text{ Bs}$$

El total del costo por insumo para el hipoclorito de sodio será entonces:

$$\text{Costo anual insumos} = 90.960 \text{ Bs} + 1.359.450 \text{ Bs} = 1.450.410 \text{ Bs}$$

Dicho costo se reporta en la tabla 4.12.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Discusión de Resultados

4.1.1. Cuantificación de los Parámetros Requeridos para la Selección del Sistema de Desinfección

4.1.1.1. Determinación de la Demanda de Cloro

A. Premisas de la prueba de demanda de cloro

Una vez determinada la concentración del hipoclorito de sodio a ser empleado para la elaboración de la solución patrón de la prueba de demanda de cloro, se pudo verificar el bajo porcentaje de cloro activo que presentaban las muestras recolectadas, siendo éste comercializado a 12,5 % v/v (tabla 4.1). Cabe destacar que estas muestras fueron tomadas aleatoriamente de dos tanques de almacenamiento diferentes, ambos ubicados en campo, uno en servicio (muestra 1) y el otro a la espera para su uso (muestra 2).

Tabla 4.1. Registro de calidad de las dos muestras de hipoclorito de sodio recolectadas.

Muestra	Concentración del NaOCl (%)
1	1,08
2	7,68

La degradación del hipoclorito de sodio, como se mencionó en capítulos anteriores, es una de las desventajas más relevantes que dificulta el uso de este desinfectante. El hipoclorito de sodio es una sustancia muy inestable, se evapora a razón de 0,75 gramos de cloro activo por día desde la solución y más rápidamente cuando la temperatura excede los 30 °C [29]. En el caso de Petromonagas la exposición continua a la radiación ultravioleta del sol y las altas temperaturas favorecen aún más la descomposición del químico en iones clorato y moléculas de oxígeno, disminuyendo así el poder desinfectante que le caracteriza [2]. Es por ello que el manejo de este producto requiere de condiciones especiales de almacenamiento y conservación.

B. Prueba de Demanda de Cloro (Método del Punto de Ruptura)

a) Agua de Servicio

En la figura 4.1 los valores del cloro residual frente a las concentraciones de cloro añadidas a las muestras de agua de servicio (tabla 3.2), calculadas teniendo en cuenta el volumen total de cada muestra, demuestran que el cloro residual en lugar de aumentar de forma regular con la dosis introducida, pasa por un máximo (0,5 mg/L), después decrece, pasa por un mínimo (0,35 mg/L) y luego aumenta indefinidamente.

El punto mínimo de la curva corresponde al punto de ruptura o demanda de cloro, es decir, que la mínima cantidad de cloro que requiere el agua de servicio, por ejemplo, para reaccionar con las sustancias orgánicas e inorgánicas y destruir los microorganismos que contiene, es de 0,6 mg/L, aproximadamente. No obstante, para garantizar una desinfección satisfactoria y evitar una nueva contaminación del agua, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomiendan, en las normas sanitarias de calidad del agua potable n° 36.395, artículo 6, mantener una concentración de cloro residual no menor a 0,5 mg/L en el agua potable destinada

al abastecimiento público [44]. En la figura 4.1 se puede apreciar que con una dosis de 0,7 mg/L de cloro se obtiene el residual mínimo exigido por la OMS (0,5 mg/L).

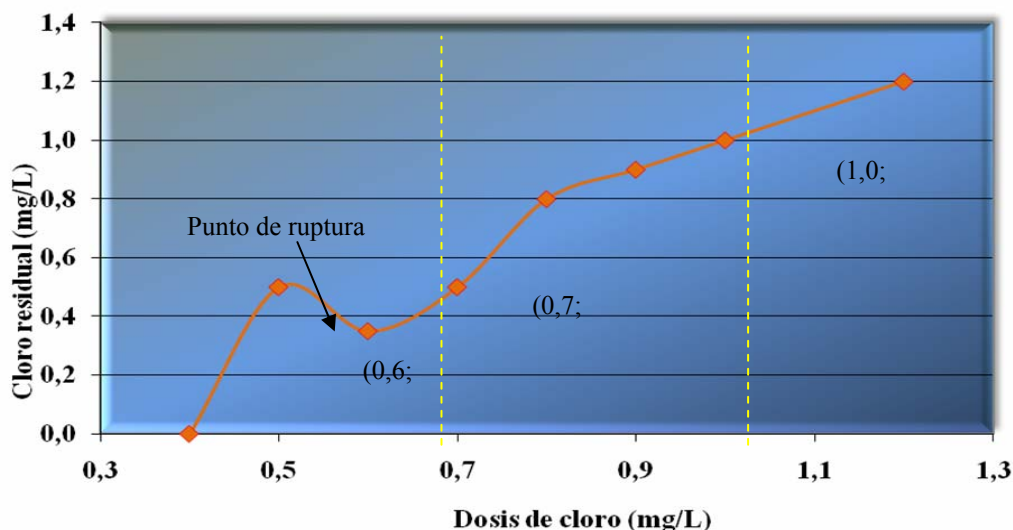


Figura 24. Demanda de cloro del agua de servicio

b) Efluentes sanitarios tratados

En la figura 4.2, cuyos datos se ubican en la tabla 3.4, se demostró que el punto de ruptura o demanda de cloro de los efluentes sanitarios tratados está por el orden de 18 mg/L, sin embargo, la empresa por experiencia propia y de años, ha observado que con un residual de cloro libre de 3mg/L en este tipo de agua se puede garantizar que el número más probable de organismos coliformes (NMP) no sea mayor a 1.000 por cada 100 mL de agua, en el 90% de una serie de muestras consecutivas, como se indica en el Decreto 883 , artículo 12, sobre las descargas de los vertidos líquidos al medio marino costero [3].

En la figura 4.2 se aprecia que con una dosis de cloro de 24 a 26 mg/L se obtiene el residual de cloro libre de 3 mg/L requerido para el cumplimiento de la normativa venezolana mencionada.

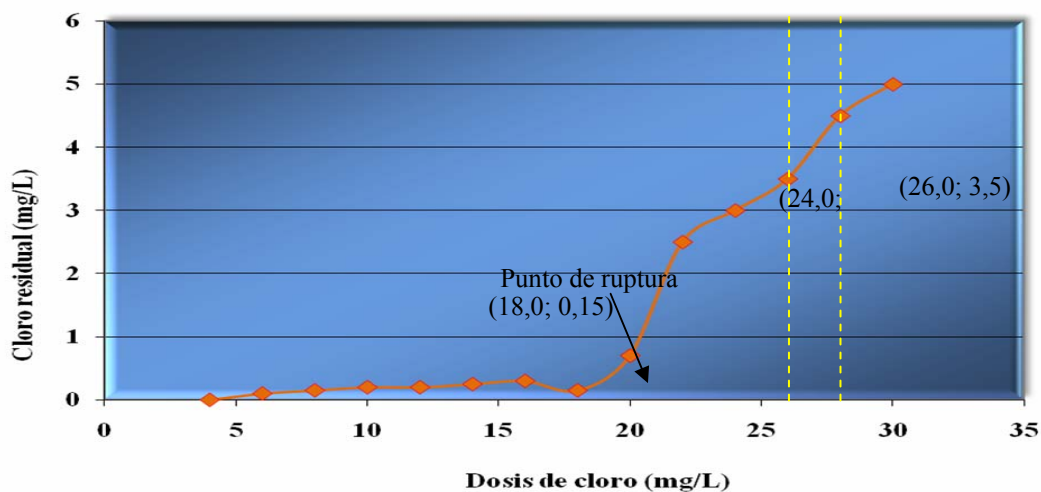


Figura 25. Demanda de cloro de los efluentes sanitarios tratados

c) Efluentes Industriales Tratados

En la figura 4.3, cuyos datos se encuentran en la tabla 3.3, se demostró que el punto de ruptura o demanda de cloro de los efluentes industriales tratados está por el orden de 9,4 mg/L, sin embargo, la empresa por experiencia propia y de años, ha observado que con un residual de cloro libre de 3mg/L en este tipo de agua se puede garantizar que el número más probable de organismos coliformes (NMP) no sea mayor a 1.000 por cada 100 mL de agua, en el 90% de una serie de muestras consecutivas, como se indica en el Decreto 883, artículo 12, sobre las descargas de los vertidos líquidos al medio marino costero [3]. En este sentido, se puede notar en la figura 4.3 que con una dosis de cloro de 12 a 14 mg/L se garantiza el residual de cloro libre de 3 mg/L requerido para el cumplimiento del Decreto 883.

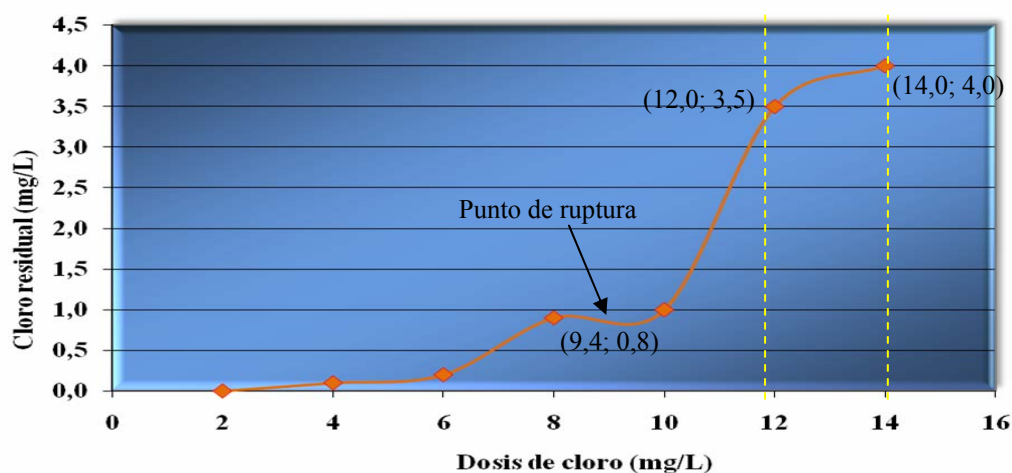


Figura 26. Demanda de cloro de los efluentes industriales tratados.

d) Agua de enfriamiento

Con respecto al agua de enfriamiento, no existe una norma en particular que especifique cuál debe ser el valor de cloro residual libre recomendado para garantizar una desinfección satisfactoria, sin embargo, de acuerdo a la experiencia que se ha desarrollado en el tratamiento del agua de enfriamiento de la empresa Petromonagas, se estima que un residual de cloro libre de 0,4 a 0,7 mg/L, recomendado por ellos sin tener prueba de laboratorio que lo confirme, ha sido aceptable para mantener un control microbiológico adecuado en el sistema. Pese a esto, la prueba realizada para esta investigación arrojó que el valor del cloro residual libre para este tipo de agua debe estar por encima del recomendado, ya que la demanda de cloro señalada en la figura 4.4 (tabla 3.5) se ubicó alrededor de 3,08 mg/L, para la cual corresponde un residual de 1 mg/L. De acuerdo a la figura 4.4, el cloro residual de 0,4 y 0,7 mg/L se encuentra combinado con compuestos nitrogenados presentes en el agua, pero esta concentración no corresponde al cloro realmente activo (cloro libre), sino a productos orgánicos complejos (cloraminas), también desinfectantes pero con muy bajo efecto [24].

En función de los resultados obtenidos de la demanda de cloro y atendiendo a la teoría sobre la desinfección y el comportamiento del cloro en el agua (sección 2.4.9), se recomendó aplicar a esta agua de enfriamiento una dosis de 3,08 a 3,3 mg/L, lo cual corresponde a residuales de 1,00 a 1,50 mg/L, según la figura 4.4.

Cabe destacar que la empresa utiliza una serie de productos para garantizar la calidad exigida para este tipo de agua.

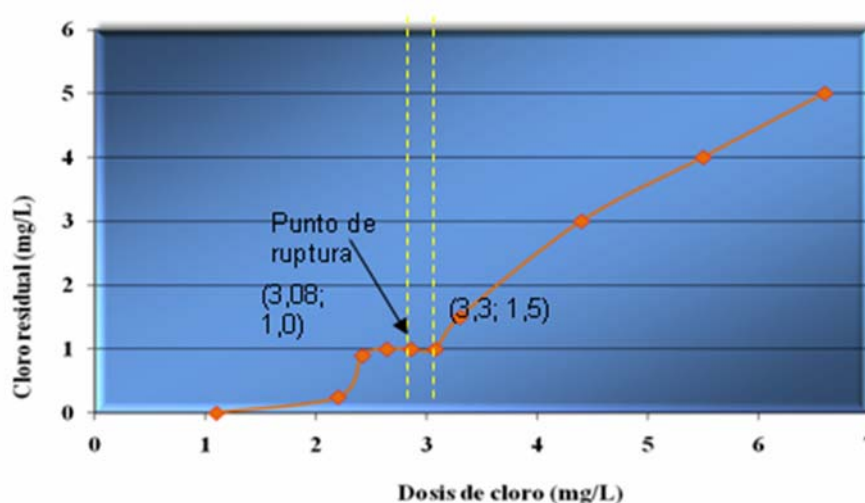


Figura 27. Demanda de cloro del agua de enfriamiento

e) Demanda y dosis de cloro recomendada para cada tipo de agua

En la tabla 4.2 se muestra la demanda de cloro y la dosis recomendada para cada tipo de agua, donde se puede notar que dichos valores varían de un tipo de agua a otra al igual que la forma en las figuras 4.1 a 4.4. Los efluentes sanitarios demandaron mayor cantidad de cloro que las demás aguas (18 mg/L), mientras que el agua de servicio fue la que requirió menor cantidad del desinfectante (0,6 mg/L).

Este comportamiento tiene que ver con la relación que guarda la demanda de cloro con las características químicas y microbiológicas del agua. En los

efluentes sanitarios, a pesar que provienen de un tratamiento previo, hay tendencia a quedar un importante contenido de sustancias orgánicas, inorgánicas y microorganismos, ya que estos procesos no son 100% eficientes, por lo que se necesita suficiente cantidad de desinfectante para lograr una oxidación y desinfección satisfactoria.

Es importante destacar que el agua de servicio que se utiliza en la empresa es el agua que procede de las instalaciones de Pequiven, donde se realizan tratamientos previos a esta agua que proviene del río Neverí para ser distribuida a las diferentes empresas del Complejo Industrial, Petroquímico y Petrolero José Antonio Anzoátegui. Esta agua que llega a Petromonagas como agua industrial es nuevamente clorada con una solución de hipoclorito de sodio para su desinfección cumpliendo con la especificación para uso humano, para luego ser utilizada como agua de servicio en el suministro a las estaciones de servicio de las diferentes unidades, a las edificaciones de la empresa y a los sistemas de protección personal (lavaojos y duchas).

Tabla 4.2. Demanda y dosis de cloro recomendada para cada tipo de agua en estudio.

Tipo de agua	Demanda de cloro (mg/L)	Dosis recomendada (mg/L)
E. sanitarios tratados	18,00	24,00-26,00
E. industriales tratados	9,40	12,00-14,00
Agua de servicio	0,60	0,70-1,00
Agua de enfriamiento	3,08	3,08-3,30

4.1.1.2. Análisis de Bacterias Coliformes

El agua destinada al consumo humano no debe contener microorganismos patógenos. Para asegurar que el agua esté exenta de contaminación fecal y que se ha realizado una buena desinfección se utilizan microorganismos indicadores. Las bacterias coliformes son consideradas el mejor grupo indicador de contaminación fecal por sus características bioquímicas, las cuales las hacen más resistentes que otras bacterias patógenas intestinales. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura [13].

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito se decidió comprobar que las dosis de cloro recomendadas a partir de los ensayos de demanda de cloro eran realmente las más adecuadas, para lo cual se aplicó un análisis de niveles de organismos coliformes al agua de servicio y los efluentes industriales y sanitarios tratados.

Tabla 4.3. Resultados de los análisis de los niveles de organismos coliformes en cada muestra

Muestra	Tipo de Agua	Coli. totales (NMP/100 mL)	Coli. fecales (NMP/100 mL)	Límites de coli. (NMP/100 mL)
5	Agua de servicio (0,8 mg/L)	<2 (Ausente)	<2 (Ausente)	<2 (Ausente)
7	Agua de servicio (1,0 mg/L)	<2 (Ausente)	<2 (Ausente)	<2 (Ausente)
11	E. sanitarios (24 mg/L)	8	<2 (Ausente)	<1.000
12	E. sanitarios (26 mg/L)	<2 (Ausente)	<2 (Ausente)	<1.000
8	E. industriales (12 mg/L)	<2 (Ausente)	<2 (Ausente)	<1.000
9	E. industriales (14 mg/L)	2	<2 (Ausente)	<1.000

Los resultados emitidos por el laboratorio de Interlab mostrados en la tabla 4.3, reflejaron en casi todas las aguas ausencia de coliformes totales y fecales en muestras consecutivas de 100 mL, solo en el caso de la muestra 11 de efluentes sanitarios y la 9 de efluentes industriales tratados manifestaron números más probables de coliformes (NMP) de 8 y 2, respectivamente; sin embargo estos valores se encuentran muy por debajo de los límites (1.000/100 mL agua) exigidos en el Decreto 883 [3].

4.1.1.3. Análisis Químico de Todas las Aguas a Tratar

El conocimiento de las características químicas de las aguas que se van a tratar es de gran importancia, ya que existen ciertos compuestos que consumen parte del cloro mientras son oxidados a otras especies.

El hierro en su forma reducida, Fe^{++} , se oxida a Fe^{3+} , el cual precipita si el pH es bastante elevado en la forma de $Fe(OH)_3$. El amoníaco producirá las cloraminas en sus tres clases, monoclорaminas, dicloraminas y tricloraminas. Los sulfuros se oxidan a sulfatos mientras que el fenol o sus compuestos formarán el clorofenol. La materia orgánica en muestras líquidas también es susceptible a ser oxidada por medios químicos [23].

Los componentes seleccionados para verificar si hay interferencias sobre la demanda de cloro fueron el hierro, amoníaco, sulfuros, fenoles y DQO.

Tabla 4.4. Resultados del análisis químico de las muestras de agua de servicio, de enfriamiento, efluentes sanitarios y efluentes industriales tratados, sin clorar

Muestra	Tipo de agua	Análisis				
		Hierro (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	Sulfuros (mg/L)	Fenoles (mg/L)	DQO (mg/L)
Testigo	E. sanitarios	-	0,082 (40)	0,11 (2)	-	23 (350)
Testigo	E. industriales	0,048	11,110 (40)	-	0,037 (0,5)	176 (350)
Testigo	A. de servicio	0,070 (0,1)	-	-	-	-
Testigo	A. enfriamiento	0,130 (2)	-	-	-	-

(-): no se realizó el análisis

(mg/L): límites exigidos por las normas respectivas para cada tipo de agua [3] [44] [8].

Tabla 4.5. Resultados del análisis químico de las muestras de agua de servicio, de enfriamiento, efluentes sanitarios y efluentes industriales tratados, luego de la cloración

Mues	Tipo de agua	Análisis				
		Hierro (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	Sulfuros (mg/L)	Fenoles (mg/L)	DQO (mg/L)
11	E. sanitarios (24 mg/L)	-	0,074	-	-	6
12	E. sanitarios (26 mg/L)	-	0,065	-	-	18
8	E. industriales (12 mg/L)	0,031	9,546	-	-	149
9	E. industriales (14 mg/L)	0,037	0,098	-	-	182
5	A. de servicio (0,8 mg/L)	0,060	-	-	-	-
7	A. de servicio (1,0 mg/L)	0,060	-	-	-	-

Tabla 4.5. Resultados del análisis químico de las muestras de agua de servicio, de enfriamiento, efluentes sanitarios y efluentes industriales tratados, luego de la cloración (continuación)

Mues.	Tipo de agua	Análisis				
		Hierro (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	Sulfuros (mg/L)	Fenoles (mg/L)	DQO (mg/L)
1	A. enfriamiento (2,2 mg/L)	0,130	-	-	-	-
10	A. enfriamiento (2,42 mg/L)	0,130	-	-	-	-

(-): no se realizó el análisis

Los análisis aplicados a las diferentes aguas en estudio señalaron valores bajos de hierro, amoníaco, sulfuros, fenoles y DQO antes y después de la cloración, tal como se muestra en las tablas 4.4 y 4.5 ,encontrándose estos dentro de los parámetros exigidos por las normas de calidad de agua y los manuales técnicos-operacionales de la empresa Petromonagas. Estos resultados permitieron reafirmar las demandas de cloro obtenidas anteriormente para esta investigación ya que, por las características de las aguas mostradas, los consumos del desinfectante no serían cantidades importantes.

4.1.1.4. Determinación del Flujo, Presión y Diámetro de Tuberías en los Puntos de Inyección del Desinfectante Propuestos

Los resultados de los flujos máximos de diseño, presión de diseño, diámetros de tuberías y flujos operacionales medidos en campo de los puntos donde se propone la inyección del desinfectante (anexo D), se muestran en la tabla 4.6.

Los valores de diseño como son el flujo, presión y diámetros de tuberías, aunados a las dosis de cloro determinadas en el laboratorio, constituyeron los datos claves suministrados a los proveedores para que estos realizaran los cálculos respectivos de la capacidad del sistema de desinfección así como también de los costos de los equipos principales, necesarios para la estimación de costos clase V que se mostrará más adelante.

Los promedios de los flujos medidos en planta para cada tipo de agua se encuentran por debajo de los valores de diseño, por lo que una vez instalado y puesto en servicio el sistema de desinfección seleccionado, se deberán ajustar las dosificaciones a dichos valores operacionales con sus respectivas variaciones.

Tabla 4.6. Condiciones de diseño y flujos operacionales medidos en los puntos de inyección del desinfectante.

Agua a tratar	Flujo máx. diseño (L/s)	Flujo op. medido (L/s)	Diámetro tubería (cm)	Presión diseño (kg/cm ²)
E. industriales	57,54	26,90	15,24	2,81-3,16
E. sanitarios	2,52	0,80	10,16	1,03
A. recirculación de la torre de enfriamiento	914,81	891,79	60,96	1,55-1,83
Agua se servicio	12,62	8,10	10,16	6,05-6,40

4.1.2. Estudio de las Posibles Opciones para el Tratamiento Microbiológico de las Aguas de la Unidad de Servicios Industriales de la Planta

Del estudio bibliográfico sobre desinfectantes y/o sistemas de desinfección, las consultas a proveedores y las referencias de otras empresas que realizan tratamientos de desinfección en sus aguas, se establecieron primeramente las características más relevantes de las veintidos tecnologías de desinfección o químicos desinfectantes identificados, en base a los parámetros definidos en el capítulo 3.

Del análisis realizado se generaron tablas comparativas como la 4.7. El resto de las tablas correspondientes a los demás desinfectantes se encuentran en el anexo E.

Tabla 4.7. Características de los sistemas de calor y radiaciones x y gamma.

Criterios considerados	Características	
	Calor	Radiaciones gamma y x
Clasificación	Físico	Físico
Características	Energía	Radiaciones ionizantes de longitud de onda específica
% Cloro activo	N/A	N/A
Efectos a la salud	Sin efectos	Sin efectos
Efectividad contra microorganismos	Eficaz contra bacterias, esporas, virus, cercarias y quistes	Son letales para los microorganismos. Capacidad bactericida mejor que la de la radiación ultravioleta
Seguridad industrial	Riesgo de quemaduras	Provocan cambios moleculares, produciendo efectos
Impacto ambiental	No tiene efectos positivos ni negativos sobre el ambiente	No tiene efectos positivos ni negativos sobre el medio ambiente
Almacenamiento	Se genera en el sitio	Se genera en el sitio
Insumos	No hay requerimiento de químicos	No hay requerimiento de químicos

Tabla 4.7. Características de los sistemas de calor y radiaciones x y gamma.

Criterios considerados	Características	
	Calor	Radiaciones gamma y x
Estabilidad en el tiempo	Se genera en el sitio	Se genera en el sitio
Poder oxidante		
Formación de subproductos	No hay aparición de SPD	No se presentan problemas sanitarios ni SPD.
Mantenimiento de un valor residual	Ninguno	Ninguno
Estandarización Jose	No se utiliza	No se utiliza
Capacidad		
Aceptación y migración en refinерías	No se utiliza	No se utiliza
Facilidad de monitoreo	La dosificación es difícil de medir y asegurar. La única manera confiable de determinar la eficiencia biocida es mediante un muestreo del agua tratada y análisis microbiológicos para determinar el contenido de microorganismos indicadores.	La dosificación es difícil de medir y asegurar. La única manera confiable de determinar la eficiencia biocida es mediante un muestreo del agua tratada y análisis microbiológicos para determinar el contenido de microorganismos indicadores.
Requerimiento de servicios industriales	Electricidad	No existen equipos específicos para el tratamiento de agua por radiación gamma o X. Los que existen están basados en las emisiones de bombas de cobalto; son bastante complicados
Requerimiento de personal	Requiere de poco personal y entrenamiento para su uso	Requiere personal especialmente capacitado
Observaciones	El calor se suele emplear con frecuencia en las industrias lácticas y de bebidas, pero su aplicación al agua residual no es factible debido al alto coste que supondría. Es principalmente un sistema de desinfección doméstico no aplicable a plantas de purificación	Solo se han usado experimentalmente, No hay datos fidedignos de los costos de este tipo de tratamiento del, tampoco se han hecho estudios comparativos entre las diferencias de desinfectar comestibles y agua

El análisis de la información encontrada permitió descartar todas aquellas alternativas que no cumplieran con las especificaciones o requerimientos para ser utilizados en el mejorador para la desinfección de los cuatro tipos de agua.

Desinfectantes como los alcoholes, fenol, aldehídos, tensoactivos, ácidos y álcalis, por ejemplo, son generalmente empleados para otras aplicaciones sobre todo en el campo de la medicina, más no para la desinfección de grandes cantidades de agua como es objetivo del presente proyecto. Otros como el yodo y la plata, además de utilizarse para pequeños volúmenes de agua, son eficientes sólo para aguas claras donde los niveles de turbidez sean bastante bajos, como es también una de las grandes desventajas de la radiación ultravioleta.

El permanganato de potasio ha resultado ser un biocida muy deficiente en la desinfección del agua, por lo que no se recomienda su empleo. Muy similar al caso de las cloraminas que son utilizadas como desinfectante secundario y como protección contra recrecimientos microbiológicos.

Con respecto al bromo, su uso como desinfectante para agua de consumo humano no es recomendable porque produce un sabor desagradable a medicina, por lo que suele ser empleado normalmente para desinfección del agua de enfriamiento. Otros como el dicloroisocianurato de sodio, el cobre y la diclorohidantoina, además de tener poca experiencia en América Latina y el Caribe, no se tiene bien claro los efectos que pueden tener estos compuestos sobre la salud humana cuando son consumidos en el agua potable.

El calor, a pesar de ser un excelente desinfectante, suele ser empleado con mayor frecuencia en las industrias lácticas y de bebidas, pero su aplicación al agua residual no es factible debido al alto costo que supondría. La filtración, muy eficiente para extraer sólidos en suspensión, ciertos productos químicos y patógenos, no asegura una desinfección completa puesto que ciertos microorganismos son capaces de atravesar los filtros. Por último las radiaciones gamma y X, que suelen ser letales para los microorganismos, solo han tenido uso experimental en el tratamiento del agua.

Éstas, entre otras características descritas en el anexo E, fueron algunas de las razones por las cuales se sugirió la reducción de la lista de tecnologías de

desinfección que serían comparadas posteriormente en la matriz de evaluación, facilitando de esta manera el proceso de selección. De allí que, las opciones de desinfección más viables para el mejorador fuesen entonces: dióxido de cloro, hipoclorito de calcio, cloro gas, ozono e hipoclorito de sodio en sus dos modalidades, comercializado al 12,5 % v/v o generado en sitio a partir de agua salada.

Es importante resaltar que el sistema de hipoclorito de sodio se coloca como una opción a considerar siempre y cuando se utilice el material adecuado para su diseño, ya que se trata de un químico muy corrosivo. Esto, porque el sistema original de hipoclorito de sodio que se empleaba en la empresa para la desinfección de las aguas fue elaborado con la metalurgia inadecuada, acero inoxidable, el cual no es recomendado para ese servicio a ninguna temperatura [45]. Esta falla en la ingeniería fue la causa principal del debilitamiento del metal y acelerado proceso de corrosión que conllevó finalmente a la suspensión del servicio del sistema.

4.1.2.1. Entrevistas no Estructuradas Realizadas a Otras Empresas

Las empresas que fueron entrevistadas para conocer el tipo de tecnología que utilizan en la desinfección de sus aguas se encuentran en la tabla 4.8. Los resultados obtenidos de la entrevista se reflejan en la figura 4.5, donde se puede observar que el cloro gas es el sistema que predomina dentro del grupo, el hipoclorito de sodio se ubica en segundo lugar y otros sistemas como el dióxido de cloro, el hipoclorito de calcio y el bromo son poco empleados.

Tabla 4.8. Sistemas de desinfección y/o desinfectantes utilizados por otras empresas.

Empresa	Sistema de desinfección o desinfectante utilizado
Pequiven	Cloro gas
Petrocedeno	Cloro gas, hipoclorito de sodio
Petropiar	Cloro gas, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio
Refinería Pto. La Cruz	Cloro gas
Metor	Cloro gas
Sumeca	Cloro gas
Fertinitro	Bromo, hipoclorito de sodio
Empresas Polar	Cloro gas, dióxido de cloro

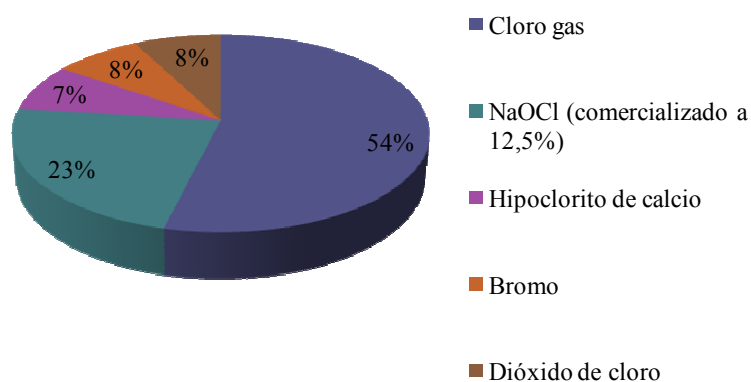


Figura 28. Resultados de las entrevistas no estructuradas realizadas a diferentes empresas

4.1.2.2. Tecnología Seleccionada en la Matriz de Evaluación

Las tablas 4.9 y 4.10 corresponden a la matriz de evaluación de las seis tecnologías preseleccionadas en la sección anterior destinadas al tratamiento de desinfección de las aguas de la unidad de servicios industriales del mejorador Petromonagas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el sistema de cloro gaseoso mostró ser la tecnología recomendable para el tratamiento microbiológico de las aguas de la unidad de servicios industriales del mejorador Petromonagas, por presentar mayor puntuación ante las demás alternativas desde el punto de vista técnico y operacional, tal como se señala en la figura 4.6. En segundo lugar el sistema de hipoclorito de sodio con 68,75 puntos y en el mismo orden los sistemas de ozono, hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio generado en sitio y el dióxido de cloro con las puntuaciones de 67,00; 65,50; 63,25 y 55,00, respectivamente.

Tabla 4.9. Matriz de evaluación sistemas de cloro gas, hipoclorito de sodio y dióxido de cloro.

ELEMENTOS DE LA PONDERACIÓN	P %	Cloro gas		Hipoclorito de sodio		Dióxido de cloro	
		Valor A.	Calificación	Valor A.	Calificación	Valor A.	Calificación
Efectos a la salud	15	3	11,25	3	11,25	2	7,5
Efectividad contra microorganismos	8	3	6	3	6	4	8
Seguridad industrial	10	1	2,5	2	5	1	2,5
Impacto ambiental	10	2	5	2	5	2	5
Almacenamiento	5	1	1,25	2	2,5	1	1,25
Orden y limpieza	2	4	2	3	1,5	3	1,5
Insumos	5	4	5	4	5	3	3,75
Efecto del pH	2	3	1,5	3	1,5	4	2
Estabilidad del producto	2	4	2	1	0,5	1	0,5
Poder oxidante	2	3	1,5	3	1,5	4	2
Formación de subproductos	3	2	1,5	2	1,5	2	1,5
Mantenimiento de un valor residual	2	4	2	4	2	2	1
Flexibilidad operacional	5	4	5	2	2,5	3	3,75
Estandarización Jose	5	4	5	3	3,75	1	1,25
Aceptación y migración en refineries	5	4	5	1	1,25	1	1,25
Capacidad	4	4	4	4	4	3	3
Facilidad de monitoreo	4	4	4	4	4	2	2
Requerimiento de servicios industriales	4	4	4	4	4	4	4
Requerimiento de personal especializado	4	1	1	3	3	1	1
Procura	3	4	3	4	3	3	2,25
TOTAL	100	63	72,5	57	68,75	47	55

1: Deficiente 2: Regular 3: Bueno 4: Excelente

Tabla 4.10. Matriz de evaluación sistemas de ozono, hipoclorito de calcio y hipoclorito de sodio generado en sitio.

ELEMENTOS DE LA PONDERACIÓN	P %	NaOCl en sitio		Hipoclorito de calcio		Ozono	
		Valor A.	Calificación	Valor A.	Calificación	Valor A.	Calificación
Efectos a la salud	15	3	11,25	3	11,25	3	11,25
Efectividad contra microorganismos	8	3	6	3	6	4	8
Seguridad industrial	10	1	2,5	3	7,5	2	5
Impacto ambiental	10	2	5	2	5	4	10
Almacenamiento	5	2	2,5	2	2,5	2	2,5
Orden y limpieza	2	3	1,5	2	1	4	2
Insumos	5	4	5	4	5	4	5
Efecto del pH	2	3	1,5	3	1,5	4	2
Estabilidad en el tiempo	2	2	1	3	1,5	1	0,5
Poder oxidante	2	3	1,5	3	1,5	4	2
Formación de subproductos	3	2	1,5	2	1,5	2	1,5
Mantenimiento de un valor residual	2	4	2	4	2	1	0,5
Flexibilidad operacional	5	2	2,5	1	1,25	2	2,5
Estandarización JOSE	5	1	1,25	1	1,25	1	1,25
Aceptación y migración en refinерías	5	1	1,25	1	1,25	1	1,25
Capacidad	4	4	4	2	2	4	4
Facilidad de monitoreo	4	4	4	4	4	2	2
Requerimiento de servicios industriales	4	4	4	4	4	4	4
Requerimiento de personal especializado	4	2	2	3	3	1	1
Procura	3	4	3	4	3	1	0,75
TOTAL	100	54	63,25	54	66	51	67

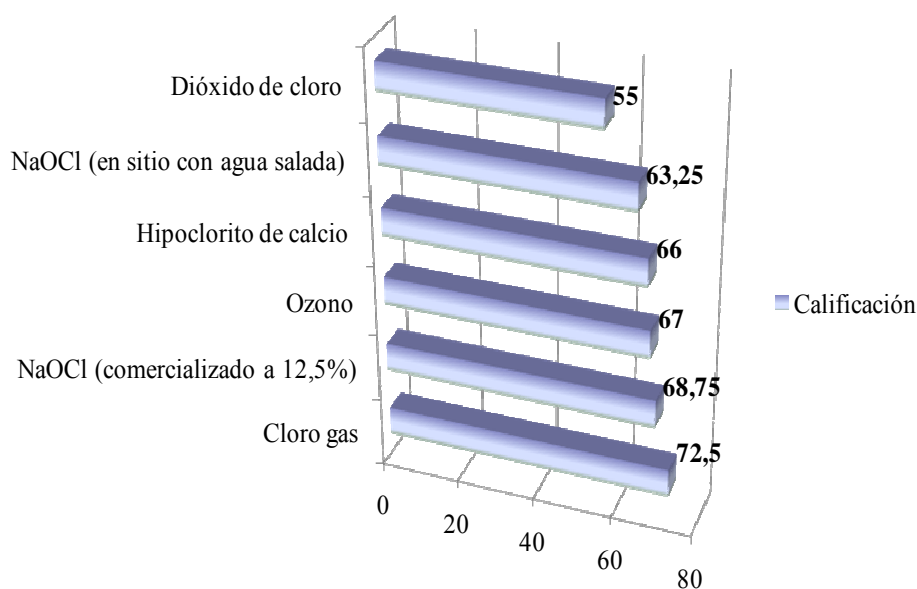


Figura 29. Calificación de las opciones de desinfección comparadas en la matriz de selección

La justificación por la recomendación del sistema de cloro gas como la alternativa más viable para mitigar los inconvenientes ocasionados por el sistema actual de desinfección y continuar garantizando una desinfección satisfactoria de las aguas en el mejorador, obedece a la serie de ventajas técnicas y operacionales que presenta esta tecnología, la cual, a pesar de que el cloro gaseoso es considerado un químico altamente tóxico, no se puede negar que verifica una serie de condiciones que lo hacen sumamente valioso, como son el alto poder activo de cloro, su acción germicida de amplio espectro, su gran capacidad oxidante, los equipos de dosificación son sencillos y confiables, deja efecto residual y es de fácil y conocido monitoreo, actúa en un amplio rango de temperatura y pH (aunque a determinados pH la especie presente pueda tener más poder desinfectante que a otros pH), es estable en el tiempo, no afecta a formas superiores de vida en las concentraciones en que es mortal para casi todo tipo de microorganismos, y algo muy importante, es accesible en casi todos los países del mundo, incluido Venezuela. Las dificultades que sí deben ser consideradas son, como se dijo anteriormente, lo irritante y altamente tóxico que puede ser el cloro a altas concentraciones, por lo que debe ser manipulado con mucha precaución tomando en consideración las respectivas normas que actualmente existen para la instalación y manejo del cloro.

El hipoclorito de sodio comercializado al 12,5% v/v, cuya puntuación lo coloca en el segundo lugar, es un sistema mucho más manejable que el cloro gas desde el punto de vista de seguridad, aunque también requiere de cierto cuidado ya que es corrosivo. Sus propiedades oxidantes y germicidas son muy similares a las del cloro gaseoso, sin embargo, este último resulta ser más eficaz puesto que su concentración o poder de cloro activo es casi del 100%, lo que supondría obtener el mismo efecto desinfectante con la adición de una cantidad mucho menor de químico. Es muy semejante al cloro gas en cuanto a que mantiene efecto residual, es de fácil monitoreo, actúa en amplio rango de temperatura y pH, no causa efecto a la salud humana a las concentraciones reglamentadas y se consigue fácilmente en Venezuela así como sus equipos de dosificación, no obstante, uno

de los inconvenientes que le confiere mayor desventaja ante el cloro gas es su rápida degradación a través del tiempo como se explicó en la sección 4.1.1.1. Otro factor que hay que tomar en consideración es la flexibilidad del sistema, ya que una ampliación futura de las instalaciones del mejorador podría requerir de una reconsideración de la capacidad del sistema de desinfección, lo cual le asigna un punto a favor al sistema de cloro gas puesto que tiene la versatilidad de poder añadirse nuevos cloradores en serie para alcanzar la dosificación deseada, mientras que el sistema de hipoclorito está sujeto a la capacidad del tanque de almacenamiento del químico.

El análisis permitió escoger una tercera opción con el uso del ozono como desinfectante. Este conocido gas mostró excelentes propiedades biocida y oxidante, por lo que es considerado el desinfectante más potente utilizado en los suministros de agua. Su capacidad de desinfección no cambia considerablemente con la variación del pH y suele no ser tan dañino para el ambiente ya que es producido a partir del oxígeno y vuelve al oxígeno puro. Dentro de sus grandes desventajas, el ozono no proporciona un residual estable, por lo que se hace necesario combinarlo con otro desinfectante secundario para proporcionar ese residual y proteger el agua de una posible contaminación. Aunado a esto, la experiencia limitada que se tiene sobre la generación de ozono en América Latina y el Caribe y los elevados costos de instalación y operación que sugiere de aquellos países que si lo utilizan, hacen del ozono una alternativa no tan viable para los objetivos que se desean con este proyecto.

4.1.3. Estudio de Factibilidad Económica de los Sistemas de Desinfección que Resulten más Accesibles a su Posible utilización

Como se explicó en la sección anterior los resultados de la matriz de evaluación indicaron que las alternativas más accesibles a ser utilizadas en el mejorador son el cloro gas y el hipoclorito de sodio (comercializado al 12,5%), desde el punto de vista técnico y operacional. Sin embargo, se consideró

fundamental comparar estas opciones con un estudio de factibilidad económica, a través del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.3.1. Costos de Inversión de Capital

A través del método del porcentaje del equipo entregado (anexo C) concretado en la tabla 4.11 se pudo notar que el costo de inversión de capital del sistema de cloro gaseoso sobrepasa los costos del sistema de hipoclorito de sodio con una diferencia de Bs. 2.478.984. La divergencia se presenta desde la magnitud y complejidad de los componentes de cada sistema, observándose que el sistema de hipoclorito de sodio es una tecnología mucho más sencilla que la del cloro gas, donde el costo mayor se concentra básicamente en el tanque de almacenamiento del desinfectante (tabla C2). Por el contrario, la tecnología del cloro gas contempla equipos mayores tales como cloradores, balanzas digitales, torre lavadora, entre otros, que le confieren al sistema mayor complejidad y elevado costo (tabla C1).

4.1.3.2. Costos de Operación

En la tabla 4.12 se encuentran los resultados de los costos operacionales asociados a las tecnologías de cloro gaseoso y de hipoclorito de sodio. De acuerdo a esto es posible notar que los costos de seguro, mantenimiento e impuestos son más elevados en el cloro gas que en el hipoclorito de sodio, ya que sus cálculos fueron realizados como porcentajes del costo del capital fijo donde el cloro gas mostró mayor inversión.

Tabla 4.11. Estimación de la inversión de capital para los sistemas de cloro gaseoso y de hipoclorito de sodio, basados en el costo del equipo entregado.

Rubro	Planta que	Costos involucrados por	
	procesa fluidos (%)	porcentaje del costo del equipo entregado (Bs.)	
		Cloro gas	NaOCl
Costos directos			
Equipo adquirido y entregado	100	1.765.056	1.196.547
Instalación del equipo adquirido	47	829.576	562.377
Instrumentación y controles (instalados)	18	317.710	215.378
Cañerías y tuberías (instaladas)	66	1.164.937	789.721
Obras civiles (incluyendo servicios)	18	317.710	215.378
Costo directo total de la planta		4.394.989	2.979.401
Costos indirectos			
Ingeniería y supervisión	33	582.468	394.861
Gastos de construcción	41	723.673	490.584
Total de los costos directos e indirectos de la planta		5.701.130	3.864.846
Honorarios del contratista (aproximadamente el 5% de los costos directos e indirectos de la planta)	21	285.057	193.242
Eventuales (alrededor del 30% de los costos directos e indirectos de la planta)	42	1.710.339	1.159.454
Inversiones de capital fijo		7.696.526	5.217.542
INVERSIÓN TOTAL DE CAPITAL		7.696.526	5.217.542

Tabla 4.12. Costos operacionales para los sistemas de cloro gas y de hipoclorito de sodio.

Rubro	Costos asociados (Bs.)	
	Cloro gas	Hipoclorito de sodio
Seguro (1% del costo de capital fijo)	76.965	52.175
Mantenimiento (6% del costo de capital fijo)	461.792	313.053
Impuestos (2% del costo de capital fijo)	153.931	104.351
Insumos	532.289	1.450.410*
TOTAL COSTOS OPERACIONALES	1.224.977	1.919.989

(*): el costo total del consumo de hipoclorito de sodio tiene la contribución del costo asociado al tricloroisocianurato de sodio.

En el caso de los insumos se presentó todo lo contrario en cuanto a costos, pues en este caso fue el hipoclorito de sodio quien apuntó mayor capital de inversión debido a su alto consumo como se refleja en la tabla 4.13. Esta diferencia marcada en los consumos de ambos químicos se encuentra directamente relacionada con el poder de cloro activo que presenta cada uno de ellos, que en el cloro gaseoso es de casi el 100% mientras que el del hipoclorito de sodio es de 12,5%; por consiguiente se requiere mayor cantidad de hipoclorito para cubrir la demanda de las aguas y mantener el residual dentro de especificación. Aunado a esto se encuentra el inconveniente de la degradación del hipoclorito de sodio lo que incrementa aún más este consumo.

Tabla 4.13. Consumo de cloro gaseoso y de hipoclorito de sodio por cada tipo de agua.

Tipo de agua	Consumo anual del desinfectante	
	Cloro gas (kg)	Hipoclorito de sodio (kg)
Agua de enfriamiento	95.202,95	96.600
Agua de servicio	397,85	15.600
Efluentes industriales	7.056,55	571.800
Efluentes sanitarios	2.213,73	2.400*
TOTAL CONSUMO	104.871,08	686.400

(*): el consumo de desinfectante de los efluentes sanitarios se calculó en kg de tricloroisocianurato de sodio ya que actualmente éste es el químico que se utiliza en esta planta y se desea incluir en el proyecto nuevo de desinfección.

4.1.3.3. Rentabilidad de las Tecnologías Propuestas

En esta etapa del proyecto se logró hacer una comparación de las dos tecnologías seleccionadas relacionando los costos del capital fijo de inversión, los

de operación y sus respectivos años de vida útil mediante el cálculo del VPN a una Tmar de 15%, el cual permitió demostrar una vez más que el sistema de cloración con gas es la tecnología más atractiva que mayor cumple con las especificaciones financieras requeridas por el mejorador para el tratamiento de desinfección de las aguas de sus servicios industriales, ya que su VPN es mayor al del hipoclorito de sodio (tabla 4.14),

Tabla 4.14. Resultados del cálculo del VPN de las tecnologías propuestas.

Tecnología	VPN (Bs.)
Sistema de cloro gas	-17.831.524
Sistema de hipoclorito de sodio	-18.017.468

4.1.4. Presentación de los Detalles Conceptuales del Sistema de Desinfección Seleccionado

4.1.4.1. Descripción del Proceso de Cloración con Gas

En el tratamiento de agua por cloración se produce una solución de cloro en sitio utilizando cloro gaseoso y agua. Esta solución sirve como desinfectante para eliminar los organismos patógenos. Se disuelve el gas cloro en agua y se añade en una cámara de contacto.

El sistema de cloración consiste de dos cilindros de cloro, los cuales estarán montados sobre una balanza electrónica cada uno. Un cilindro trabajando y otro en espera. Cada cilindro contará con una válvula de cierre rápido, en caso de fuga en el cabezal de cloro.

Las tuberías por las que circula el cloro gaseoso deben tener el menor número posible de bridas. Estas tuberías deben estar siempre bien identificadas, visibles y de fácil acceso. Así mismo, deben ser objeto de trato cuidadoso por parte de todo el personal.

Dos reguladores de vacío de tipo interruptores de cambio permiten a los cilindros trabajar en forma automática, es decir, al agotarse el suministro de cloro de un cilindro, la presión disminuye hasta llegar el momento en que el regulador de vacío cierre y permita en forma automática que el otro regulador se abra y entre en operación el segundo cilindro. De ser necesario, estos reguladores podrían trabajar en forma manual.

Cada línea de cloro entre los cilindros y el clorador debe estar dotada de una válvula reguladora de presión de cloro, con la finalidad de reducir la presión proveniente de los cilindros, estabilizar y permitir así que los reguladores de vacío trabajen en condiciones más favorables.

En el cabezal principal de cada cilindro se halla una válvula motorizada, la cual es controlada por un tablero eléctrico y operará manualmente o mediante una señal proveniente del detector de escape de cloro. Estas válvulas se encargan de cerrar una o todas las llaves de los cilindros en caso de un escape, minimizando de esta forma el escape de cloro.

Una vez que el gas hace el recorrido por el cabezal principal, desde los cilindros de cloro, luego llega a un clorador, el cual trabaja con un inyector donde se realiza la mezcla del cloro gas con el agua, para la posterior adición de la solución a una cámara de contacto.

La mezcla del agua a tratar y la solución clorada se realiza hidráulicamente mediante paredes deflectoras ubicadas en la cámara de contacto, que favorecen la distribución del cloro en el agua, garantizando además un tiempo mínimo de contacto de 20 minutos a caudal medio suficiente para permitir la acción del cloro.

4.1.4.2. Componentes Principales de un Sistema de Cloración con Gas

En la figura 4.7 se observan algunos de los componentes descritos del sistema de cloración con gas.

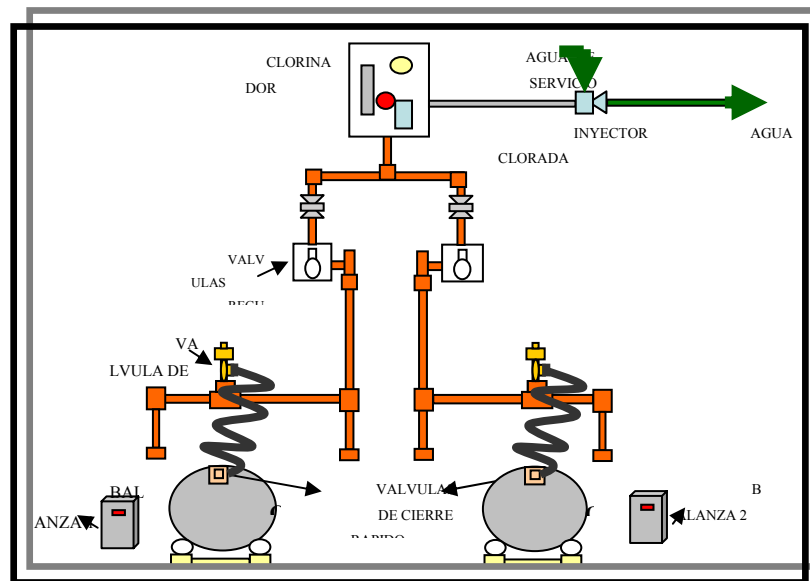


Figura 30. Diagrama típico del un sistema de dosificación de cloro [22]

Aunque los componentes del sistema quedarán por definir según el diseño de la contratista proveedora, en términos generales se pueden mencionar los siguientes equipos principales de acuerdo a las normas de PDVSA para el diseño de sistemas de cloración [46]:

- Un clorinador, el cual deberá consistir en los siguientes elementos:
 - ✓ Controlador variable de flujo de cloro.
 - ✓ Indicador de flujo de cloro.
 - ✓ Válvula reguladora de presión diferencial de gas.
 - ✓ Válvula de alivio de presión de vacío.

- ✓ Indicador de presión del gas.
- ✓ Indicador de vacío del inyector.
- Un sistema de dosificación, conformado por:
 - ✓ Válvulas reguladoras de vacío.
 - ✓ Rotámetro.
 - ✓ Válvula reguladora diferencial.
 - ✓ Posicionador automático.
 - ✓ Inyector.
 - ✓ Balanza digital.
- Analizador de cloro.

4.1.4.3. Seguridad, Higiene y Ambiente

El cloro es un gas tóxico, más pesado que el aire y bastante corrosivo, cuyo almacenamiento y manejo exige precauciones y procesos especiales. El cloro, cuando es inhalado, reacciona con la humedad del tracto respiratorio (condición acuosa del mismo), produciéndose "ácido clorhídrico" que irrita severamente las vías respiratorias y que puede dar lugar a perforaciones en los sacos alveolares. En grandes volúmenes produce la muerte inmediata por colapso pulmonar (tabla 4.15)

Tabla 4.15. Reacciones fisiológicas del hombre ante la presencia de cloro
[47]

Reacción	Concentración (mg/L)
Contenido admisible del aire respirado sin peligro durante 8 horas de trabajo	1
Olor perceptible	3,5
Máxima cantidad que puede ser inhalada durante una hora sin consecuencias graves	4,0
Cantidad nociva, imposible respirar por varios minutos	5,0
Irritación de la garganta a partir de	15
Tos provocada a partir de	30
Máximo para estancia de corta duración	40
Peligroso incluso en caso de corta duración	40 a 60
Rápidamente fatal	1000

El cloro también reacciona con la humedad de la piel (absorción cutánea) formando ácidos que resultan altamente irritantes y nocivos al tejido epitelial. En grandes volúmenes, puede producir quemaduras y ulceraciones en la piel. El cloro ingerido, voluntaria o accidentalmente, se diluye con la saliva e irrita las vías digestivas, causando trastornos que permanecen durante largo tiempo.

La exposición aguda o crónica puede generar consecuencias graves a los trabajadores por lo que deben tomarse medidas para evitar o reducir los efectos a la salud [47].

A. Almacenamiento del Cloro Gas

El almacén del gas cloro debe ser una habitación cerrada, construida con materiales resistentes al fuego, exenta de humedad y dotada de todos los elementos de seguridad necesarios para evitar riesgos de intoxicación, por ejemplo: extracción de gases, sistemas de neutralización o absorción de cloro, analizadores con alarma, etc. Si forma parte de la construcción materiales

inflamables, serán ignífugados. Es importante que esté protegido frente a personas ajenas a la instalación.

Todos los almacenamientos de cloro deben estar alejados, como mínimo, 20 metros de la vía pública, de materias combustibles, así como de las viviendas. El almacén de cloro no debe estar junto a fuentes de calor (radiadores, tuberías calientes, hornos, forjas, etc.) que puedan provocar importantes elevaciones de temperatura o junto a locales con alto riesgo de incendio o explosión (al menos de 20 m). El local donde se almacene el cloro no debe contener materiales inflamables ni combustibles.

Los cilindros de cloro deben estar en lugar aireado y eficazmente ventilado. El local debe ser lo suficientemente amplio y de extrema limpieza. Es importante que tenga un piso liso y bien nivelado, debe tener dos puertas sobre fachadas opuestas, las puertas abrirán hacia afuera, debe estar correctamente iluminado, preferentemente con luz natural.

La zona de almacenamiento debe contar con señales de seguridad y salud en el trabajo bien visibles, que indiquen claramente la presencia de cloro, además de los riesgos que pudieran existir. Estas señalizaciones deberán estar acordes a la norma COVENIN 187:1992 [48]. También se debe disponer de la ficha de seguridad del gas cloro y de los teléfonos de emergencia necesarios: proveedor, bomberos, Policía Nacional, Defensa Civil y entidades de salud.

Se deberán instalar duchas y lavaojos en las inmediaciones del área de cloración. Las duchas y lavaojos no distarán más de 10 metros del área indicada y estarán libres de obstáculos y debidamente señalizados. Es obligatorio que en las proximidades del almacén de cloro esté el equipo de protección individual. El equipo de protección respiratoria debe ser un aparato autónomo de presión positiva con visor que cubra toda la cara, de acuerdo con la norma COVENIN

1056-1: 2002 [49]. En el área de almacenamiento deberá existir material adecuado para la lucha contra el fuego, los extintores serán de polvo químico seco.

La instalación eléctrica será la reglamentada para locales con riesgo de corrosión. Los aparatos de mando, protección, tomas de corriente, etc., se instalarán fuera del local. Además debe protegerse la parte exterior de los aparatos y canalizaciones con un revestimiento inalterable a la acción de gases o vapores corrosivos. Asimismo, los receptores eléctricos tendrán sus piezas bajo tensión, protegidas contra la corrosión.

El proveedor se encargará de suministrar e instalar todos los elementos y materiales eléctricos y de control requeridos para la correcta operación del sistema de forma automática y deberá entregar a PDVSA los planos eléctricos correspondientes para su aprobación.

El operario u operarios a cuyo cargo esté el almacén de cloro, debe saber cómo actuar en caso de un escape de carga y descarga, o corregir al transportador, en caso de que hiciera una maniobra incorrecta. En la proximidad del almacén pero no en su interior, habrá las prendas de protección personal precisas [47].

El proveedor suministrará el diseño dimensional de la bodega de almacenamiento de cilindros y cuarto de cloración de acuerdo con los lineamientos suministrados por PDVSA y la configuración deseada. En la figura 4.8 se encuentra un plano típico para una pequeña instalación de cloración con gas.

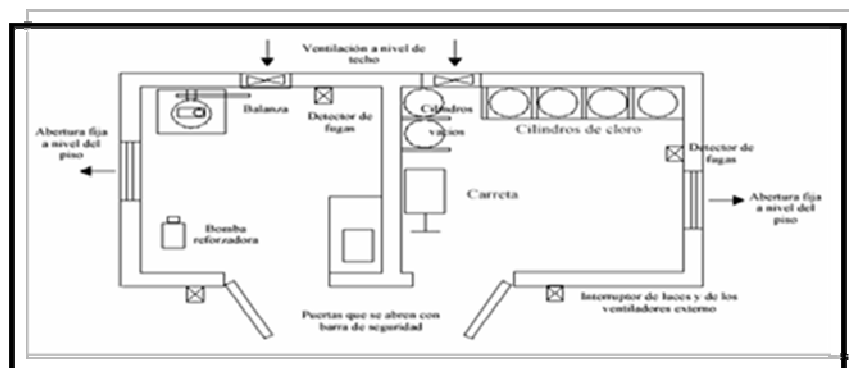


Figura 31. Plano típico para una pequeña instalación de cloro

B. Protección Personal Frente al Gas Cloro

Todo el personal que vaya a manipular el cloro o tenga que trabajar en zona expuesta a emanaciones de este gas, debe estar perfectamente informado de las instrucciones generales que hacen referencia a la utilización de este producto, así como de las medidas a adoptar en caso de fuga o cualquier otro accidente y de la correcta utilización de las protecciones personales precisas. Estas se emplearán preferentemente en previsión de que puedan fallar las medidas generales de protección y estarán debidamente homologadas.

Contra las fugas débiles de cloro, que son las más frecuentes en las operaciones de sustitución de recipientes llenos por vacíos, etc., pueden emplearse las máscaras completas con cartucho filtrante intercambiable tipo B2 o B3. Si no fueran provistas de protección ocular, se utilizarán además gafas panorámicas o de montura integral, provistas de lentes de material sintético, ajustadas a la cara con bandas de caucho. Deben tener forma anatómica y ser lo más estancas posibles.

En caso de que el contenido en cloro de la atmósfera supere el 1% en volumen, se hace imprescindible la utilización de equipos de respiración autónomos [49]. Las máscaras y demás equipos de protección deben guardarse fuera del local donde están los recipientes de cloro, en lugar fácilmente accesible

en cualquier momento. Su buen estado de conservación, sobre todo, la eficacia del cartucho filtrante, y la presión del equipo de respiración autónomo deben ser controlados periódicamente. El personal tiene que estar adiestrado en el manejo, utilización y mantenimiento de estos equipos.

En previsión de grandes fugas, cuando las concentraciones de cloro alcanzan límites importantes y la nube de cloro es fácilmente visible por su color amarillo verdoso, hay que emplear, además del equipo automático de respiración, un traje de caucho que cierre herméticamente, botas, guantes de goma u otro material flexible que resista la acción del cloro y capuchón o pieza supletoria que, acoplado al traje, aísla la cabeza y cuello. Este equipo aísla totalmente del exterior y es utilizable para cualquier concentración de cloro. Es de resaltar que este material únicamente puede ser utilizado por personal especializado y deberá estar siempre en buenas condiciones de uso; se debe hacer con él, por lo menos cada seis meses, pruebas de adiestramiento y utilización.

En la instalación de cloración se deberán situar equipos de salvamento personales en caso de ser necesario abandonar la sala con urgencia [49].

C. Sistema de control de fugas de cloro gaseoso

En las operaciones con gas cloro están involucrados riesgos y peligros de diferentes magnitudes, cuyas consecuencias varían desde un simple malestar respiratorio hasta la muerte. Usualmente se utilizan fosas con soda cáustica para el control de fugas del cloro gaseoso. Hoy en día existen nuevos sistemas especiales que han permitido automatizar y manipular de forma más segura las fugas de cloro que se puedan presentar en los lugares donde se trabaja con la dosificación de este químico.

Es sumamente importante antes de realizar el diseño del sistema de detección y neutralización de fuga de cloro, conocer claramente las características y propiedades de este elemento tan perjudicial.

El cloro es conocido como un gas tóxico altamente reactivo, que presenta las siguientes características [50]:

- El cloro líquido se vaporiza a temperatura ambiente, lo cual produce un volumen de gas considerable, aproximadamente un volumen de cloro líquido al evaporarse se convierte en 460 volúmenes de gas.
- A presión y temperatura ambiente es un gas 2.5 veces más pesado que el aire.
- A presión atmosférica normal se solidifica a 102°C .
- El cloro seco, líquido o gaseoso contiene no más de 1550 mg/L de agua por peso.
- Propiedades fisicoquímicas: en la tabla 4.16 se destacan las características fisicoquímicas que representan al cloro.
- No es un gas inflamable, pero puede mantener los procesos de combustión.
- Debido a su reactividad, el cloro se combina vigorosamente con la mayoría de los elementos o sustancias.
- El cloro al contacto con algunas sustancias o productos tales como el hidrogeno, azufre, amoníaco, acetileno, metano, alcoholes, u otros, da lugar a reacciones exotérmicas. En la tabla 4.17 se describen los elementos con los que el cloro es reactivo.

Tabla 4.16. Características del cloro [50]

Formula química	Cl_2
Número atómico	17
Peso molecular	70,906
Peso atómico	35,453
Punto de ebullición	El cloro líquido a presión atmosférica hierve a -34°C
Temperatura crítica	144°C
Peso específico en el agua	1,5
Peso específico en el líquido	1,41
Densidad del vapor	2,5 (aire =1)

Tabla 4.16. Características del cloro (continuación) [50]

Punto de fusión	-102° C
Presión de vapor a 20° C	1 atmósfera
Solubilidad en el agua	0,7 a 20° C
Gravedad específica	2,48 a 0° C
Color en estado líquido	Ambar
Color en estado gaseoso	Verde - Amarillento

Tabla 4.17. Reactividad del cloro [50]

Agua	El cloro es ligeramente soluble en el agua y en su presencia se torna altamente corrosivo. Reacciona a temperatura ambiente, produciendo ácido clorhídrico y ácido perclórico.
Metales	Los metales como el hierro, el cobre, el plomo, el níquel, el platino, la plata y el acero son químicamente resistentes al cloro puro y seco. Sin embargo el oro, el selenio, el titanio y el estaño reaccionan con el cloro a temperatura ambiente.
Compuestos orgánicos	El cloro reacciona con los compuestos orgánicos, formando compuestos clorados y ácido clorhídrico.
Compuestos inorgánicos	Debido a su gran afinidad por el hidrógeno, el cloro afecta la mayoría de los compuestos que lo contienen descomponiéndolos químicamente y tomando el hidrógeno de los mismos para formar ácido clorhídrico.
Oxidante	El cloro es un hiperoxidante, por ello favorece el proceso de combustión y hace reaccionar algunos combustibles originando incendios, sin requerir de una fuente de ignición externa.

a) Funciones Básicas del Sistema Nuevo de Control de Fugas de Gas Cloro

- Detección de fugas de gas en sitios previamente definidos.
- Dar alarma sonora y/o visual según la gravedad de la fuga.
- La recolección y transporte de estos gases a una torre lavadora de gases.

- Propiciar la absorción del gas en una solución de soda cáustica estabilizada con sulfito.

b) Componentes del Sistema de Detección y Neutralización de Fuga de Cloro Gaseoso

El sistema que se propone está conformado por una serie de subsistemas, los cuales se mencionan a continuación [51]:

- Sistema de detección y alarmas: la detección se realiza mediante un sensor de cloro gaseoso: ubicado en la zona de alto riesgo. Una vez censada la presencia de gas, un controlador emite señales de mando a diferentes equipos del sistema tales como alarmas auditivas, visuales, equipos de captación de cloro y suministro de solución neutralizante. La lógica y secuencia de este control obedece a dos niveles de detección denominados alarma baja y alarma alta. Ambos niveles de detección son ajustables por el usuario en un rango de 0-10 mg/L (figura 4.9).



Figura 32. Sistema de detección y alarmas

- Torre de absorción (torre lavadora): se trata de una torre cilíndrica vertical fabricada generalmente en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), soportada en un tanque de solución neutralizante. Los gases de cloro captados son transportados en forma ascendente, mientras la solución neutralizadora escurre a través de las superficies del relleno interno (figura 4.10).



Figura 33. Torre de absorción

- Tanque para solución neutralizante: tanque cilíndrico vertical fabricado generalmente en PRFV, para almacenamiento de la solución neutralizante (figura 4.11).



Figura 34. Tanque para la solución neutralizadora.

- Sistema de captación: sirve para la captación de los gases de cloro producidos durante una fuga. Está conformado por un ventilador centrífugo con motor y una red de ductos con sus accesorios de captación. Este sistema cubre las zonas de alto riesgo como son las bodegas de almacenamiento de los cilindros y los cuartos de cloración (figura 4.12).



Figura 35. Sistema de captación

- Sistema de recirculación de solución neutralizadora: está constituido por un conjunto de tuberías, accesorios y bombas quienes serán responsables de recircular la solución neutralizante a través de la torre para la absorción de la fuga de cloro (figura 4.13).



Figura 36. Sistema de recirculación de la solución neutralizadora.

C) Principio Básico de Funcionamiento del Sistema de Control de Fugas de Cloro Gaseoso

En caso de fuga, se debe disolver el gas en un neutralizante líquido apropiado. Para el cloro la solución óptima es la soda cáustica. Al momento de presentarse una fuga, la mezcla gaseosa aire-cloro es retirada del recinto y llevada a una torre de absorción empacada, donde se neutraliza absorbiéndose el cloro con solución de soda cáustica.

La concentración volumétrica del cloro en el ambiente (aire) es continuamente determinada por un instrumento sensor el cual es capaz de detectar y alertar la presencia de cloro incluso en concentraciones muy bajas.

Cuando esta concentración volumétrica sobrepasa el primer límite de detección establecido, es decir, 0,5 mg/L (v/v), se activan en forma automática los sistemas de alarma lumínica (balizas), actuadores de las puertas, extracción y neutralización. El ventilador - extractor inicia la renovación del aire del recinto, impulsando la mezcla cloro-aire a la torre de absorción, en donde simultáneamente a contracorriente se dosifica la solución neutralizante. Por la chimenea de la torre sale el aire gastado, con la concentración de cloro permitida. Si se llegase a pasar el segundo nivel de detección, 5,0 mg/L (v/v), se activan las alarmas sonoras (sirenas). El sistema solo se desactiva cuando las concentraciones de cloro en el recinto son menores al primer nivel de detección. Además el sistema se podrá encender y apagar manualmente desde pulsadores ubicados estratégicamente en la planta [51].

4.1.4.4. Requerimiento de Servicios Industriales y/o Químicos del Sistema

En cuanto al requerimiento de servicios industriales, se hace necesario un medio de dilución del gas cloro como es el agua. Ésta será utilizada para la operación del inyector del sistema por lo que debe ser razonablemente limpia para que demande la menor cantidad de cloro posible; en tal sentido se recomienda el agua cruda del mejorador.

Con respecto al requerimiento de químicos, se solicitará la procura de cloro gaseoso en cilindros de 907,18 kg. Además del cloro será necesario la procura de soda cáustica para la neutralización del mismo en caso de fugas. La cantidad de cloro y de soda cáustica será estimada por el proveedor del sistema una vez calculada la capacidad del mismo.

El suministro de energía eléctrica será necesario para la operabilidad del gabinete de control y los demás componentes del sistema (bombas, iluminación del local-almacen, etc).

4.1.4.5. Condiciones Ambientales de Operación y Servicio

Las principales variables ambientales de la zona donde estará ubicado el sistema de clorinación son:

Tabla 4.18. Condiciones ambientales [52].

Parámetro	Unidad	Mínimo	Normal	Máximo
Temperatura	°C	21	32	36
Humedad relativa	%	35	54	89
Punto de rocío	°C	6,4	20	29
Velocidad del viento	km/h	0	28	115
Precipitaciones	mm/mes	0	9	33
Presión atmosférica	mmHg	758	760	763

Data adicional

Tormentas de arena	No
Humedad extrema (Clima tropical)	Si
Ambiente marino	Si
Exposición a polvos conductivos o corrosivos, nitratos de amonio, fosfatos, hierro, etc.	Si

4.1.4.6. Selección de la Ubicación del Sistema de Cloro Gas en la Planta

Para seleccionar el lugar apropiado para la localización del sistema de cloración con gas se tomaron en cuenta las condiciones o requerimientos de

almacenamiento del cloro indicados en la sección 4.1.4.3, donde se hace énfasis en que todos los almacenamientos de cloro deben estar alejados, como mínimo, 20 metros de la vía pública, de materiales combustibles y de las viviendas, no debe estar junto a fuentes de calor (radiadores, tuberías calientes, hornos, forjas, etc.) o junto a locales con alto riesgo de incendio o explosión (al menos de 20 m). De acuerdo a esto se consideró que el lugar en la empresa que mejor se adapta a las condiciones descritas para ubicar el local donde se almacenará el cloro podría ser en la unidad 52 de aguas residuales como se ilustra en el anexo F.

4.1.4.7. Códigos, Normas, Estándares y Especificaciones a Seguir para la Instalación y Manejo del Sistema de Cloración con Gas

El sistema automático de cloración y su respectivo sistema de detección y neutralización de fuga de cloro, deberán estar acorde con los siguientes códigos, normas, estándares y especificaciones:

PDVSA	Manual de Ingeniería de Riesgos. Volumen 2. “Clasificación de áreas”.
PDVSA	90622.1.001. Guía de ingeniería. “Guías de seguridad en diseño”.
PDVSA	09-10-01. “Recipientes de cloro”
PDVSA	SN-252 “Control de ruido en equipos”.
PDVSA	BG-201-R. “Sistema de clorinación de agua de enfriamiento”.
PDVSA	IR-S-00. Manual de Ingeniería de Riesgos. Volumen 1. “Definiciones”.

PDVSA	IR-S-01. Manual de Ingeniería de Riesgos. Volumen 1. “Filosofía de diseño seguro”.
PDVSA	IR-S-02. Manual de Ingeniería de Riesgos. Volumen 1. “Criterios para el análisis cuantitativo de riesgos”.
PDVSA	K-305. Manual de Ingeniería de Diseño Volumen 9-I. “Process analyzers”.
PDVSA	IR-I-01. Manual de Ingeniería de Riesgos. Volumen 2. “Sistemas de detección y alarma de incendio”.
PDVSA	IR-I-02. Manual de Ingeniería de Riesgos. Volumen 2. “Sistemas de detección de gases inflamables / tóxicos”.
PDVSA	IR-M-03. Manual de Ingeniería de Riesgos. Volumen 1. “Sistema de agua contra incendio”.
PDVSA	IR-E-01. Manual de Ingeniería de Riesgos. Volumen 2. “Clasificación de áreas”.
PDVSA	90622.1.001. Guía de Ingeniería. “Guías de seguridad en diseño”
COVENIN	2685. “Agua potable. Determinación de cloro residual”.
COVENIN	200. “Código eléctrico nacional”.
COVENIN	187: 92. “Colores, símbolos y dimensiones para señales de seguridad”.
COVENIN	695-82. “Medidas de seguridad a seguir por los usuarios de recipientes de cloro”.

- COVENIN 1056-1:2002. “Criterios para la selección y uso de los equipos de protección respiratoria”.
- COVENIN 1376. “Extinción de incendios en edificaciones. Sistema fijo de extinción con agua. Rociadores”.
- COVENIN 2253. “Concentraciones ambientales permisibles en lugares de trabajo y límites de exposición biológicos”.
- COVENIN 2709-2002. “Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo”.
- Gaceta Oficial N° 140. “Normas sanitarias de calidad de agua potable” de la Caracas, (1998).
República de Venezuela.
- Gaceta Oficial N° 883, “Normas para la clasificación y el control de la calidad de la de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”, Caracas, República de (1995).
Venezuela
- ITC MIE APQ-003. “Almacenamiento de cloro”.
- ISA 92.06.01-1998. Instrument Society of America “Performance requirements for chlorine detection instruments (0,5-3,0 ppm full scale)”.
- ISA RP92.06.02–1999. “Installation, operation and maintenance of chlorine. Detection instruments (0,5-3,0 ppm full scale)”.

ANSI	Instituto Americano de Estándares Nacionales.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
NEC	Código Eléctrico Nacional.
CI	Instituto del Cloro.
API	Instituto Americano del Petróleo.
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.
NFPA	Asociación Nacional de Protección Contra Incendios.

4.2. Conclusiones

1. Las pruebas de demanda de cloro indicaron valores de 0,6; 18,00; 9,40 y 3,08 mg/L para el agua de servicio, efluentes sanitarios tratados, efluentes industriales tratados y agua de enfriamiento, respectivamente.
2. El agua de servicio, los efluentes sanitarios tratados, los efluentes industriales tratados y el agua de enfriamiento requieren dosis de cloro aproximadas de 0,7-1,00; 24,00-26,00; 12,00-14,00 y 3,08-3,30 mg/L, respectivamente, para una desinfección satisfactoria.
3. Los promedios de los flujos operacionales medidos en planta se encuentran por debajo de los valores de diseño, indicando posteriores ajustes en la dosis de cloro que será introducida.
4. El sistema de cloro gaseoso es la tecnología más recomendable para la desinfección de las aguas de la unidad de servicios industriales del mejorador

Petromonagas al presentar la máxima puntuación en la matriz de evaluación técnica-operacional, siendo ésta 72,5 puntos.

5. La alternativa más atractiva desde el punto de vista económico resultó ser la tecnología del cloro gas, con un valor presente neto de Bs. -17.831.524 mientras que el hipoclorito de sodio obtuvo Bs. -18.017.468.
6. El sistema de dosificación de cloro gaseoso es una tecnología sencilla, confiable y efectiva, siempre y cuando se tomen en cuenta a cabalidad las normas y especificaciones correspondientes.
7. El manejo del sistema de cloración con gas requiere de mucha precaución y procesos especiales, sobre todo en el almacenamiento y control de fugas del químico.

4.3. Recomendaciones

1. Repetir las pruebas de demanda de cloro de todas las aguas a tratar en diferentes momentos y condiciones de la planta, con el fin de ratificar los resultados obtenidos y las posibles variaciones que pudiesen generarse en la demanda al ocurrir alguna eventualidad en el proceso de mejoramiento del crudo.
2. En las tuberías por donde circulan las aguas existen muchos compuestos como óxidos, metales, material orgánico, etc., que reaccionan con el residual de cloro de las mismas, es por ello que se recomienda añadir un poco más de cloro que la dosis recomendada con el fin de garantizar el residual requerido en el punto final o destino de estas aguas.
3. Realizar seguimiento constante de variables como la temperatura, el pH y la turbidez de las aguas tratadas, ya que son factores que influyen en la efectividad del cloro.

4. Establecer programas de adiestramiento al personal involucrado en el manejo del sistema de cloración y a todo el personal del mejorador para que conozcan las medidas de seguridad a tomar en caso de alguna contingencia.
5. Establecer y hacer seguimiento estricto a los programas de reparación y mantenimiento del sistema de cloración.
6. Mientras se lleva a cabo el desarrollo del presente proyecto se recomienda tomar medidas correctivas en cuanto al almacenamiento y uso del NaOCl evitando en lo posible la exposición a los rayos ultravioleta del sol y las altas temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

1. PETROMONAGAS, **“Manual de entrenamiento para el personal, generalidades del proceso de mejoramiento del Crudo”**, Complejo Jose, (2007).
2. Instituto del Cloro, **“Manual del hipoclorito de sodio”**, 3 º edición, Arlington, (2006).
3. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021, Decreto N° 883, **“Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos”**, Caracas, (1995).
4. Mota, T., **“Mejoramiento en el proceso de control de calidad y del tratamiento químico de la planta potabilizadora Bajo Guarapiche, Maturín-Estado Monagas”**, Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz, (2001).
5. Díaz, G., **“Diseño y construcción de un laboratorio de caracterización de tratamientos de agua para sistemas de potabilización”**, Trabajo de Grado, Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales e Ingeniería Química, Universidad Carlos III, Madrid, (2007).
6. Ramírez R. y A. Durán, **“Influencia del proceso de adsorción en la demanda en cloro de un agua superficial clarificada”**, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de México, Coyoacán, México, D.F. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/053.pdf>, (2007).

7. Serrano, J., **“Proyecto de un sistema de abastecimiento de agua potable en Togo”**, Trabajo de Grado, Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad Carlos III, Madrid, (2007).
8. PETROMONAGAS, **“Manual de entrenamiento del sistema de agua de enfriamiento del mejorador de crudo extrapesado Petromonagas (Unidad 42)”**, Complejo Jose, (2007).
9. PETROMONAGAS, **“Manual de entrenamiento del sistema de agua industrial y de servicios del mejorador de crudo extrapesado Petromonagas (Unidad 41)”**, Complejo de Jose, (2007).
10. PETROMONAGAS, **“Manual de operación y mantenimiento de la planta potabilizadora de agua (Unidad 41-L-4102)”**, Complejo Jose, (2007).
11. PETROMONAGAS, **“Manual de entrenamiento del sistema de aguas residuales del mejorador de crudo extrapesado Petromonagas (Unidad 52)”**, Complejo Jose, (2007).
12. Lenntech, **“Necesidad del tratamiento del agua”**. Disponible en: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/necesidad/necesidad-tratamientoagua.htm>, (2009).
13. Barreiro E. y Ghislieri D., **“Eliminación de microorganismos, desinfección”**. Disponible en: www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/repart/desinfec.doc, (2007).
14. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), **“Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, desinfección con cloro”**, Washington, D.C, Disponible en: <http://www.epa.gov/owmitnet/mtb/cs-99-062.pdf>, (1999).

15. Lenntech, “**¿Qué es la desinfección del agua?**”. Disponible en: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/%BFque-es/que-edesinfeccion.htm>, (2009).
16. Solsona F. y Méndez J., “**Métodos alternativos de desinfección**”, capítulo 9. Disponible en: <http://www.cepis.opsoms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo9.pdf>, Lima, (2002).
17. Metcalf y Eddy, “**Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y utilización**”, tercera edición, editorial McGraw Hill, volumen I, México, (1996).
18. Academia Nacional de Ciencias. “**El agua potable segura es esencial**”. Disponible en: <http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Filtration-Systems-technologies.html#tech6>, (2008).
19. Solsona F. y Méndez J., “**Filtración lenta**”, capítulo 5. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo5.pdf>, (2002).
20. Degremont, “**Manual técnico del agua**”, Artes Gráficas Grijelmo Bilbao, (1979).
21. Pancorbo F., “**Desinfección del agua mediante procedimientos electrofísicos cobre/plata**”. Disponible en: <http://dspace.universia.net/bitstream/2024/233/1/DESINFECCION+DEL+AGUA+MEDIANTE+COBRE-PLATA.pdf>, (2009).
22. Solsona F. y Méndez J., “**Métodos de desinfección con cloro**”, Capítulo 3. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo3.pdf>, Lima, (2002).

23. LIPESA, **“Tratamiento químico del agua”**, editorial Impregraf, Caracas, (1998).
24. Villaseñor J., **“La cloración en las aguas como medio de desinfección”**. Disponible en: <http://www.uclm.es/profesorado/jvillasenor/esp/pdar/cloracion.pdf>, (2002).
25. Academia Nacional de Ciencias. **“El agua potable segura es esencial”**. Disponible en: <http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Chemical-DisinfectionOxidants-technologies.html>, (2008).
26. Organización Mundial de la Salud y Organización Panamericana de la Salud, **“La desinfección del agua”**, Washington, D.C. Disponible en: <http://www.paho.org/spanish/HEP/HES/WtrDsnfS.pdf>, (1999).
27. Lenntech, **“Introducción a la desinfección del agua”**. Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/Desinfeccion-del-agua/Introduccion-desinfeccion-agua.htm>, (2009).
28. SEVERN TREND DE NORA, **“Electrochlorination”**. Disponible en: http://www.severntrentservices.com/en_us/denora/sanilec/technology-overview.aspx, (2007).
29. Lenntech. **“Desinfectantes hipoclorito de sodio”**. Disponible en: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-hipoclorito-de-sodio.htm>, (2009).
30. COVENIN 3664, **“Norma venezolana de productos químicos para uso industrial. Hipocloritos utilizados en el tratamiento de potabilización de aguas. Requisitos y métodos de ensayo”**, Caracas, (2001).

31. Solsona F. y Méndez J., **“Dióxido de cloro”**, capítulo 7. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo7.pdf>, Lima, **(2002)**.
32. Lenntech, **“Cloro”**. Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cl.htm>, **(2009)**.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO

TÍTULO	"SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE LA UNIDAD DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE UN MEJORADOR DE CRUDO EXTRAPESADO"
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Salazar G, Ariana K.	CVLAC: 17.540.228 E MAIL: arixka@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Desinfección

Demanda de cloro

Agua

Coliformes

Valor presente neto

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

Este proyecto tuvo como finalidad seleccionar un sistema de desinfección para el tratamiento de las aguas de la unidad de servicios industriales del mejorador Petromonagas, ya que el sistema actual de desinfección presenta serios problemas de corrosión y la degradación fisicoquímica considerable del desinfectante (hipoclorito de sodio). Para ello se requirió de la cuantificación de parámetros como flujo, presión, diámetro de tuberías y demanda de cloro de las aguas a tratar. De las pruebas del punto de ruptura realizadas para determinar la demanda de cloro se obtuvo que los efluentes sanitarios fueron los que presentaron mayor demanda con 18,00 mg/L de cloro añadido, efluentes aceitosos con 9,40 mg/L, agua de enfriamiento con 3,08 mg/L y 0,6 mg/L el agua de servicio. Se realizaron análisis microbiológicos de niveles de coliformes y de algunas características químicas de estas aguas. Se llevó a cabo un estudio sobre veintidós opciones de desinfección existentes, resultando el cloro gas más rentable técnica, económica y operacionalmente, con un valor presente neto de Bs. -17.831.524. Se presentaron algunos aspectos sobre el sistema de cloro gas para su posterior diseño e instalación: componentes del sistema, ubicación en la planta, requerimiento de servicios e insumos, seguridad, higiene y ambiente, etc.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Amundarain, Milena	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	V-3.945.689			
	E_MAIL	milena.amundarain@gmail.com			
	E_MAIL				
González, Ana	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	V-12.915.806			
	E_MAIL	anagaby76@gmail.com			
	E_MAIL				
Cova, Alexis	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	V- 11.905.328			
	E_MAIL	alexiscovab@gmail.com			
	E_MAIL				
Millán, Maritza	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	V- 4.009.400			
	E_MAIL	mjmillans@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	06	28
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Selección_sistemadesinfecciónagua_m ejoradorcrudo.doc	Application/m sword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J
K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u
v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Ingeniería de procesos. Petromonagas (OPCIONAL)

TEMPORAL: nueve meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Ingeniería de procesos

INSTITUCIÓN:

Universidad de oriente. Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de trabajo de grado de la universidad de oriente: "los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la universidad de oriente y sólo podrán ser utilizados por otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participará al consejo universitario".

Salazar G, Ariana K

AUTOR

Milena Amundarain

TUTOR

Alexis Cova

JURADO

Maritza Millán

JURADO

Yraima Salas

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS